

# ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ НА QoS В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ ПРИ САМОПОДОБНОЙ НАГРУЗКЕ

**Л.О. Кириченко**

Кандидат технических наук, доцент\*  
Контактный тел.: (057) 702-14-36  
E-mail: kudmila.kirichenko@gmail.com

**Т.А. Радивилова**

Кандидат технических наук, старший преподаватель  
Кафедра телекоммуникационных систем\*\*  
Контактный тел.: (057) 702-16-40  
E-mail: tomachka\_7@yahoo.com

**Э. Кайали**

Аспирант\*  
\*Кафедра прикладной математики\*\*  
Контактный тел.: (057) 702-14-36  
\*\*Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

*У роботі за допомогою імітаційного моделювання проведено дослідження впливу статичних і динамічних методів маршрутизації на якість обслуговування в мультисервісних мережах зв'язку при вхідному самоподібному та пуассонівському трафіку*

*Ключові слова: маршрутизація, телекомунікаційні системи, самоподоба, якість обслуговування*

*В работе с помощью имитационного моделирования проведено исследование влияния статических и динамических методов маршрутизации на качество обслуживания в мультисервисных сетях связи при входном самоподобном и пуассоновском трафике*

*Ключевые слова: маршрутизация, телекоммуникационные системы, самоподобие, качество обслуживания*

*In this paper we use simulation studied the effect of static and dynamic routing methods on the quality of service in multiservice communication networks with an input self-similar and Poisson traffic*

*Key words: routing, telecommunication systems, self-similarity, quality of service*

## Введение и актуальность

С развитием телекоммуникационных технологий выбор применяемых методов и протоколов маршрутизации не потерял своей актуальности. Особенно актуальным является изучение влияния методов маршрутизации на качество обслуживания в мультисервисных сетях связи, функционирующих в условиях самоподобного трафика. Причина самоподобия заключается в особенностях распределения файлов по серверам, их размерах, а также в типичном поведении пользователей. Оказалось, что изначально не проявляющие свойств самоподобия потоки данных, пройдя обработку на узловых серверах и активных сетевых элементах, начинают подавать ярко выраженные признаки самоподобия. Самоподобный трафик имеет особую структуру, сохраняющуюся на многих масштабах – в реализации всегда присутствует некоторое количество очень больших выбросов при относительно небольшом среднем уровне трафика. Эти выбросы вызывают

значительные задержки и потери пакетов, даже когда суммарная потребность всех потоков далека от максимально допустимых значений [1]. Если не принять мер по ограничению поступающего трафика, очереди на наиболее нагруженных линиях будут неограниченно расти и, в конце концов, превысят размеры буферов в соответствующих узлах. Таким образом, пакеты, вновь поступающие в узлы, у которых нет свободного места в буфере, будут сброшены и должны будут передаваться повторно, что приводит к нерациональной трате ресурсов сети [1-3]. Очевидно, что для повышения качества сети необходимо снижение числа потерянных пакетов до минимально возможного уровня [3-4].

## Цель работы

В настоящее время не существует методов маршрутизации, которые адаптированы к характерным особенностям самоподобного трафика [2-5]. Одним из

путей решения этой проблемы является исследование существующих методов маршрутизации в симуляционных пакетах при заданной самоподобной нагрузке. В данной работе были исследованы методы статической маршрутизации и динамической: протоколы дистанционно-векторный и состояния канала. Для сравнения работы протоколов на вход сети подавался пуассоновский и самоподобный потоки и сравнивались показатели качества обслуживания сети.

Одним из наиболее популярных симуляторов является ns2, который позволяет оценить производительность проектируемой или существующей сети, предоставляет данные, помогающие выработать рекомендации для повышения эффективности работы сети, выявить узкие места и спрогнозировать ее дальнейшее развитие. Доступность и гибкость позволяют успешно использовать ns2 для изучения механизма работы сетевых протоколов, протоколов маршрутизации и дисциплин обслуживания очередей, знакомства с основами моделирования вычислительных сетей, исследования и сравнения различных сетевых топологий. [4].

