

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391+0047

Болтрук  
Александр Петрович

Маршрутизация в беспроводных сетях с быстро изменяющейся топологией

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-45 80 02 Телекоммуникационные системы  
и компьютерные сети

Научный руководитель  
к.т.н., доцент Цветков В.Ю.

Минск 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития человеческого общества характеризуется быстрым развитием информационных сетей, усложнением их структур, расширением типов и увеличением объема передаваемого трафика. Активно развивающейся в настоящий момент областью беспроводных систем передачи данных и сетей связи являются мобильные децентрализованные самоорганизующиеся сети. В отличие от фиксированной, иерархической структуры традиционных сотовых сетей связи с выделенными управляющими центрами, данные сети используют распределенные принципы управления сетью с возможностью самоорганизации и самоуправления узлов сети.

Динамически меняющаяся структура сети позволяет абонентам пользоваться сетевыми сервисами в областях, где фактически отсутствует традиционная фиксированная структура телекоммуникационных, в том числе беспроводных сетей.

Одноранговые мобильные ad-hoc сети характеризуются отсутствием четкой инфраструктуры. Каждый узел может выполнять функции маршрутизатора и принимать участие в ретрансляции пакетов данных. Помимо этого, для ad-hoc сетей, как и для любых беспроводных систем, характерны ограниченные полоса пропускания, зона радиовидимости, изменяющиеся условия распространения радиосигнала. Отдельные абонентские терминалы могут передвигаться, появляться в зоне действия сети и уходить из её влияния. Узлы сети взаимодействуют случайным образом, при этом связь между парой узлов может осуществляться через цепочку посредников. К функциям сетевых узлов относятся не только прием и обработка данных, но и прокладка маршрута внутри сети к промежуточным узлам по пути к конечному адресату.

Выделенные выше особенности MANET приводят к тому, что протоколы и технические решения, используемые в классических проводных сетях, например централизованная маршрутизация с иерархией заранее назначенных маршрутизаторов, в ad-hoc сетях оказываются неэффективными и не обеспечивают нужную производительность. Маршрутизация пакетов данных с учетом мобильности узла-отправителя, узла-приемника и транзитных узлов при масштабировании сети до нескольких сотен и тысяч абонентов в таких условиях становится чрезвычайно сложной, а задача разработки протоколов маршрутизации, быстро адаптирующихся к изменениям топологии сети и имеющих небольшие накладные расходы на поиск и поддержку маршрутов, становится одной из наиболее важных и актуальных.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Основной целью данной магистерской диссертации является разработка рекомендаций по применению протоколов маршрутизации в беспроводных сетях с быстро изменяющейся топологией. В ходе выполнения работы была построена работающая модель сети, проведен ряд экспериментов при различных условиях функционирования сети, выявление влияния различных внешних факторов на эффективность работы исследуемых протоколов маршрутизации и сформированы рекомендации по их применению. Рассмотрены основные виды атак и методы защиты информации.

В первой главе рассмотрены различные виды беспроводных децентрализованных самоорганизующихся сетей. Описаны технологии используемые для их организации, основные виды, классификация, особенности, из-за которых они получили применение в различных отраслях. В работе были подробно рассмотрены MANET (Mobile Ad Hoc Network) – беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств движущихся с большой скоростью в соответствии с выбранной моделью движения.

Так как ряд особенностей рассматриваемых сетей приводят к тому, что протоколы и технические решения, используемые в классических проводных сетях, оказываются неэффективными и не обеспечивают нужную производительность, то во второй главе подробно рассмотрены требования, классификация и основные подходы к маршрутизации в MANET сетях. Подробно рассмотрены реактивные и проактивные методы маршрутизации.

В третьей главе на основании проведенных исследований построена модель сети в симуляторе NS-3. Выбрана подходящая модель мобильности узлов сети и начальные условия. Рассмотрены модели исследуемых протоколов маршрутизации. Разработаны методики расчета и сопоставления основных параметров качества обслуживания трафика.

