

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛЕЙ МНОГОПУТЕВОЙ И ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ CISCO SYSTEMS

Введение

Основной проблемой, с которой приходится сталкиваться при выборе той или иной модели маршрутизации, является ее адекватность, т.к. именно адекватность модели определяет степень достоверности искомых решений, получаемых в ходе исследований. Особенно это важно при росте разнообразия и количества моделей маршрутизации, которые в соответствии с требованиями перспективных сетевых технологий и концепций – Traffic Engineering, Load Balancing Routing, Constrained-based Routing [1, 2], преимущественно, охватывают многопутевые и иерархические решения [3 – 5].

Как правило, 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), TOTEM (TOolbox for Traffic Engineering Methods), EQRS (Extended QoS-based Routing Simulator) и MaRS (Maryland Routing Simulator). Но наиболее предпочтительной является проверка той или иной модели маршрутизации на реальном сетевом оборудовании, что, однако, сопряжено с рядом трудностей технологического и организационного характера. К основной из них следует отнести сложность модификации операционной системы (IOS) маршрутизаторов сети, связанной с изменением того или иного поддерживаемого протокола.

В этой связи предлагается использовать следующую методику проведения эксперимента, предложенной и апробированной в лаборатории систем распределения информации кафедры телекоммуникационных систем ХНУРЭ [6, 7]. Требуемая балансировка нагрузки по каналам передачи, предварительно рассчитанная с помощью предложенной или сравниваемых моделей маршрутизации, может быть достигнута с использованием того или иного сетевого протокола 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. В результате результаты аналитических расчетов или результаты имитационного моделирования сравнивались с результатами экспериментальных исследований, что и служило критерием адекватности (неадекватности) исследуемых моделей маршрутизации.

В этой связи актуальной представляется научная и практическая задача проверки адекватности моделей маршрутизации и достоверности получаемых с их помощью решений на основе использования реального сетевого оборудования. Ее решение непосредственно связано с обоснованным выбором структуры комплекса моделирования, а также образующих его аппаратно-программных и протокольных средств коммутации, маршрутизации, генерации трафика и анализа показателей качества обслуживания (QoS, Quality of Service).

Обоснование структуры и содержания комплекса моделирования многопутевой маршрутизации

В ходе экспериментального исследования моделей многопутевой маршрутизации для генерации трафика применялся, установленный на конечных станциях программный пакет нагрузочного тестирования сети IxChariot, разработанный компанией Ixia. В качестве экспериментальной сетевой нагрузки были выбраны трафики RTP (Real Time Protocol), IPTv, VoIP, TCP/IP (TCP, UDP), а также трафик приложений Citrix, Lotus, Oracle, MicrosoftSQL.

Выбор и настройка сетевой нагрузки производится изменением тех или иных параметров входящих в состав скрипта, описывающего характеристики трафика (рис. 1).

