

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА СЕТЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ В ХОДЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ

Введение

Основным источником повышения эффективности решения задач маршрутизации традиционно является пересмотр математических моделей и методов, положенных в основу того или иного маршрутизирующего протокола [1, 2]. Однако, несмотря на то, что в математических пакетах предлагаемая модель (метод) может давать существенный прирост основных показателей качества обслуживания (QoS, Quality of Service) [3], на практике ситуация может оказаться противоположной ввиду особенностей протокольной реализации предлагаемых маршрутных решений. В этой связи важным моментом при исследовании вновь предложенных математических моделей и методов маршрутизации является этап проверки адекватности самой модели и оценки достоверности получаемых на ее основе результатов решения. Результат решения маршрутных задач в рамках той или иной модели, как правило, представлен множеством рассчитанных путей и порядком распределения по ним сетевого трафика.

Нередко проверка адекватности производится с использованием универсальных средств аналитического и имитационного моделирования – MatLab, MathCad, Maple, Mathematica и др.; специализированных пакетов моделирования функционирования телекоммуникационной сети (ТКС) в целом или отдельных ее процессов – NS (Network Simulator), OMNeT++, TOTEM (TOolbox for Traffic Engineering Methods), EQRS (Extended QoS-based Routing Simulator) и MaRS (Maryland Routing Simulator). Однако наиболее точные результаты исследования можно получить лишь в ходе проведения натурального эксперимента с использованием реального сетевого оборудования.

Важно отметить, что реализовать на практике результат решения задач маршрутизации, полученный в рамках той или иной модели или метода на реальном сетевом оборудовании – задача непростая ввиду сложности модификации операционной системы (IOS) маршрутизаторов сети, связанной с изменением того или иного поддерживаемого протокола маршрутизации. В этой связи в настоящей статье предложен подход к анализу математических моделей и методов маршрутизации на сетевом оборудовании путем эмуляции полученных результатов решения маршрутных задач с помощью дополнительной настройки и конфигурации реально используемого маршрутизирующего протокола.

Методика проведение эксперимента

Эксперимент проводился на базе лаборатории систем распределения информации кафедры телекоммуникационных систем (ТКС) Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ). На разных стадиях разработки методики и проведения самого эксперимента участвовали сотрудники кафедры проф. Лемешко А.В., доц. Андрушко Д.В., студ. Саенко В.А., асс. Симоненко Д.В. и аспирант Андрушко Ю.В.

Основными целями проведения эксперимента были:

- эмуляции полученных результатов решения маршрутных задач с помощью дополнительной настройки и конфигурации реально используемого маршрутизирующего протокола;
- оценка сквозных показателей качества обслуживания, получаемых в рамках той или иной модели (метода, протокола) маршрутизации с целью их последующего сравнения.

Для достижения поставленных целей в ходе исследования решались *следующие задачи:*

- генерация с заданными характеристиками абонентской нагрузки на сеть;
- обоснованный выбор маршрутизирующего протокола для эмуляции решений, получаемых в рамках исследуемых моделей (методов) маршрутизации;
- снятие и анализ статистики, касающейся порядка распределения трафика в сети.

В [4, 5] приведено обоснование выбора в качестве средства нагрузочного тестирования пакета IxChariot 6.7, разработанного компанией Ixia. В рамках данного пакета заложена возможность задавать и изменять число трафиков, поступающих в сеть, их интенсивность, приоритет и т.д. Кроме того, с его помощью можно отслеживать динамику основных показателей QoS – скорости передачи пакетов, их средней задержки и джиттера, а также потерь пакетов. Кроме того, с целью контроля результатов, полученных с помощью пакета IxChariot, задействовались возможности пакета D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator), представляющего собой платформу, способную также генерировать трафик с различными видами распределения нагрузки (экспоненциальное, равномерное, Коши, нормальное, Парето и т.д.) и оценивать значения основных показателей QoS.

Непосредственно структура исследуемой сети собиралась на базе модульных маршрутизаторов Cisco Systems C2801, кабеля стандарта V.35 для эмулирования WAN соединения, компьютеров, используемых в качестве конечных станций, подключенных к маршрутизаторам по технологии Fast Ethernet [4]. Базовым протоколом маршрутизации для эмуляции решений, полученных в рамках той или иной модели маршрутизации, был выбран протокол EIGRP, так как именно данный протокол обладает всеми необходимыми функциональными возможностями. Протокол динамической маршрутизации EIGRP является гибридным протоколом, который вобрал в себя преимущества дистанционно-векторных протоколов и протоколов состояния канала. Требуемая балансировка нагрузки по каналам передачи, предварительно рассчитанная с помощью предложенной или сравниваемых моделей маршрутизации, была достигнута с использованием протокола EIGRP путем адаптивной подстройки метрики каналов за счет соответствующего изменения их логической пропускной способности. При настройке последовательных интерфейсов на маршрутизаторах устанавливалась частота синхронизации (clock rate), которая обеспечивала заданную физическую скорость передачи пакетов в канале.

