

Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, Э. Кайали

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ QoS В СЕТЯХ MPLS С УЧЕТОМ САМОПОДОБИЯ ТРАФИКА

Аннотация. В работе методом имитационного моделирования проведено исследование механизмов повышения QoS и методов управления трафиком в сетях MPLS, функционирующих в условиях самоподобного трафика. Ключевые слова: качество обслуживания, мультисервисные системы, самоподобие, управление трафиком

Актуальность задачи

В настоящее время вместе с планомерным увеличением скоростей передачи данных в телекоммуникациях увеличивается доля интерактивного трафика, крайне чувствительного к параметрам среды транспортировки. Важными параметрами, характеризующими качество обслуживания (Quality of Service - QoS), являются: задержка доставки, дисперсия времени доставки пакета, вероятность его потери, например, из-за переполнения буферов в транзитных сетевых устройствах. Поэтому задача обеспечения QoS становится все более актуальной и для ее решения в сети должны быть реализованы механизмы, гарантирующие нужное качество обслуживания. Целью данной работы является исследование механизмов повышения QoS и методов управления трафиком в сетях MPLS, функционирующих в условиях самоподобного трафика.

Основные механизмы обеспечения QoS

QoS-маршрутизация (QoS routing). Механизм выбора пути пакетов, учитывающий требования потоков трафика к качеству обслуживания (производительность, задержка, стоимость и т.д.) и осуществляющий выбор маршрута в зависимости от наличия сетевых ресурсов.

Резервирование ресурсов (Resource reservation). Механизм, базирующийся на протоколе RSVP, предоставления в IP-сетях услуг эмуляции выделенных каналов; позволяет системам запрашивать га-

рантированную пропускную способность канала, предсказуемую задержку, максимальный уровень потерь.

Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance). Механизмы поддерживают уровень нагрузки в сети ниже пропускной способности сети (уменьшение трафика, поступающего в сеть).

Маркировка пакетов (Packet marking). Пакеты могут быть маркированы в соответствии с определенным классом обслуживания. Маркировка обычно производится во входном узле, где в специальное поле заголовка (Type of Service в заголовке IP или DS-байт в заголовке DiffServ) вводится определенное значение.

Организация и планирование очередей (Queuing and scheduling). Цель механизмов этой группы – выбор пакетов для передачи из буфера в канал. Основан на ряде схем формирования нескольких очередей, приоритетного обслуживания, на механизме взвешенной справедливой буферизации, на классификации потоков по классу обслуживания.

Классификация трафика (Traffic classification). Механизм классификации пакетов на входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) - выделение пакетов одного потока, характеризующего общими требованиями к качеству обслуживания. Затем трафик подвергается процедуре нормирования (измерение параметров трафика и сравнение результатов измерений с параметрами, оговоренными в контракте о трафике, известном как соглашение об уровне обслуживания).

Управление характеристиками трафика (Traffic shaping). Механизм предполагает контроль скорости и объема потоков, поступающих на вход сети. При прохождении через специальные формирующие буферы уменьшается пачечность исходного трафика, и его характеристики становятся более предсказуемыми.

Сети MPLS

В настоящее время эффективным решением задачи обеспечения качества обслуживания сетей является технология многопротокольной коммутации пакетов MPLS (Multiprotocol Label Switching Protocol) [1-3]. Решение с использованием MPLS-сети в качестве основы операторской инфраструктуры имеют экономические и технические преимущества, в том числе: исключение необходимости строительства и поддержки разных типов сетей; экономически выгодное

использование физических каналов связи между узлами оператора за счет передачи голосовых данных, данных клиентских VPN и данных Интернета через единую сеть IP/MPLS; возможность использования любых существующих сетей для магистральной и доступа клиентов; расширение списка операторских сервисов, предоставляемых клиентам; простота настройки и эксплуатации сети; высокая масштабируемость сети и надежность решения; низкая требовательность к ресурсам оборудования. MPLS улучшает службы, которые могут предоставляться IP-сетями, обеспечивая управление трафиком (Traffic Engineering - TE), VPN и QoS. В основе технологии MPLS лежит принцип обмена меток. Каждый маршрут таблицы маршрутизации ассоциируется с определенной меткой фиксированного формата, уникальной для маршрутизатора MPLS-сети. Любой передаваемый пакет ассоциируется с тем или иным классом сетевого уровня FEC (Forwarding Equivalence Class), каждый из которых идентифицируется определенной меткой. Значение метки уникально лишь для участка пути между соседними узлами сети MPLS, которые называются также маршрутизаторами, коммутирующими по меткам LSR (Label Switching Router). В сети MPLS заголовок пакета анализируется граничным маршрутизатором. Он же и определяет для пакета наилучший маршрут в сети и помечает пакет меткой, идентифицирующей этот маршрут. Все остальные маршрутизаторы в сети MPLS считывают только метку и направляют пакет по указанному маршруту. Последовательность маршрутизаторов, через которые проходят пакеты, принадлежащие одному FEC, образует виртуальный путь LSP (Label Switching Path), коммутируемый по меткам. При выходе из MPLS-облака пакет доставляется стандартной IP-маршрутизацией.

