
А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко

**ПОТОКОВАЯ МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦИИ
С БАЛАНСИРОВКОЙ НАГРУЗКИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ
КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

Ключевые слова: многопутевая маршрутизация, балансировка нагрузки, качество обслуживания, многопутевая задержка, трафик.

Проведено исследование решения задачи маршрутизации с балансировкой нагрузки. Предложена модель маршрутизации с балансировкой нагрузки по показателям качества обслуживания, а именно по многопутевой задержке. Использование предложенной модели позволяет уменьшить многопутевую задержку пакетов, минимизировать джиттер, а также улучшить показатели качества обслуживания в целом.

A.V. Lemeshko, T.V. Vavenko

FLOW MODEL OF LOAD BALANCING ROUTING WITH QUALITY OF SERVICE PARAMETERS

Kharkov National University of Radioelectronics, Kharkov

Keywords: multipath routing, load balancing, quality of service, average delay, the traffic.

In the paper we have investigated the problem of routing with load balancing. We proposed a model of load-balanced routing on quality of service parameters (average delay). The use of the proposed model can reduce the average packet delay, minimize jitter, and improve the quality of service parameters.

На сегодняшний день, несмотря на стремительное развитие телекоммуникационных технологий, достаточно актуальными остаются вопросы по обеспечению требуемого уровня качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в телекоммуникационных сетях (ТКС) [1]. Высокие значения показателей QoS невозможны без эффективного решения задач сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМОС). При этом основной задачей данного уровня является задача маршрутизации [2].

Протоколы маршрутизации находятся в постоянном совершенствовании. Замечено, что наиболее активной тенденцией развития подобных протоколов является направление поддержки функций многопутевой маршрутизации. Реализация данной функции на практике позволяет осуществлять балансировку нагрузки на сетевые элементы: маршрутизаторы, каналы связи ТКС – за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть и распределение трафика по каналам. Применение технологии балансировки нагрузки позволяет эффективно использовать ресурсы сети и оптимизировать решение задачи маршрутизации с учетом количества и производительности маршрутизаторов, структуры сети (ее топологии и пропускных способностей каналов), и тем самым обеспечивает улучшение показателей QoS.

Известно, что эффективность протоколов маршрутизации, и в том числе механизмов балансировки нагрузки, во многом зависит от математических моделей, которые положены в их основу [3-6]. В основу существующих протоколов маршрутизации положены преимущественно графовые модели. Однако при решении задачи маршрутизации наблюдается тенденция перехода от графовых моделей к потоковым, которые позволяют учитывать особенности современного трафика, циркулирующего по ТКС: его мультимедийность и потоковый характер. Исследование и дальнейшее развитие маршрутизации с балансировкой нагрузки невозможно без обоснованной и эффективной математической модели.

Был проведен анализ математических моделей, в результате чего сделан вывод, что существующие модели маршрутизации с балансировкой нагрузки несовершенны и обладают рядом недостатков [5]. В результате исследований была разработана математическая модель маршрутизации с балансировкой нагрузки, которая отличается от ранее известных моделей тем, что в ее основу положены критерии, которые непосредственно связаны с показателями качества обслуживания (временными, скоростными и показателями надежности).

В рамках разработанной модели маршрутизации с балансировкой нагрузки по показателям качества обслуживания структура ТКС описывается с помощью графа $G = (V, E)$, где V – это множество узлов сети, E – множество каналов сети. Для каждой дуги $(i, j) \in E$ характерна ее пропускная способность c_{ij} . Каждому трафику из множества K сопоставлен ряд параметров: пусть d_k , s_k , t_k – интенсивность k -го трафика, узел-источник и узел-получатель соответственно.

Управляющей переменной служит величина X_{ij}^k , которая характеризует долю k -го трафика,

протекающего в канале $(i, j) \in E$. В соответствии с физикой решаемой задачи на переменные x_{ij}^k накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq x_{ij}^k \leq 1. \quad (1)$$

Чтобы не допустить потери пакетов на сетевых узлах и в сети в целом, в модели предусмотрено условие сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 0, & k \in K, i \neq s_k, t_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 1, & k \in K, i = s_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = -1, & k \in K, i = t_k. \end{cases} \quad (2)$$

Чтобы гарантировать отсутствие эффекта зацикливания в сетях с полудуплексными и (или) дуплексными каналами связи, необходимо обеспечить выполнение условия [5]:

$$x_{ij}^k \cdot x_{ji}^k = 0, \quad (i, j) \in E, \quad k \in K. \quad (3)$$

Кроме этого, составляющим модели является условие предотвращения перегрузки в симплексных и дуплексных каналах сети [5]:

$$\sum_{k \in K} d_k x_{ij}^k \leq c_{ij} \alpha, \quad (i, j) \in E, \quad (4)$$

и также для полудуплексных каналов:

$$\sum_{k \in K} d_k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} d_k x_{ji}^k \leq c_{ij} \alpha, \quad (i, j) \in E, \quad (5)$$

где α – динамически управляемый порог загруженности каналов ТКС;

Так как одним из ключевых показателей качества обслуживания является многопутевая задержка, рассмотрим ее в качестве критерия при решении задачи маршрутизации. Для этого в модель вводится дополнительное условие. В рамках применения тензорных подходов [6], с целью устранения контуров (петель) в рассчитываемых маршрутах обслуживания трафика контурные слагаемые по показателю контурных задержек для каждого трафика $k \in K$ приравниваются к нулю:

$$\bar{\tau}_{\text{конт.}}^k = 0, \quad (6)$$

где $\bar{\tau}_{\text{конт.}}^k$ – вектор контурных задержек, координаты которого определяют сумму задержек вдоль каждого независимого контура в ТКС.

