

## Маршрутизация в mesh сетях на основе хаотических радиоимпульсов

З.С. Аблялимова, Д.М. Уразалиева

ИРЭ РАН [aszarema@mail.ru](mailto:aszarema@mail.ru), ИРЭ РАН, [urazalieva@inbox.ru](mailto:urazalieva@inbox.ru)

*Рассматривается маршрутизация в mesh сетях на основе хаотических радиоимпульсов. Моделируется работа mesh сети с использованием известного алгоритма HWMP (гибридный протокол маршрутизации mesh сети).*

*Routing in mesh networks based on chaotic radio impulses is considered. Operation of a mesh network is simulated by using of Hybrid Wireless Mesh Protocol.*

### Введение

В настоящее время происходит бурное развитие mesh сетей. Первые упоминания о Mesh для решения задач передачи информации следует искать в военных приложениях<sup>[1]</sup>. На базе технологии Mesh созданы системы для организации мобильной связи с единичными объектами в зоне военных действий. Подобные системы обеспечивают высокоскоростную передачу цифровой информации, видео - и речевую связь, а также определяют местоположение объектов. В настоящий момент не существует точных критериев, определяющих термин Mesh-сеть в применении к системам широкополосного беспроводного доступа. Наиболее общее определение звучит как: "Mesh – сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям"<sup>[1]</sup>. В первую очередь понятие Mesh определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- использование беспроводных транспортных каналов (backhaul) для связи точек доступа в режиме "каждый с каждым"; устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Большое влияние на свойства mesh сети оказывает способ передачи информации используемый устройствами, формирующими сеть. Использование динамического хаоса в качестве носителя сигнала дает ряд преимуществ, описанных ниже, перед другими методами передачи информации. Для более детального рассмотрения работы mesh сети на основе хаотических радиоимпульсов было осуществлено моделирование.

### Архитектура mesh сетей

Mesh сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на кластерные зоны, число которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой (gateway) и подключается к магистральному информационному каналу с помощью кабеля (оптического либо электрического) или по радиоканалу (с использованием систем широкополосного доступа). Узловые точки доступа, так же как и остальные точки доступа (nodes) в кластере, соединяются между собой (с ближайшими соседями) по транспортному радиоканалу. В зависимости от конкретного решения точки доступа могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал) либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа. Особенностью Mesh является использование специальных протоколов, позволяющих каждой точке доступа создавать

таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-либо из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время. Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически. Недосток подобных сетей заключается в том, что они используют промежуточные пункты для передачи данных; это может вызвать задержку при пересылке информации и, как следствие, снизить качество трафика реального времени (например, речи или видео). В связи с этим существуют ограничения на количество точек доступа в одном кластере.

Критерии выбора оптимальных путей в Mesh-сети

- длина пути (количество шагов)
- надежность
- задержка
- пропускная способность
- загрузка
- стоимость передачи трафика.

Наиболее распространенной метрикой является длина пути. Некоторые протоколы маршрутизации позволяют администратору сети присвоить каналу (путь длиной в один шаг) произвольную длину. При этом длина пути – это сумма длин каналов, через которые пролегает путь от источника (отправителя) к адресату (получателю). Другие протоколы определяют число шагов – сколько сетевых устройств (например, маршрутизаторов) должен пройти пакет на своем пути к получателю.

### **Применение хаотических радиоимпульсов в mesh сетях**

Хаотические радиоимпульсы являются перспективным носителем информации для сверхширокополосных беспроводных систем связи. В mesh сетях существует проблема коллизий пакетов, передаваемых приемопередатчиками сети. В алгоритме HWMP эта проблема решалась за счет применения протокола TDMA на канальном уровне (множественный доступ с разделением по времени). Но при таком решении возникает проблема синхронизации узлов сети.

В работе предложено разрешить проблему коллизий путем использования хаотических радиоимпульсов как носителя сигнала. Скорость передачи пакетов с помощью хаотических радиоимпульсов может быть выше за счет укорочения длины битов. Как следствие межпакетные расстояния гораздо больше размеров пакетов. Таким образом вероятность коллизий существенно меньше, чем при использовании других носителей информации и не возникает проблемы синхронизации.

### **Моделирование работы mesh сети**

В работе была поставлена следующая задача:

Допустим, имеется область площадью  $S$ , в которой разбросаны  $N$  приемопередатчиков (далее будут рассмотрены случаи  $N=10, 100, 1000$ ).