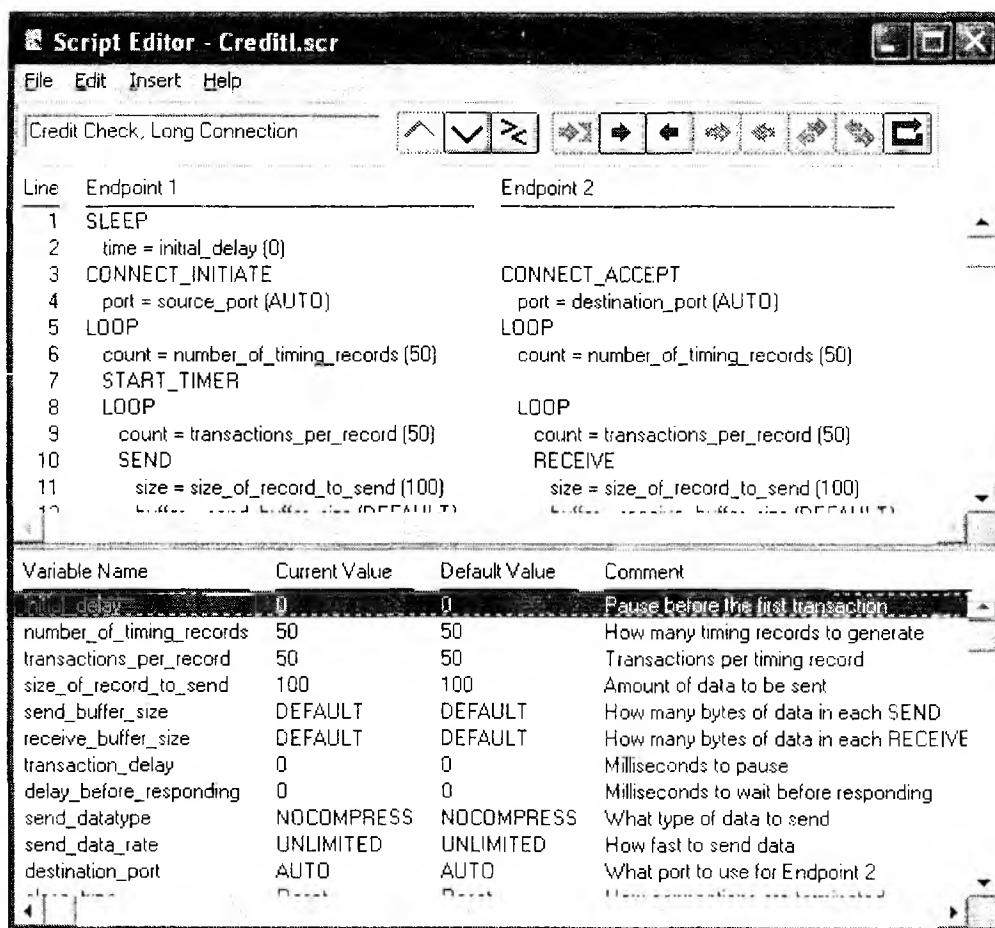


Рис. 1

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:

- быстрая сходимости, благодаря рассылке инициированных частичных сообщений о корректировках таблиц маршрутизации;
- создание и поддержка одновременно трех баз данных: смежную (adjacency), топологии (topology) и продвижения данных (forwarding);
- поддержка многоадресной (multicast) и одноадресной (unicast) рассылки сообщений;
- поддержка масок переменной длины (Variable-Length Subnet Mask, VLSM);
- поддержка множества транспортных протоколов включая IP/IPX/AppleTalk;
- использование композитной (комплексной) метрики, аналогичной протоколу IGRP;
- поддержка основных (successors routes) и резервных (feasible successors routes) маршрутов к сети назначения.

В ходе исследований, предварительно необходимо настроить интерфейсы маршрутизаторов, установив IP адреса и маски сетей, а также активировать протокол динамической маршрутизации EIGRP (рис. 2).

При настройке последовательных (serial) интерфейсов маршрутизаторов на стороне, задающей синхронизацию (DCE), необходимо указывать физическую скорость передачи для данного канала (clock rate). Изначально этот параметр используется в формуле расчета метрики протокола EIGRP в качестве пропускной способности (bandwidth) [1]:

$$c = \left[k_1 \varphi_{\Pi} + \frac{k_2 \varphi_{\Pi}}{256 - k_{\text{тп}}} + k_3 \tau_{\Pi} \right] \frac{k_5}{o_{\Pi} - k_4}, \quad (1)$$

где k_i ($i = 1, 5$) – константы протокола, $k_{\text{тп}}$ – код загрузки тракта передачи, который принимает значения от 0 до 255, $\varphi_{\Pi} = \frac{10^7}{\min(\varphi_i)}$ – величина, характеризующая пропускную способность

выбранного пути доставки пакетов, φ_i – пропускную способность i -го тракта передачи, τ_{Π} – топологическая задержка, т.е. требуемое время доставки пакета адресату по выбранному пути с учетом загрузки сети, o_{Π} – отношения ожидаемого числа неискаженных пакетов к общему числу пакетов, которые будут доставлены адресату.