**Виды маршрутизации** [5-8]. При *статической маршрутизации* записи в таблице вводятся и изменяются вручную. Такой способ требует вмешательства администратора каждый раз, когда происходят изменения в топологии сети. С другой стороны, он является наиболее стабильным и требующим минимума аппаратных ресурсов маршрутизатора для обслуживания таблицы.

При *динамической маршрутизации* записи в таблице обновляются автоматически при помощи одного или нескольких протоколов маршрутизации. Кроме того, маршрутизатор строит таблицу оптимальных путей к сетям назначения на основе различных критериев - количества промежуточных узлов, пропускной способности каналов, задержки передачи данных и т. п. Критерии вычисления оптимальных маршрутов чаще всего зависят от протокола маршрутизации, а также задаются конфигурацией маршрутизатора. Такой способ построения таблицы позволяет автоматически держать таблицу маршрутизации в актуальном состоянии и вычислять оптимальные маршруты на основе текущей топологии сети. Однако динамическая маршрутизация оказывает дополнительную нагрузку на устройства, а высокая нестабильность сети может приводить к ситуациям, когда маршрутизаторы не успевают синхронизировать свои таблицы, что приводит к противоречивым сведениям о топологии сети в различных её частях и потере передаваемых данных.

Использовать динамические таблицы маршрутизации гораздо выгоднее, потому что системному администратору не надо каждый раз самому править таблицы. Кроме того, при динамическом перестроении таблиц маршрутизации быстрее происходит настройка сети при отключении одного из каналов.

**Сравнительный анализ классов динамической маршрутизации.** При большом количестве роутеров необходимо согласовывать их работу, т.е. согласовывать таблицы маршрутизации и сообщать о неполадках того или иного канала, чтобы роутеры, при решении задачи маршрутизации, учитывали эти особенности и не посылали пакеты по заведомо неправильному пути. Для решения этих задач были разработаны протоколы маршрутизации, которые можно поделить на классы:

протоколы типа «вектор-расстояние» и протоколы типа «состояние канала».

Рассмотрим основные идеи их реализации на примере протоколов-представителей этих классов.

I. Представителем первого класса (*вектор-расстояние*) является протокол RIP (Routing Information Protocol).

Он является наиболее часто используемым протоколом (в основном из-за того, что он был включен в стандартную поставку популярной ОС BSD UNIX 4.x). Идея его такова:

Каждый маршрутизатор сообщает своим соседям о видимых им сетях, пересылая им свою таблицу маршрутизации. В таблицах "лучшие" маршруты идут первыми. "Лучшим" маршрутом считается не наискорейший маршрут, а содержащий наименьшее количество хопов. Тем самым совсем не учитывается пропускная способность каналов, которая влияет на скорость передачи данных. Для преодоления данной проблемы в таблицы маршрутизации добавляют веса дуг(каналов), которые обратно пропорциональны пропускной способности канала. При формировании маршрута данные веса суммируются, и лучшим маршрутом будет считаться тот, у которого сумма весов является наименьшей.

Данный протокол обладает рядом недостатков:

- не предусмотрена защита от циклических маршрутов. Поэтому системный администратор должен проверить их отсутствие в таблицах;

- максимальное количество хопов в маршруте 15, что делает его непригодным для применения в больших сетях и большим количеством роутеров;

- протокол обладает таким свойством как медленная конвергенция (медленное перестроение таблиц маршрутизации на роутерах при изменении топологии сети). Это связано с тем, что роутеры пересылают всю таблицу маршрутизации, и перед сеансами связи есть некоторые промежутки времени. Из-за них как раз и может возникнуть такая ситуация, что далеко расположенные роутеры будут пересылать пакеты по маршруту, в который входит отключенный канал. (Чтобы уменьшить время перестроения таблиц, число хопов было ограничено пятнадцатью).

