
Арус Кинан, А.С. Еременко

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕГРУЗКИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина

Ключевые слова: отказоустойчивость, маршрутизация, потоковая модель, схема резервирования, одноадресный поток.

Предложена модель отказоустойчивой одноадресной маршрутизации потоков в сети. Потоковая модель представлена алгебраическими уравнениями и неравенствами, которые характеризуют состояние сети, т.е. загруженность ее каналов связи. В модель заложены три основные схемы резервирования: защиты канала, узла и маршрута. Расчет основного и резервного маршрутов осуществляется в ходе решения оптимизационной задачи нелинейного

программирования. Предложенные условия предотвращения перегрузки позволяют учитывать случай, когда на резервные пути переключаются не все, а лишь некоторые из передаваемых потоков.

Arous Kinan, O.S. Yeremenko

LINKS OVERLOAD PREVENTION WITHIN FAULT-TOLERANT ROUTING IN TELECOMMUNICATION NETWORK

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Keywords: fault tolerance, routing, flow-based model, backup scheme, unicast flow.

A model of fault-tolerant unicast routing within the network proposed. Flow-based model is represented by algebraic equalities and inequalities that characterize the state of the network, i.e. utilization of its communication links. There are three main protection schemes in the proposed model: link, node and path. Calculation of the primary and backup routes is carried out with solving an optimization problem of nonlinear programming. Proposed conditions of overload prevention allows to consider the case when just some of the flows switched to the backup paths, but not all of them.

Важное место в общем комплексе мероприятий по обеспечению заданного качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в современных мультисервисных телекоммуникационных сетях (ТКС) отводится средствам (моделям, методам и протоколам) маршрутизации. От эффективности решения маршрутных задач зависят ключевые показатели сквозного (end-to-end) QoS, такие как средняя задержка, джиттер, вероятность потерь пакетов и производительность ТКС в целом. Однако вдоль выбранного маршрута могут возникать отказы в обслуживании, вызванные перегрузкой или недостаточной эксплуатационной надежностью сетевого оборудования. В связи с этим, на первое место по своей актуальности выходят требования по повышению отказоустойчивости маршрутных решений. Учитывая то, что резервный путь рассчитывается одновременно с основным, реализуя определенную схему защиты – узла, канала, маршрута, время на переключение минимально, и определяется в основном скоростью обнаружения вероятных отказов. В данной работе развивается подход, ориентированный на решение проблем, связанных с предотвращением перегрузки каналов связи ТКС при реализации различных схем резервирования сетевых ресурсов в условиях мультипоточкового трафика [1, 2]. В этой связи предлагается дальнейшее развитие потоковых моделей одноадресной отказоустойчивой маршрутизации [3, 4] за счет придания им функций борьбы с возможной перегрузкой.

Пусть при разработке потоковой модели 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 (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 φ_{ij} . С каждым k -м потоком связано ряд параметров: r_k – средняя интенсивность потока на входе в сеть; s_k – узел-отправитель; d_k – узел-получатель. В ходе решения задачи маршрутизации необходимо рассчитать множество переменных x_{ij}^k , каждая из которых характеризует долю интенсивности k -го потока в КС $(i, j) \in E$; $k \in K$, где K – множество потоков в сети.

При однопутевой маршрутизации имеют место условия

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

а при необходимости реализации многопутевых решений условия (1) заменяются на

$$0 \leq x_{ij}^k \leq 1. \quad (2)$$

Кроме того, с целью недопущения потерь пакетов на узлах и в сети в целом вводятся условия сохранения потока

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

Для определения резервного пути необходимо, наряду с неизвестными x_{ij}^k , рассчитать дополнительные переменные $\bar{x}_{ij}^k$, которые характеризует долю k -го потока, протекающего в канале $(i, j) \in E$ резервного маршрута. На переменные $\bar{x}_{ij}^k$ также накладываются ограничения, подобные (1)-(3).

