

УДК 681.3

М.А.Дружинин  
**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ  
MESH СЕТЕЙ**

*Воронежский институт высоких технологий*

*В данной статье рассматриваются особенности построения mesh-сетей, их отличия от обычных локальных сетей. Приведены характеристики трех уровней mesh-сетей. Проведен сравнительный анализ свойств используемых протоколов маршрутизации.*

**Ключевые слова:** маршрутизация, протокол, mesh-сеть, интернет, передатчик, приемник.

Эффективность функционирования любых сетей передачи данных в значительной мере зависит от реализованных в них алгоритмов сетевого уровня, то есть способа маршрутизации, приемов ограничения нагрузки, передачи служебной информации [1-3].

Общее количество таких алгоритмов достаточно велико, что вызвано разнообразием требований к информационному обмену, особенностями передаваемых потоков данных и возможностями аппаратного и программного обеспечения.

Каждому из протоколов присущи свои достоинства и недостатки. Можно с уверенностью констатировать тот факт, что, идеальных алгоритмов маршрутизации пока не создано, и по-видимому в обозримом будущем не ожидается их появление.

В настоящее время mesh-сети переживают период бурного развития. Появляются новые протоколы маршрутизации, усовершенствуются старые [4, 5].

Причем разработки ведутся как крупными компаниями, так и группами энтузиастов. В mesh-сетях преобладают два подхода к маршрутизации – проактивный и реактивный. Существуют и довольно эффективные гибридные схемы.

Чтобы понимать преимущества сетей с ячеистой топологией, необходимо сравнивать их с одноузловыми (single-hop) сетями. Например, в традиционных беспроводных сетях стандарта 802.11 несколькими клиентами идет подключение для прямого соединения с точкой доступа. Подобные сети называют одноузловыми. Для многоузловой сети любые устройства с возможностями беспроводной связи способны работать как маршрутизатор, так и точка доступа.

В случае, когда несколькими устройствами в одноузловой сети есть попытки одновременным образом использовать сеть, могут появляться виртуальные «заторы», которые замедляют ее работу. Как

противоположный случай для сетей ячеистой топологии много устройств могут иметь подключение одновременным образом через разные узлы, но характеристики производительности сети не обязательно будут ухудшаться. Для более коротких расстояний передачи данных в сети с ячеистой топологией есть возможности уменьшения влияния помех и осуществления одновременной передачи по пространственно разделенным потокам информации. В таблице 1. представлены отличия традиционных WLAN и mesh-сетей.

Таблица 1.  
Отличия традиционных WLAN и mesh-сетей.

|                | <b>Традиционные WLAN</b>  | <b>Беспроводные mesh-сети</b>  |
|----------------|---|--|
| Предназначение | Спроектированы для использования внутри зданий и покрывают территорию зданий или небольшие открытые пространства                | Спроектированы для покрытия больших открытых пространств, главным образом в местах с отсутствующей инфраструктурой LAN |
| Структура      | Кабельные линии передачи, построенные по топологии «звезда» или хаб   | Беспроводные линии передачи, построенные на базе соединений типа «точка-точка» между точками доступа                   |
| Преимущества   | Не требуют отдельных источников питания;<br>Простота и дешевизна внедрения;<br>По-новому используют существующую структуру LAN. | Простота установки.<br>Позволяют развертывать сети вне зданий.<br>Не требуют наличия инфраструктуры LAN.               |

Ещё одним важным отличием mesh-сетей от других типов беспроводных сетей является её топология. Как уже было сказано, mesh-сети имеют иерархическую структуру, и этим они являются уникальными в своём роде [6-13].

В mesh-сетях используется три уровня:

- Первый уровень – абонентские терминалы стационарного и мобильного исполнения;
- Второй уровень – беспроводные маршрутизаторы, обеспечивающие необходимую зону покрытия при требуемой скорости. Обеспечивают транспорт и маршрутизацию потоков между абонентскими устройствами и точкой входа в наземную опорную сеть;

- Третий уровень – беспроводные точки доступа, обеспечивающие соединение беспроводного сегмента с наземной опорной сетью и также маршрутизацию потоков.