Например, на рис. 1 представлены схемы балансировки трафика для различных моделей и протоколов маршрутизации.

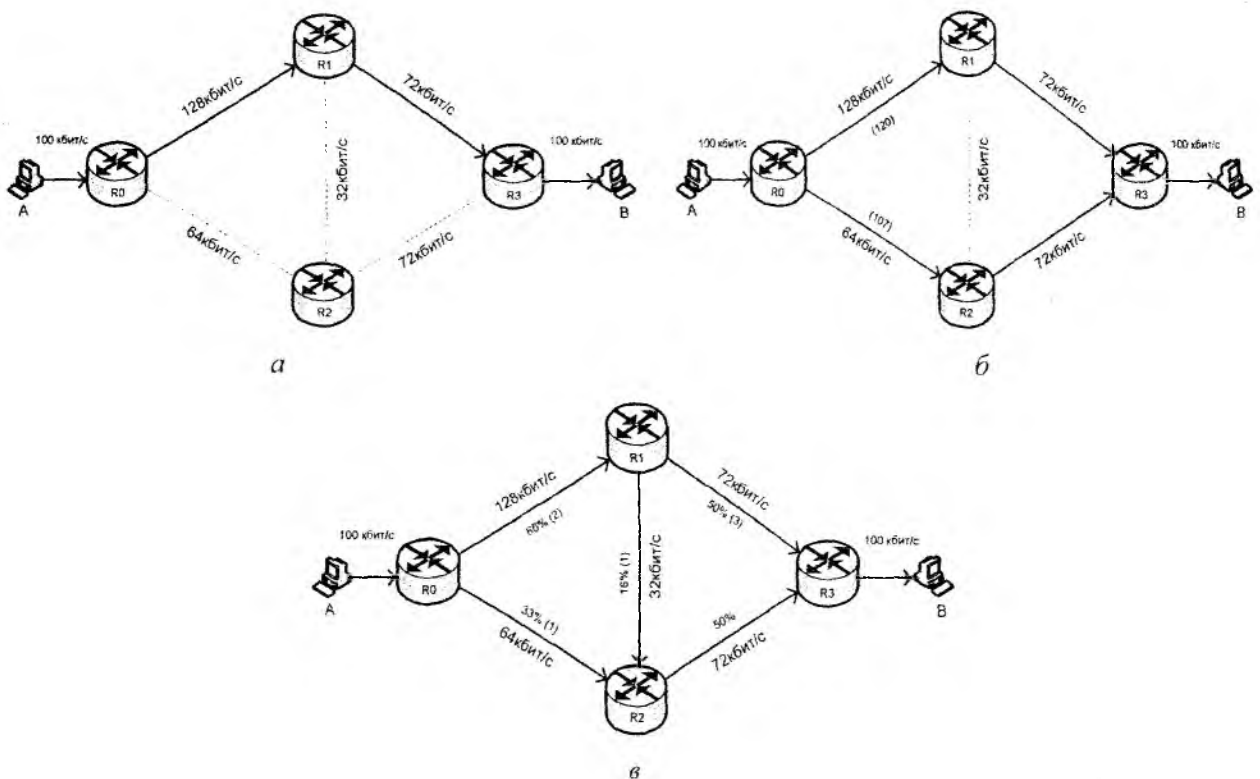


Рис. 1

Согласно рис. 1 трафик интенсивностью 100 *кбит/с* передавался между терминалами А и В. Вдоль трактов передачи сети указаны их пропускные способности (например, 128 *кбит/с*). Так, на рис. 1, а представлен порядок распределения трафика при использовании протокола EIGRP без включения балансировки, основанный на использовании лишь одного пути R0-R1-R3 с наименьшей метрикой к удаленной сети, в которой находится узел-получатель В.