Traffic Engineering (TE) – это возможность управления направлением прохождения трафика с целью выполнения определенных условий (резервирование каналов, распределение загрузки сети, балансировка и предотвращение перегрузок). Ключевые характеристики управления трафиком относятся к следующим категориям: ориентированные на трафик, или ориентированные на ресурсы. В модели процесса управления трафиком инженер трафика (система автоматизации) включает набор взаимосвязанных сетевых элементов, систему мониторинга состояния сети и набор средств управления конфигурацией; формулирует политику управления, отслеживает состояние се-

ти посредством системы мониторинга и характеристик трафика и предпринимает управляющие действия, чтобы перевести сеть в требуемое состояние, в соответствии с политикой управления. Это может быть осуществлено с помощью действий, предпринимаемых как отклик на текущее состояние сети, или превентивно, используя прогнозирование состояния и тенденции и предпринимая действия, предотвращающие нежелательные будущие состояния. В идеале управляющие действия должны включать: модификацию параметров управления трафиком, модификацию параметров, связанных с маршрутизацией, и модификацию атрибутов и констант, связанных с ресурсами.

Самоподобие в телекоммуникационных сетях

Современные телекоммуникационные сети построены на основе усреднения потоков данных. Согласно классической теории массового обслуживания, множество потоков данных со случайными вариациями распределений вероятностей дадут в результате некий усредненный сглаженный трафик. Однако этот подход не действует в современных сетях, для которых характерны мощные пиковые выбросы.

Многочисленные исследования процессов в информационных сетях показали, что классическая пуассоновская модель трафика, которая использовалась при проектировке сетевых протоколов, не отражает реальной действительности: данные реального сетевого трафика обладают свойством масштабной инвариантности (самоподобием). Причина такого эффекта заключается в особенностях распределения файлов по серверам, их размерах, 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.

Стохастический процесс $X(t)$ является статистически самоподобным с параметром самоподобия H (показателем Херста), если процесс $a^{-H}X(at)$ обладает теми же статистическими характеристиками второго порядка, что и $X(t)$. 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 сум-

марная потребность всех потоков далека от максимально допустимых значений [4,5].

С появлением MPLS-сетей происходит их изучение с точки зрения влияния самоподобных свойств трафика на качество обслуживания сети. В работах [6,7] проведены исследования влияния степени самоподобия трафика на сходимость реальной сети при управлении трафиком с различным QoS. В работах [8, 9] рассмотрены зависимости характеристик QoS, такие как задержки, джиттер и потери пакетов от параметров самоподобия входящего трафика. Показано, что основное влияние на ухудшение характеристик QoS оказывают большие значения показателя Херста, как степени самоподобия, и коэффициента дисперсии, определяющего уровень всплесков трафика.

В настоящее время рассматривается несколько подходов, направленных на уменьшение влияния самоподобности потоков в MPLS-сетях. Ряд работ посвящен методам управления трафиком в сетях MPLS с динамически изменяющимися весами путей, зависящими от степени самоподобия входного потока; представлены результаты имитационного моделирования в малых сетях [10]. При другом подходе, представленном в [11,12], предложен метод маркировки потоков в FEC, учитывающий значения показателя Херста и коэффициента дисперсии. Определение уровня всплесков также может помочь при маркировке потоков трафика, например, в случае, когда более приоритетный трафик в течение долгого времени препятствует прохождению потоков с более низким приоритетом. Кроме того, оценка коэффициента дисперсии может быть использована для динамического определения приоритетов трафиков. В работе [12] предлагается подход к сокращению количества запасной пропускной способности и общей стоимости сети. При определении пути для передачи трафика и необходимой пропускной способности учитываются параметры самоподобного трафика. Необходимая пропускная способность канала изменяется в зависимости от значений показателя Херста и коэффициента дисперсии и количество зарезервированной пропускной способности каналов уменьшается.

Модели самоподобного трафика и имитационное моделирование

Во всех рассмотренных подходах большую роль играет правильно подобранная модель нагрузки, учитывающая основные характеристики самоподобного потока. Однако в настоящее время не суще-

ствуется универсальной модели самоподобного трафика. Основной моделью, которая используется большинством исследователей с небольшими модификациями, является фрактальный броуновский трафик, предложенный в [13]. Здесь агрегированный трафик рассматривается как случайный процесс, значениями которого является суммарный объем пакетов, поступивших от источника на t -м интервале времени. Эта модель имеют ряд недостатков, в том числе недостаточную согласованность со свойствами реальных трафиков, в частности, высоким уровнем всплесков.

