УДК 004.738

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В КАМПУСНЫХ СЕТЯХ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ

В.В. Кузьмин, инженер ООО «МЕРА НН»; vvk1987@yandex.ru
А.В. Семашко, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, к.т.н.

Ключевые слова: *кампусная сеть, управление трафиком, Интернет, качество обслуживания (Quality of Service, QoS), пропускная способность, дисциплина обработки очереди пакетов.*

Стремительное развитие широкополосного доступа в Интернет, связанное с активным строительством мультисервисных сетей, способствовало переходу качества предоставляемых телематических услуг на новый уровень. Рост популярности интернет услуг неизбежно приводит к появлению новых видов сервисов и приложений, каждое из которых выдвигает свои требования к параметрам сети (задержкам, скоростям передачи данных и т.д.). При этом объем информации в сети увеличивается, что заставляет оператора разрабатывать новые подходы к управлению трафиком. Базовым понятием при решении данной задачи является «Качество обслуживания» (Quality of Service, QoS). Этот термин часто используется как синоним управления трафиком [1].

Повышение функциональности сети в первую очередь определяется стремлением оператора улучшить впечатление каждого абонента об уровне предоставляемых услуг. При этом оператор вынужден соблюдать баланс между качеством обслуживания и получаемой экономической выгодой от предоставления данных услуг. Такой подход предполагает интеллектуальные методы управления трафиком в сети оператора и основан на работе специальных средств, обеспечивающих оптимальное использование ресурсов для определенного типа трафика. Зачастую инструменты управления трафиком разрабатываются самим провайдером услуг и представляют интеллектуальную собственность, влияющую на конкурентоспособность.

В кампусных сетях для осуществления доступа в Интернет используется выделенный канал связи, организованный на узле коммутации оператора, предоставляющего данный вид услуг. Перед лицом, организующим общий доступ, ставится задача максимально эффективно распределить данный ресурс (выделенный канал связи) между участниками сети с учетом потребностей каждого клиента путем создания гибкой системы распределения трафика.

Канал с небольшой пропускной способностью, обеспечивающий общий доступ к сети Интернет, может быть полностью занят трафиком отдельных узлов сети, в результате чего доступ к глобальным ресурсам для остальных ее участников станет невозможным. Новые приложения (аудио и видео в реальном времени, IP-телефония, системы видеоконференций) нуждаются в более широкой полосе пропускания по сравнению с приложениями, которые использовались ранее [2, 3]. Отсюда следует, что без системы контроля за использованием канала связи интенсивность этих потоков в реальном времени зависит только от доступной ширины полосы пропускания [3]. Узкая полоса пропускания или, что еще хуже, нестабильность ее ширины приводит к резкому ухудшению качества предоставляемых услуг. Это означает, что задача нахождения оптимального подхода к организации управления трафиком не является тривиальной.

Отсутствие регулярных методов управления информационными потоками на узлах коммутации оператора связи может привести к значительному снижению производительности сети и, как результат, к росту оттока абонентов, увеличению расходов и ограничению возможностей сетевого планирования.

Задача распределения трафика становится наиболее критичной в случае, если доступ к информационным ресурсам осуществляется в сети с небольшой пропускной способностью общего канала связи.

Операторы должны избегать использования политики управления трафиком, основанной на методах блокировки контента или иного вмешательства в работу сетевых приложений. Блокировка широко распространенного пирингового трафика может сэкономить средства оператора и даже улучшить качество сервиса для некоторых пользователей, но не будет считаться «разумной» политикой [2]. Применительно к управлению трафиком «разумная» сетевая политика должна обладать следующими качествами [2]:

Справедливость. Справедливая сетевая политика обеспечивает абонентов и приложения обоснованно пропорциональным доступом к ресурсам (пропускной способности) сети. При этом тип используемого абонентом приложения или информационный ресурс, к которому осуществляется доступ, не имеют определенного значения.

Адаптивность. Адаптивная сетевая политика приспосабливается к случаям перегрузок, воздействуя в первую очередь на типы трафика, наименьшим образом влияющие на впечатление абонента о качестве услуги.

Прозрачность. Прозрачная сеть использует политику управления трафиком, которая легко объясняется абоненту и может им контролироваться.

Таким образом, с учетом роста потребления телекоммуникационных услуг и появления новых сетевых сервисов в сети Интернет перед провайдерами наиболее остро ставится задача разработки и реализации интеллектуальных методов организации управления трафиком сети, что позволит приспособить ее к изменяющимся транспортным потокам и неравномерности трафика.

Существующие решения реализации системы управления трафиком можно разделить на аппаратные и программные [3]. Под аппаратными решениями подразумевается использование специализированного оборудования, выполняющего маршрутизацию и управление трафиком. В основном, такие аппаратные маршрутизаторы превосходят по техническим параметрам программные аналоги, но из-за высокой стоимости остаются практически недоступными для небольших компаний, предоставляющих интернет услуги [3].