- RIP может направить трафик через медленное соединение при наличии свободного волоконно-оптического канала - главное, чтобы транзитных узлов было поменьше. Единственный способ заставить RIP при определении маршрута отдавать предпочтение быстрым каналам - это назначить медленным линиям большую метрику вручную.

II. Представителем второго класса (*состояние канала*) является протокол OSPF (Open Shortest Path First).

В отличие от RIP этот протокол пересылает не всю таблицу маршрутизации, а лишь маленькие сообщения о состоянии близлежащих каналов. Роутеры, получая сообщения об изменении топологии сети, перестраивают хранящуюся у них базу данных с топологией сети. При прохождении пакета через роутер для него выбирается наискорейший маршрут в соответствии с хранимой базой данных. Используя этот протокол для синхронизации, сеть не так нагружена системным трафиком. Протоколом OSPF предусмотрена полезная возможность вычисления отдельного набора маршрутов для каждого значения поля "тип сервиса"

в заголовке протокола IP. До создания OSPF ни один протокол не использовал значение этого поля.

Протокол OSPF обладает рядом недостатков. Например, в большой сети (около сотни роутеров) изменение топологии сети повлечет за собой порождение тысяч сообщений LSA о внесенных изменениях.

Узким местом OSPF является необходимость обязательной синхронизации баз данных всех маршрутизаторов в пределах автономной системы. Если разные узлы будут по-разному представлять себе топологию сети, с которой они работают, то это приведет к образованию петель и к другим проблемам.

Стоит отметить, что протоколы состояния канала очень требовательны к ресурсам маршрутизаторов. Злоупотребление богатыми возможностями OSPF быстро приведет к переполнению памяти и сбоям при вычислениях маршрутов.

**Сложность сообщений.** Алгоритм OSPF требует от каждого узла знания стоимости каждой линии сети. Кроме того, каждый раз, когда стоимость линии изменяется, об этом следует известить все узлы. RIP требует обмена сообщениями только между напрямую соединенными узлами на каждой итерации. Время, необходимое для схождения алгоритма, может зависеть от многих факторов. Когда изменяется стоимость линии, RIP распространяет результаты только в том случае, если это изменение приводит к изменению пути с наименьшей стоимостью для одного из узлов, присоединенного к этой линии.

**Живучесть.** В алгоритме OSPF маршрутизатор может передать всем остальным маршрутизаторам неверные сведения о стоимости одной из присоединенных к нему линий. Узел может также повредить или потерять один из широкоэмитивных пакетов LS-алгоритма, который он получил. Но узел рассчитывает только собственную таблицу продвижения данных. Остальные узлы сами вычисляют свои таблицы. Это означает, что в алгоритме OSPF расчеты маршрутов выполняются в значительной степени раздельно, что предоставляет определенную степень живучести. В случае работы алгоритма RIP узел может передать другим узлам неверно сосчитанные им значения минимальной стоимости путей. В алгоритме RIP на каждой итерации результаты вычислений узла непосредственно передаются соседнему узлу, а затем на следующей итерации они попадают к соседу соседа и т. д. Таким образом, в алгоритме RIP некорректно вычисленные данные могут распространиться по всей сети.

---

#### Результаты исследований: сравнение показателей качества обслуживания сети для разных алгоритмов маршрутизации при пуассоновском и самоподобном входном трафике

---

В работе рассмотрена система связи, состоящая из локальных подсетей, объединенных между собой коммутаторами, которые для выхода в Интернет подключаются к главному маршрутизатору H. Маршрутизаторы связываются линией связи с пропускной способностью 100 Мб/с. На выходе в Интернет главного маршрутизатора пропускная способность 1 Гб/с. На вход системы (на маршрутизаторы A, B, I, K) подавалась нагрузка, являющаяся как пуассоновским про-

цессом, так и самоподобным случайным процессом. В системе IP-пакеты поступали на порты центрального маршрутизатора. Согласно таблице маршрутизации они коммутировались через порт с наилучшей метрикой маршрута. Таблица маршрутизации создавалась на основе входных тестовых данных, которые фактически задавали топологию сети, состоящую из аналогичных маршрутизаторов. В результате работы блока оптимизации таблицы маршрутизации в памяти маршрутизатора создается дерево минимальных путей.

