
А.В. Лемешко, А.А. Романюк, Е.В. Козлова

**МОДЕЛЬ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ
В MPLS-СЕТИ**

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

Ключевые слова: отказоустойчивая маршрутизация, защита канала, защита узла, защита пути нагрузки, поток.

Разработана модель отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети. Модель позволяет для одного потока вычислить два вида пути: основной и резервный. В зависимости от параметров модели можно реализовать различные схемы резервирования: защиты узла, канала и пути. В ходе решения задачи отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети минимизируется классическая метрика основного и резервного пути. В структуру модели введены нелинейные ограничения для обеспечения защиты канала, узла и пути.

FAULT-TOLERANT ROUTING MODEL IN MPLS-NETWORK

Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub

Keywords: fault-tolerant routing, channel protection, node protection, the path protection, flow.

Design of model for MPLS Fast ReRoute is proposed in the paper. The model allows for the same flow calculate two types of paths: primary and backup. Depending on the parameters of the model it is possible to implement different schemes of reservation: link, node or path protection. In the course of solving the problem of MPLS Fast Reroute the classical metric of primary and backup paths is minimized. The nonlinear restrictions, which are responsible for prevention of node, link or path intersection of primary and backup routes is introduced in the structure of the model.

Для повышения оперативности реагирования на возможные отказы в обслуживании пакетов, вызванных перегрузкой каналов и очередей маршрутизаторов, все чаще применяются средства отказоустойчивой маршрутизации (Fast ReRoute) [1, 2]. При этом важно, чтобы маршрутный протокол обеспечивал различные схемы резервирования ресурсов и элементов сети: защиты канала, узла и пути [3, 4]. В этой связи предлагается подход к решению задачи MPLS Fast ReRoute на основе разработки модели, которая позволяет реализовать приведенные схемы резервирования.

Пусть структура MPLS-сети представлена в виде графа $G=(V,E)$, где V – это множество узлов, E – множество каналов сети. Для каждой дуги $(i,j) \in E$ определим ее пропускную способность C_{ij} . Каждому потоку трафика из множества K сопоставлен ряд параметров: 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 $(i,j) \in E$ [5, 6].

В рамках модели имеют место условия сохранения потока в узлах и в сети в целом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 0; \quad k \in K, \quad i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 1; \quad k \in K, \quad i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = -1; \quad k \in K, \quad i = d_k. \end{array} \right. \quad (1)$$

С целью предотвращения перегрузки каналов связи вводится условие

$$\sum_{k \in K} r^k x_{ij}^k \leq \varphi_{ij}; \quad (i,j) \in E. \quad (2)$$

Для реализации однопутевой стратегии маршрутизации необходимо удовлетворить следующую систему ограничений:

$$x_{ij}^k \in \{0;1\}, \quad (3)$$

а при использовании многопутевой маршрутизации –

$$0 \leq x_{ij}^k \leq 1. \quad (4)$$

Для расчета запасного маршрута необходимо рассчитать переменные $\bar{x}_{ij}^k$, которые характеризует долю k -го трафика, протекающего в канале $(i,j) \in E$ запасного маршрута. На

переменные $\bar{x}_{ij}^k$ также накладываются ограничения, подобные (1)-(4). Для предотвращения пересечения основного и запасного маршрутов необходимо выполнить следующие условия:

при защите (i, j) -канала:

$$x_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k = 0; \quad (5)$$

при защите i -го узла:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k = 0; \quad (6)$$

при защите пути:

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

Для расчета маршрутных переменных x_{ij}^k and $\bar{x}_{ij}^k$ при решении задач Fast ReRoute в MPLS-сети необходимо минимизировать следующую целевую функцию:

$$F = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} \bar{c}_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k, \quad (8)$$

где C_{ij}^k – метрика маршрутизации для основного маршрута, $\bar{C}_{ij}^k$ – метрика маршрутизации для запасного маршрута.

При реализации однопутевой отказоустойчивой маршрутизации оптимизационная задача (8) с ограничениями (1), (2), (4)-(7) относится к классу задач смешанного целочисленного нелинейного программирования. При многопутевой отказоустойчивой маршрутизации, когда справедливы ограничения (1)-(3), (5)-(7), это уже задача нелинейной оптимизации.

Рассмотрим ряд примеров применения предлагаемой модели (1)-(8) при решении задач отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети, структура которой представлена на рис. 1. Сеть состоит из пяти узлов (Label Switch Router, LSR) и шести каналов, в разрывах которых указаны их пропускные способности (1/с). Узел-источник – LSR 1, узел получатель – LSR 5. Интенсивность потока составляет 50 1/с. пусть в рамках примера реализуется однопутевая маршрутизация с минимизацией числа переприемов ($C_{ij}^k = 1$).