Программные решения основываются на использовании набора таких приложений, как системы управления базами данных, средства управления трафиком и т.д., устанавливаемых на операционную систему (ОС) обычного компьютера.

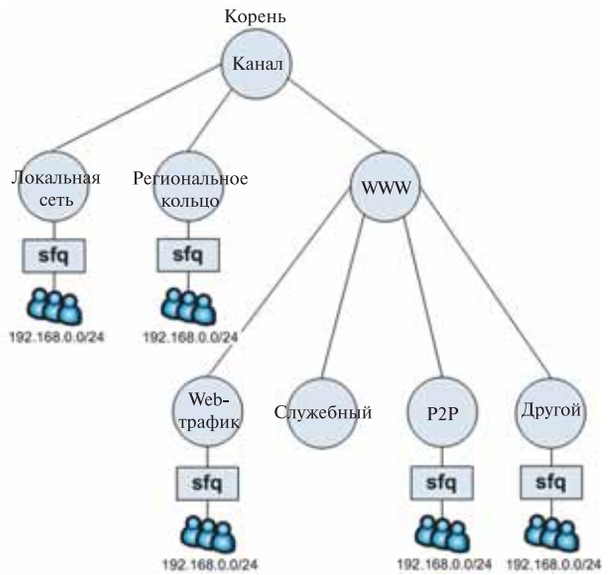

Рис. 1

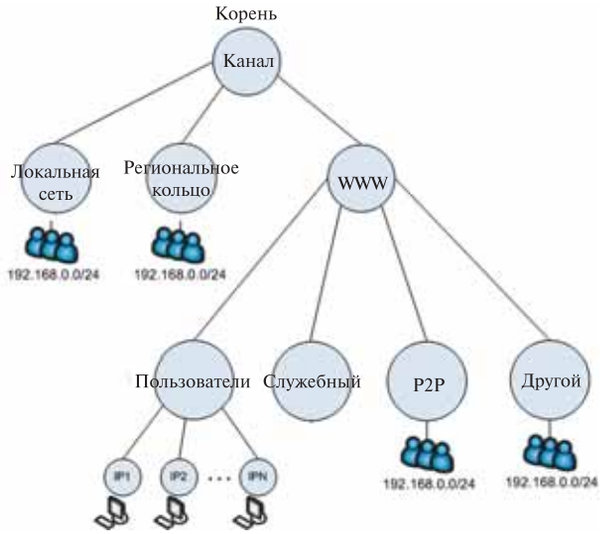

Рис. 2

В силу этого представляется целесообразным сосредоточиться именно на програмном подходе управления трафиком в сети оператора связи.

В данной статье представлена разработка системы управления трафиком (СУТ), выполненная для кампусной сети реального оператора связи. К системе предъявляются следующие требования:

- обеспечение «разумной» сетевой политики;
- наличие механизмов управления информационными потоками на основе используемого протокола. Основное требование -- возможность управления P2P (пиринговым) трафиком и трафиком, идущим к региональным узлам сети;
- соответствие системы дифференцированной модели реализации QoS;
- рост числа абонентов в сети не должен приводить к полной реорганизации архитектуры проектируемой системы.

Все рассматриваемые решения базируются на использовании Unix как серверной ОС. В качестве ОС для узла коммутации (сервера) выбрана система Linux – дистрибутив Ubuntu Server 9.10. Данная система отвечает всем предъявляемым требованиям и является открытым программным продуктом. Выбор дистрибутива также обусловлен хорошей технической поддержкой, выражающейся в регулярном выходе обновлений, и документированностью, способствующей минимизации затрат связанных с внедрением системы. Подробное описание основных понятий, элементов, алгоритмов и механизмов управления трафиком в ОС Linux содержится в [4].

В данной статье предложено несколько вариантов архитектуры СУТ и приведены их сравнительные характеристики. Эти варианты обладают первоначальными свойствами, предполагающими пропорциональный доступ абонентов к ресурсам сети, и предусматривают возможность формирования информационных потоков (и управления ими) на основе используемого протокола передачи данных. В рассматриваемых системах предусмотрены классы для P2P трафика и трафика, идущего к региональным ресурсам сети «региональное кольцо» [3].

Систему управления трафиком в ОС Linux можно представить в виде дерева [4]. В зависимости от конкретной дисциплины, используемой при управлении трафиком, вид дерева может меняться.

При разработке и анализе системы управления пакетами в качестве основной используется классовая дисциплина иерархического распределения трафика (Hierarchical Token Bucket, HTB). Данная дисциплина обеспечивает высокую гибкость в управлении и позволяет определять фильтры, классифицирующие трафик и направляющие его в определенные подклассы [5].

