

УДК 621.391

А.В. Шостак<sup>1</sup>, Ю.И. Дорошенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, Харьков<sup>2</sup>Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ПОТОВОЙ МОДЕЛИ МНОГОПУТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

Предложены различные показатели сбалансированности нагрузки для потовой модели многопутевой маршрутизации. Проведен анализ предложенных показателей сбалансированности нагрузки в потовой модели. Определены показатели и критерии их оптимальности для оценки сбалансированности нагрузки при многопутевой маршрутизации.

**Ключевые слова:** потовая модель, многопутевая маршрутизация, показатель сбалансированности нагрузки.

### Введение

Как показывает анализ источников [1 – 3] в настоящее время наибольшее распространение при построении телекоммуникационных сетей (ТКС) получает концепция мультисервисных сетей нового поколения (Next Generation Network, NGN), где под NGN понимают телекоммуникационные сети с пакетной коммутацией, основанные на разделении функций предоставления услуг и высокоскоростного транспорта на базе технологий IP/MPLS (Intrenet Protocol / Multiprotocol Label Switching) с поддержкой функций сквозного качества обслуживания (Quality of Service, QoS).

Протоколы маршрутизации играют основную роль в обеспечении требуемых показателей качества QoS. При этом современной тенденцией в совершенствовании протоколов маршрутизации является придание им функции многопутевой маршрутизации с целью повышения качества обслуживания и более сбалансированной загруженности основных элементов ТКС. Данный подход находит применение в технологии Traffic Engineering (TE), реализуемой при многопротокольной коммутации с помощью меток в MPLS-сетях [2].

Отсутствие до конца обоснованной модели многопутевой маршрутизации приводит к тому, что на практике балансировка нагрузки по различным путям осуществляется в рамках известных протоколов маршрутизации очень часто преимущественно в ручную [2], что делает этот процесс очень чувствительным к уровню опыта и квалификации персонала, обслуживающего сеть. В этой связи актуальным представляется вопрос обоснованного выбора и оценки показателя сбалансированности нагрузки в модели многопутевой маршрутизации в ТКС.

### Описание модели многопутевой маршрутизации

Наибольшее распространение в настоящее время получает математическая модель многопуте-

вой маршрутизации, которую в большей степени можно отнести к типу потовых моделей, однако она содержит и структурные характеристики графа ТКС [3, 4].

В соответствии с этой моделью маршрутизации структура ТКС описывается с помощью ориентированного графа

$$G = (V, E),$$

где  $V$  – множество узлов сети,  $E$  – множество каналов связи.

Каждая дуга  $(i, j) \in E$  имеет пропускную способность  $c_{ij}$ .

Для простоты предположим, что в сети существует трафик только одного вида.  $s$  и  $t$  – узел-источник и узел-получатель соответственно. Управляющей переменной будет служить величина потока  $f_{ij}$ , протекающего по дуге  $(i, j) \in E$ .

В соответствии с физикой данной модели на переменные  $f_{ij}$  накладываются такие ограничения:

$$0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}, \quad (1)$$

то есть величина потока  $f_{ij}$  в канале  $(i, j) \in E$  положительна и не превышает его пропускной способности  $c_{ij}$ .

Для внутренних узлов сети, отличных от  $s$  и  $t$ , должно выполняться условие сохранения потока:

$$\sum_{j:(i,j) \in E} f_{ij} - \sum_{j:(i,j) \in E} f_{ji} = 0, \quad (2)$$

то есть сумма входящих в узел потоков должна быть равна сумме исходящих из узла потоков.

Для узла-источника  $s$  условие сохранения потока имеет вид:

$$\sum_{j:(i,j) \in E} f_{ij} - \sum_{j:(i,j) \in E} f_{ji} = f, \quad i = s, \quad (3)$$

где  $f$  – поток, входящий в узел-источник  $s$ .

Для узла-получателя  $t$  условие сохранения потока имеет вид:

$$\sum_{j:(i,j) \in E} f_{ij} - \sum_{j:(i,j) \in E} f_{ji} = -f, \quad i = t, \quad (4)$$

где  $f$  – поток, исходящий из узла-получателя  $t$ .

Для сети с симплексными каналами (рис. 1) условия сохранения потока (2) – (4) имеют следующий вид:

- для узла 2  $f_{12} - f_{23} - f_{24} - f_{25} = 0$ ,
- для узла 3  $f_{13} + f_{23} - f_{34} = 0$ ,
- для узла 4  $f_{34} + f_{24} - f_{45} = 0$ ,
- для узла-отправителя  $s=1$   $f_{12} + f_{13} = f$ ,
- для узла-получателя  $t=5$   $-f_{25} - f_{45} = -f$ .