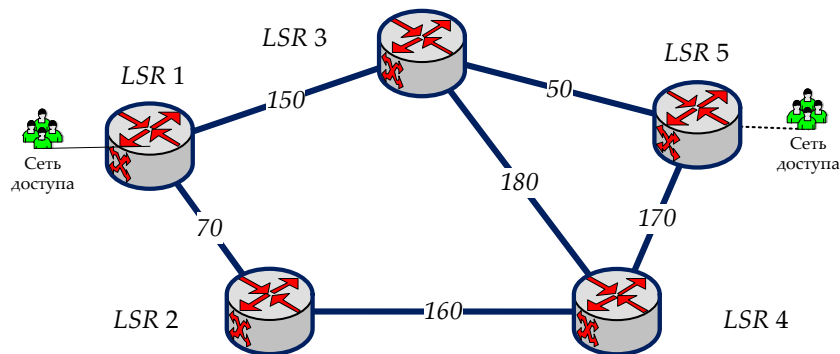
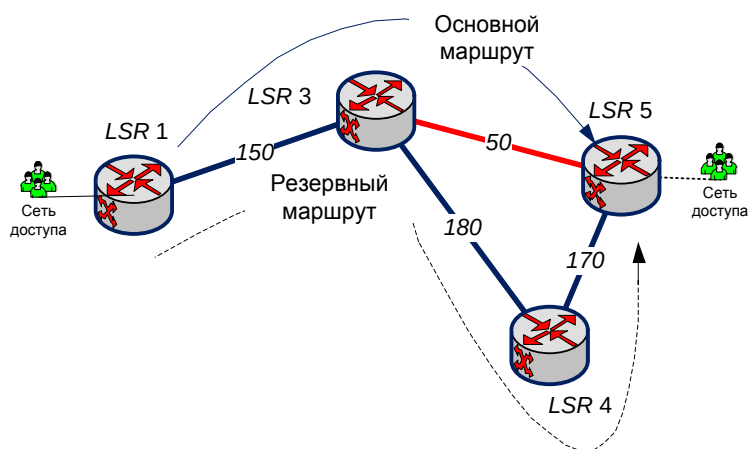


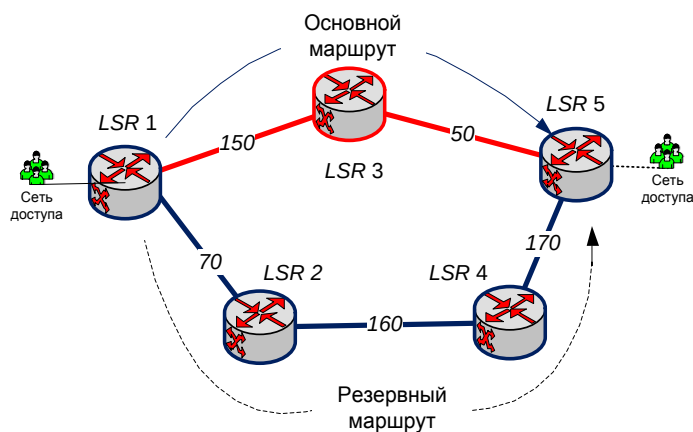
Рисунок 1 - Пример структуры MPLS-сети

На рис. 2 а) приведен пример решения задачи отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети с защитой канала (3,5). Тогда в качестве основного маршрута LSP (Label Switch Router) будет рассчитан путь LSR1->LSR3->LSR5 (2 переприема), а как запасной – путь LSR1->LSR3->LSR4->LSR5 (3 переприема). Резервный маршрут не содержит канала (3,5). На рис. 2 б) приведен пример решения задачи отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети с защитой пути. Тогда в качестве основного LSP будет рассчитан путь LSR1->LSR3->LSR5 (2 переприема), а как запасной – путь LSR1->LSR3->LSR4->LSR5 (3 переприема). Основной и резервный пути не пересекаются.

Таким образом, предложенная модель позволяет для одного и того же потока рассчитать два типа путей: основной и запасной (резервный). В зависимости от параметров модели можно реализовать различные схемы резервирования: с защитой канала, узла и пути. В ходе решения задачи MPLS Fast ReRoute минимизируется классическая метрика основного и резервного маршрутов.



а) схема защиты канала



б) схема защиты пути

Рисунок 2 - Пример решения задачи отказоустойчивой маршрутизации

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. – СПб.: BHV. 2002. – 512 с.
3. Alvarez S. QoS for IP/MPLS Networks. - Cisco Press, 2006. – 336 p.
4. Xi K., Chao H. IP fast reroute for double-link failure recovery // Proceeding GLOBECOM'09 Proceedings of the 28th IEEE conference on Global telecommunications. – 2009. – P. 1035-1042.
5. Lemeshko A.V. Probabilistic-Temporal Model of QOS-Routing with Precomputation of Routes under the Terms of Non-Ideal Reliability of Telecommunication Network // Telecommunications and Radio Engineering. – Vol. 66, Issue 13. – 2007. – P. 1151-1166.
6. Lemeshko O.V., Drobot O.A. Mathematical Model of Multipath QoS-based Routing in Multiservice Networks // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of conference International TCSET'2006. – Lviv-Slavsko. – 2006. – P. 72-74.