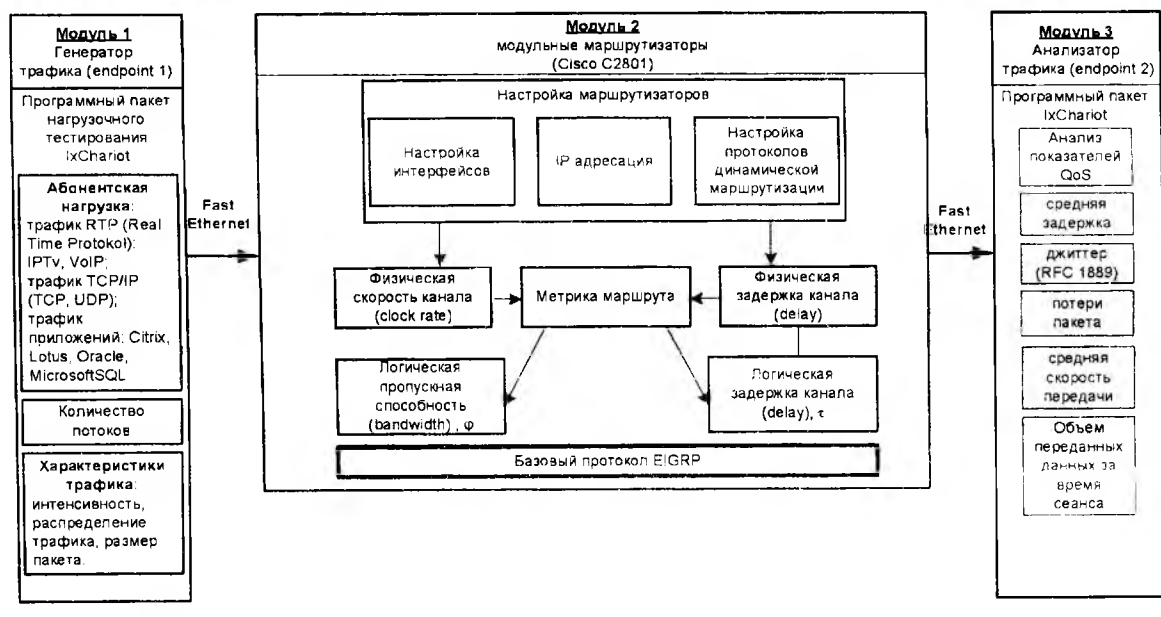
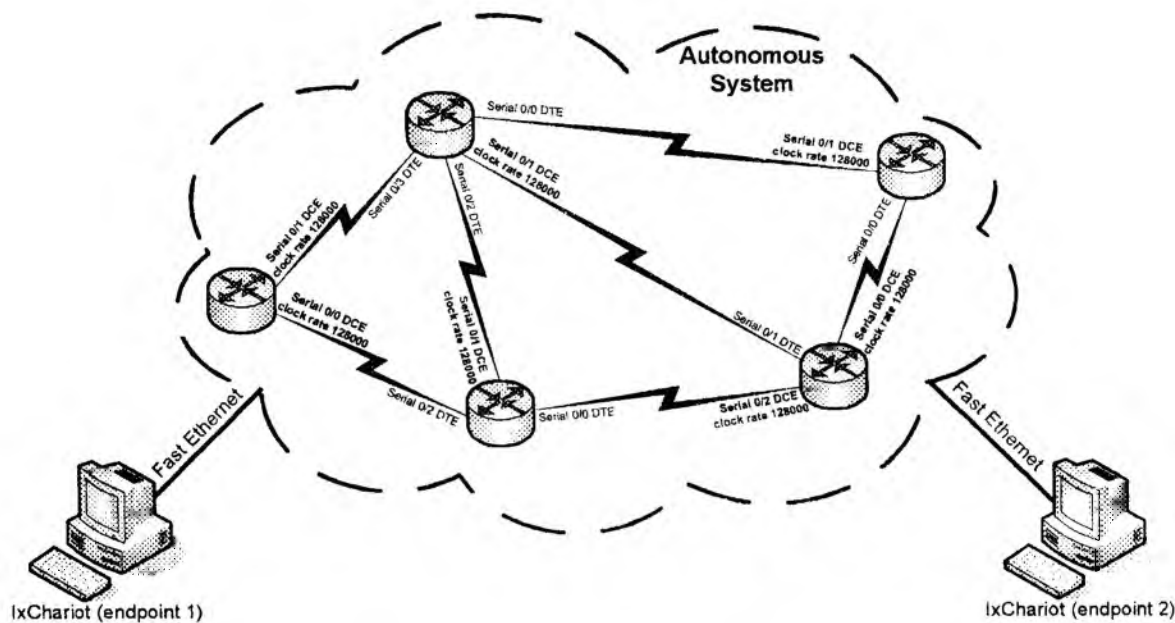