Пусть приемопередатчики имеют радиус действия  $R$  и пусть  $R > \sqrt{\frac{S}{N}}$ . Тогда мы

можем предполагать, что сеть будет связной (Заметим, что нельзя гарантировать, что сеть будет связной, но в дальнейшем будет подобрано соотношение, связывающий  $R$ ,  $S$  и  $N$ , при котором вероятность того, что сеть не имеет разрывов приближается к единице). Задача состоит в том, чтобы смоделировать работу mesh сети на основе

алгоритма HWMP<sup>[2]</sup>, причем время для передачи пакетов от одного узла сети к другому должно быть минимальным. Использование сверхширокополосных приемопередатчиков позволит еще больше уменьшить время передачи информации за счет их большой информационной емкости. Ввиду ограниченного заряда батарей приемопередатчиков желательно, чтобы расход энергии был как можно меньше.

Гибридный протокол маршрутизации HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) использует стандартный набор служебных пакетов, правил их создания и обработки, наподобие хорошо известного протокола дистанционно-векторной маршрутизации по запросу (Ad Hoc On Demand Distance Vector, AODV) <sup>[3]</sup>. Однако HWMP адаптирован для работы с адресами MAC-уровня и метриками путей. Гибридным он назван потому, что объединяет в себе два режима построения путей, которые могут быть использованы как по отдельности, так и одновременно в одной сети:

- реактивный режим – построение маршрутных таблиц в узлах mesh-сети непосредственно перед передачей данных - по запросу (рис.1);
- проактивный режим – регулярная процедура обновления информации в маршрутных таблицах узлов всей сети. Процедуру инициирует корневой узел, в результате на сети строится граф (дерево) путей с вершиной в корневом узле (рис.1).

В реактивном режиме HWMP узел отправляет широковещательный PREQ-пакет запроса пути (Path Request). Пути выбираются на основании метрики, для распространения информации о которой служит специальное поле в служебных пакетах запроса пути. Этот пакет распространяется через соседние узлы по всей сети, пока не достигнут, узел-адресат. По мере продвижения от узла к узлу модифицируется поле метрики пути от текущего узла до отправителя. В итоге формируется полная метрика пути "получатель-отправитель".

Узел-адресат отправляет инициатору пакет подтверждения PREP (Path Reply), содержащий итоговое значение метрики пути "инициатор-получатель". Приняв его, узел-инициатор получает информацию об установленном пути. Очевидно, что в mesh-сети широковещательные пакеты запроса доходят до получателя по множеству путей через различные узлы. При этом они могут начать передаваться по замкнутым маршрутам (циклам), не единожды проходя через какой-либо узел. Чтобы избежать такой ситуации, используется порядковый номер запроса. В стандарте IEEE 802.11s он именуется порядковым номером назначения (Destination Sequence Number, DSN), что вносит невероятную путаницу. Кроме DSN, стандарт оперирует понятием DSN инициатора (поиска пути) – Originator's DSN (OSN). Именно этот параметр и служит порядковым номером при рассылке пакетов поиска пути. Каждое mesh-устройство имеет собственный DSN. Перед началом процедуры поиска пути DSN инициатора увеличивается на 1 и записывается в поле Originator's DSN пакета запроса PREQ. Кроме того, в пакете содержится адрес инициатора (адрес начала пути). Все узлы mesh-сети хранят информацию о каждом узле mesh-сети, обновляя ее на основании полученных служебных пакетов. Такая информация в данных пакетах передается в полях "адрес отправителя", "метрика пути", "порядковый номер".

Помимо полей метрики пути, по мере прохождения от узла к узлу в пакете может изменяться значение поля "время жизни" (Time to Live, TTL) – число промежуточных узлов, которые разрешено пройти данному пакету. Если этот параметр используется, он декрементируется в каждом узле следования. Когда TTL = 0, обработка и трансляция пакета прекращается.

Проактивный режим отличается от реактивного тем, что в сети назначается корневой узел (узлы). Этот узел периодически рассылает пакеты PREQ, которые распространяются по всей сети. Все узлы сети, принявшие проактивный PREQ, сохраняют адрес узла-отправителя (через который лежит путь к корневому узлу),

широковещательно транслируют PREQ с измененными полями (поля метрики и TTL) и отправляют PREP корневому узлу (либо не отправляют, в зависимости от установок).

Протокол маршрутизации HWMP обязателен для всех устройств стандарта IEEE 802.11s как протокол по умолчанию.

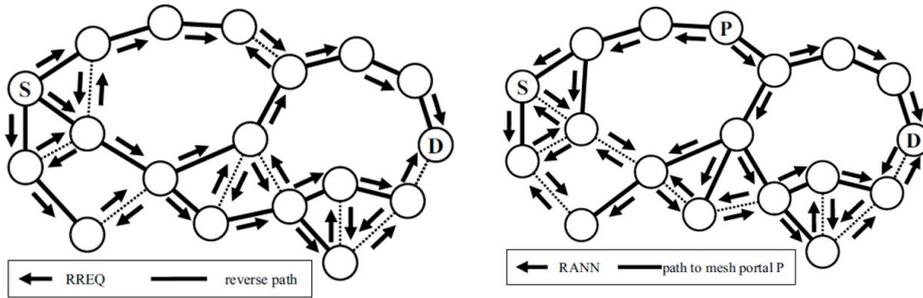


Рис. 1. Реактивный и проактивный режим

Следующим шагом было моделирование на компьютере полученной сети в среде MATLAB. С помощью данной модели были изучены особенности самоорганизации и поведения сети (рис.2).