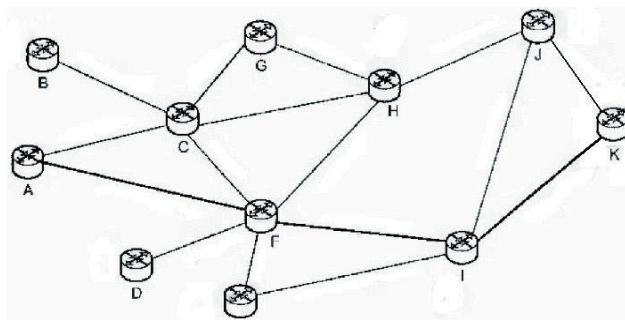


Рис. 1. Исследуемая сеть

Для данной системы связи проведено исследование влияния методов маршрутизации (статического и динамических RIP и OSPF) на качество обслуживания в мультисервисных сетях с целью выбора оптимального метода маршрутизации. Характеристики работы сети снимались в течении 400 сек. после построения таблиц маршрутизации и конвергенции алгоритмов.

При работе компьютерной сети характеристики качества обслуживания периодически ухудшаются, что связано с всплесками трафика. Так, после всплеска передаваемых данных, количество потерянных пакетов увеличивается, пока не очистятся буферы путем включения функций управления трафиком. Количество служебных сообщений протоколов RIP и OSPF при пуассоновском и самоподобном входном трафике существенно отличаются. При самоподобном входном трафике количество служебных сообщений возрастает. Вероятно, это связано с пачечностью самоподобного потока, а также его всплесками.

В ходе имитационного моделирования были выявлены достоинства и недостатки рассмотренных протоколов и методов, функционирующих в условиях самоподобного и пуассоновского трафика, определяемые следующими характеристиками: реакцией на изменение топологии системы, скоростью реакции определения метрики пути и пересчитывания таблиц маршрутизации, отказоустойчивостью методов при пиковой нагрузке.

Ниже представлена динамика основных показателей качества обслуживания: количества потерянных пакетов, среднего времени доставки пакетов и их задержки, полученных в результате моделирования работы сети с помощью симулятора ns2. В данном случае параметр самоподобия  $H=0.8$ .

На рис. 2 приведена динамика потерянных пакетов при пуассоновском и самоподобном входном трафике. Очевидно, что количество потерянных данных при самоподобной нагрузке возрастает практически на порядок. В случае входного пуассоновского трафика максимальные потери происходят при статической

маршрутизации, а лучшим является протокол RIP. В то время как для самоподобного входного трафика протокол RIP является худшим.

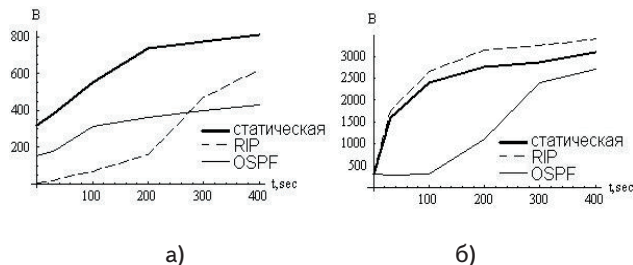


Рис. 2. Количество потерянных пакетов: а) при пуассоновском входном трафике; б) при самоподобном входном трафике

На рис. 3 показана динамика среднего времени доставки пакетов. В обоих случаях минимальное время доставки обеспечивает протокол OSPF. Наибольшее время доставки для пуассоновской нагрузки возникает при использовании протокола RIP, а для самоподобной нагрузки при статической маршрутизации. Нужно отметить, что время задержки для самоподобного трафика в среднем в полтора раза больше, чем для пуассоновского, поскольку из-за разнообразия пакетов и их длины изменяется время их обслуживания. Также при самоподобном трафике время естественно возрастает из-за пачечности пакетов.