В четвертой главе рассмотрены результаты проведенных экспериментов. Показаны графики зависимости основных параметров качества обслуживания трафика от условий функционирования сети и выбранного протокола маршрутизации. Сформированы рекомендации по выбору подходящего протокола маршрутизации в зависимости от условий работы сети.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Активно развивающейся в настоящий момент областью беспроводных систем передачи данных и сетей связи являются MANET – мобильные самоорганизующиеся сети (Mobile Ad-hoc NETWORKS). Вот отличие от фиксированной, иерархической структуры традиционных сотовых сетей связи с выделенными управляющими центрами, MANET используют распределенные принципы управления сетью с возможностью самоорганизации и самоуправления узлов сети.

Динамически меняющаяся структура MANET позволяет абонентам пользоваться сетевыми сервисами в областях, где фактически отсутствует традиционная фиксированная структура телекоммуникационных, в том числе беспроводных сетей.

К функциям сетевых узлов относятся не только прием и обработка данных, но и прокладка маршрута внутри сети к промежуточным узлам по пути к конечному адресату. Выделенные выше особенности MANET приводят к тому, что протоколы и решения, используемые в классических проводных сетях, например централизованная маршрутизация с иерархией заранее назначенных маршрутизаторов, в ad-hoc сетях оказываются неэффективными и не обеспечивают нужную производительность. Маршрутизация пакетов данных с учетом мобильности узла-отправителя, узла-приемника и транзитных узлов при масштабировании сети до нескольких сотен и тысяч абонентов в таких условиях становится чрезвычайно сложной, а задача разработки протоколов маршрутизации, быстро адаптирующихся к изменениям топологии сети и имеющих небольшие накладные расходы на поиск и поддержку маршрутов, становится одной из наиболее важных и актуальных.

Протоколы маршрутизации мобильных самоорганизующихся (ad-hoc) сетей можно подразделить на следующие основные группы: протоколы с проактивной маршрутизацией, протоколы с реактивной маршрутизацией, гибридные протоколы, протоколы, использующие данные о географическом положении узлов.

Проактивные протоколы предполагают наличие на каждом узле таблиц маршрутизации, где указаны маршруты, которые позволяют достичь любого абонента сети. В данном классе протоколов узлы осуществляют периодический обмен управляющими сообщениями с целью поддержки целостности и достоверности информации о структуре сети. Использование проактивных протоколов приводит к быстрому росту загрузки сети и энергозатрат каждого узла при увеличении подвижности и количества узлов.

В протоколах реактивной группы узел ищет путь к пункту назначения только при необходимости доставки пакета. Для установления связи узел может использовать существующий маршрут, либо создать новый маршрут, используя информацию о доступных каналах. Недостатком данной группы протоколов является рост задержек на поиск первичного маршрута при увеличении подвижности и количества узлов.

Гибридные протоколы сочетают в себе подходы проактивных и реактивных протоколов на разных уровнях иерархии, определяя помимо метода поиска маршрута и метод разбиения сети на иерархические структуры или домены. Недостатком гибридных протоколов является относительная сложность реализации и снижение эффективности маршрутизации, связанные с необходимостью разбиения структуры сети на кластеры.

Для успешного применения в ad-hoc сетях протоколы маршрутизации должны обладать следующими качествами:

- Быть распределенными. Все узлы сети должны быть способны осуществлять маршрутизацию и не иметь жестко закрепленных за собой функций.

- Обеспечивать надежную доставку пакетов в условиях постоянно изменяющейся топологии сети, когда использование классических механизмов гарантированной доставки, как, например, на транспортном уровне в протоколе TSP, затруднено.

- Обеспечивать малое время построения маршрута в условиях постоянно изменяющейся топологии сети.

- Обладать механизмами оперативного обнаружения разрыва маршрута и его восстановления.

- Не допускать образования циклов в маршрутах.

- Рассылать при функционировании как можно меньший объем служебной информации.

- Обладать высокой масштабируемостью.

- Поддерживать требуемый уровень качества связи (QoS).

В рамках магистерской диссертации рассматриваются наиболее распространенные протоколы маршрутизации, предназначенные для использования в MANET:

1. AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector). Реактивный протокол маршрутизации, разработанный для использования в сетях различного размера. Протокол описан в документе «IETF Request for Comments 3561». Протокол AODV устанавливает маршрут до адресата по требованию. Как следует из названия, для вычисления маршрутов используется дистанционно-векторный алгоритм маршрутизации. В AODV с помощью применения порядковых номеров при обновлениях маршрута исключена возможность возникновения

проблемы «счета до бесконечности», присущая другим протоколам, использующим этот алгоритм маршрутизации.

2. DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector). Протокол, основанный на идее классического алгоритма маршрутизации Беллмана-Форда с некоторыми улучшениями. DSDV проактивный, дистанционно - векторный алгоритм. Каждый узел поддерживает таблицу маршрутизации, в которой перечислены все доступные направления, количество маршрутизаторов до конечного пункта и номер версии. Протокол основан на поддержании и периодическом обновлении каждым узлом таблиц маршрутизации для всех возможных направлений в сети и количества переходов к каждому пункту назначения.

3. OLSR (Optimized Link-State Routing). Проактивный протокол. Отличается концепцией многоточечных ретрансляторов, которая оптимизирует процесс широковещательной рассылки, значительно сокращая объемы рассылаемой информации. Протокол OLSR, использующий обмен сообщениями приветствия и контроля для получения информации о топологии сети. Узлы используют эту информацию для определения следующего пункта пересылки в пути маршрутизируемого пакета. Является одним из наиболее популярных протоколов, которые используются для маршрутизации в беспроводных сетях MANET.

Атаки, направленные на протоколы маршрутизации, можно классифицировать как внешние и внутренние, пассивные и активные. Основными идеями при организации атак являются следующие: перенаправление маршрутов и трафика, заикливание маршрутов, создание перегрузки в узлах сети, переполнение маршрутных таблиц, имитация разделения сети на отдельные подсети, увеличение времени доставки сообщений. Все они в своей основе используют уязвимости протоколов маршрутизации. Защита от внешних атак включает шифрование передаваемой маршрутной информации и обеспечение различных сервисов безопасности. Возможные способы защиты от внутренних атак (при наличии в сети скомпрометированных узлов) предполагают: разделение информации на части и их передача по независимым маршрутам, обнаружение скомпрометированных узлов и исключение их из процесса маршрутизации за счет применения узлами систем обнаружения вторжения. Одной из причин сложности организации безопасности MANET сетей является мобильность их узлов. Однако, мобильность может сыграть и положительную роль при обеспечении безопасности сети. Предлагается использовать паттерны мобильности для формирования статуса доверия к узлу.

Для проведения экспериментов был использован сетевой симулятор с открытым кодом NS-3. Для исследований выбрана модель мобильности на основе случайных маршрутных точек (Random Waypoint Mobility Model).

Была проведена серия экспериментов при различных внешних факторах. Изменялось количество узлов сети, размер территории по которой передвигаются мобильные узлы, битовая скорость передачи информации. Во время проведения симуляций рассчитывались основные параметры оценки качества обслуживания трафика. На их основе были построены графики их зависимостей от используемого протокола и условий функционирования. Поскольку рассматривается вариант построения сети в условиях повышенной мобильности пользователей то возможна ситуация снижения уровня радиосигнала при значительном удалении узлов друг от друга. При ухудшении условий приема узлы снижают скорость связи для обеспечения минимального уровня помех, что негативно сказывается на общей скорости передачи данных. Однако возможен вариант появления промежуточного узла связи, который находится в оптимальных условиях приема для обоих узлов, и при использовании его в качестве промежуточного, общая скорость передачи может возрасти.

Создать реальную высокоскоростную децентрализованную радиосеть с динамически меняющейся топологией типа MANET можно с использованием технологии WiFi, но она будет иметь недостатки при условии большой плотности узлов сети. Это обусловлено технологией CSMA/CA используемой в данном стандарте.

Рассмотренные серии экспериментов показали, что среди исследуемых протоколов нет идеального решения, эффективно работающего во всех сетях MANET с быстро изменяющейся топологией. При выборе протокола следует учитывать различные параметры сети. Большое влияние на эффективность каждого протокола и метода маршрутизации влияют скорость передачи данных, уровень помех, ожидаемая скорость перемещения, количество узлов сети и их плотность. Исследование показало, что при большой скорости передачи, все рассмотренные протоколы не могут обеспечить высокого качества обслуживания.