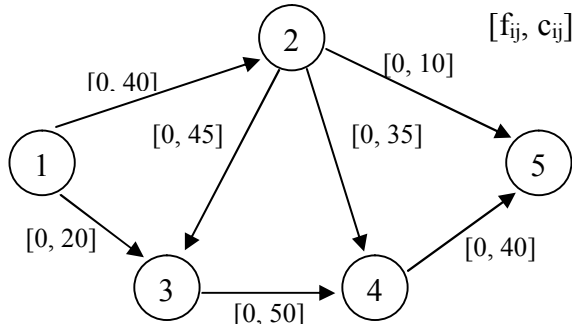


Рис. 1. Структура сети

Результатом решения задачи о максимальном потоке [4] для изображенной на рисунке 1 сети является поток  $f_{max}=50$ .

В задаче о максимальном потоке показателем эффективности является поток  $f$ , который может быть передан через сеть. Причем критерием эффективности является максимум этого потока

$$f_{max} = \max f. \tag{5}$$

Задача о максимальном потоке при условиях (1) – (4) и при критерии эффективности (5) является прямой задачей линейного программирования.

Задача многопутевой маршрутизации состоит в поиске дуговых потоков при выполнении для сети условий (1) – (4) при оптимизации показателя эффективности  $\alpha$ . Очевидно, что от вида показателя  $\alpha$  и от критерия его эффективности будет зависеть в данной задаче балансировка нагрузки, то есть распределение дуговых потоков на сети.

Возможны следующие показатели эффективности при решении задачи многопутевой маршрутизации:

- сумма разностей пропускных способностей и потоков по дугам

$$\alpha 1 = \sum_{(i,j) \in E} (c_{ij} - f_{ij}),$$

- сумма отношений потоков по дугам к их пропускным способностям

$$\alpha 2 = \sum_{(i,j) \in E} (f_{ij} / c_{ij}),$$

- сумма потоков по дугам

$$\alpha 3 = \sum_{(i,j) \in E} f_{ij},$$

- отношение суммы потоков по дугам к сумме пропускных способностей по дугам

$$\alpha 4 = \sum_{(i,j) \in E} f_{ij} / \sum_{(i,j) \in E} c_{ij},$$

- сумма квадратов разностей дуговых потоков, исходящих из узлов, у которых более двух исходящих дуг

$$\alpha 5 = \sum_{(i,j) \in E, (i,k) \in E} (f_{ik} - f_{ij})^2.$$

Показатели  $\alpha 1 - \alpha 4$  являются линейными, поэтому при использовании их в задаче многопутевой маршрутизации последняя продолжает оставаться в классе задач линейного программирования.

Функция возведения во вторую степень в показателе  $\alpha 5$  используется для того, чтобы не учитывать знак разности двух потоков, исходящих из одного узла. Показатель  $\alpha 5$  является нелинейным.

### Анализ показателей эффективности при решении задачи многопутевой маршрутизации

При анализе влияния показателей эффективности  $\alpha 1 - \alpha 5$  на получаемое распределение дуговых потоков использовалась сеть, изображенная на рисунке 1, с входным потоком с интенсивностью 40 л/с. Оптимизации распределения дуговых потоков по показателям эффективности  $\alpha 1 - \alpha 5$  для сети с рис. 1 выполнялась в Excel с использованием инструмента “Поиск решения”. Оптимальные значения показателей эффективности  $\alpha 1 - \alpha 5$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оптимальные значения показателей эффективности  $\alpha 1 - \alpha 5$

	$\alpha 1_{max}$	$\alpha 1_{min}$	$\alpha 2_{min}$	$\alpha 3_{min}$	$\alpha 3_{max}$	$\alpha 4_{min}$	$\alpha 5_{min}$
$\alpha 1$	130	80	115	130	80	130	120
$\alpha 2$	3,93571	3,68889	3,21111	3,93571	3,68889	3,93571	3,87196
$\alpha 3$	110	160	125	110	160	110	120
$\alpha 4$	0,45833	0,66667	0,52083	0,45833	0,66667	0,45833	0,5
$\alpha 5$	200	4800	3750	200	4800	200	0

Значения показателей эффективности  $\alpha 1 - \alpha 5$  во втором столбце табл. 1 получены при решении задачи маршрутизации при критерии оптимальности – максимум показателя  $\alpha 1$ . Третий столбец табл. 1 соответствует критерию оптимальности – минимум показателя  $\alpha 1$  и т.д.

Максимизация по показателю  $\alpha 1$ , минимизация по показателям  $\alpha 3$  или  $\alpha 4$  дают одно и тоже распределение дуговых потоков (табл. 2, рис. 2) и, следовательно, значения показателей  $\alpha 1 - \alpha 5$ .

