

Л.О. Кириченко

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ МАРШРУТИЗАЦИИ ФРАКТАЛЬНОГО ТРАФИКА

Аннотация. Предложен метод оценки стоимости маршрутизации, учитывающий фрактальные свойства сетевого трафика, на основании которых пересчитывается стоимость маршрутов и выбирается оптимальный путь. Имитационное моделирование показало, что использование разработанного метода значительно повышает качество обслуживания и уменьшает потери при передаче фрактального трафика.

Ключевые слова: самоподобный и мультифрактальный трафик, маршрутизация, технология MPLS.

Постановка задачи

С развитием компьютерных сетей и информационных технологий интенсивность телекоммуникационного трафика растет в геометрической прогрессии. Возрастают потребности пользователей, которые предполагают и доступ к интегрированным сервисам сети, и организацию виртуальных частных сетей, и множество других специальных услуг. Одним из решений возникающих задач является разработка технологии MPLS (Multiprotocol Label Switching), которая значительно расширяет имеющиеся перспективы масштабирования, повышает скорость обработки трафика и предоставляет огромные возможности для организации дополнительных сервисов.

Экспериментальные и численные исследования, проведенные в последние десятилетия, свидетельствуют, что трафик во многих мультисервисных сетях имеет самоподобные свойства. Самоподобный трафик вызывает значительные задержки и потери пакетов, даже если суммарная интенсивность всех потоков далека от максимально допустимых значений [1,2]. Самоподобные свойства информационных потоков обнаружены во многих локальных и глобальных телекоммуникационных сетях, в частности в сетях MPLS [3,4].

В связи с вышеизложенным начали активно исследоваться механизмы повышения качества обслуживания и методов управления

трафиком в мультисервисных сетях, в том числе сетях MPLS, функционирующих в условиях самоподобного и мультифрактального трафика [5]. В работе [6] предложен метод маршрутизации с учетом фрактальной структуры трафика, что позволяет предупреждать перегрузку сети при пиковых выбросах трафика.

Целью представленной работы является исследование и тестирование метода оценки стоимости маршрутизации, учитывающего самоподобные и мультифрактальные свойства телекоммуникационного трафика в сетях MPLS с помощью имитационного моделирования.

Метод оценки стоимости маршрутизации

В архитектуре MPLS возможен выбор маршрутов на основе отдельных потоков, причем различные потоки, связывающие одну и ту же пару конечных точек, могут следовать по разным маршрутам. При возникновении перегрузки маршруты могут быть изменены. Протокол маршрутизации, основываясь на данных о состоянии каналов, вычисляет маршруты наименьшей стоимости между входным граничным маршрутизатором и всеми остальными. В одной линии связи m может существовать множество каналов $y \in Y$ для передачи трафика. Для каждого канала трафика определяется набор каналов связи для пути $l \in L_y$. Значение стоимости маршрутизации c_m присваивается линии связи m и зависит от ряда параметров, в частности, скорости, длины и надежности. [7-9].

Целевая функция, минимизирующая стоимость маршрута на множестве путей $P_y = \{p_y^1, \dots, p_y^{L_y}\}$, имеет следующий вид:

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in L_y} C_y^l x_y^l(t) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Y – множество каналов передачи трафика, L_y – множество путей, $x_y^l(t)$ – пропускная способность пути p_y^l канала передачи трафика; C_y^l – стоимость пути p_y^l , равная сумме стоимостей линий связи:

$$C_y^l = \sum_{m \in p_y^l} c_m.$$

Самоподобный и мультифрактальный трафик

Самоподобие случайных процессов заключается в сохранении статистических характеристик при изменении масштаба времени и

характеризуется показателем Херста H , который является степенью самоподобия. Самоподобный трафик имеет особую структуру, которая сохраняется на многих масштабах – в реализации всегда присутствует некоторое количество очень больших выбросов при относительно небольшом среднем уровне трафика. Мультифрактальный трафик определяется как расширение самоподобного трафика за счет учета масштабируемых свойств статистических характеристик второго и выше порядков.

Как характеристику неоднородности мультифрактального потока данных в работе предложено ввести коэффициент нормированного разброса $S_{norm}(T) = S / \bar{X}$, где T – временной интервал, на котором фиксируется трафик, S – среднее квадратическое отклонение трафика, \bar{X} – среднее значение [6].