Древовидная структура первого варианта СУТ представлена на рис. 1.

На рисунке показано, что в данной системе выделяются несколько классов трафика. В качестве листовой дисциплины используется SFQ (Stochastic Fairness Queueing).

Второй вариант (рис. 2) разделяет трафик не только по типу используемого протокола, но и по адресу назначения. Каждый абонент представлен в сети отдельным классом. В такой модели СУТ параметры тарифа (гарантированная, максимальная скорость передачи, приоритет и т.д.) определяются отдельным конкретным классом, соответствующим каждому клиенту.

В третьем варианте (рис. 3) в качестве листового алгоритма обработки очереди используется алгоритм ESFQ (Extended Stochastic Fair Queuing). Эта дисциплина дает больше возможностей по настройке очереди в отличие от SFQ. Имея возможность управлять используемым алгоритмом хэша, пользователь может достичь более равномерного распределения полосы пропускания [4, 5].

При разработке СУТ для кампусной сети в качестве основного показателя эффективности системы использовалась оценка справедливости распределения ресурсов в сети. Для анализа был спроектирован тестовый стенд (рис. 4) и моделировалась ситуация, когда система устанавливается на узле коммутации. Интерфейс eth0 маршрутизатора направлен в локальную сеть, а eth1 в сеть Интернет. В сети провайдера присутствует пиринговый трафик и трафик, предназначенный для «регионального кольца», задаваемый списком IP-адресов.

Количественная оценка справедливости распределения сетевых ресурсов рассчитывалась как среднеквадратическое отклонение скорости передачи информации (для каждого класса) для каждого клиента в определенный момент времени. При исследовании скорость передачи информации для каждого конкретного клиента в сети в произвольный момент

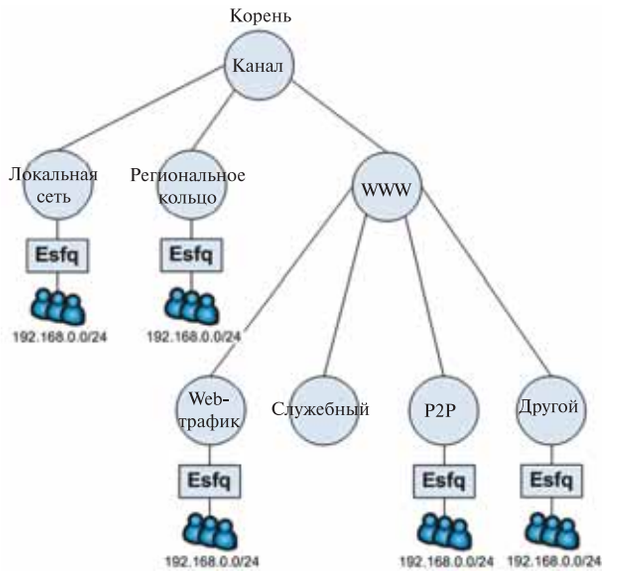

Рис. 3

времени представляла собой случайную величину, формируемую генератором трафика [6].

Статистическая характеристика распределения случайной величины показывает среднюю степень разброса значений величины скорости передачи информации для каждого клиента относительно среднего значения

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}; \quad \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{1}{n}(x_1 + \cdots + x_n),$$

где x_i – значение скорости передачи информации для i-го клиента в момент времени t; n – объем выборки. Данная оценка рассчитывалась для каждого «мгновенного набора» значений скоростей передачи в клиентских классах. Значение параметра n менялось во времени, в зависимости от того, осуществлялась ли в конкретный момент передача информации для клиента. Наиболее справедливое распределение трафика характеризуется нулевым (или близким к нулю) значением оценки.

Оценка справедливости распределения производилась по результатам тестирования СУТ на сервере тестового стенда. Клиентскими терминалами производились запросы к «удаленному» серверу, в ответ на которые генерировался обратный поток пакетов. На сервере производилось распределение данного потока по соответствующим классам. Моделировалась приближенная к реальной ситуация, происходящая в сети провайдера, когда каждый абонент в случайный момент времени производит запросы к какому-либо узлу в сети Интернет.

Реализация случайного процесса генерации трафика для каждого клиента была зафиксирована и протестирована для вариантов системы управления этим трафиком. Исходными данными при оценке работы систем являлись одна из реализаций случайного процесса генерации трафика и вариант системы управления. Реализация данного процесса содержала временные интервалы (240—300 с, 360—420 с, 420—480 с), при которых для клиента генерировалось сразу несколько потоков (рис. 5).

Рис. 4

На сервере тестового стенда для каждого рассматриваемого варианта системы происходило перераспределение канала связи при поступлении данных от клиентов. В случае одновременного поступления запросов на сервер сразу от нескольких клиентов пропускная способность распределялась пропорционально.