Из табл. 1 также видно, что минимизация по показателю  $\alpha 5$  дает значения показателей  $\alpha 1$ ,  $\alpha 3$  и  $\alpha 4$  близкие к тем значениям, которые получены для показателей  $\alpha 1$ ,  $\alpha 3$  и  $\alpha 4$  при максимизации по показателю  $\alpha 1$  (или при минимизации по показателям  $\alpha 3$  или  $\alpha 4$ ).

Таблица 2

Дуговые потоки  $f_{ij}$   
при максимизации по показателю  $\alpha 1$

$c_{12}$	$c_{13}$	$c_{23}$	$c_{24}$	$c_{25}$	$c_{34}$	$c_{45}$
40	20	45	35	10	50	40
$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{23}$	$f_{24}$	$f_{25}$	$f_{34}$	$f_{45}$
20	20	0	10	10	20	30
$c_{12}^-$ $f_{12}$	$c_{13}^-$ $f_{13}$	$c_{23}^-$ $f_{23}$	$c_{24}^-$ $f_{24}$	$c_{25}^-$ $f_{25}$	$c_{34}^-$ $f_{34}$	$c_{45}^-$ $f_{45}$
20	0	45	25	0	30	10

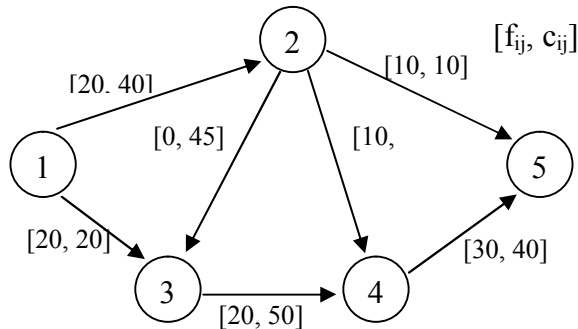


Рис. 2. Распределение дуговых потоков  $f_{ij}$  при максимизации по показателю  $\alpha 1$

В табл. 3 показано влияние роста входного потока  $f$  на значения показателей  $\alpha 1 - \alpha 5$  (выполнялся поиск распределения потоков при максимизации по показателю  $\alpha 1$  для сети с рисунка 1).

Входной поток увеличивался от 10 до максимально для данной сети (рис. 1) значения потока 50. Из данных табл. 3 видно, что значения показателя  $\alpha 1$  обратно пропорциональны значениям входного потока  $f$ , а значения показателей  $\alpha 2 - \alpha 4$  прямо пропорциональны значениям входного потока.

### Выводы

Проведенное исследование показывает, что поиск решения задачи многопутевой маршрутизации при максимизации по показателю  $\alpha 1$ , или при мини-

Таблица 3  
Зависимость показателей  $\alpha 1 - \alpha 5$  от входного потока

$f$	10	20	30	40	50
$\alpha 1$	220	190	160	130	100
$\alpha 2$	1,25	2,14524	2,93095	3,93571	4,55714
$\alpha 3$	20	50	80	110	140
$\alpha 4$	0,08333	0,20833	0,33333	0,45833	0,58333
$\alpha 5$	300	200	566,6667	200	2300

мизации по показателям  $\alpha 3$  или  $\alpha 4$  дают одно и тоже распределение дуговых потоков. То есть при использовании показателей  $\alpha 1, \alpha 3, \alpha 4$  и соответствующих критериев оптимальности по одинаковому выполняется балансировка нагрузки в сети и значит каждый из этих показателей может быть использован для оценки сбалансированности нагрузки в модели многопутевой маршрутизации в ТКС. Причем значения показателя  $\alpha 1$  обратно пропорциональны значениям входного потока  $f$ , а значения показателей  $\alpha 2 - \alpha 4$  прямо пропорциональны значениям входного потока.

### Список литературы

1. NGN: принципы построения и организации / Под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: ЭкоТрендз, 2008. – 400 с.
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети Принципы, технологии, протоколы. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
3. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 1 (6). – С. 12 – 29.
4. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.

Поступила в редколлегию 19.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ВИБІР ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПОТОКОВОЇ МОДЕЛІ БАГАТОШЛЯХОВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

А.В. Шостак, Ю.І. Дорошенко

Запропоновано різні показники збалансованості навантаження для потокової моделі багатошляхової маршрутизації. Проведено аналіз запропонованих показників збалансованості навантаження в потокової моделі. Визначено показники та критерії їх оптимальності для оцінки збалансованості навантаження при багатошляховій маршрутизації.

**Ключові слова:** потокова модель, багатошляхова маршрутизація, показник збалансованості навантаження.

### SELECT PERFORMANCE INDICATORS FOR THE THREADING MODEL FOR MULTIPATH ROUTING

А.В. Шостак, Ю.І. Дорошенко

Proposed various measures to balance the load flow model multipath routing. The analysis of the proposed indicators load balancing in the flow model. Identify indicators and criteria for evaluating their optimal load balancing with multipath routing.

**Keywords:** flow model, multipath routing, load balancing index.