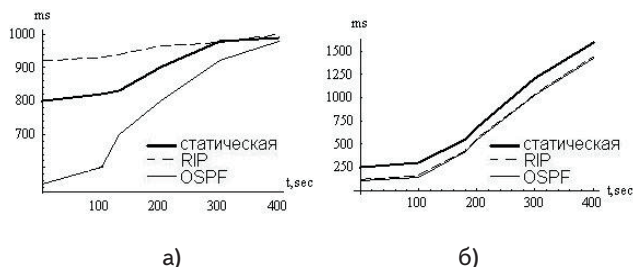


Рис. 3. Среднее время доставки пакетов а) при пуассоновском входном трафике; б) при самоподобном входном трафике

На рис. 4 представлено изменение времени задержки пакетов. И в случае самоподобной, и в случае пуассоновской нагрузки минимальное время задержки обеспечивает протокол OSPF, а наибольшее время задержки возникает при статической маршрутизации. Нужно отметить, что время задержки для самоподобного трафика в среднем вдвое больше, чем для пуассоновского.

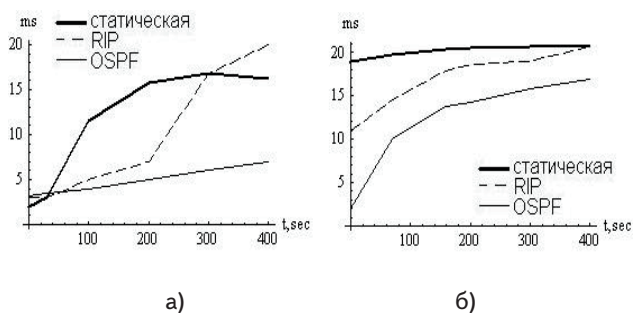


Рис. 4. Среднее время задержки пакетов а) при пуассоновском входном трафике; б) при самоподобном входном трафике

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Учитывая самоподобные свойства реального сетевого трафика, можно сделать вывод, что использование протокола OSPF, особенно при разделении входного потока по протоколам данных, является оптимальным решением. Это связано с возможностью данного протокола проверять пропускную способность каналов и передавать трафик по менее загруженным каналам, что позволяет его сглаживать.

Протокол OSPF является лучшим по многим показателям качества обслуживания сети, но в малой сети его использование нецелесообразно, так как необходимы ресурсоемкие маршрутизаторы и глубокие знания компьютерных систем администратора сети. Протокол RIP в небольших сетях (до 16 узлов связи) является наиболее используемым и экономически выгодным. В больших сетях, либо в сетях с часто изменяемой топологией, протокол OSPF является лучшим выбором. Если сеть является небольшой, но с часто изменяемой топологией, то решение по использованию протокола остается за руководителями предприятий, в которых функционируют данные сети.

Для совмещения достоинств разных протоколов можно сконфигурировать маршрутизатор так, что он будет исполнять несколько протоколов маршрутизации и перераспределять информацию о маршрутах между ними (механизм перераспределения - redistribution). Изучение характеристик качества обслуживания данных при такой настройке маршрутизатора является интересным и актуальным для дальнейших исследований.

### Литература

1. Столингс В. Современные компьютерные сети / В. Столингс // СПб.: Питер, 2003.- 783 с.
2. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневикий // М.: Техносфера, 2003. - 512 с.
3. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Ш. Вегешна // Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
4. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый // М.: Наука и Техника, 2004. – 336 с.
5. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский., Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский // М.: Эко-Трендз, 2003. – 384 с.
6. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка / Х. Остерлох // С.Пб.: BHV-С.Пб., 2002. – 512 с.
7. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд./ В.Г. Олифер, Н.А. Олифер // СПб: Питер, 2005. – 864 с.
8. Хелеби С. Принципы маршрутизации в Internet. 2-е издание / С. Хелеби, Д. Мак-Ферсон // Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 448 с.