

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММУТАТОРОВ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

Институт компьютерных технологий  
Национального авиационного университета

*Проанализированы преимущества использования метода потоковой коммутации в сетях. Построена математическая модель и исследована относительная эффективность применения коммутаторов третьего уровня по сравнению с маршрутизаторами в зависимости от характеристик трафика*

### **Введение**

Вследствие популярности и доступности *Internet* для доставки данных самого разного характера значительно возрос объем сетевого трафика. Благодаря доступу пользователей к удаленным ресурсам и серверам, потоки трафика становятся все менее локальными. Увеличение потока данных и делокализация трафика ведут к перегрузке маршрутизаторов. К тому же, некоторые виды трафика очень критичны к задержкам, поэтому требования к производительности коммутационного оборудования весьма высоки.

Существует несколько причин, вследствие которых маршрутизаторы становятся «узкими местами» в распределенной сети. Одна из них заключается в том, что маршрутизатор обязан выполнять все функции по обработке пакетов, соответствующие третьему уровню семиуровневой модели *OSI*. Это связано с большой потерей времени на поиск данных в таблицах маршрутизации. Сюда же следует добавить время, затрачиваемое на выполнение специальных функций, таких как фильтрация пакетов, шифрование и т. д. [1].

Для повышения производительности маршрутизации используют высокоскоростные аппаратные маршрутизаторы или применяют технологии коммутации третьего уровня.

Коммутация третьего уровня особенно полезна в случае, если традиционные магистральные маршрутизаторы перегружены задачами обслуживания тра-

фика высокопропускных коммутируемых сетей.

В коммутации третьего уровня интегрируются функции маршрутизации в микросхему коммутатора для обеспечения маршрутизации со скоростями, близкими скорости коммутации. В отличие от стандартного коммутатора, работающего на канальном уровне (*Data Link Layer*) базовой модели *OSI*, коммутатор третьего уровня работает также и на сетевом уровне, выполняя функции высокоскоростного маршрутизатора.

Появление коммутаторов третьего уровня позволило существенно повысить скорость маршрутизации по сравнению с традиционными маршрутизаторами.

Коммутаторы третьего уровня сегодня работают со скоростью передачи до 100 млн. пакетов в секунду [2].

Целесообразность применения коммутаторов обуславливается следующими соображениями [1]:

- высокая пропускная способность и низкая задержка;
- низкая стоимость в расчете на один порт (стоимость маршрутизаторов в расчете на один порт по сравнению с коммутаторами примерно в 6 раз больше);
- простота управления (большинство коммутаторов начинают работать с момента их установки в сети и не требуют дополнительных настроек, тогда как маршрутизаторы известны сложностью настройки, для проведения которой администратору вручную требуется правильно установить огромное количество параметров).

установить огромное количество параметров).

Различные схемы коммутаторов 3-го уровня фундаментально распадаются на две категории в зависимости от способа передачи данных: пакетный коммутатор и потоковый коммутатор [3]. Пакетный коммутатор (*packet-by-packet switch*) работает так же, как традиционный маршрутизатор и выполняет полный набор необходимых действий для каждого пакета, требующего отправки по месту назначения. Это высокопроизводительное решение с использованием стандартных протоколов. Потоковый коммутатор (*flow-based switch*) пытается увеличить производительность, идентифицируя потоки IP-пакетов с одними и теми же отправителем и получателем. Это может быть реализовано путем наблюдения за проходящим через коммутатор трафиком, а также с помощью специальной метки потока в заголовке пакета. Когда поток идентифицирован, может быть выбран заранее установленный маршрут, чтобы ускорить процесс доставки пакета. Если классический способ маршрутизации использовать только для первого пакета потока, а все остальные обрабатывать на основании опыта первого (или нескольких первых) пакетов, то можно значительно ускорить маршрутизацию всего потока.

