

Из параметров кварцевого резонатора видно, что его динамическое сопротивление побочной моды выше примерно в 1,5 раза, а динамическая индуктивность больше в пять раз. С такими параметрами побочной моды кварцевый генератор должен стабильно работать на основной моде.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение проблем провалов активности кварцевых резонаторов привело к созданию методики отбраковки изделий в серийном производстве. Метод «холодного старта» показал, что динамическая селекция не даёт полной уверенности в стабильной работе кварцевого генератора. Метод LC-контура тоже не всегда является гарантом стабильной работы, особенно в конструкции кварцевого генератора на базе резонатора-термостата, так как автогенератор находится за пределами термостатирования и подвержен уходу параметров с изменением окружающей среды, что может привести к провалам активности.

Метод «холодного старта» уже не первый год успешно применяется при производстве кварцевых генераторов фирмы ООО «Мэджик Кристалл».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандыба П. Е., Поздняков П. Г. Пьезоэлектрические резонаторы. Справочник / Под ред. П. Г. Позднякова. М.: Радио и связь, 1992. 392 с.
2. John R. Vig. Quartz Crystal Resonators and Oscillators for Frequency Control and Timing Applications – A Tutorial // 2004 IEEE International Frequency Control Symposium Tutorials, May 2004.
3. Abramzon I., Baranushkin S., Gubarev A., Rotova O., Tapkov V. High-stability miniature OCXOs based on advanced IHR technology // Proceedings of 2007 IEEE International Frequency Control Symposium. 2007. P. 242–245.
4. Activity Dips in Crystal Oscillators APPLICATION NOTE QTAN-102. URL: <https://q-tech.com/wp-content/uploads/QTAN102-Activity-Dips-in-Crystal-Oscillators.pdf> (дата обращения: 20.02.2019).
5. Ballato A., Tilton R. Electronic Activity Dip Measurement // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, March 1978. Vol. IM-27, no. 1. P. 59–65.
6. Хоменко И. В., Лепетаев А. Н., Косых А. В. Исследование нестабильности динамического сопротивления В-моды двухмодового кварцевого резонатора ТД-среза в интервале температур // Омский научный вестник. 2005. № 3 (32). С. 157–161.

УДК 621.396

САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ СЕТЬ НИЗКОСКОРОСТНЫХ РАДИОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ КОРОТКИХ СООБЩЕНИЙ СРЕДНЕВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

П. И. Пузырёв, М. А. Квачев, В. А. Ерохин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В работе обоснована применимость средневолнового диапазона частот для организации связи в малонаселённых территориях Российской Федерации, не покрытым сетями сотовой связи. Показано, что низкоскоростной средневолновый модем передачи коротких сообщений может обеспечить передачу сообщений в радиусе до 200 км. Целью работы является разработка концепции самоорганизующейся Mesh-сети, построенной на основе низкоскоростных модемов, которая позволит значительно увеличить зону покрытия и достоверность доставки сообщения. Представлены выражения для расчёта метрик с целью выбора наикротчайшего пути, учитывающих количество ретрансляций и минимальное отношение сигнал/шум на всем протяжении маршрута. Представлен алгоритм построения сети.

Ключевые слова: самоорганизующаяся сеть, mesh-сеть, метрика, средневолновый диапазон.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-156-160

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на большей части территории Российской Федерации по-прежнему отсутствует полное покрытия сотовыми сетями связи, особенно в приполярных территориях. И если для многих населённых пунктов эта проблема решена, то за пределами населённых пунктов единственным средством связи остаются наземная УКВ, КВ радиосвязь и спутниковая связь. Однако во многих случаях необходимо поддерживать связь с удалёнными объектами.

ми и группами, в том числе и мобильными группами спасателей, геологов и т.п. Ещё одним примером является передача метеорологической информации, извещений автономных охранных систем, сигналов радиомаяков, дифференциальных поправок навигационных систем и прочей информации небольшого объёма.