Количество независимых контуров определяется следующим выражением:

$$r = n - m + 1, \quad (7)$$

где n – количество каналов связи, m – количество узлов ТКС.

В ходе решения задачи маршрутизации минимизируется квадратичная целевая функция:

$$\min_{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{X}}, \quad (8)$$

где $\bar{\mathbf{X}}$ – вектор с координатами x_{ij}^k .

Введение условий (6)-(7) обеспечивают балансировку нагрузки по многопутевой задержке при решении задачи маршрутизации. А это, в свою очередь, позволяет улучшить ее значения, и, следовательно, улучшить значения и по другим показателям QoS.

В результате проведенных исследований решения задачи маршрутизации в рамках предложенной модели (1)-(8) были использованы различные исходные данные (топологии ТКС, связности узлов, степени неоднородности, пропускные способности каналов сети, характеристики маршрутизаторов, интенсивности, узлы отправителя и получателя, длины пакетов, количества потоков, требования к качеству обслуживания). Особенности решения задачи маршрутизации в рамках модели (1)-(8) продемонстрированы на структуре ТКС, представленной на рис.1.

Проведено сравнение решения задачи маршрутизации по многопутевой задержке в рамках предложенной модели с моделью ранее известной по коэффициенту максимального использования каналов связи, представленную в [4] (рис. 2).

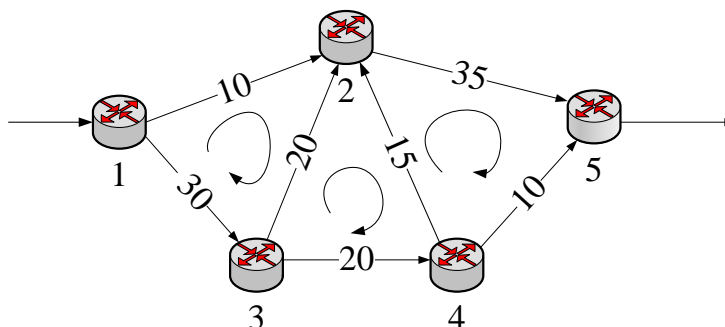


Рисунок 1 - Пример структуры ТКС

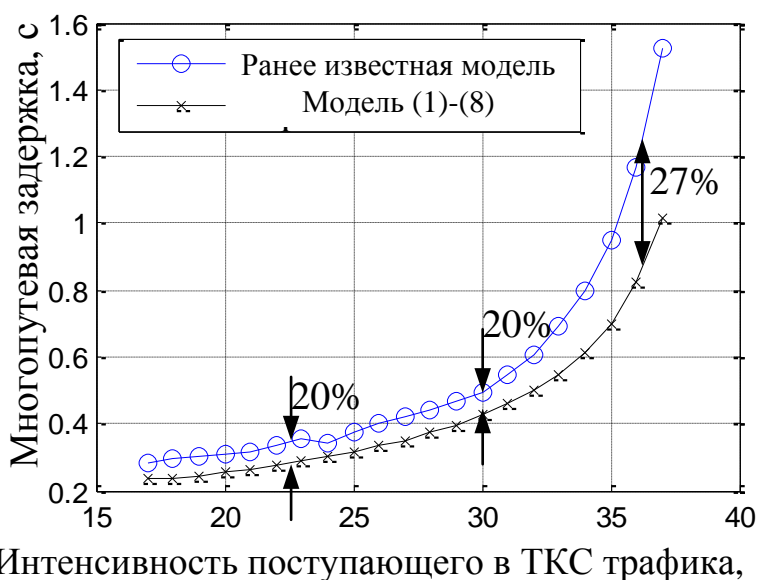


Рисунок 2 - Результаты сравнения решений задачи маршрутизации

Таким образом, по результатам (рис.2) видно, что при решении задачи маршрутизации в рамках модели (1)-(8) существенно снижена многопутевая задержка, а, следовательно, улучшены и другие показатели QoS в сети в целом. Кроме этого, решение задачи маршрутизации по показателям качества обслуживания позволяет получить одинаковые значения задержек вдоль путей, что способствует минимизации джиттера пакетов. Использование потоковой модели маршрутизации с балансировкой нагрузки по показателям качества обслуживания рекомендуется при настройке маршрутизаторов в ТКС.

Литература:

1. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 386 с.
2. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка / Х. Остерлох. – СПб.: BHV. – СПб., 2002. – 512 с.
3. Лемешко А.В., Вавенко Т.В. Анализ решений задач однопутевой и многопутевой маршрутизации многопоточного трафика в телекоммуникационных сетях // Системы обробки інформації. - Вип. 8(98). - 2011. - С. 224-228.
4. Wang Y., Wang Z. Explicit routing algorithms for Internet Traffic Engineering // Proc. of 8th International Conference on Computer Communications and Networks. Paris, 1999. – P. 582-588.

5. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекоммуникацій. – 2012. – № 1 (6). – С. 12 – 29. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf.

6. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной // Праці УНДІРТ. Випуск №4 (40). – Одеса: Видання УНДІРТ, 2004. – С. 12-18.