Высокая мобильность mesh-сетей позволяет их использовать в специфических ситуациях, например для создания системы связи между ключевыми объектами городской инфраструктуры. Достоинства такой реализации очевидны: все мобильные объекты имеют возможность быть на связи независимо от их местоположения, скорости передвижения и т.д. А быстрое оповещение в такой сети обеспечит быстрое реагирование, а соответственно и более высокий уровень безопасности.

Рассмотрим несколько основных протоколов маршрутизации [4].

Протокол CJDNS (Caleb James DeLisle's Network Suite) поддерживает назначение адреса самим клиентом и не требует его смены при переходе в другую подсеть.

Маршрутизация в сети осуществляется автоматически. Узлы сети, работающей по протоколу CJDNS, передают между собой с применением протокола транспортного уровня UDP. Узлы mesh-сети хранят данные на основе распределённых хеш-таблиц (DHT) и для каждого узла есть обозначение на основе специального номера («Node ID»).

Узел, который хочет присоединиться к сети, обязан пройти определенную «загрузочную» процедуру (bootstrap process). Для этого узел должен знать адрес другого узла, который уже является частью mesh-сети. Если вновь подключаемый узел до этого момента ещё не входил в эту сеть, то происходит расчет случайного значения ID, которое «свободно», т.е. не принадлежит никакому узлу.

ID используется до момента выхода из сети. Все узлы обмениваются между собой информацией о маршрутизации.

Имеется возможность объединять физически удаленные сети через интернет. Работает только по протоколу IPv6. Для работы с Mesh-сетью по протоколу CJDNS не требуется установка какого-либо дополнительного программного обеспечения.

Протокол HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) является гибридным протоколом, так как поддерживает работу как в реактивном, так и в проактивном режимах маршрутизации.

Протокол HWMP самый простой и использует минимум информации. В реактивном режиме, маршрутные таблицы создаются в mesh-узлах непосредственно перед передачей (по запросу RREQ).

Перед началом передачи, узел-отправитель формирует широковещательный запрос Path Request (RREQ) ко всем соседним узлам, которые, в свою очередь вносят необходимые изменения в

поле метрики, и посылают данный запрос далее. Узел-получатель принимает пакет RREQ с уже сформировавшейся информацией о метрике всего пути, и формирует пакет подтверждения Path Reply (RREP), который отсылает отправителю. Отправитель, приняв пакет RREP, считывает информацию о метрике пути и принимает решение о начале процесса передачи.

Для каждого вновь прибывшего от данного отправителя PREQ-пакета, в том случае, когда его DSN будет больше, чем предыдущий или метрика лучшей, будет считаться как пришедший для единственно верного пути.

Если же PREQ-пакет, шедший по более короткому пути, был потерян (а для широковещательных пакетов это явление довольно частое), то путь автоматически становится длиннее, чем он есть на самом деле.

В отличие от реактивного режима, где таблица маршрутизации создаётся в момент необходимости передачи информации, проактивный режим предусматривает наличие корневого mesh-узла. Данный корневой узел рассылает широковещательные RREQ запросы, тем самым формируя дерево путей с вершиной в корневом узле.

Таким образом, на момент необходимости передачи информации, mesh-узлы уже имеют таблицу маршрутизации, что позволяет быстрее установить соединение с узлом назначения.

Корпорация Microsoft разработала свой протокол маршрутизации под названием DSR (Dynamic Source Routing) – динамическая маршрутизация от источника.

DSR является реактивным протоколом маршрутизации, основанным на алгоритме динамической маршрутизации источника. В нём маршрут устанавливается только по потребности и соответственно необходимость в поиске путей ко всем другим узлам отсутствует.

DSR очень похож на протокол HWMP, но в отличие от последнего для маршрутизации от источника до конечного адресата используется маршрутная таблица источника, а не промежуточных узлов.

Все узлы, являющиеся промежуточными могут эффективно использовать информацию из кэша маршрута, для уменьшения издержек. Недостатком протокола DSR является то, что механизм обслуживания маршрута в локальном масштабе не способен восстанавливать разорванные соединения.