Дальность связи в УКВ диапазоне ограничена прямой видимостью, что составляет порядка 20-30 км, а при низком расположении антенн приёмного и передающего устройств может составлять единиц километров. По этой причине сплошное покрытие сетями сотовой связи в районах с малой плотностью населения является нецелесообразным по экономическим и практическим соображениям. Радиосвязь в КВ диапазоне сильно зависит от состояния ионосферы. Прохождение сигнала является непредсказуемым на практических территориях. Для спутниковой связи и передачи данных доступны несколько спутниковых систем: Инмарсат (Великобритания), Иридиум (США), Аргос (Франция), Гонец (РФ), Глобалстар (США), Орбкомм (США) [1]. Спутники «Глобалстар» имеют наклонение орбиты 52 градуса, что не позволяет их использовать на приполярной территории. Спутники «Инмарсат» располагаются на геостационарной орбите и обеспечивают зону покрытия только до 70° северной и южной широты. Этого достаточно для охвата большей части суши, но не полностью охватывает акваторию Северного морского пути. Ограниченность зоны покрытия в приполярных зонах некоторых спутниковых группировок и подконтрольность владеющих компаний странам НАТО, становится ограничением для широкого внедрения на территории РФ. Сюда же следует добавить высокую стоимость услуг для всех операторов спутниковой связи.

В перспективе, доступность к средствам связи и интернету будет увеличиваться для всей территории планеты, как посредством спутниковых технологий связи, так и, возможно, посредством стратостатов. Успешные испытания наземной связи через стратостаты в рамках проекта Loon уже были успешно проведены. Так в мае 2017г. в разрушенном ураганом «Мария» Пуэрто-Рико удалось восстановить доступ к интернету посредством стратостатов Loon.

На сегодняшний день стратостатная связь в России не рассматривается как альтернатива спутниковым и сотовым системам, а расширение спутниковой группировки является крайне дорогостоящим проектом. Тем не менее, уже на сегодняшний день существуют технические средства и возможности, способные в короткие сроки обеспечить связью на малонаселённых территориях в радиусе до 200 км от радиостанции. Таковым является радиосвязь в средневолновом диапазоне. Средневолновый диапазон характеризуется приземным загоризонтным распространением радиоволн, что позволяет обеспечить связью объекты, находящиеся вне прямой видимости. К тому же в ближней зоне СВ диапазон не подвержен искажениям сигнала от многолучевого распространения при отражении от ионосферы.

Недостатком СВ диапазона, является необходимость использования сильно укороченных антенн для носимых и возимых радиостанций, что значительно ухудшает эффективность антенны. Также из-за особенностей согласования сильно укороченных антенн на штыре при передаче оказывается высокое напряжение в несколько киловольт при мощности всего в 100 Вт, что ограничивает применимость таких антенн при больших мощностях. Также на распространение радиоволн влияет подстилающая поверхность, и мёрзлая и заснеженная почва увеличивает ослабление радиоволн, уменьшая дальность связи.

Решение проблемы сниженной эффективности антенны и ослабления сигнала мёрзлой почвой является применение низкоскоростных режимов передачи коротких сообщений. Несколько возможных реализаций низкоскоростного средневолнового модема были разработаны в ОмГТУ, позволяющих обеспечить передачу данных при отношении сигнал/шум до -20 дБ [3] (с/ш нормировано относительно полосы 2500Гц). Были получены и исследованы ансамбли ортогональных сигналов с дополнительной относительной фазовой манипуляцией, обладающая большей спектральной и энергетической эффективностью по сравнению с обычными ортогональными сигналами [4], [5]. Дополнительно повысить дальность и надёжность связи можно путём организации Mesh-сети из приёмопередающих устройств, обеспечивающих ретрансляцию сообщений от источника к получателю. Сложность реализации самоорганизующейся Mesh-сети заключается в низкой скорости передачи данных приёмопередающими устройствами, и как следствие незначительный объём передаваемой информации.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Самоорганизующаяся mesh-сеть характеризуется гибкой маршрутизацией сообщения, где каждое устройство способно ретранслировать передаваемые сообщения. Топология сети не является жесткой, и если одно из ретранслируемых устройств перестаёт работать, то маршрут перестраивается с учетом оставшихся ретранслируемых устройств [6], [7].

Так как протокол маршрутизации должен учитывать характер сообщений рассмотрим основные типы передаваемых сообщений. По характеристики организации групп:

1. Индивидуальные сообщения – один абонент передает сообщению другому одному абоненту.

2. Групповые сообщения – один абонент передает некоторой заранее определенной группе абонентов.
3. Широковещательные сообщения – передается всем абонентам.
4. Текстовое сообщения для абонента сотовой сети (SMS).
5. Текстовое сообщение для абонента сети Internet.

По характеристике типа сообщения:

1. Бедственные сообщения – имеют наивысший приоритет, должны содержать координаты отправителя и краткую информацию о ситуации.
2. Сообщения общего типа – текущий обмен сообщениями между абонентами.
3. Подтверждение приема сообщения – отправляется в ответ на принятое сообщение.
4. Служебные сообщения для построения сетевого маршрута.