Коэффициент $S_{norm}(T)$ является безразмерным и не зависящим от интенсивности процесса. При работе в режиме реального времени целесообразно перейти от расчета мультифрактальных характеристик, которые являются достаточно затратными по времени, к вычислению величины $S_{norm}(T)$.

Метод оценки стоимости маршрутизации, учитывающий фрактальные свойства трафика

Протокол на уровне маршрутизации изменяется с учетом информации о самоподобии трафика из канального уровня и расчетом стоимости для каждого канала. При прохождении по сети трафика с сильными фрактальными свойствами требуется своевременное увеличение пропускных способностей линий связи. В работах [1,2,10] показано, что при значениях показателя Херста $H \geq 0,9$ или при персистентном трафике с нормированным разбросом $S_{norm} \geq 3$ величина потерь данных превышает 5-10%.

Чтобы отразить изменение фрактальных свойств потоков, стоимости путей C_y^l обновляются в регулярные промежутки времени и пересчитываются по формуле

$$C_{new_y}^l = \begin{cases} C_y^l, & H \leq 0,5; \\ C_y^l + (H - 0,5)C_0, & 0,5 < H < 0,9, S_{norm} \leq 1; \\ C_y^l + (H - 0,5)(S_{norm} - 1)C_0, & 0,5 < H < 0,9, 1 < S_{norm} < 3; \\ C_y^l + C_0, & H \geq 0,9 \text{ или } H > 0,5, S_{norm} \geq 3, \end{cases}$$

где $C_y^l = \sum_{m \in p_y^l} c_m$ определяется в соответствии с целевой функцией (1),

значение C_0 выбирается администратором сети с учетом топологии сети. Алгоритм маршрутизации не изменяется (стоимость пути $C_{new_y}^l = C_y^l$), если трафик является обычным пуассоновским потоком ($H = 0,5$) или обладает антиперсистентными свойствами ($H < 0,5$). При значении $0,5 < H < 0,9$ и малым разбросом данных ($S_{norm} \leq 1$) значение C_y^l увеличивается пропорционально значению показателя Херста. При значении показателя Херста $0,5 < H < 0,9$ и большим разбросом данных ($1 < S_{norm} < 3$) значение C_y^l увеличивается пропорционально обоим характеристикам. Стоимость с максимальным значением $C_y^l + C_0$ получается при значении $H \geq 0,9$ или при персистентном трафике с нормированным отклонением $S_{norm} \geq 3$.

Оценивание параметра Херста осуществляется с помощью дискретного вейвлет-преобразования, что позволяет работать в реальном времени [11]. После перерасчета стоимости всех путей объявление о состоянии путей рассылается между маршрутизаторами.

Тестирование с помощью имитационного моделирования

Для оценки эффективности предложенного метода было проведено его тестирование на открытой платформе графического моделирования сетей HUAWEI. В основу модельной сети были положены данные существующей мультисервисной корпоративной сети. Построенная сеть состоит из двух локальных сетей WIN1 и WIN2, которые объединены мультисервисной компьютерной сетью, и подключены к граничным маршрутизаторам SW1 и SW2 соответственно (рис.1).

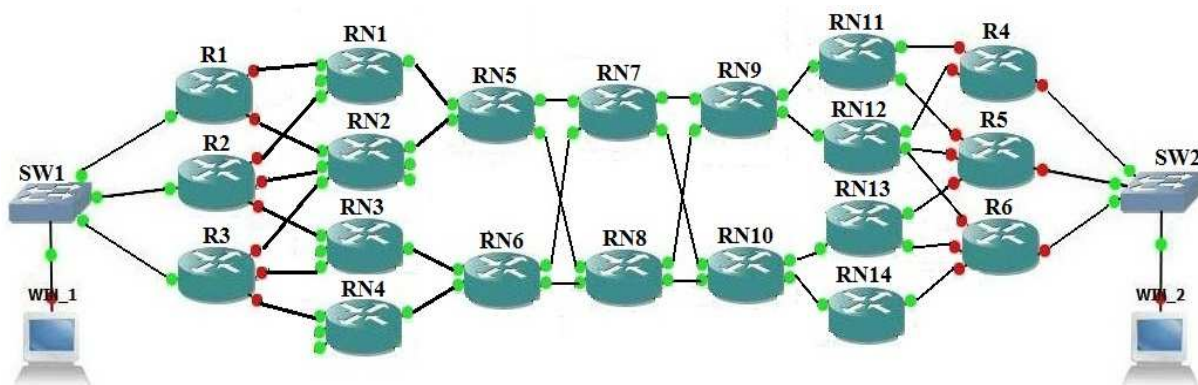


Рисунок 1 – Схема компьютерной модельной сети

Мультисервисная сеть состоит из внутренних маршрутизаторов R1, R2, R3, R4, RN1–RN14 (оборудование Mikrotik RB/750(GL)) и граничных маршрутизаторов SW1 и SW2 (оборудование Juniper SRX1008). Измерение характеристик сети и проходящего трафика происходило на входящих и выходящих портах маршрутизаторов SW1 и SW2. Источником трафика в экспериментах являлись реализации реального трафика и модельные реализации, генерируемые с помощью мультифрактальной модели [10].

