

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ПО  
МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕДАЧИ  
МУЛЬТИПОТОКОВОГО ТРАФИКА**

**Лемешко А.В., Арус К.М., Еременко А.С.**

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина  
E-mail: avlem@ukr.net*

**Fault-tolerance ensuring for the multicast routing solutions in  
telecommunication network within the multiflow traffic transmission**

Conditions for the node, link and path protection within the fault-tolerant routing for the multiflow case were proposed. Presented conditions are based on a nonlinear flow model which uses the terms for the links overload prevention modified for the case when just some of the flows switched to the backup paths, but not all of them.

Все чаще для передачи разнородного сетевого контента с целью минимизации загруженности телекоммуникационной сети (ТКС) используют средства (модели, методы и протоколы) многоадресной маршрутизации. К сожалению, в случае отказа того или иного маршрута на его пересчет требуется, как правило, несколько десятков секунд, что может привести к потере значительного объема передаваемых данных. Поэтому для повышения отказоустойчивости маршрутных решений наряду с расчетом основного маршрута обеспечивается одновременно поиск и резервного пути [1].

Однако в условиях передачи в ТКС мультипотокowego трафика переключаться на резервные маршруты могут не все потоки одновременно, а лишь некоторые из них. Учет этого фактора требует адекватной математической формализации на уровне используемой математической модели, т.к. могут возникнуть проблемы с перегрузкой каналов связи, которые входят во вновь используемые резервные пути. В этой связи в данной работе получил дальнейшее развитие подход, ориентированный на потоковую многоадресную отказоустойчивую маршрутизацию при реализации различных схем резервирования сетевых ресурсов [2, 3] с целью решения проблем, связанных с предотвращением перегрузки каналов связи ТКС.

В ходе математического описания процесса многоадресной маршрутизации использована потоковая модель, в рамках которой 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 (КС) ТКС. Для каждого 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 потоком связан ряд параметров:  $r_k$  – средняя интенсивность потока на входе в сеть;  $s_k$  – узел-отправитель;  $d_k^* = \{d_k^1, d_k^2, \dots, d_k^{m_k}\}$  – множество узлов-получателей,  $m_k$  – число получателей пакетов  $k$ -го потока.

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 потока в КС  $(i,j) \in E$ ;  $k \in K$ , где  $K$  – множество потоков в сети.

На маршрутные переменные (1) накладывается ряд ограничений:

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

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

Ограничение (2) вводится для узла-отправителя, а условия (3) – для каждого узла-получателя. Для каждого транзитного узла  $v_j \in V$  дополнительно вводятся следующие условия:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k \geq x_{(j,p)}^k \quad \text{при } k \in K; v_j \notin s_k, \quad (4)$$

выполнение которых делает возможным наличие потока на любом из исходящих интерфейсов транзитного узла  $((j,p) \in E)$  лишь в том случае, когда этот поток поступает хотя бы на один из входных интерфейсов этого же узла  $((i,j) \in E)$ .

Если в структуре сети возможно образование контуров (циклов), то при выполнении условий (1)-(4) не будет обеспечиваться связность отдельных каналов в маршрут. Для предотвращения образования контуров в предлагаемую модель вводятся условия (по числу контуров в сети) вида

$$\sum_{(i,j) \in E_\pi^i} x_{(i,j)}^k < |E_\pi^i|, \quad (5)$$

где  $E_\pi^i$  – множество дуг графа, образующих  $i$ -й контур ( $\pi$ );  $|E_\pi^i|$  – мощность множества  $E_\pi^i$ . Выполнение условия (5) гарантирует то, что контур в рассчитываемый маршрут входить не будет.

Для определения резервного маршрута необходимо наряду с неизвестными (1) рассчитать дополнительные переменные  $\bar{x}_{(i,j)}^k$ , которые характеризует долю  $k$ -го потока, протекающего в канале  $(i,j) \in E$  резервного маршрута. На переменные  $\bar{x}_{(i,j)}^k$  также накладываются ограничения, подобные (1)-(5). Кроме того, в структуру модели для предотвращения пересечения основного и резервного маршрутов с реализацией различных схем резервирования входит ряд дополнительных условий-ограничений, связывающих маршрутные переменные для основного и резервного путей. При реализации схемы защиты  $(i,j)$ -канала

используются условия вида:

$$x_{(i,j)}^k \bar{x}_{(i,j)}^k = 0, \quad (6)$$

при использовании схемы защиты  $i$ -го узла задействуется условие:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k \bar{x}_{(i,j)}^k = 0, \quad (7)$$

а для обеспечения защиты пути (путей) введены условия-равенства

$$\sum_{(i,j) \in E} x_{(i,j)}^k \bar{x}_{(i,j)}^k = 0. \quad (8)$$

Новизна предлагаемого решения заключается в том, что в качестве условий предотвращения перегрузки каналов связи в ТКС будут использоваться выражения

$$\sum_{k \in K} r^k \left( \frac{x_{(i,j)}^k + \bar{x}_{(i,j)}^k}{x_{(i,j)}^k \bar{x}_{(i,j)}^k + 1} \right) \leq \varphi_{(i,j)}, \quad (i,j) \in E. \quad (9)$$

Их выполнение в условиях реализации отказоустойчивой многоадресной маршрутизации в рамках модели (1)-(9) приведет к тому, что суммарная интенсивность потоков, протекающих по выбранному КС, будет рассчитываться для «худшего случая», т.е. во внимание будет приниматься большая из интенсивностей  $k$ -го потока, относящихся к основному или резервному маршруту.

В ходе расчета переменных  $x_{ij}^k$  и  $\bar{x}_{ij}^k$  минимизируется функция

$$F = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{(i,j)}^k x_{(i,j)}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} \bar{c}_{(i,j)}^k \bar{x}_{(i,j)}^k, \quad (10)$$

которая определяют условную стоимость использования ресурсов ТКС в ходе решения задачи отказоустойчивой многоадресной маршрутизации, где  $c_{(i,j)}^k$  и  $\bar{c}_{(i,j)}^k$  – метрики маршрутизации для основного и резервного маршрутов соответственно.

### Литература

1. Hussain I. Fault-Tolerant IP and MPLS Networks, Cisco Press. – 2004, 336 p.
2. Lemeshko O., Romanyuk A., Kozlova H. Design schemes for MPLS Fast ReRoute // XIIth International Conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics», Polyana-Svalyava-(Zakarpattya), UKRAINE 19-23 February 2013: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2013. – P. 202-203.
3. Лемешко А.В., Арус К.М. Повышение отказоустойчивости решений задач многоадресной и широковещательной маршрутизации в телекоммуникационных сетях // Труды международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» (INTERMATIC - 2013), часть 5, 2 – 6 декабря 2013 г. – Москва, 2003. – С. 91-94.
4. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 4 (9). – С. 16 - 31. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124\\_lemeshko\\_tensor.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_lemeshko_tensor.pdf).