На рис. 1, б представлен порядок распределения трафика по протоколу EIGRP с включенной балансировкой нагрузки. Для приведенных на схемах (рис. 1) пропускных способностях сети алгоритм Diffusing Update Algorithm (DUAL) определил распределение пакетов по двум путям и трактам передачи: R0-R1 – 120 пакетов, R0-R2 – 107 пакетов. В результате работы модели Traffic Engineering (TE) [5] обеспечивалась по пакетной балансировка трафика средствами протокола EIGRP (рис. 1, в): R0-R1 – 2 пакета, R0-R2 – 1 пакет, R1-R3 – 3 пакета, R1-R2 – 1 пакет.

Результаты экспериментальных исследований и сравнительного анализа

В ходе эксперимента интенсивность трафика, поступающего в сеть, изменялась для структуры сети (рис. 1) от нуля до 120 *кбит/с*. Для каждого значения интенсивности оценивались средняя задержка, джиттер и потери пакетов. Результаты измерений для интенсивности трафика 30 *кбит/с* представлены на рис. 2. Как показал проведенный анализ, в условиях низких нагрузок однопутевая маршрутизация протокола EIGRP показывает наилучшие результаты по всем оцениваемым показателям. Это можно объяснить тем, что путь, выбранный данным протоколом, имеет достаточно пропускной способности, что способствует для низкой задержке, стабильному джиттеру и практическому отсутствию потерь пакетов.

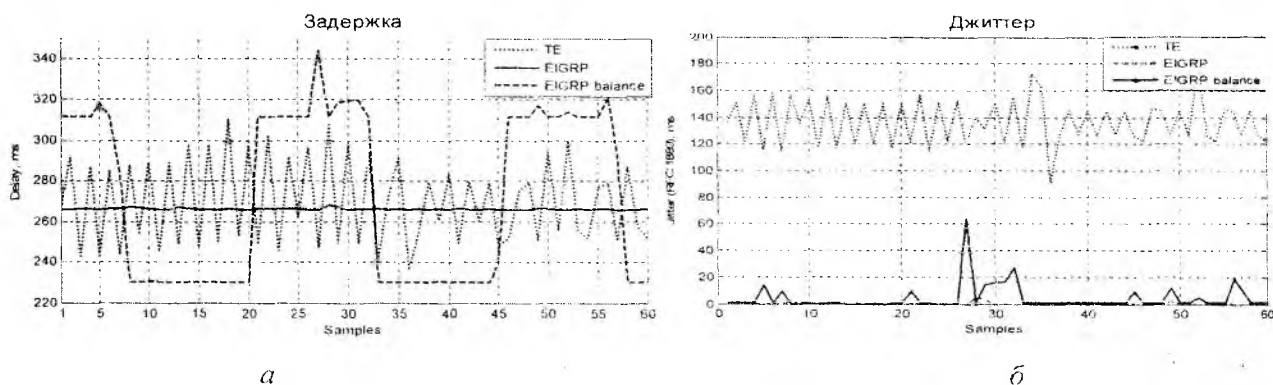


Рис. 2

Задержки и джиттер пакетов при маршрутизации с использованием протокола EIGRP с балансировкой по путям неравной стоимости имеют пилообразную форму (рис. 2), что можно объяснить поочередным включением путей с различной пропускной способностью. Значения задержки, полученной для маршрутизации по модели TE, в области низких нагрузок несколько выше, чем для остальных схем маршрутизации, что также объясняется частым переключением путей передачи.

Результаты сравнения основных показателей QoS для интенсивности поступающего в сеть трафика представлены на рис. 3. При этой интенсивности маршрутизация с использованием протокола EIGRP, когда активен лишь один путь с максимальной пропускной способностью, наблюдается значительное повышение средней задержки и потерь пакетов, что связано с перегрузкой основного маршрута. Маршрутизация по протоколу EIGRP с использованием балансировки позволяет значительно уменьшить значение задержки, но она по-прежнему носит импульсный характер (рис. 3, а). Скачки джиттера происходят в моменты переключения путей (рис. 3, б). Использование модели TE при интенсивности 80 *кбит/с* позволяет минимизировать коэффициент загрузки трактов передачи ТКС и, как следствие, снизить среднюю задержку в сравнении с другими моделями (протоколами) маршрутизации

(рис. 3, а). Значение джиттера для данной схемы распределения нагрузки изменилось незначительно (рис. 3, б).