Сеть состоит как из автономных приемо-передающих радиоустройств (РУ), так и базовых станций (БС), являющимися шлюзами между средневолновой радиосетью и сетями общего пользования: сотовая связь и Internet (рис. 1). Стрелками обозначены возможность установления соединения по радиоканалу.

Рассмотрим возможные пути передачи сообщения от абонента № 2 к абоненту № 10. Всех возможных комбинаций маршрута посредством ретрансляции радиоустройствами множество, однако, наикратчайших всего три: (2 – 5 – 8 – 9 – 10), (2 – 5 – 8 – 9 – 10), (2 – 5 – 6 – 7 – 10). Данные маршруты имеют три ретрансляции. Однако существует маршрут, обеспечивающий всего одну ретрансляцию – это маршрут РУ2 – БС1 – БС2 – РУ10. Так как базовые станции имеют доступ к сетям общего доступа, то передача сообщений между БС не требует ретрансляции по радиоканалу, время передачи данных может быть пренебрежимо мало по сравнению с низкоскоростной передачей данных по радиоканалу, а достоверность доставки сообщений является близкой к 100%.

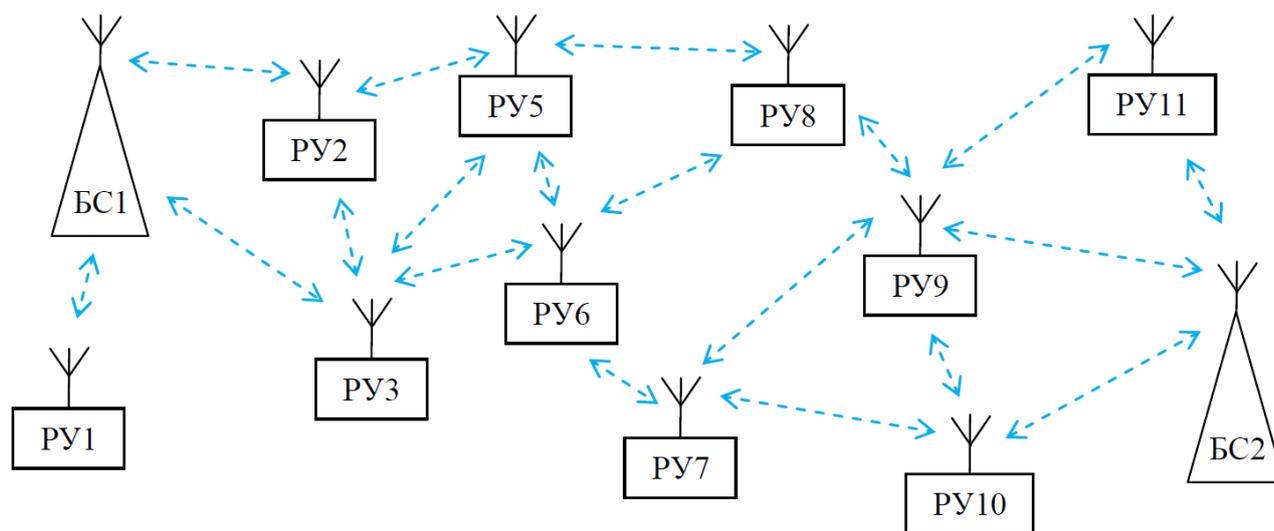


Рис. 1. Топология самоорганизующейся Mesh-сети

Выбор того или иного маршрута должен выполняться на основании некоторой метрики, являющейся численным выражением надежности маршрута. В качестве такой метрики могут выступать количество ретрансляций, вероятность битовой ошибки, уровень принятого сигнала (RSSI), отношение сигнал/шум принятого сигнала, комбинация данных параметров и т.п.

III. ТЕОРИЯ

Учитывая небольшой объем передаваемой информации и низкую скорость передачи, в качестве метрики не подходит оценка вероятности битовой ошибки, т. к. накопление статистики потребовало бы чрезмерного большого времени. Уровень принятого сигнала (RSSI) только косвенно позволяет оценить качество принятого сигнала, т.к. не учитывает мощность помехи. Поэтому в качестве используемой метрики предлагается использовать комбинацию количества ретрансляций и отношение сигнал/шум. При этом следует отметить, что также имеется контроль достоверности передаваемого сообщения в виде контрольной суммы сообщения, что также должно учитываться.

