

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ TRAFFIC ENGINEERING ДЛЯ СЕТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ СОЕДИНЕННЫМ ГРАФОМ

Вавенко Т.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. телекоммуникационных систем,
E-mail: tv_vavenko@mail.ru; тел. 093-162-10-01,

This work is devoted to the problem of routing taking into account the load balancing for networks, which are presented as connecting graph. This paper contains a mathematical formulation of flow model of multipath routing with load balancing of technology Traffic Engineering. We study the telecommunication network which consists of several subnetworks, which are connecting to each other. We identified problems that occur when solving the problem of routing for such networks, identified the causes of it and propose solutions.

На сегодняшний день наблюдается стремительный рост объема информационного трафика, передаваемого через телекоммуникационную сеть (ТКС). Разнородный характер трафика выдвигает более высокие требования по его мультисервисному обслуживанию. В области построения ТКС наиболее перспективным решением является концепция сетей нового поколения (Next Generation Network, NGN) [1], которая создана для обеспечения более широкого набора услуг с гибкими настройками по управлению и персонализации и базируется на технологии IP/MPLS [2]. Это позволяет обеспечить более высокую скорость продвижения IP-пакетов по сети, сократить время обработки маршрутной информации, предоставить возможность организации информационных потоков в каналах ТКС и обеспечить качество обслуживания (Quality of Service, QoS).

Проблема обеспечения требуемого уровня QoS, несмотря на высокий уровень развития современных сетевых технологий, остается достаточно актуальной [3]. Значения показателей QoS, таких как производительность, средняя задержка, джиттер, уровень потерь пакетов и др., зависит от эффективности решения задач управления трафиком, и в первую очередь – задачи маршрутизации, относящейся к задачам сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Чтобы обеспечить требуемый уровень показателей QoS решение задачи маршрутизации должно носить многопутевой характер и учитывать технологию балансировки нагрузки.

При решении задачи маршрутизации, как правило, используют математические оптимизационные модели. К настоящему моменту времени известно достаточно большое количество потоковых моделей маршрутизации, среди которых наиболее перспективной является модель, которая учитывает технологию балансировки нагрузки (технология Traffic Engineering). В связи с этим она была выбрана для дальнейшего исследования.

Анализ характера решения задачи маршрутизации для сетей, представленных соединенным графом

Выбранная потоковая модель, в рамках которой реализуется многопутевая стратегия маршрутизации с учетом технологии балансировки нагрузки (технология Traffic Engineering), описана в [4].

Пусть 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 интенсивность k -го трафика, протекающего в канале $(i, j) \in E$. Вводится величина α , которая определяет максимальное использования каналов сети:

$$\alpha = \max_{k \in K} \frac{\sum_{ij} X_{ij}^k}{c_{ij}}, \quad (i, j) \in E. \quad (1)$$

В ходе решения задачи маршрутизации минимизируется величина α :

$$\alpha \rightarrow \min. \quad (2)$$

Важно не допустить потери пакетов на сетевых узлах и в сети в целом, для этого необходимо обеспечить выполнение условий сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} X_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} X_{ji}^k = 0, & k \in K, i \neq s_k, t_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} X_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} X_{ji}^k = 1, & k \in K, i = s_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} X_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} X_{ji}^k = -1, & k \in K, i = t_k. \end{cases} \quad (3)$$

Кроме этого, необходимо обеспечить выполнение условий предотвращения перегрузки в каналах сети:

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

В соответствии с физикой решаемой задачи (1)-(4) на переменные X_{ij}^k и α накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq X_{ij}^k \leq 1, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (5)$$

Рассмотренная потоковая модель (1)-(5) представляет собой задачу линейного программирования и описывает процесс маршрутизации с учетом технологии балансировки нагрузки (технология Traffic Engineering). Преимуществом данной модели является то, что распределение трафика при решении задачи маршрутизации носит сбалансированный характер (загружаются все ресурсы сети) за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть. Это позволяет не допустить перегрузки на узлах сети, что существенно снижает рост средних задержек при передаче пакетов.

Данная модель маршрутизации была проанализирована для различных исходных данных: топологий, величины и характера поступающего в сеть трафика. Установлено, что для некоторых топологий решение задачи маршрутизации в рамках данной модели не обеспечивает рост показателей QoS. Данная ситуация наблюдается и при решении задачи маршрутизации для сети, представленной соединенным графом.