Подразумевается, что речь идет не об одном-двух пакетах, то есть поток не должен быть слишком мал. Предполагается, что поток существует достаточно длительное время, иначе нет смысла его выделять. Поток может быть как единичным, так и групповым. Основной характеристикой потока является его время жизни. Поэтому применительно к рассматриваемой технологии весь трафик можно разделить на две категории [1]:

- потокоориентированный (примерами могут быть передача файлов по протоколу *FTP*, работа с *Internet* по протоколу *HTTP* и т. д. Эти виды взаимодействия

характеризуются длительным временем, и по соединению между абонентами передается большой объем данных);

- короткоживущий (примерами могут служить запросы к службам *DNS*, работа протоколов *SMTP* и *SNMP* и т. д. Такой тип трафика обрабатывается с использованием традиционной маршрутизации).

Использование коммутации потоков более эффективно в среде *ATM* или *framerelay*, где потоки отображаются на виртуальные устройства или пути. Основной сферой применения коммутации потоков являются магистрали *ISP* или корпоративных сетей.

### **Постановка задачи**

Сравнивать коммутаторы и маршрутизаторы по стандартным критериям, таким как функциональность, производительность и соотношение цена/производительность, нельзя. Решающим фактором внедрения того или иного решения могут являться размеры сети, применяемое оборудование, финансовая обеспеченность, а также специфика сетевого трафика [1].

Исследования информационных потоков на пакетном уровне показали, что трафик современных сетей характеризуется свойством самоподобия или масштабной инвариантности статистических характеристик [4]. В современной научной литературе эти свойства связывают с особым классом физических процессов – фрактальными процессами.

В работе [5] показано, что возникновение свойства самоподобия в вебтрафике объясняется фрагментацией пакетов большой длительности, эффектом кэширования и спецификой настроек пользователя по передаче файла, человеческим фактором, а также суперпозицией множества таких передач в локальной сети.

Формирование математических моделей, адекватно отражающих свойства фрактальных процессов в сетях, является одной из приоритетных задач при реше-

нии проблемы повышения эффективности управления в компьютерных телекоммуникационных системах [4].

### Построение математической модели

Зависимость средней длины очереди  $q$  от среднего коэффициента использования сети  $\rho$  для самоподобного трафика с параметром Херста  $H$  вычисляется по формуле [3]:

$$q = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{(1-\rho)^{H/(1-H)}}. \quad (1)$$

С другой стороны, для систем массового обслуживания справедлива формула Литтла [3]:

$$q = \lambda \tau, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность поступления запросов;  $\tau$  – среднее время пребывания запроса в системе.

$$\Delta \tau_r = \frac{\rho_r^{1/2(1-H)} (1-\rho_{or})^{H/(1-H)} - \rho_{or}^{1/2(1-H)} (1-\rho_r)^{H/(1-H)}}{\lambda((1-\rho_r)(1-\rho_{or}))^{1-H}}. \quad (4)$$

По определению, коэффициент использования сети равен отношению [3]:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – интенсивность поступления запросов;  $\mu$  – интенсивность обслуживания запросов.

Допустим, что интенсивность обслуживания запросов для коммутатора  $\mu_s$  в  $N$  раз выше, чем для маршрутизатора  $\mu_r$ :  $\mu_s = N\mu_r$ .

$$\Delta \tau_s = \frac{\rho_r^{1/2(1-H)} (N - \rho_{or})^{H/(1-H)} - \rho_{or}^{1/2(1-H)} (N - \rho_r)^{H/(1-H)}}{\lambda N^{(H-1/2)/(1-H)} ((N - \rho_r)(N - \rho_{or}))^{H/(1-H)}}. \quad (7)$$

Пользуясь формулами (4) и (7), получим выражение (8), которое даст возможность оценить относительную эффективность использования коммутации 3-го

$$\frac{\Delta \tau_s}{\Delta \tau_r} = N^{\frac{1-H}{H-1/2}} \times \left( \frac{(1-\rho_r)(1-\rho_{or})}{(N-\rho_r)(N-\rho_{or})} \right)^{\frac{H}{1-H}} \times \frac{\rho_r^{1/2(1-H)} (N - \rho_{or})^{H/(1-H)} - \rho_{or}^{1/2(1-H)} (N - \rho_r)^{H/(1-H)}}{\rho_r^{1/2(1-H)} (1-\rho_{or})^{H/(1-H)} - \rho_{or}^{1/2(1-H)} (1-\rho_r)^{H/(1-H)}}. \quad (8)$$