Модель трафика, предложенная в работе [14], представляет собой самоподобный случайный процесс с дискретным временем, основой которого является экспоненциальное преобразование фрактального гауссовского шума. Параметрами модели являются оценки интенсивности, показателя Херста и коэффициента дисперсии входного трафика. Использование предложенной модели позволяет рассчитывать объем буферной памяти, необходимый для прохождения трафика через канал сети.

В данной работе рассматривается управление самоподобным трафиком в сетях MPLS. Исследования проводились с помощью сетевого симулятора openSimMPLS, который позволяет использовать различные методы TE. Модельные реализации трафика генерировались на основе вышеописанной математической модели. Посредством системы мониторинга определялись характеристики проходящего трафика и вычислялась полоса пропускания канала. При возникновении определенных изменений характера трафика или необходимой полосы пропускания, можно изменять весовые коэффициенты каналов для маршрутизации. Кроме того, в зависимости от заданного уровня QoS, можно перемаршрутизировать либо весь проходящий трафик, либо некоторую его часть. Перемаршрутизация в сетях MPLS дает возможность слияния виртуальных каналов, что позволяет уменьшить их число и количество изменений в соединениях. Также, после изучения характера проходящего трафика, можно изменять класс FEC трафика, т.е. можно назначать метки MPLS пакетам в зависимости от различных параметров трафика, что соответственно повлечет за собой его перемаршрутизацию. Соответственно, можно объединить оба эти подхода; данные исследования будут произведены при дальнейшей работе.

Выводы

В работе рассмотрены существующие механизмы повышения QoS и методы управления трафиком в сетях MPLS. С помощью имитационного моделирования проверены возможности использования данных методов при самоподобной нагрузке в сети. Результаты моделирования показали, что при внедрении описанных методов качество обслуживания повышается. Дальнейшие исследования будут посвящены количественному анализу характеристик QoS в зависимости от параметров трафика и методов TE.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемешко О.В. Багатоканальний електровз'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х частинах. Ч.1 / О.В. Лемешко, В.А. Лошаков, В.В. Поповський та ін. // Харків: ТОВ "Компанія СМІТ". - 2010. - 470 с.
2. Олвейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS / Вивек Олвейн // Cisco Press. - 2004. - 480 с.
3. Hussain I. Fault-Tolerant IP and MPLS Networks / Iftekhar Hussain // Cisco Press. - 2005. 336 с.
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс // СПб.: Питер. - 2003. - 783 с.
5. Sheluhin O. I. Similar processes in telecommunications / O. I. Sheluhin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin // John Wiley & Sons Ltd, England. - 2007. - 310 p.
6. L'opez V. A Bayesian decision theory approach for the techno-economic analysis of an all-optical router / Victor L'opez, Jos'e Alberto Hern'andez, Javier Aracil, Juan P. Fern'andez Palacios and Oscar Gonz'alez de Dios // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking Vol. 52 Issue 10. Inc. New York, NY, USA. -2008. - P.1916-1926.
7. Casellas R. Packet Based Load Sharing Schemes in MPLS networks // Ramon Casellas, Jean Louis Rougier, Daniel Kohan // Proceedings of the 3rd international IFIP/ACM Latin American conference on Networking. Paris. - 2002. - P.18-28.
8. De Carvalho. An Experimental Testbed for Evaluation Topics in Converged Networks / De Carvalho, H. Abdalla JR., A. M. Soares, P. Solns. Barreto, P. Tarchetti, R. Lambert, G. Amvame-nze // Departamento de Engenharia El'etrica, Universidade de Bras'ilia, Brazil. - 2005. - P.503-509.
9. P. Barreto. A Traffic Characterization Procedure for Multimedia Applications in Converged Networks / Priscilla A. S. M. Barreto, Paulo H.P. deCarvalho, Jos'e A. M. Soares, Humberto AbdallaJ'rnior // Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. Washington, DC, USA. - 2005. - P.153-160.
10. Vargas-Rosales C. Routing with Wavelet-Based Self-Similarity Estimation / Cesar Vargas-Rosales, Luis J. Manzanero // Computaciyn y Sistemas. vol.8, n.2. Monterrey, Mexico. - 2004. -.P. 119-131.

11. De Carvalho. Analysis of the influence of self-similar traffic in the performance of real time applications / P. H. P. de Carvalho, H. Abdalla Jr., A. M. Soares, P. Solns Barreto, P. Tarchetti // Department of Electrical Engineering, University of Brasilia. – 2005. – P.480-485.
12. Kyu-Seek Sohn. A Distributed LSP Scheme to Reduce Spare Bandwidth Demand in MPLS Networks / Kyu-Seek Sohn, Seung Yeob Nam, Dan Keun Sung // Communications, IEEE, Vol. 54, Issue:7. – 2006. – P.1277-1288.
13. Norros I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks / I. Norros // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1995. – № 13(6). – P. 953–962.
14. Кириченко Л.О. Об одном методе моделирования самоподобного стохастического процесса / Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, Ж.В. Дейнеко, А.А. Замуло // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна №890. –В. 13. Харків. - 2010. - С.53-63.