Допустим такую топологию сети, при которой каждое РУ может передать любому другому РУ сообщение как через радио ретрансляцию, так и через БС. В этом случае каждое РУ должно хранить журнал метрик всех возможных маршрутов. Однако, учитывая небольшой объем передаваемых данных и низкую скорость передачи составление журнала в процессе построения сети потребовало бы слишком большого времени, не целесообразного для практического применения. В этом случае более выгодным вариантом является составление журнала метрик только для соседних РУ, с которыми есть прямая радиосвязь, и метрик маршрутов до БС. В этом случае, если получателя сообщения нет среди соседних РУ, то обмен будет выполняться через БС. Составление метрик других маршрутов будет вестись уже в ходе текущего обмена сообщениями между абонентами и как только у источника сообщения появится информация о более коротком маршруте до получателя, он будет использовать его.

Выделим три типа метрик: локальная d_L , метрика глобального маршрута d_G и метрика альтернативного маршрута d_A . Локальная метрика содержит в себе информацию о качестве канала связи только с соседними радиоустройствами, т.е. учитывает только соотношение сигнал/шум. Локальные метрики хранит каждое РУ. Метрика глобального маршрута является характеристикой маршрута от какого-либо РУ до базовой станции, и учитывает все локальные метрики на пути и количество ретрансляций. Локальная и глобальная метрики вычисляются во время процедуры вхождения в сеть, после чего обновляются в ходе текущего обмена сообщениями. Метрика альтернативного маршрута получается в только ходе текущего обмена сообщениями и определяет качество маршрута от источника к получателю по любому возможному пути.

Локальная метрика определяется:

$$d_L = \begin{cases} 1, & SNR < SNR_{\min} \\ \frac{|SNR| - |SNR_{\max}|}{|SNR_{\min}| - |SNR_{\max}|}, & SNR_{\min} \leq SNR < SNR_{\max} \\ 0, & SNR \geq SNR_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

где SNR – отношение сигнал/шум для принятого сигнала в дБ, SNR_{\min} – чувствительность приемного устройства в дБ, SNR_{\max} – отношение сигнал/шум, при котором обеспечивается гарантированный прием. На практике SNR_{\max} можно считать больше SNR_{\min} на 20 – 30 дБ.

Метрика глобального пути определяется согласно выражению:

$$d_G = N + K \cdot \max \{d_L\}, \quad (2)$$

где N – количество ретрансляций, K – коэффициент, определяющий достоверность доставки сообщения, принимающий значение больше единицы. Метрика глобального пути в большей степени определяется количеством ретрансляций и в меньшей степени отношением сигнал шум. В этом случае минимизируется время доставки сообщений. Если количество ретрансляций будет одинаково, то маршрут будет выбираться исходя из минимального SNR на всем маршруте. Чтобы избежать ситуации, при котором выбирается маршрут с меньшим количеством ретрансляций, но работающий на грани чувствительности в пользу маршрута с большим количеством ретрансляций, но более надежным радиоканалом, коэффициент K должен быть увеличен до значения, при котором обеспечивается выбор маршрута с гарантированной доставкой сообщения.

Метрика альтернативного пути рассчитывается аналогичным методом, как и метрика глобального пути, за исключением того, что данные для вычисления метрики получаются в ходе текущего обмена сообщениями.

Выбор маршрута производится путем сравнения всех возможных путей от источника сообщения к получателю. Путь, имеющий наименьшую метрику, выбирается в качестве маршрута.

Построение сети инициирует базовая станция, которая отправляет запрос на предоставление информации о наличии РУ в зоне покрытия. РУ в ответ на запрос отправляют подтверждение о принятом сообщении. Далее БС отправляет широковещательное сообщение о доступных РУ, содержащее метрики. Если РУ, которое приняло запрос, но не получило подтверждение в широковещательном сообщении от БС, повторяет попытку связи с БС. Радиоустройства, находящиеся в зоне покрытия БС образуют первое кольцо. РУ, находящиеся в зоне покрытия РУ первого кольца, образуют второе кольцо, и т.д.

Для минимизации возможных коллизий, когда несколько РУ одновременно начинают излучать в эфир в процессе построения сети, необходимо разнести их во времени и также желательно по частоте. Время начала излучения в эфир выбирается случайным образом из диапазона допустимых значений. В этом случае, даже если в первый сеанс произошла коллизия, то далее в силу случайности времени начала передачи, сообщения будут разнесены во времени. Также следует поступить с частотным разнесением, если таковое возможно.