Соединенный граф представляет собой множество подграфов, соединенных между собой некоторым количеством ребер. Соответственно телекоммуникационная сеть, представленная соединенным графом, состоит из подсетей, которые связаны между собой некоторым заданным числом каналов. Данная топология часто используется при построении телекоммуникационных сетей (глобальные сети, объединение локальных сетей и др.). При исследовании было замечено, что в случае, когда пропускная способность каналов, соединяющих подсети, меньше пропускной способности внутри каждой из подсетей, значения показателей QoS внутри подсетей при решении задачи маршрутизации значительно хуже, чем могли бы обеспечить данные подсети. Поэтому возникает задача исследовать и проанализировать выбранную потоковую модель при решении задачи маршрутизации для сетей, представленных соединенным графом, определить причины возникновения проблем и найти пути их устранения.

Пусть телекоммуникационная сеть, а также пропускные способности ее каналов передачи (Мбит/с) имеют вид, представленный на рис.1. Пусть узел 1 – узел-источник, а узел 9 – узел-получатель. Данная топология сети является многосвязной. Пусть в сеть поступает поток некоторой величины, например трафик интенсивностью 15 Мбит/с. Тогда решение задачи маршрутизации, а также значение коэффициента максимальной за-

грузки α в рамках модели (1)-(5) представлено на рис.2 ($\alpha = 0.3750$).

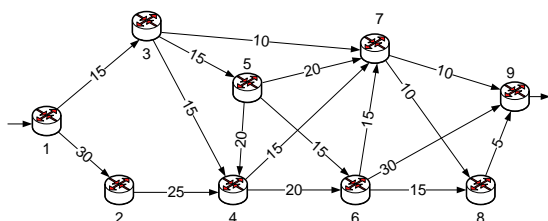


Рис. 1. Структура рассматриваемой телекоммуникационной сети с многосвязной топологией

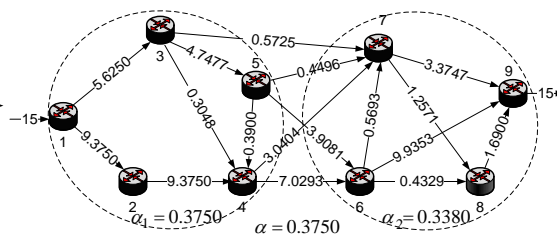


Рис.2. Распределение трафика, а также значения коэффициента загрузки при решении задачи маршрутизации для сети с многосвязной топологией

Разобьем множество всех вершин топологии на два подмножества E_1 и E_2 (рис.2), так что $E_1 = \{1,2,3,4,5\}$ и $E_2 = \{6,7,8,9\}$. Пусть данные подмножества вершин образуют соответствующие подсети. Рассчитаем коэффициенты максимальной загрузки отдельно для каждой подсети α_1 , α_2 в рамках ранее полученного решения задачи маршрутизации.

$$\alpha_1 = \max_{\substack{k \in K \\ (i,j) \in E_1}} \frac{\sum X_{ij}^k}{c_{ij}}, \quad \alpha_2 = \max_{\substack{k \in K \\ (i,j) \in E_2}} \frac{\sum X_{ij}^k}{c_{ij}}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов α_1 и α_2 представлены на рис.2.

Далее сократим количество каналов, соединяющее выбранные подсети, до двух и до одного, получив двусвязную и односвязную топологию соответственно (рис.3).

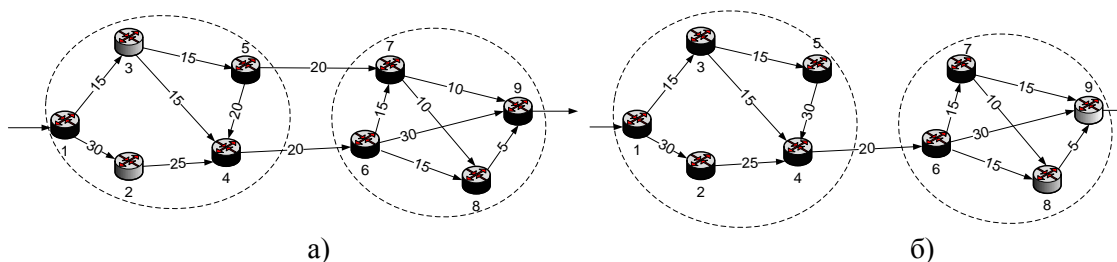


Рис. 3. Рассматриваемая телекоммуникационная сеть с сокращенным количеством каналов между подсетями до двух (а) и до одного (б)

Решим задачу маршрутизации в рамках модели (1)-(5) для полученных сетей, и найдем значения коэффициентов максимальной загрузки α , α_1 и α_2 (табл.1).