### Результаты моделирования

Построим графики полученной выше зависимости (3) для различных значений

Из формул (1) и (2) получим выражение для расчета среднего времени пребывания запроса в системе  $\tau$  в зависимости от интенсивности поступления запросов  $\lambda$  и среднего коэффициента использования сети  $\rho$  для самоподобного трафика с параметром Херста  $H$ :

$$\tau = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{\lambda(1-\rho)^{H/(1-H)}}. \quad (3)$$

Пусть в некоторый момент времени коэффициент использования сети  $\rho$  для маршрутизатора равен  $\rho_{or}$ . При изменении  $\rho$  от  $\rho_{or}$  до  $\rho_r$  время пребывания запроса в системе для маршрутизатора изменится на  $\Delta \tau_\rho$ , равное

$$\Delta \tau_r = \tau_r - \tau_{or}.$$

Принимая во внимание соотношение (3), получим:

Тогда при одинаковой интенсивности поступления запросов  $\lambda$ , учитывая (5), получим:

$$\rho_s = \frac{\rho_r}{N}. \quad (6)$$

Далее, принимая во внимание соотношение (6), получим аналогичное формуле (4) выражение изменения задержки запроса в системе для коммутатора  $\Delta \tau_s$  при изменении коэффициента использования сети от  $\rho_{or}$  до  $\rho_r$ :

уровня по сравнению с маршрутизаторами для самоподобного входящего трафика с различными значениями параметра Херста  $H$ :

параметра Херста  $H$ , принимая во

внимание, что при  $H=0,5$  получаем кла-

сическую модель  $M/M/1$  (рис. 1).