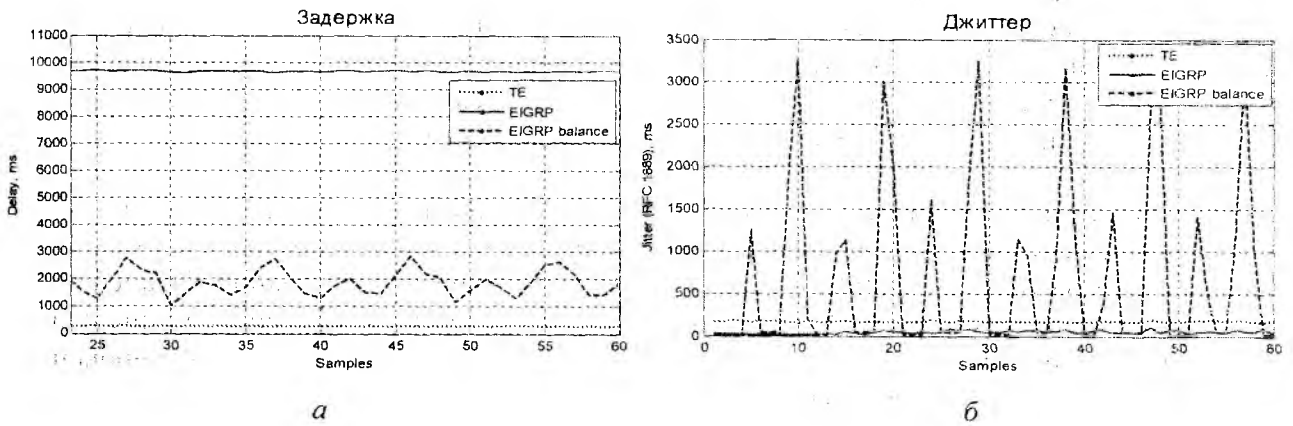


Рис. 3

Обобщая полученные результаты (рис. 4), следует отметить, что в области низких нагрузок все сравниваемые модели (протоколы) маршрутизации показывают приблизительно одинаковые значения средней задержки. При повышении интенсивности поступающего в сеть трафика (rate) значения средней задержки (рис. 4, а) при использовании однопутевой маршрутизации протокола EIGRP значительно возрастают, что объясняется перегрузкой основного маршрута. Это сопровождалось также переполнением очередей на маршрутизаторах (R1-R3) и, как следствие, ростом процента потерянных пакетов (рис. 4, б).