Кроме того, в структуру предлагаемой модели для предотвращения пересечения основного и резервного маршрутов с реализацией различных схем резервирования вводится ряд дополнительных условий-ограничений [3, 4]:

– при реализации схемы защиты (i, j) -канала в предлагаемую модель вводятся условия вида:

$$x_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k = 0, \quad (4)$$

выполнение которых гарантирует использование (i, j) -канала лишь одним маршрутом – либо основным, либо резервным;

– при реализации схемы защиты i -го узла модель дополняется следующим условием:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k = 0, \quad (5)$$

выполнение которого гарантирует использование i -го узла (т.е. всех инцидентных ему каналов) либо основным, либо резервным маршрутом;

– для обеспечения защиты маршрута (маршрутов) в модель вводится условие:

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

что эквивалентно удовлетворению требований относительно отсутствия в основном и резервном маршрутах общих узлов и каналов (кроме узла-отправителя и узла-получателя).

Новизна модели состоит в том, что условие предотвращения перегрузки каналов связи записывается в виде:

$$\frac{1}{2} \sum_{k \in K} r^k \left((x_{ij}^k + \bar{x}_{ij}^k) + \sqrt{(x_{ij}^k - \bar{x}_{ij}^k)^2} \right) \leq \varphi_{ij}, \quad (i, j) \in E. \quad (7)$$

Использование условия (7) позволяет предотвратить перегрузку каналов и сети в целом даже в случае, когда на резервные пути переключатся не все, а лишь некоторые из передаваемых потоков.

Для расчета маршрутных переменных x_{ij}^k и при решении задач отказоустойчивой маршрутизации в ТКС 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 и $\bar{c}_{ij}^k$ – маршрутные метрики каналов основного и резервного маршрутов соответственно. Функция (8) численно характеризует суммарные затраты на формирование и использование основного и резервного маршрутов между парой узлов отправитель-получатель.

Кроме того, в ходе исследования модели (1)-(8) установлена необходимость ее дополнения условием

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij}^k x_{ij}^k \leq \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} \bar{c}_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k, \quad (9)$$

выполнение которого гарантирует то, что основной путь (мультипуть) всегда будет эффективнее, т.е. производительнее или «короче» запасного в зависимости от выбора метрик c_{ij}^k и $\bar{c}_{ij}^k$.

Задача расчета маршрутных переменных при наличии ограничений (1), (3)-(6), (7), (9) с целевой функцией (8) относится к классу задач смешанного целочисленного нелинейного программирования. А при реализации многопутевой отказоустойчивой маршрутизации, то есть при учете условий (2) и (7) – это задача нелинейного программирования.

Эффективность предложенной модели (1)-(9) продемонстрируем на численном примере реализации схемы защиты канала (1, 3) при решении задачи однопутевой маршрутизации в сети, топология которой представлена на рис.1 для двух потоков. Сеть состоит из пяти узлов-маршрутизаторов и семи КС с пропускной способностью (пакетов в секунду, 1/с), показанной на дугах графа.