В построенной модельной сети было проведено исследование влияния мультифрактальных свойств трафика на качество обслуживания сети, в частности, определение предельных пропускных способностей различных фрагментов сети и зависимости потерь пакетов от загрузки отдельных узлов сети и каналов связи, перенаправление наиболее критических информационных потоков на менее загруженные альтернативные узлы и др.

На рис.2 представлена динамика изменения пропускной способности канала связи WIN_1-SW1 при входящем мультифрактальном трафике без использования (вверху) и при использовании метода оценки стоимости маршрутизации (внизу). В первом случае средняя загрузка канала связи составляет 7 Гбит/с, при этом присутствует достаточно много пиковых выбросов. С течением времени амплитуда выбросов увеличивается. Исследования показали, что после некоторого периода времени в сети происходят потери данных, и система вновь возвращается в начальное состояние с меньшими колебаниями относительно средней пропускной способности.

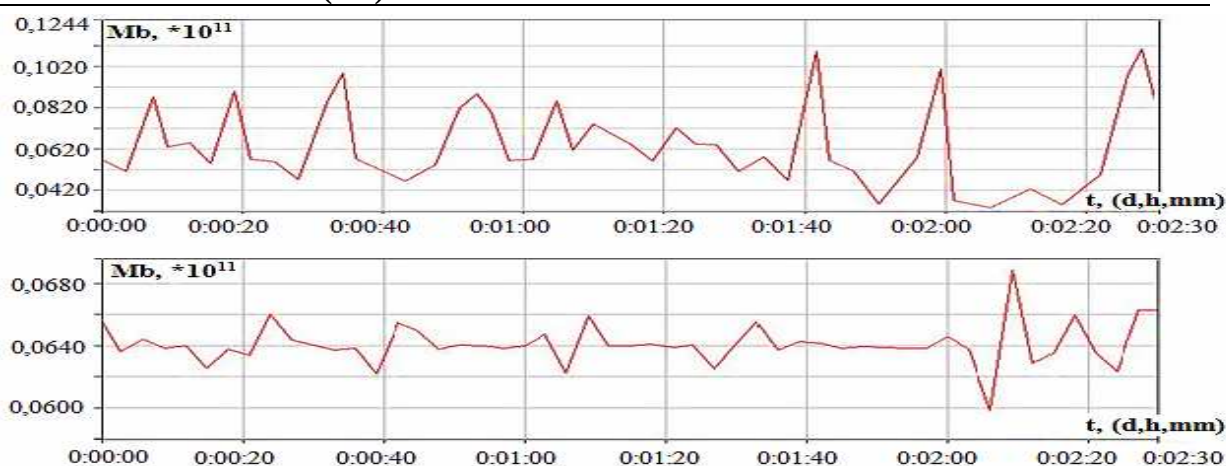


Рисунок 2 - Пропускная способность сети без использования (вверху) и при использовании метода оценки стоимости маршрутизации (внизу)

Для таких же входных реализаций трафика при использовании метода оценки стоимости маршрутизации средняя пропускная способность равна 6,4 Гбит/с, пиковый выброс наблюдается только в момент 2,1 часа. Трафик, проходящий в канале, является значительно более сглаженным. Следовательно, загрузка маршрутизаторов при таком проходящем по каналу трафике является более равномерной и предсказуемой. В верхней части рис.3 представлена соответствующая рисунку 2 зависимость количества потерянных данных на маршрутизаторе SW1, которая имеет место без использования метода. Со временем количество потерянных данных, увеличивается и достигает 46%, так как увеличивается количество и разброс значений пиковых выбросов относительно средней пропускной способности канала (см. рис. 2).