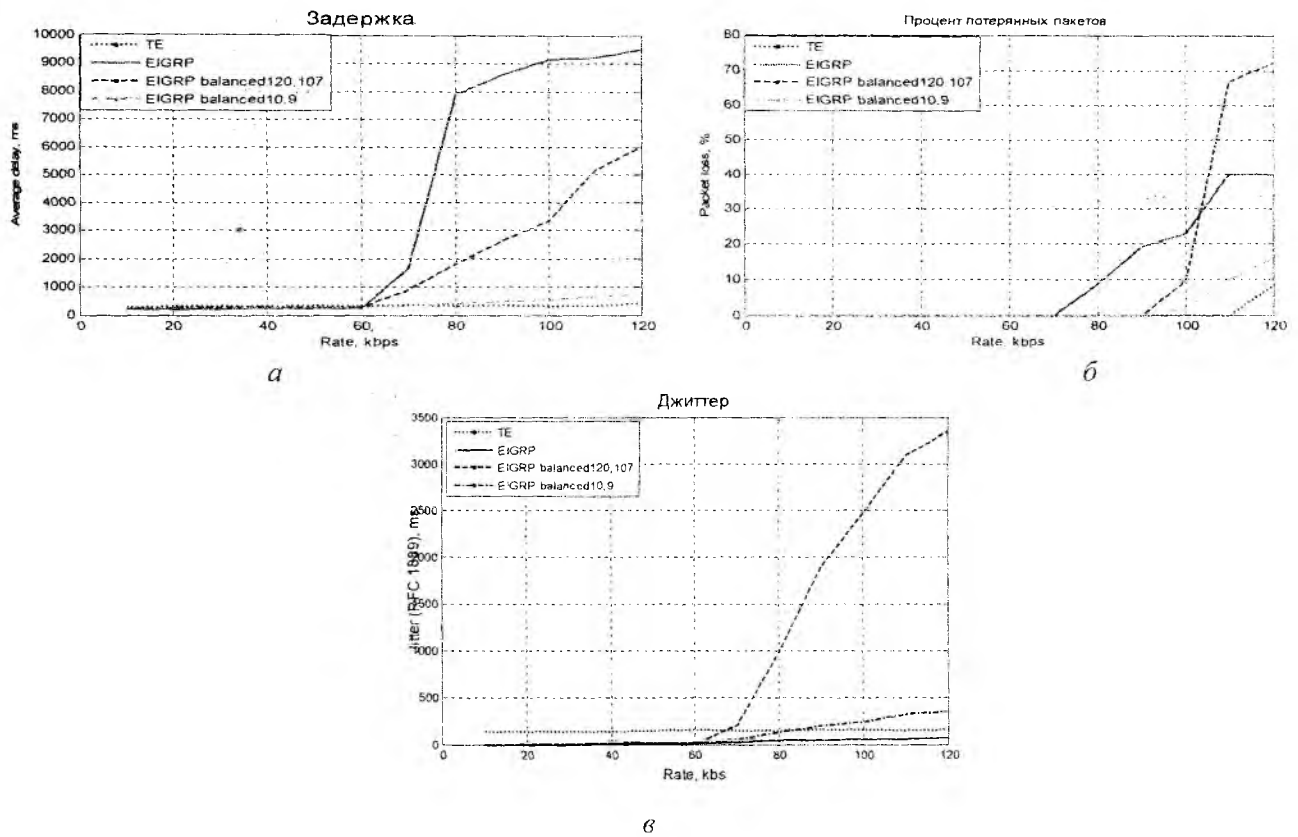


Рис. 4

Схема маршрутизации EIGRP с балансировкой трафика по путям неравной стоимости позволяет снизить значения средней задержки из-за уменьшения коэффициента загруженно-

сти трактов передачи. Следует отметить, что важным параметром при поакетной балансировке нагрузки является не только соотношение между отправленными пакетами по различным трактам, а и их абсолютные значения. Так, при балансировке 120/107 первые 120 пакетов направляются в тракт R0-R1, а тракт R0-R2 при этом простаивает; последующие 107 пакетов направляются в тракт R0-R2, вызывая уже простой тракта R0-R1. Уменьшение этих значений позволяет минимизировать простой путь и, тем самым, улучшить показатели качества обслуживания. Это отчетливо видно (рис. 4) при небольшом изменении соотношения с 120/7 к 10/9.

Использование модели TE позволило получить выигрыш по отношению к другим протокольным решениям по основным показателям QoS (по средней задержке на 75–80 % (по сравнению с EIGRP), на 50–60 % (в сравнении с EIGRP при использовании балансировки); по джиттеру – в среднем на 40 % (в сравнении с EIGRP при использовании балансировки); по потерям – в среднем на 50 % (в сравнении с EIGRP при использовании балансировки), на 30 – 35% (в сравнении с однопутевой маршрутизацией EIGRP)), что особенно характерно для областей средних и высоких нагрузок (60–120 кбит/с).

Выводы

В ходе натурального эксперимента по апробированной ранее методике был проведен сравнительный анализ существующих протокольных решений (протокола EIGRP с балансировкой и без нее) и математических моделей (модель маршрутизации Traffic Engineering). По полученным результатам можно сделать следующие выводы.

1. Наибольший выигрыш по временным показателям был получен при использовании схемы маршрутизации, которая согласуется с концепцией Traffic Engineering. Выигрыш по показателю средней задержки в области средних и высоких нагрузок по сравнению с результатами, полученными при использовании протокола EIGRP, составлял в среднем 70–75;

2. В области низких нагрузок использование тех или иных схем многопутевой маршрутизации нецелесообразно, особенно при передаче трафика реального времени (VoIP), что объясняется всплесками джиттера в моменты переключения используемых путей.

Список литературы: 1. *Остерлох Х.* Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. С.Пб.: ВНУ-С.Пб., 2002. 512 с. 2. *Хелеби С., Мак-Ферсон Д.* Принципы маршрутизации в Internet. 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. 448 с. 3. *Симоненко Д.В., Андрушко Ю.В., Беленков А.Г.* Методика проверки адекватности моделей многопутевой и иерархической маршрутизации с использованием сетевого оборудования компании Cisco Systems // Радиотехника: 2007. Вып. 151. С. 37-43. 4. *Симоненко Д.В., Андрушко Ю.В., Тугай А.В.* Методика проверки достоверности моделей многопутевой маршрутизации с использования сетевого оборудования компании Cisco Systems // 11-й міжнар. молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Зб. матеріалів форуму. Харків: ХНУРЕ, 2007. Ч.1. 104 с. 5. *Лемешко О.В., Дробот О.А., Симоненко Д.В.* Результати порівняльного аналізу поточкових моделей маршрутизації в телекомунікаційних мережах // Зб. наук. праць Харків. університету Повітряних Сил. Вип. 1(13), 2007. С. 66-69.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 07.10.2009