Рис. 2

Ввиду того, что операционная система маршрутизаторов компании Cisco позволяет изменять параметр пропускной способности (bandwidth , φ_i) и задержки (delay , τ_n) на интерфейсе метрики протокола EIGRP (1), путем вариации этих параметров и устанавливалось необходимое значение метрики канала с целью обеспечения требуемой балансировки нагрузки в сети. Стоит заметить, что при увеличении или уменьшении этих параметров изменяется только метрика, а работа интерфейса остается неизменной. Поэтому эти параметры условно называются логическими.

В рамках разработанной методики предполагается, что результаты решения задач многопутевой маршрутизации, полученные в рамках той или иной математической модели и определяющие порядок распределения трафика по каналам передачи, реализовывались на фрагменте экспериментальной сети, в состав которой входили модульные маршрутизаторы производства компании Cisco Systems C2801, кабель стандарта V.35 для эмулирования WAN соединения, компьютеры, используемые в качестве оконечных станций, подключенные к маршрутизаторам по средствам технологии Fast Ethernet.

На конечных узлах с помощью того же пакета IxChariot отслеживалась динамика основных скоростных и вероятностно-временных показателей качества обслуживания – производительности, скорости передачи, задержек, джиттера и потерь пакетов (рис.3) на приемной стороне (анализатор трафика) вдоль используемых путей, характерных для того или иного результата решения задач маршрутизации в рамках анализируемой математической модели, проводился качественный анализ работы протокола EIGRP с различными типами трафика. Так как скоростные и временные характеристики сети достоверно можно снимать только при условии синхронизации приемника и передатчика, поэтому для этой цели на оконечных узлах сети устанавливалась фирменная утилита Endpoint. В заключение сравнивались результаты математического и натурального моделирования с выводами о степени их соизмеримости и об адекватности исследуемой модели маршрутизации в целом.

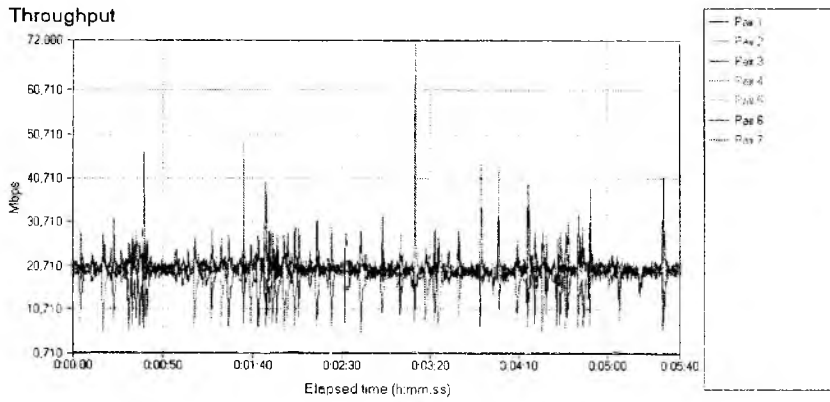
Обоснование структуры и содержания комплекса моделирования иерархической маршрутизации

В отличие от предыдущего случая, в качестве базового протокола динамической маршрутизации, который использовался в проведении натурального эксперимента иерархической маршрутизации, был выбран протокол OSPF v2. Протокол маршрутизации OSPF (Open Shortest Path First – открытый протокол поиска кратчайшего пути) рекомендован комитетом IETF для маршрутизации внутри автономной системы и описан в рекомендации RFC-1131. В протоколе OSPF v2 реализованы следующие основные технологические решения:

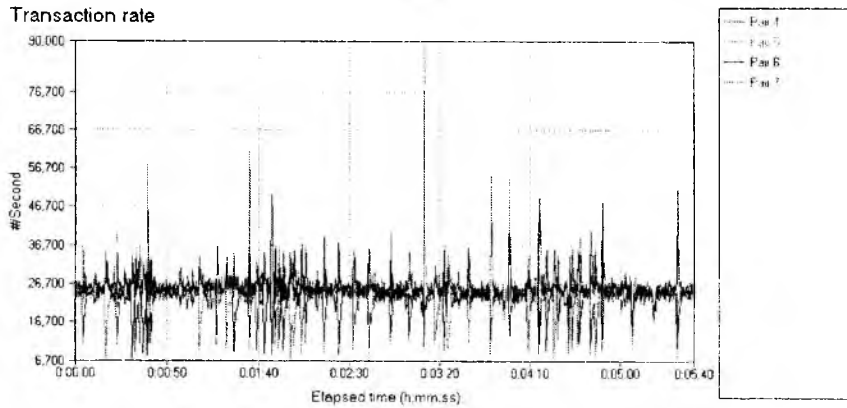
- иерархическая маршрутизация с разделением автономной системы на логические области (Area);
- поиск и установление отношений смежности с соседями;
- построение топологии сети;
- выделение различных типов пакетов, для взаимодействия по протоколу OSPF v2;
- быстрая сходимости и перестройка таблиц маршрутизации в случае структурного изменения сети.

Разделение автономной системы на области позволяет минимизировать размер таблиц маршрутизации на каждом узле и объем передаваемой служебной информации. В пределах области обновляются все известные маршруты, а между областями поддерживаются лишь суммарные (агрегированные) маршруты. Независимо от количества логических областей в автономной системе всегда должна существовать область с идентификатором «0». Эта область называется магистральной и служит для обмена маршрутной информацией между другими областями. Таким образом, протокол динамической маршрутизации OSPF v2 организует взаимодействие внутри автономной системы, используя двухуровневую иерархическую структуру.

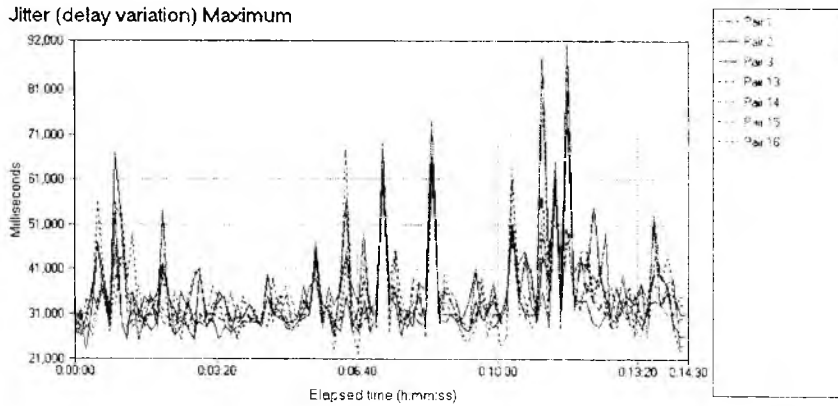
Стоит отметить, что стандарт не оговаривает, каким образом будет выбираться метрика пути, а лишь определяет, что метрика конфигурируется администратором.



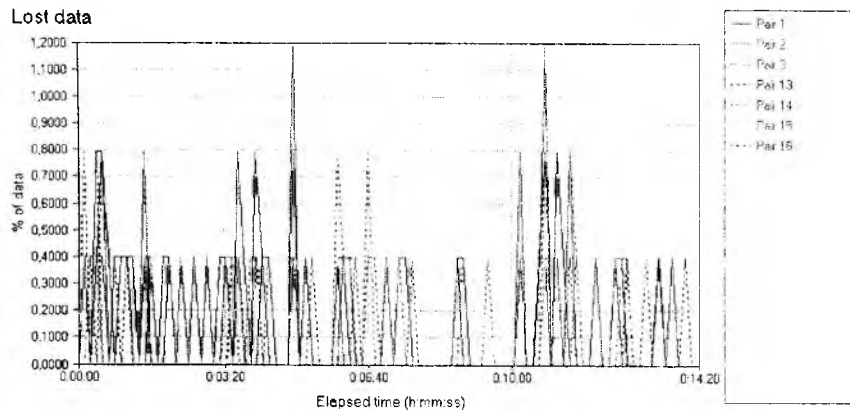
a



b



b



z

Рис. 3

Таким образом, каждая фирменная реализация OSPF может использовать свои правила для формирования метрики. Например, в маршрутизаторах Cisco используется выражение на основании пропускной способности пути: $cost = \frac{10^8}{\varphi}$.