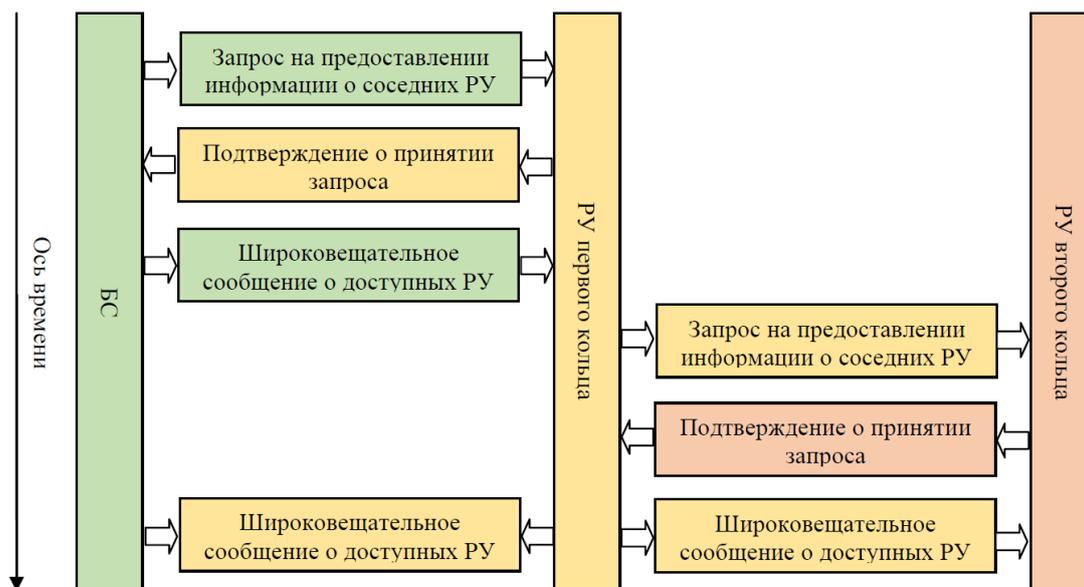


Рис. 2. Протокол построения Mesh-сети

Каждое РУ анализирует принятые метрики и сигнал/шум, и, основываясь на этом, составляет журнал, в соответствии с которым будет выбирать маршрут следования сообщения.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный протокол маршрутизации сообщений позволяет повысить достоверность доставки сообщения, даже если источник и получатель находятся вне зоны покрытия друг друга. Расчет метрик позволяет минимизировать время доставки сообщения за счет минимизации количества ретрансляций. Дополнительное введение коэффициента K в расчёт метрики глобального пути (2) позволяет избежать ситуации построения ненадежного маршрута, при котором хотя бы одно из РУ работает на пределе чувствительности. Каждое РУ имеет информацию о своих соседях и всех возможных путях до БС с метриками. В процессе текущего обмена сообщениями может появляться информация об альтернативных путях между двумя РУ без использования БС.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-79-10047.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маринич А. Н., Припотнюк А. В., Устинов Ю. М. Мониторинг судов на трассах северного морского пути с помощью спутниковых систем связи // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 6 (40). С. 184–205.
2. Копиев Г. Стратостаты Project Loon восстановили интернет ста тысячам жителей Пуэрто-Рико. URL: <https://nplus1.ru/news/2017/11/10/loon> (дата обращения: 07.03.2019).
3. Пузырев П. И., Ерохин В. В., Шеин В. Ю., Завьялов С. А. Низкоскоростной модем для передачи данных малого объема в средневолновом диапазоне частот для территории Арктики // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 145–150.
4. Puzirev P. I. Multiple Frequency-Shift Keying with Differential Phase-Shift Keying of Subcarriers // Far East Journal of Electronics and Communications. 2018. Vol. 18, no. 6. P. 829–840.
5. Puzirev P. I. Orthogonal Phase-Coded Signals with Additional Differential Phase Shift Keying // Conference: 2018 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). Omsk, 2018. 6 p. DOI: 10.1109/Dynamics.2018.8601442.
6. Метелёв А. П., Чистяков А. В., Жолобов А. Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 1 (3). С. 75–78.
7. Голдсмит А., Медар М., Эффрос М. Самоорганизующиеся беспроводные сети // В мире науки. 2010. № 6. С. 77–81.