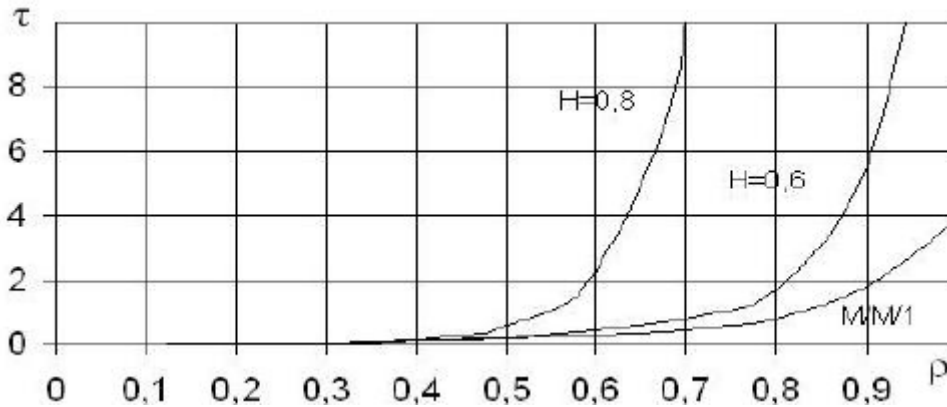
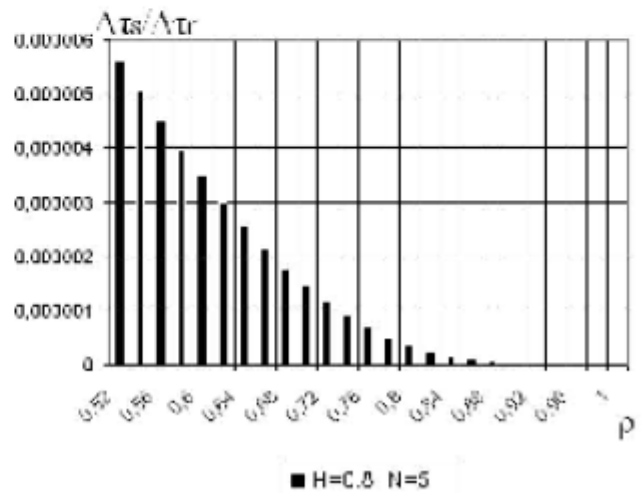
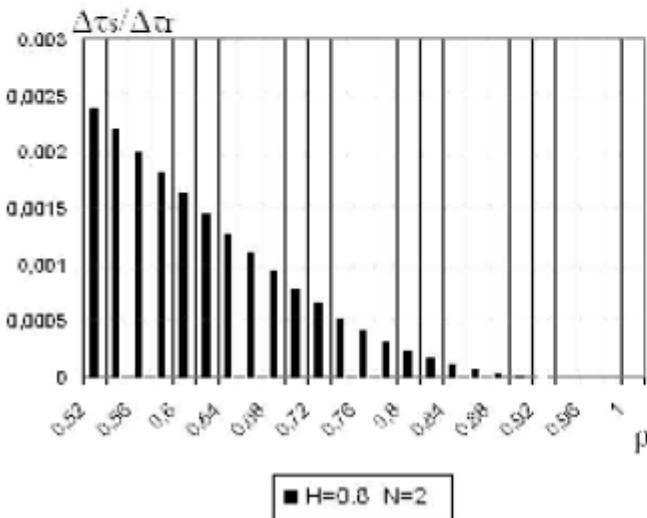
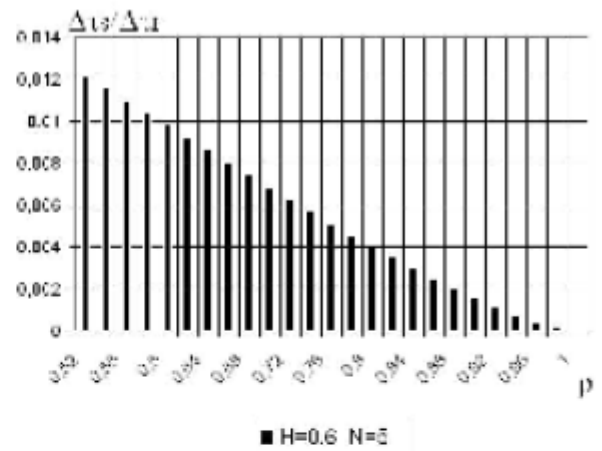
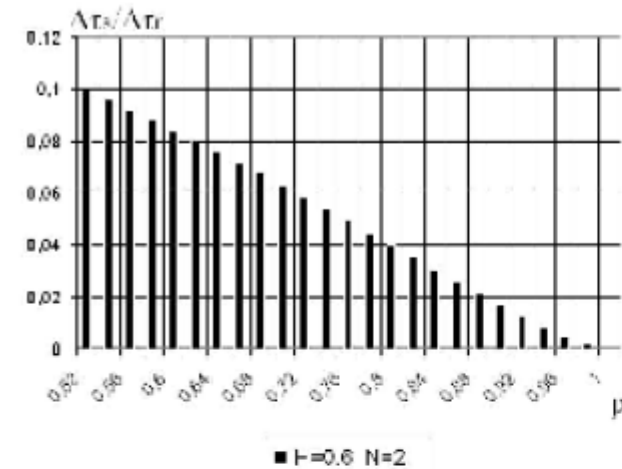


Рис. 1. Зависимость времени пребывания запроса в системе  $\tau$  от коэффициента использования сети  $\rho$  для различных значений параметра Херста

Учитывая то, что время пребывания запроса в системе начинает резко возрастать, когда  $\rho$  превышает значение 0,4, целесообразно рассматривать вопрос эффективности использования коммутаторов по сравнению с маршрутизаторами для самоподобного трафика при коэффициенте использования сети большем 0,4, например,  $\rho = 0,5$ .

Для этого произведены расчеты по формуле (8) и построены соответствующие гистограммы для различных значений параметра Херста  $H$ , принимая  $\rho_{or} = 0,5$ . Поскольку сложно точно оценить, во сколько раз ( $N$ ) интенсивность обслуживания запросов для коммутатора выше, чем для маршрутизатора, проанализируем значения  $2 \leq N \leq 10$  (рис. 2., табл. 1.)