Полная стоимость (метрика) пути определяется суммой стоимостей участков, входящих в этот путь. Изначально значение пропускной способности, используемое в формуле расчета метрики, равно значению частоты синхронизации для данного канала (clock rate), устанавливаемое при настройке последовательных интерфейсов на стороне DCE. Операционная система маршрутизаторов Cisco Systems позволяет изменять значение пропускной способности канала участвующей в расчете метрики не изменяя частоту синхронизации интерфейса.

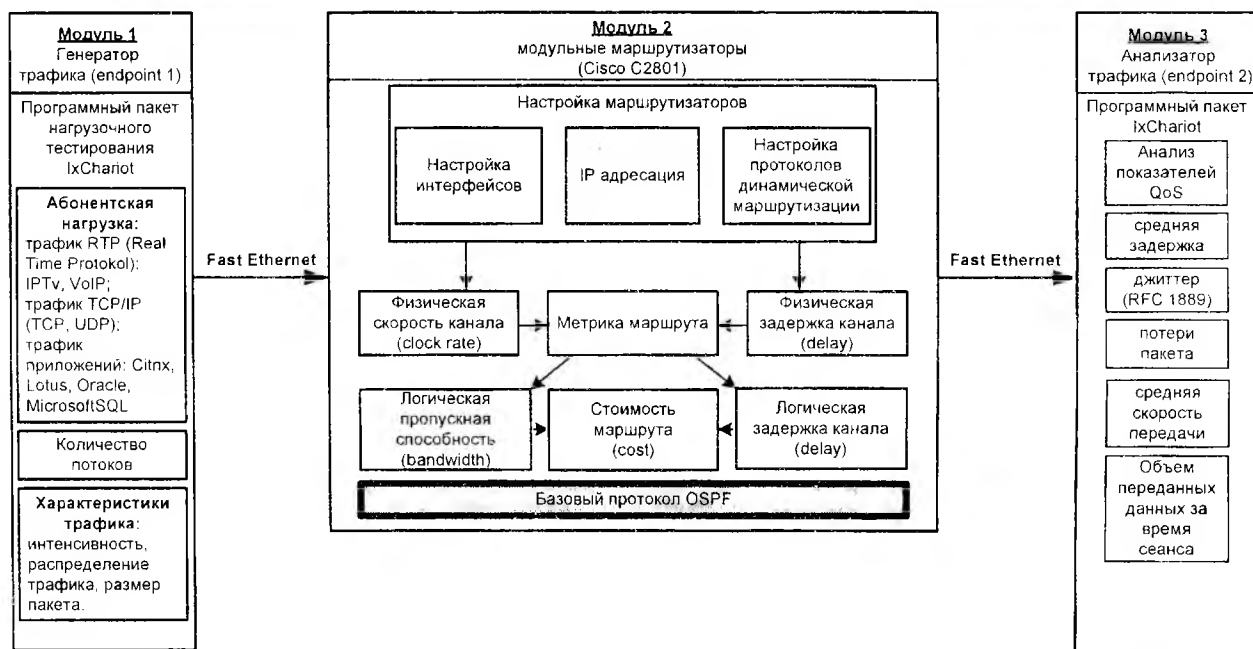
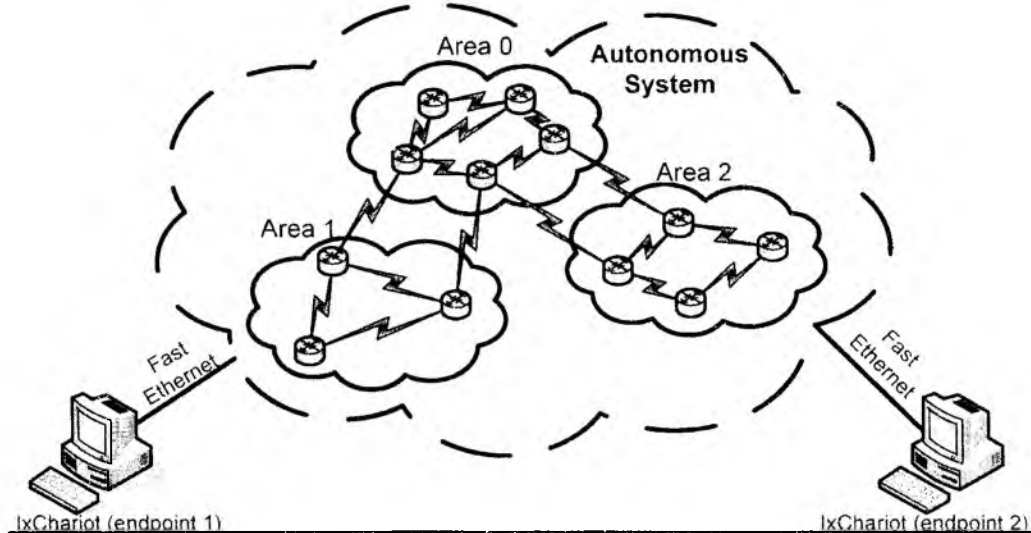