Изменение скорости происходило в моменты перераспределения ресурсов канала, связанных с приходом новых запросов от других клиентов. Эксперимент, выполнявшийся на тестовом стенде, показал, что все три предложенных варианта СУТ позволяют максимально эффективно использовать ресурсы общего канала связи. Под эффективностью подразумевается характер использования канала связи. В ходе эксперимента канал был постоянно загружен, и скорость передачи равнялась максимальному значению. Для данных моделей отсутствовали временные интервалы «простоя канала». С учетом полученной картины перераспределения трафика на серверном узле вычислялось значение оценки справедливости.

Вместе с тем, анализ справедливости распределения трафика к клиентам для каждого рассматриваемого варианта показал, что первая модель системы (рис. 1) не удовлетворяет предъявленным требованиям оператора кампусной сети связи в случае, когда на клиентских терминалах запущены сетевые сервисы, поддерживающие несколько одновременно работающих сетевых соединений. Первый вариант системы становится неэффективным, если пользователи работают с программами, поддерживающими несколько потоков. В этом случае система не способна поровну разделить канал между пользователями. Если на клиентских узлах открыто только по одному сетевому соединению, то общий канал доступа распределится равномерно.

Для третьего варианта (рис. 3) оценка справедливости распределения принимает меньшее, чем для первого, значение на интервалах времени, когда клиентом запущенно одновременно несколько информационных потоков. Данный вариант решает проблему пропорционального распределения канала связи в случае одновременной работы в сети сервисов с несколькими установленными соединениями. Использование дисциплины ESFQ в третьем варианте предполагает значительное изменение готовых средств создания систем управления трафиком. Данный модуль не входит в ядро ОС Linux, поэтому для использования этой дисциплины необходима его перекомпиляция, что во многих случаях

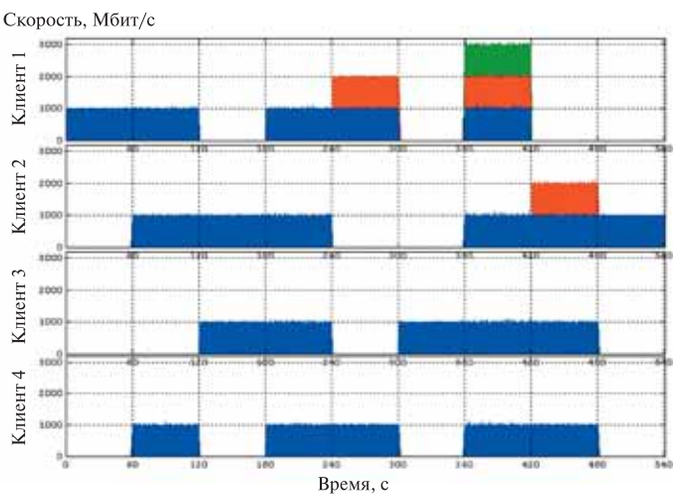

Рис. 5

не представляется возможным для провайдера услуг.

По полученным результатам был сделан вывод, что наилучшую оценку справедливости имеет второй вариант СУТ (рис. 2). Он обеспечивает наиболее равномерное распределение трафика вне зависимости от количества открытых соединений каждым клиентом. В отличие от первого и третьего вариантов второй вариант предусматривает наличие одновременно нескольких тарифных планов с заданием гарантированного и максимального значения скорости. В этом случае перераспределения трафика будет осуществляться пропорционально выставленным гарантированным скоростям для каждого класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Песин И.** Повесть о Linux и управлении трафиком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.opennet.ru/base/net/linux_traffic_qos.txt.html (дата обращения: 17.11.11).
2. Управление трафиком в широкополосной сети [Электронный ресурс]. –Режим доступа: http://www.cableman.ru/Управление_трафиком_в_широкополосной_сети (дата обращения: 06.05.11).
3. **Кульгин М.В.** Технологии корпоративных сетей / М.В.Кульгин.– СПб.: Издательство Питер, 1999. – 704 с.
4. **Hubert B.** Linux Advanced Routing & Traffic Control HOWTO / B. Hubert, T. Graf, G. Maxwell // Linux Advanced Routing & Traffic Control. URL: http://lartc.org/howto/ (дата обращения: 20.10.11).
5. **Devera M.** HTB Linux queuing discipline manual - user guide [Электронный ресурс]. – URL: http://luxik.cdi.cz/~devik/qos/htb/manual/userg.htm (дата обращения: 21.10.11).
6. Как правильно протестировать емкость предоставленного порта? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sibttk.ru/about/faq/ip_vpn/9.html (дата обращения: 12.12.11).

Получено 09.04.12