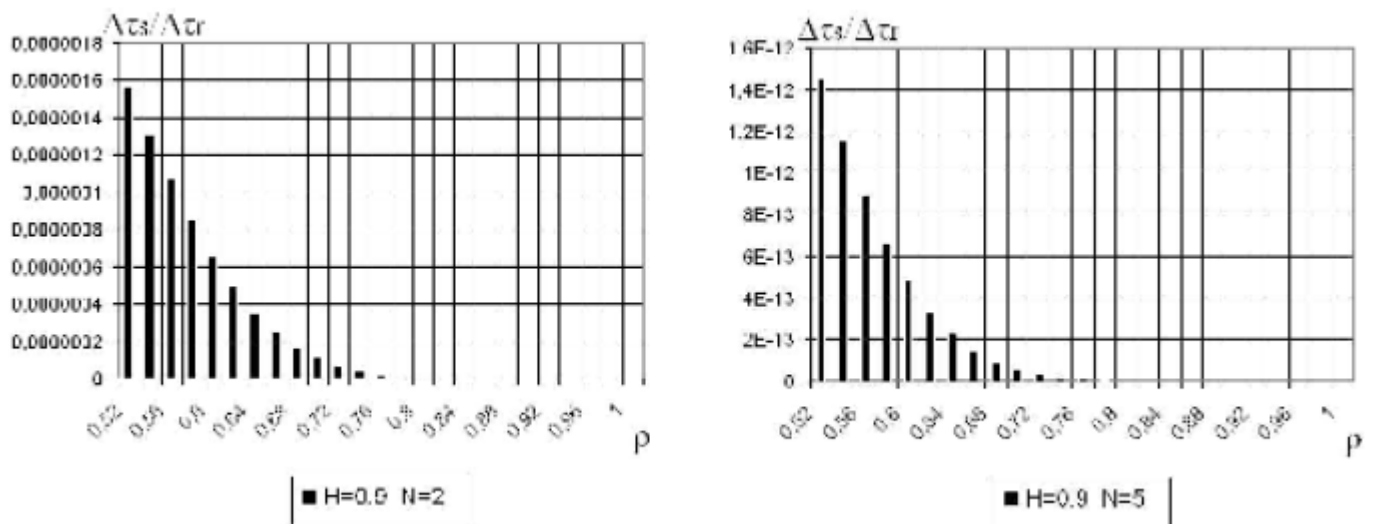


Рис. 2. Зависимость  $\Delta\tau_s/\Delta\tau_r$  от коэффициента использования сети  $\rho$

Таблица 1. Максимальное значение отношения  $\Delta\tau_s/\Delta\tau_r$  при  $\rho_{opt} = 0,5$

N \ H	0,6	0,7	0,8	0,9
2	0,099	0,028	0,002	1,564E-06
5	0,012	0,001	5,607E-06	1,454E-12
10	0,003	9,346E-05	9,128E-08	9,825E-17

Как видно из рис. 2 и табл. 1, с увеличением  $N$  отношение  $\Delta\tau_s/\Delta\tau_r$  уменьшается, т. е. эффективность применения коммутатора по сравнению с маршрутизатором возрастает с увеличением свойства самоподобия трафика. Как и следовало ожидать, она ограничивается диапазоном коэффициента использования сети, поскольку допустимые пределы  $\rho$  зависят от параметра Херста.

### Выводы

Заменяя маршрутизатор коммутатором 3-го уровня, можно обеспечить скорости маршрутизации, близкие к скоростям коммутации, таким образом повышая производительность сети. Метод потоковой маршрутизации наиболее выгоден для самоподобного трафика, который характеризуется «пачечностью» и высокой степенью группирования пакетов.

По результатам расчетов сделан вывод, что при увеличении параметра Херста выигрыш от использования коммута-

торов вместо маршрутизаторов возрастает. В дальнейшем планируется исследовать степень роста этого выигрыша для разных видов трафика.

Допустимые пределы  $r$  зависят от параметра Херста. Из этого следует, что для управления трафиком и настройки коммутационного оборудования необходимо постоянно проводить анализ статистических характеристик трафика.

### Список литературы

1. <http://kunegin.narod.ru> Технологии ускоренной адресации в корпоративных сетях.
2. <http://www.osp.ru/lan> *Бероц Моайери*. Коммутация третьего уровня способствовала распространению структурированных сетей. // Журнал сетевых решений LAN. – 2003. – № 02.
3. *Столлингс В.* Современные компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
4. *Городецкий А.Я., Заборовский В.С.* Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. – СПб.: Изд-во СПбГТУ. – 2000. – 102 с.
5. *Mark E. Crovella, Azer Bestavros* Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes // IEEE / ACM Transactions on Networking. – 1997. – 5(6). – P. 835-846.