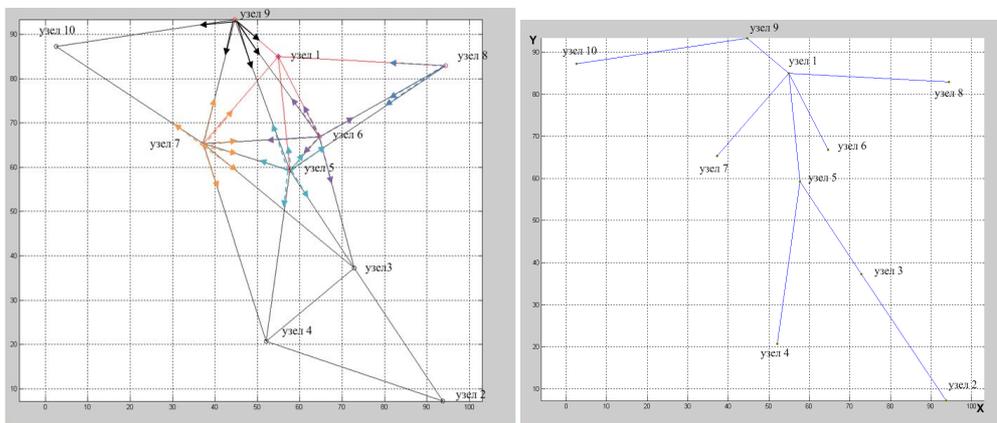


Рис. 2. Моделирование mesh сетей

Для определенности было положено, что  $R = 1.5 \sqrt{\frac{S}{N}}$ . Для такого соотношения

между R, S и N сеть из 10 приемопередатчиков практически всегда будет связной. Положим, что средняя длительность служебного пакета 40 мкс. Тогда в результате десяти экспериментов случайного распределения десяти приемопередатчиков равномерно по заданной площади получим, что среднее время передачи пакета от одного узла к другому – 128 мкс. ( Вычисления производились по формуле

$$t = 2nl,$$

где  $t$  - время передачи пакета от одного узла к другому,  $l$  – длительность пакета,  $n$  - количество скачков для передачи одного пакета). На рисунке 2 показан пример организации сети из 10 приемопередатчиков (маршруты, по которым будут проходить пакеты от одного узла к другому). Заметим, что это не единственно возможная конфигурация сети. На рисунке 3 показаны все возможные маршруты между узлами (линиями связаны все соседи, то есть узлы, находящиеся друг от друга на расстоянии, меньшем радиуса действия)

Было подобран коэффициент в соотношении, связывающем величины R, S и N. Оказалось, что если выполняется  $R = 1.7 \sqrt{\frac{S}{N}}$  то в 80и процентах случаев полученная сеть связанная. Среднее время передачи пакета от одного узла к другому - 432 мкс.

Аналогично в случае сети из 1000 приемопередатчиков получен коэффициент для соотношения между R, S и N, при котором вероятность связности сети велика. Он равен 1.9. Также получено, что среднее количество скачков для передачи пакета от одного узла к другому равно 17, при этом среднее время передачи пакета от одного узла к другому – уже 1348 мкс.

### **Заключение**

В среде Matlab был смоделирован процесс самоорганизации mesh сети.

- Сеть из этих модулей самоорганизуется и способна восстанавливаться при выходе из строя некоторых узлов(рис.2).
- Был подобран коэффициент, связывающий площадь покрытия, радиус действия приемопередатчиков и их количество, при котором сеть с большой вероятностью связанная. Также было оценено среднее время доставки пакета от одного узла к другому для сетей с различным количеством приемопередатчиков.
- Также было показано, что в mesh сетях с использованием хаотических радиоимпульсов проблема коллизий становится менее значимой.

### **Литература**

1. Lamme T., Potter D., Chellis J. CCNA: Cisco certified network associate//Network press, 1998, p. 538.
2. В.Вишневикий, д.т.н.; Д.Лаконцев, к.т.н.; А.Сафонов, к.т.н; С.Шпилев, к.т.н.: Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s: Протоколы маршрутизации – Первая Миля, Янв. 2009
3. Perkins C., Belding-Royer E., Das S. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. – IETF RFC 3561, July 2003.
4. Reconsidering RA-OLSR – IEEE P802.11-07.2547r2, Sept. 2007.
5. September 2007 Mesh Meeting Agenda. – IEEE P802.11-07.2290r11, September 2007.