Протокол DSR достаточно эффективно работает в полностью статических средах и средах с небольшой подвижностью узлов, однако его производительность стремительно ухудшается с увеличивающейся подвижностью узлов. Издержки маршрутизации напрямую зависят от длины пути и могут достигать значительных величин.

Протокол маршрутизации PWRP разработан компанией Tropos Networks для использования в mesh-сетях. Отличительной особенностью протокола Predictive Wireless Routing Protocol (PWRP) является способность эффективно работать в достаточно больших сетях без ощутимой потери пропускной способности.

Протокол PWRP является закрытым проприетарным протоколом и поэтому точных данных об особенностях его реализации нет.

Протокол FLAME (Forwarding LAYER for MESHing ) был создан в Голландском институте беспроводной и мобильной связи (Twente Institute for Wireless and Mobile Communications).

Этот протокол разрабатывался специально для применения в mesh-сетях. Протокол FLAME прозрачен для протоколов верхних уровней, т.к. он работает на уровне 2,5 модели OSI. Он полностью независим от используемой среды передачи данных.

В противоположность другим протоколам маршрутизации, FLAME не использует никаких метрик – каждый полученный пакет будет являться основанием для обновления информации об его источнике. Т.е. первый пакет, пришедший от любого узла всегда считается пришедшим по кратчайшему пути.

Этот путь и будет использоваться в дальнейшем. При этом в таблицу маршрутизации заносится интерфейс и соседний узел, через которые проходит путь к источнику пакета. Особенностью этого протокола является то, что ко всем пакетам, передаваемым по сети, добавляется специальный FLAME- заголовок.

Вывод. Применение протоколов маршрутизации определяется конкретной топологией mesh-сети. Проведенный анализ показал, что по совокупности параметров в большинстве случаев наилучшим образом для использования подходит протокол FLAME.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Винокуров В.М., Пуговкин А.В., Пшенников А.А., Ушарова Д.Н., Филатов А.С. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях, // Доклады ТУСУРа, 2010, № 2 (22), часть 1, С. 288-292.
2. Преображенский А. П. Проблемы повышения живучести сетей передачи данных / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С.116-118.
3. Преображенский Ю.П. Оценка эффективности применения системы интеллектуальной поддержки принятия решений / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.

4. Зацепин Э.С. Обзор характеристик протоколов маршрутизации в mesh-сетях / Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 10 – С. 342-345.
5. Чопоров О.Н., Чупеев А.Н., Брегеда С.Ю. Методы анализа значимости показателей при классификационном и прогностическом моделировании / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 9. С. 92-94.
6. Рыженин П. С. Характеристики локальной домашней сети / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С.136-138.
7. Завьялов Д.В. О применении информационных технологий / Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 71-72.
8. Малышев В. А. Основные проблемы научных исследований при разработке и совершенствовании технических систем / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 8-11.
9. Данилова А. В., Юрочкин А. Г. Способы оценки характеристик электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С.33-36.
10. Рыженин П. С. Преимущества нового стандарта WI-FI 802.11AC / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С.139-141.
11. Курейчик В.В., Бова В.В., Курейчик В.В. Комбинированный поиск при проектировании // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2. С. 90-94.
12. Посягин А.И. , Южаков А.А. Самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 2. С. 122-124.
13. Еналеев А.К., Цыганов В.В., Кузнецов Н.И. Разработка полигонов управления в организационных сетевых структурах / Образовательные ресурсы и технологии. 2014. № 4. С. 32-35.

M. A. Druzhinin

## THE CHARACTERISTICS OF ROUTING PROTOCOLS IN MESH NETWORKS

*Voronezh Institute of High Technologies*

*This paper discusses the characteristics of building mesh networks and their difference from the conventional Ethernet. The characteristics of the three levels of mesh networks are given. A comparative analysis of the properties of the routing protocols that used in such nets is carried out.*

**Keywords:** routing protocol, mesh-network, Internet, transmitter, receiver.