Рис. 4

Требуемая балансировка нагрузки по каналам передачи в пределах каждой области (нижний уровень иерархии) достигалась путем адаптивной подстройки параметров метрики протокола OSPF v2 за счет изменения логических пропускных способностей каналов передачи. В свою очередь балансировка нагрузки между различными областями (верхний уровень иерархии) осуществлялась путем адаптивной подстройки логических пропускных способностей трактов входящих в состав магистральной области (Area 0). В этом случае все осталь-

ные логические области представлялись узлами магистральной области, таким образом, удалось смоделировать и исследовать протокол и модель динамической иерархической маршрутизации (рис. 4). Все остальные действия по исследованию моделей иерархической маршрутизации аналогичны анализу моделей многопутевой маршрутизации.

Выводы

Использование предложенной методики позволяет получить наиболее точные оценки адекватности той или иной модели многопутевой и (или) иерархической маршрутизации, т.к. данная методика основана на использовании реального сетевого оборудования. В рамках методики удалось без модификации операционной системы маршрутизатора обеспечить заданную балансировку трафика по каналам ТКС путем перестройки метрики поддерживаемого протокола маршрутизации – EIGRP (для многопутевой маршрутизации) и OSPF v2 (для иерархической маршрутизации). На основе сравнения результатов аналитических расчетов и натурального эксперимента (показателей качества обслуживания) можно сделать вывод об адекватности анализируемой модели маршрутизации, а также о достоверности получаемых на ее основе решений.

Список литературы: 1. *Остерлох Х.* Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. С.Пб.: ВHV-С.Пб., 2002. 512 с. 2. *Хелеби С., Мак-Ферсон Д.* Принципы маршрутизации в Internet. 2-е издание: Пер. с англ. М.: Изд. дом "Вильямс", 2001. 448 с. 3. *Лемешко А.В.* Алгоритм иерархическо-координационного управления информационным обменом в сети передачи данных // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. ХАИ. Харьков: Харьк. Авиац. Ин-т., 1998. Вып. 1. С. 323-328. 4. *Беленков А.Г., Евсеева О.Ю., Лемешко А.В.* Метод распределения нагрузки в иерархических телекоммуникационных сетях на базе декомпозиционных принципов предсказания взаимодействий и целевой координации // Праці УНДІРТ. 2005. №2(42). С. 11-16. 5. *Евсеева О.Ю., Беленков А.Г., Алексеев С.В.* Распределение загрузки в иерархических телекоммуникационных сетях декомпозиционным методом // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2005. Вып. 142. С. 63-70. 6. *Симоненко Д.В., Андрушко Ю.В.* Методика проверки достоверности моделей многопутевой иерархической маршрутизации с использования сетевого оборудования компании Cisco Systems // Вторая междунар. конф. «Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития». Харьков-Туапсе, 2007. С. 115-116. 7. *Симоненко Д.В., Андрушко Ю.В., Тугай А.В.* Методика проверки достоверности моделей многопутевой маршрутизации с использования сетевого оборудования компании Cisco Systems // 11-й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.»: Зб. матеріалів форуму. Харків: ХНУРЕ, 2007. Ч.1. 104 с.

*Харьковский национальный
университет радиозлектроники*

Поступила в редколлегию 05.10.2007