

# THE FLOW-BASED MODEL OF MULTICAST ROUTING

Lemeshko O.V., Kinan Mohamad Arous  
Kharkiv National University of Radioelectronics  
14, Lenina Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine  
Ph.: (057) 7021320, e-mail: avlem@ukr.net

*Abstract* — The flow-based model of multicast routing in the telecommunications network is developed. The model is represented by a system of linear algebraic inequalities and equations of the network state. Model calculates a set of paths for multicast routing with a maximum bandwidth or a minimum number of hops. The model includes conditions to prevent a possible overload of network links.

## ПОТОВОКОВАЯ МОДЕЛЬ МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

Лемешко А. В., Кинан Мохаммед Арус  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина  
тел.: (057) 7021320, e-mail: avlem@ukr.net

*Аннотация* — Разработана потоковая модель многоадресной маршрутизации в телекоммуникационной сети. Модель представлена системой линейных алгебраических неравенств и уравнений состояния сети. С помощью модели можно обеспечить расчет путей для множества потоков при многоадресной маршрутизации. В зависимости от выбранной метрики обеспечивается расчет множества путей с максимальной пропускной способностью или минимальным числом переприемов. Модель включает в себя условия предотвращения возможной перегрузки каналов связи.

### I. Введение

Маршрутизация была и остается одной из важнейших сетевых задач, от эффективности решения которой во многом зависят численные значения ключевых показателей как межконцевого (end-to-end) качества обслуживания (Quality of Service, QoS) — скорости передачи, средней задержки, джиттера и числа потерянных пакетов, так и качества обслуживания, воспринимаемого пользователем (Quality of Experience, QoE). При этом особая роль в архитектуре QoS/QoE отводится средствам многоадресной (multicast) маршрутизации [1], которая активно используется при передаче трафика таких приложений как IPTV, дистанционное обучение, репликация баз данных и информации веб-сайтов, рассылка корпоративной информации и др.

В настоящее время на практике используется достаточно широкое множество протоколов многоадресной маршрутизации, например, DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol), Multicast Extensions to OSPF (MOSPF), PIM (Protocol Independent Multicast). Подобные протокольные решения, как правило, являются дальнейшим развитием известных протоколов одноадресной маршрутизации и основываются на графовых моделях расчета минимального (кратчайшего) дерева. Неоспоримым преимуществом обеспечиваемых таким образом решений является их невысокая и, в общем случае, прогнозируемая вычислительная сложность. Однако при реализации обслуживания мультипоточкового трафика с учетом необходимости предотвращения возможных перегрузок телекоммуникационной сети (ТКС) все больше внимания ученых и разработчиков сетевого оборудования уделяется именно потоковым моделям (flow-based model), аналитически представленных алгебраическими, интегральными, дифференциальными уравнениями состояния сети. При этом аналитическое описание потоковой модели маршрутизации является важным условием при решении и других телекоммуникационных задач обеспечения качества обслуживания (профилирования трафика, резервирования ресурсов [2]) и проектирования ТКС [3].

В этой связи целью данной работы является разработка потоковой модели многоадресной маршрутизации в телекоммуникационных сетях, представленной, для примера, линейными алгебраическими уравнениями и неравенствами.

### II. Основная часть

Пусть при разработке модели многоадресной маршрутизации структура ТКС описывается с помощью ориентированного графа  $\Gamma = (V, E)$ , где  $V = \{v_i, i = \overline{1, m}\}$  — множество вершин — узлов (маршрутизаторов) сети, а  $(i, j) \in E$  — множество дуг графа, моделирующих каналы связи ТКС. Для каждого канала связи (КС), моделируемого дугой  $(i, j) \in E$ , задана пропускная способность, измеряемая в пакетах в секунду (1/с), которая будет обозначаться как  $\varphi_{(i,j)}$ . С каждым  $k$ -м трафиком (потоком) связано ряд параметров:  $r^k$  — средняя интенсивность на входе в сеть;  $s^k$  — узел-отправитель и множество узлов-получателей  $V^k \in V$ .

В ходе решения задачи многоадресной маршрутизации необходимо рассчитать множество булевых переменных

$$x_{(i,j)}^k \in \{0,1\}, \quad (1)$$

каждая из которых характеризует долю интенсивности  $k$ -го трафика в КС  $(i, j) \in E$ ;  $k \in K$ , где  $K$  — множество трафиков в сети.

На маршрутные переменные (1) накладывается ряд ограничений:

$$\sum_{j:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k \geq 1 \text{ при } k \in K, v_i = s^k, \quad (2)$$

а также

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k = 1 \text{ при } k \in K, v_j \in V^k. \quad (3)$$

Ограничение (2) вводится для узла отправителя, а его выполнение ориентирует на то, что от узла-отправителя поступающий на обслуживание трафик

будет передан хотя бы одному соседнему узлу. Условие (3) нацелено на обеспечение доставки пакетов трафика на каждый узел-получатель, причем трафик должен поступать на эти узлы лишь с одного соседнего узла.