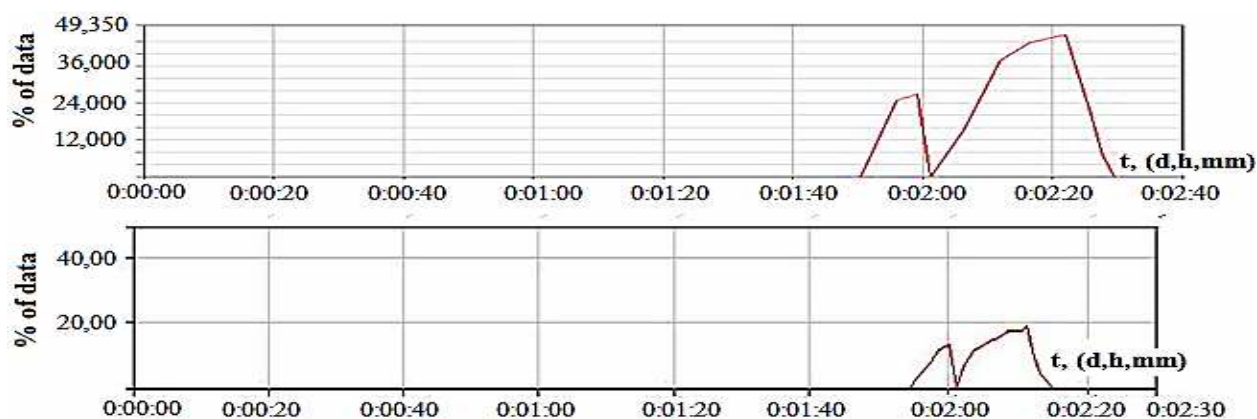


Рисунок 3 – Количество потерянных данных без использования (вверху) и при использовании метода оценки стоимости маршрутизации (внизу)

Внизу рисунка показана динамика потерь при использовании метода оценки стоимости маршрутизации. В этом случае количество потерянных данных значительно уменьшается (максимальное значение равно 19%).

Выводы

В работе предложен метод оценки стоимости маршрутизации, который учитывает фрактальные свойства трафика. Результаты имитационного моделирования показали, что при том же самом объеме передаваемой информации потери при передаче трафика, обладающего фрактальными свойствами, заметно ниже при использовании предложенного метода. Таким образом, можно сделать вывод, что использование разработанного метода оценки стоимости маршрутизации значительно повышает качество обслуживания в сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sheluchin O. I. Self-Similar Processes in Telecommunications / O. I. Sheluchin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin // New York : John Wiley & Sons. – 2007. – 320 p.
2. Кириченко Л. О. Влияние методов маршрутизации на качество обслуживания в мультисервисных сетях при самоподобной нагрузке / Л. О. Кириченко, Т. А. Радивилова, Э. Кайали // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 1/2 (49). – С. 15–18.
3. Шелухин О. И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / О. И. Шелухин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2011. – 576 с.
4. Carvalho, de. Analysis of the influence of self-similar traffic in the performance of real time applications / P. N. 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.
5. Кириченко, Л.О. Анализ методов повышения QoS в сетях MPLS с учетом самоподобия трафика / Л.О. Кириченко, Э. Кайали, Т.А. Радивилова // Системні технології. – 2011. – Вип. 3. – С. 52–59.
6. Кириченко, Л.О. Расчет стоимости маршрутизации в сети MPLS с учетом фрактальных свойств трафика / Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова, Э. Кайали // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – Вып. 161. – С. 116–121.
7. Graziani, R. Routing Protocols and Concepts: CCNA Exploration Companion Guide // R. Graziani, A. Johnson // Cisco Systems Networking Academy Program. – 2012. – 606 p.
8. Зайченко, Е.Ю. Сети с технологий MPLS: моделирование, анализ и оптимизация / Е.Ю. Зайченко, Ю.П. Зайченко. К.: Изд. «Политехника», 2008. – 320 с.
9. Радивилова, Т. А. Описание модели сети MPLS и методов управления трафиком /Т. А. Радивилова, Э. Кайали // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2012. – Вип. 3 (23). – С. 184–189.
10. Kirichenko, L. Modeling telecommunications traffic using the stochastic multifractal cascade process // L. Kirichenko, T. Radivilova, E. Kayali // Problems of Computer Intellectualization / ed. K. Markov, V. Velychko, O. Voloshin. – Kiev–Sofia: ITHEA. – 2012. – P. 55–63.
11. Abry, P. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation / P. Abry, P. Flandrin, M. S. Taqqu, D. Veitch. – New-York: John Wiley & Sons, 2000. – P. 39–88.