Далее в сети рис. 3б) исключим канал 4-6 и рассмотрим две подсети отдельно друг от друга. Значение коэффициента максимальной загрузки отдельно для каждой подсети (соответственно α_1 и α_2) при решении задачи маршрутизации представлено в табл. 1.

Анализируя значения коэффициента максимальной загрузки для первой подсети (α_1) из табл.1, заметим, что при решении задачи маршрутизации значение данного коэффициента для случая двусвязной и односвязной сети ($\alpha_1 = 0.4286$ и $\alpha_1 = 0.4991$ соответственно) больше, чем для случая многосвязной сети и подсети отдельно ($\alpha_1 = 0.3750$ и $\alpha_1 = 0.3750$ соответственно). Аналогичная ситуация наблюдается и со значением коэффициента максимальной загрузки для второй подсети: его значение для случая двусвязной и односвязной сети ($\alpha_1 = 0.4286$ и $\alpha_1 = 0.4898$ соответственно) больше, чем для случая многосвязной сети и второй подсети отдельно ($\alpha_1 = 0.3380$ и $\alpha_1 = 0.3333$ соответственно). Это говорит о том, что значения показателей QoS внутри рассматриваемых подсетей в рамках решения задачи маршрутизации для случая сети с односвязной и двусвязной топологией

хуже, чем для случая с многосвязной топологией и для подсети отдельно. Это происходит из-за присутствия в сети «узкого места» - участка с меньшей пропускной способностью (для двухсвязной сети – это каналы 4-6 и 5-7 (рис.3а); для односвязной сети – это канал 4-6 (рис.3б)). Величина загрузки в этом участке получает наибольшее значение среди значений загрузки на других участках сети ($\alpha = 0.7500$). А это, в свою очередь, препятствует минимизации величины загрузки каналов в подсетях, приводя к их росту. Тем самым ухудшая значения показателей QoS.

Табл.1. Значение коэффициента максимальной загрузки для разных топологий

Топология \ Значения коэффициента	α	α_1	α_2
Многосвязная	0.3750	0.3750	0.3380
Двухсвязная	0.4286	0.4286	0.4286
Односвязная	0.7500	0.4991	0.4898
Первая подсеть отдельно	-	0.3750	-
Вторая подсеть отдельно	-	-	0.3333

Чтобы предотвратить данную проблему рекомендуется переходить от линейной целевой функции в задаче маршрутизации к квадратичной целевой функции. Это позволит получить более сбалансированное решение, тем самым улучшив значения показателей QoS. Кроме этого, для сетей, представленных соединенным графом, значения показателей QoS будут выше, если решать задачу маршрутизации отдельно для каждой из подсетей.

Выводы

В работе рассматриваются особенности моделирования процессов маршрутизации в рамках модели, которая учитывает технологию балансировки нагрузки (технология Traffic Engineering). Преимущество данной модели заключается в том, что распределение трафика при решении задачи маршрутизации носит сбалансированный характер, что улучшает значение показателей QoS. Однако в результате проведенного исследования был установлен недостаток модели, который состоит в том, что для некоторых топологий значения показателей QoS ухудшаются, в частности и для сетей, представленных соединенным графом. Замечено, что в случае, когда пропускная способность каналов, соединяющих подсети, меньше пропускной способности внутри каждой из подсетей, значения показателей QoS внутри подсетей при решении задачи маршрутизации ниже, чем могли бы обеспечить данные подсети. Это происходит из-за того, что в сети существует «узкое место», т.е. участок с меньшей пропускной способностью. Значение коэффициента загрузки в этом участке достигает наибольшего своего значения и этим препятствует минимизации коэффициента загрузки каналов в подсетях, приводя к их росту и ухудшая значения показателей QoS. Для устранения данного недостатка предложено использовать квадратичную целевую функцию, а также решать задачу маршрутизации отдельно для каждой из подсетей.

Литература:

1. NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н.Чернышова.–М.:ЭкоТрендз,2008.– 400с.: илл.
2. Y.2001. ITU-T. Recommendation Y.2001: General overview of NGN [Text]/ITU-T.- Geneva, 2004. – 18p.
3. Вегенша, Ш. Качество обслуживания в сетях IP.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 368 с.
4. Y 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.