Ввиду того, что не каждый узел при многоадресной маршрутизации может выступать в качестве получателя, в структуру модели вводятся дополнительные условия, представленные линейными ограничениями-неравенствами:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k \geq x_{(j,p)}^k \quad \text{при } k \in K, v_p \in V_j, \quad (4)$$

где  $V_j \in V$  — множество узлов, смежных узлу  $v_j$ .

Физический смысл условия (4) заключается в следующем: из произвольного узла (но не узла-отправителя) может выходить трафик к другим узлам лишь при условии, что в него этот трафик входит хотя по одному из множества инцидентных ему каналов (дуг).

Для предотвращения перегрузки каналов связи маршрутизируемым трафиком вводятся следующие условия:

$$\sum_{k \in K} r^k x_{(i,j)}^k \leq \varphi_{(i,j)}, \quad (i,j) \in E. \quad (5)$$

Для расчета оптимального множества путей при многоадресной маршрутизации в качестве критерия, для примера, используется линейный критерий вида

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} f_{(i,j)}^k x_{(i,j)}^k \Rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $f_{(i,j)}^k$  — маршрутная метрика, характеризующая структурно-функциональные параметры канала связи  $(i,j) \in E$ .

Примеры решения задачи многоадресной маршрутизации представлены на рис. 1. В каждом из примеров рассмотрен однопродуктовый случай, когда в качестве узла-отправителя выступал первый маршрутизатор, от которого к четвертому и пятому маршрутизаторам-получателям необходимо было передать пакеты с интенсивностью 120 1/с. В разрывах дуг указана дробь, в которой в числителе приведена пропускная способность (1/с) данного КС, а в знаменателе — интенсивность протекающая в данном канале трафика.

На рис. 1 а представлено решение задачи многоадресной маршрутизации, когда в качестве критерия оптимальности выступал минимум числа переключений, что обеспечивалось соответствующим выбором маршрутной метрики ( $f_{(i,j)}^k = 1$ ). При этом суммарное число используемых каналов связи равнялось трем.

При использовании метрики, аналогичной протоколу IGRP ( $f_{(i,j)}^k = 10^7 / \varphi_{(i,j)}$ ), результат решения задачи многоадресной маршрутизации изменился (рис. 1 б). Теперь трафик протекал по большему количеству каналов (по четырем), но производительность рассчитанных путей заметно возросла.

### III. Заключение

Таким образом, предложена потоковая модель многоадресной маршрутизации (1)-(6) в телекоммуникационной сети. Модель представлена системой линейных алгебраических неравенств и уравнений состояния сети. С помощью модели можно обеспечить расчет путей для множества потоков при многоадресной маршрутизации. Причем в зависимости от выбранной метрики обеспечивается расчет множества путей с максимальной пропускной способностью или минимальным числом переключений. Модель включает в себя условия предотвращения возможной перегрузки каналов связи, что важно при обслуживании одновременно множества многоадресных потоков. Модель может использоваться как непосредственно при решении маршрутных задач, так и для решения более сложных (комплексных) задач по обеспечению качества обслуживания или проектированию ТКС.

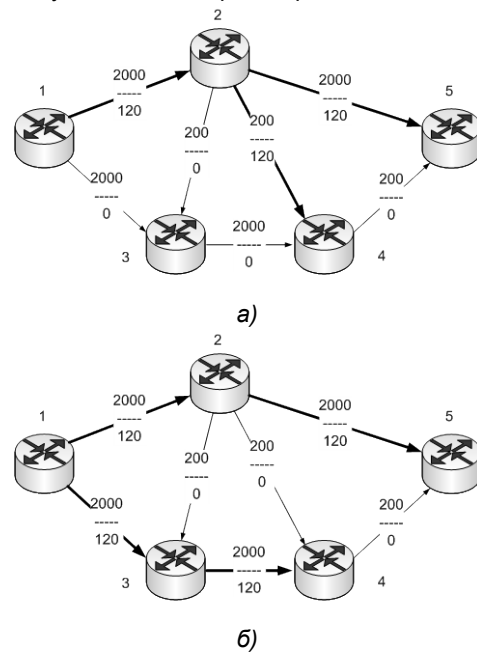


Рис. 1. Примеры решения задачи многоадресной маршрутизации с различной канальной метрикой.  
Fig. 1. Solution examples of a problem of multiaddress routing with various channel metrics

### IV. References

- [1] Pióro M., Medhi D. *Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks*, Morgan Kaufmann, 2004. 765 p.
- [2] Lemeshko A., Ahmad M., Hailan, Yevsyeyeva O. Mathematical Model and Method of Routing with Resources Reservation in IP/IntServ Network. *Proceedings of the international Conference «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science». TCSET'2012*. Lviv-Slavske, 2012, pp. 325-326.
- [3] Lemeshko O., Sterin V. Design and structural-functional optimization transport telecommunication network. *2013 XIIIth international conference «The experience of designing and application of cad systems in microelectronics»*, Polyana-Svalyava-(Zakarpattya), 2013, pp. 208-210.