Протокол AODV является реактивным протоколом. При малоподвижной или стационарной сети при низкой нагрузке на сеть реактивный метод распространения информации приводит к меньшей недоступности узлов сети, чем проактивный. Это объясняется тем, что качество соединений может меняться со временем, более того, соединения между соседними станциями могут открываться и закрываться, что приводит к отказам маршрутов. Причиной изменения качества соединений являются коллизии, вызванные эффектом скрытых станций, вред от которого тем выше, чем больше нагрузка

на сеть. При низком числе потоков реактивный метод распространения сетевой информации сразу же исправляет отказавший маршрут, в то время как проактивный метод исправляет маршруты со значительной задержкой. В сетях с быстро изменяющейся топологией, протокол AODV допустимо использовать только при малом количестве узлов сети и их низкой плотности.

Проактивные протоколы были представлены DSDV и OLSR.

Одной из особенностей протокола DSDV является то, что всякий раз, когда изменяется топология сети, создается новый порядковый номер для версии маршрутной информации. При очень динамичных сетях, возможно переполнение данного параметра, т.е. DSDV не подходит для сетей с быстро изменяющейся топологией. При использовании этого протокола были зафиксированы большие задержки в передачи пакетов и значительная нагрузка на сеть в виде служебной информации производимой протоколом. Однако как показало исследование, при больших скоростях передачи данных и большом количестве узлов сети, этот протокол может обеспечить относительно высокий коэффициент доставленных пакетов.

Лучшие результаты показал протокол OLSR. Показатели качества обслуживания трафика при использовании этого протокола были наиболее стабильными. Из всех исследованных протоколов в большинстве экспериментов наименьшая средняя задержка доставки пакетов и наибольший коэффициент доставленных пакетов демонстрировал протокол OLSR. Также при использовании этого протокола, количество служебной сетевой информации не зависит от количества узлов, что является преимуществом при большом количестве узлов сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения магистерской диссертации была поставлена цель – формирование рекомендаций по применению протоколов маршрутизации в беспроводных сетях с быстро изменяющейся топологией. Для достижения этой цели были проработаны следующие задачи:

- изучение наиболее популярных методологий и подходов к построению децентрализованных беспроводных сетей;
- изучение особенностей маршрутизации в сетях с быстро изменяющейся топологией;
- создание модели MANET сети в симуляторе NS-3;
- определение объективных критериев оценки выбранных протоколов маршрутизации;
- проведение экспериментов при различных условиях функционирования сети;
- проведение сравнительной оценки изученных методов маршрутизации;
- разработка рекомендаций по применению рассмотренных протоколов.

Были изучены следующие наиболее популярные протоколы и подходы к управлению процессом маршрутизации:

- Optimized Link-State Routing (OLSR);
- Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV);
- Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV).

Далее были выработаны следующие критерии оценки выбранных методологий управления:

- средняя пропускная способность (Average Throughput);
- среднее время задержки передачи сообщений (Average Delay);
- средний коэффициент доставленных пакетов (average packet delivery ratio, PDR);
- средний коэффициент потерянных пакетов (packet loss ratio, PLR).

После проведения симуляций с различными условиями работы сети были получены результаты по всем разработанным критериям сравнения, произведен их комплексный анализ относительно исследуемых протоколов маршрутизации. На основе проведенного анализа были выработаны конкретные рекомендации по применению рассмотренных методов маршрутизации в зависимости от условий функционирования сети.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

1. Болтрук А.П. Протоколы маршрутизации беспроводных сетей /А.П. Болтрук, В.Ю. Цветков // Мат. 49-я науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, май 2013 г.)– Мн.: БГУИР, 2013

2. Болтрук А.П. Анализ уязвимостей мобильных самоорганизующихся сетей на сетевом уровне // А.П. Болтрук, В.Ю. Цветков, А.А. Подлущкий, К.С.Ш. Аль-Саффар //XI Белорусско-российская научно-техн. конф. “Технические средства защиты информации” (5 – 6 июня 2013 г., Минск) – Минск: БГУИР, 2013. – с. 45

Библиотека БГУИР