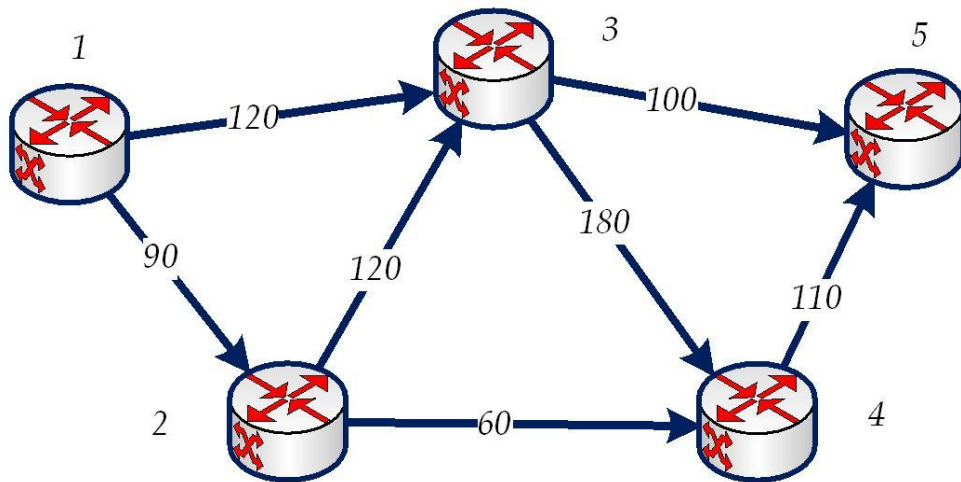


Рисунок 1. Топология анализируемой сети

Для первого потока: узел-отправитель – это первый маршрутизатор, узел-получатель – пятый маршрутизатор. Интенсивность потока – 80 1/с. Для второго потока: узел-отправитель – это второй маршрутизатор, узел-получатель – четвертый маршрутизатор. Интенсивность потока – 60

1/с. Метрика – число переприемов (hops), т.е. c_{ij}^k и $\bar{c}_{ij}^k$ равны единице.

В ходе решения задачи определено, что основной маршрут первого потока для указанной схемы будет включать в себя два переприема, проходя через узлы 1-3-5. Основной маршрут для второго потока будет включать лишь дугу 2-4. При реализации схемы защиты канала (1, 3) без учета условия (7) резервный маршрут для первого потока будет иметь три переприема и включать узлы 1-2-4-5. Однако использование канала (2, 4) первым и вторым потоками приведет к его перегрузке, т.к. суммарная интенсивность потока, протекающего по нем, будет составлять 140 1/с. Перегрузки удастся избежать, если при расчете резервного пути для первого потока принять во внимание условие (7), тогда искомым маршрут пройдет через узлы 1-2-3-5, не вызвав перегрузку сети.

Выводы.

Предлагается математическая модель отказоустойчивой маршрутизации для различных схем резервирования сетевых ресурсов (1)-(8). Модель представлена с линейными (1)-(3) и нелинейными (4)-(6), (7) условиями-ограничениями, которые совместно с целевой функцией (8) позволили сформулировать оптимизационную задачу по расчету искомым маршрутных переменных. В рамках модели заложена возможность реализации различных схем

резервирования: узла (5), канала (4) и маршрута (6). Новизна модели заключается в модификации условий предотвращения перегрузки каналов связи, по которым, в общем случае, одновременно могут протекать потоки как основных, так и резервных маршрутов. Использование условия (7) в ходе реализации многопутевой маршрутизации позволит предотвратить перегрузку каналов связи даже в случае, если только некоторые потоки будут переключаться из основных путей на резервные. Модель охватывает случай одноадресной (unicast) маршрутизации, но введенное условия (8) справедливо также и при организации многоадресной (multicast) и широковещательной (broadcast) маршрутизации, осуществляемой, например, в рамках модели, описанной в работах [5, 6].

Литература:

1. Hariyawan M. Y. Comparison Analysis of Recovery Mechanism at MPLS Network // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 2011, Vol.1, No.2, p. 151-160.
2. 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.
3. Лемешко А.В., Романюк А.А., Козлова Е.В. Модель отказоустойчивой маршрутизации в MPLS-сети // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2013, с. 203-206.
4. Лемешко А.В., Козлова Е.В., Романюк А.А. Математическая модель отказоустойчивой маршрутизации, представленная алгебраическими уравнениями состояния MPLS-сети // Системи обробки інформації, Вип. 2 (109), 2013, с. 217-219.
5. Лемешко А.В., Кинан Моххамед Арус. Потокковая модель многоадресной маршрутизации // Материалы 23-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2013), Севастополь, 8-13 сентября 2013 г., в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2013, Т.1, с. 523-524.
6. Лемешко А.В. Потокковые модели многоадресной и широковещательной маршрутизации в телекоммуникационных сетях [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, К.М. Арус // Проблеми телекомунікацій, 2013, № 1 (10), с. 38 - 45. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131_lemeshko_multicast.pdf.