

УДК 621.391

МОДЕЛЬ ВІДМОВСТІЙКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ З РЕАЛІЗАЦІЄЮ РІЗНИХ СХЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ РЕСУРСІВ МЕРЕЖІ В УМОВАХ МУЛЬТИПОТОКОВОГО ТРАФІКУ

Лемешко О.В., Харківський національний університет радіоелектроніки
avlem@ukr.net

Арус К.М., Харківський національний університет радіоелектроніки
keno_arous@hotmail.com

Вступ

Важливе місце в загальному комплексі заходів щодо забезпечення заданої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) в сучасних мультисервісних телекомунікаційних мережах (ТКС) по праву відводиться засобам (моделям, методам і протоколам) маршрутизації. Саме від ефективності вирішення маршрутних завдань багато в чому залежать ключові показники міжкінцевої (end-to-end) QoS, такі як середня затримка, джиттер, ймовірність втрат пакетів і продуктивність ТКС в цілому. Відмінною особливістю застосовуваних на практиці протоколів маршрутизації [1] є те, що період (таймер) перерахунку маршрутних таблиць складає, в загальному випадку, десятки секунд (60 с – для протоколу RIP, 90 с - для протоколу IGRP). Вибір числового значення даного таймера продиктований, насамперед, пошуком компромісу між максимізацією адаптивності маршрутних рішень і мінімізацією обсягу циркулюючої в ТКС службової інформації про її стан.

Однак, як показує практика, нерідко вздовж обраного маршруту можуть виникати відмови в обслуговуванні, викликані перевантаженням або недостатньою експлуатаційною надійністю мережного обладнання. На жаль, час реакції на ці відмови якраз і визначається значенням таймеру перерахунку маршрутних таблиць. На рівні ядра мережі, де циркулюють потоки на гігабітних, а то і терабітних швидкостях, затримка у перерахуванні маршруту, який відмовив, в десятки секунд може викликати достатньо великі втрати в обсягах переданих даних, а значить приведе до істотного зниження QoS. У зв'язку з цим, на перше місце за своєю актуальністю виходять вимоги щодо підвищення відмовостійкості маршрутних рішень. На практиці перші кроки в цій області пов'язані з технологічною реалізацією ідей, закладених в концепцію швидкої перемаршрутизації (Fast ReRoute) [2]. В рамках даної концепції закладено можливість оперативного перемикання потоків трафіку на резервний маршрут при відмові основного. З огляду на те, що резервний шлях розраховується одночасно з основним, реалізуючи певну схему захисту –

вузла, каналу, маршруту, час на перемикання мінімальний, і визначається в основному швидкістю виявлення ймовірних відмов.

У даній роботі розвивається підхід, запропонований в статтях [3, 4] і орієнтований на вирішення проблем, пов'язаних із запобіганням перевантаження каналів зв'язку ТКС при реалізації різних схем резервування мережевих ресурсів в умовах мультипотокowego трафіку.

Математична модель потокової маршрутизації

Нехай при розробці математичної моделі потокової маршрутизації структура ТКС описується за допомогою орієнтованого графа $\Gamma = (V, E)$, де $V = \{v_i, i = \overline{1, m}\}$ – множина вершин – вузлів (маршрутизаторів) мережі, а $(i, j) \in E$ – множина дуг графа, що моделюють канали зв'язку (КЗ) ТКС. Для кожного КЗ, що моделюється дугою $(i, j) \in E$, задана пропускна здатність, яка вимірюється в пакетах за секунду (1/с), яка буде позначатися як $\varphi_{i,j}$. З кожним k -м потоком пов'язано ряд параметрів: r_k – середня інтенсивність потоку на вході мережі; s_k – вузол-відправник; d_k – вузол-отримувач. У результаті розв'язання задачі маршрутизації необхідно розрахувати множина змінних $x_{i,j}^k$, кожна з яких характеризує частку інтенсивності k -го потоку у КЗ $(i, j) \in E$; $k \in K$, де K – множина потоків в мережі.

При одношляховій маршрутизації мають місце умови

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

а при необхідності реалізації багатошляхових рішень умови (1) замінюються на

$$0 \leq x_{i,j}^k \leq 1. \quad (2)$$

Крім того, з метою недопущення втрат пакетів на вузлах та мережі в цілому вводяться умови збереження потоку

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = 0; \quad k \in K, \quad i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = 1; \quad k \in K, \quad i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = -1; \quad k \in K, \quad i = d_k. \end{array} \right. \quad (3)$$

Умови забезпечення відмовостійкості маршрутних рішень

Для розрахунку резервного шляху необхідно, поряд з невідомими змінними (2), розрахувати додаткові керуючі змінні $\bar{x}_{i,j}^k$, які характеризують частку k -го потоку, що протікає в каналі $(i, j) \in E$ резервного маршруту. На змінні $\bar{x}_{i,j}^k$ також накладаються обмеження, подібні до (1)-(3). Крім того, в структуру пропонованої моделі для запобігання перетину основного і резервного маршрутів при реалізації різних схем резервування вводиться ряд додаткових умов-обмежень:

- при реалізації схеми захисту (i, j) -каналу в пропоновану модель необхідно ввести умови виду:

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

виконання яких гарантує використання (i, j) -каналу лише одним маршрутом – або основним, або резервним;

- при реалізації схеми захисту i -го вузла модель доповнюється умовою

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

виконання якого гарантує використання i -го вузла (тобто всіх інцидентних йому каналів) або основним, або запасним маршрутом;

- для забезпечення захисту шляху (шляхів) в модель вводиться умова:

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

що еквівалентно задоволенню вимог щодо відсутності в основному і запасному маршрутах спільних вузлів і каналів (крім вузла-відправника та вузла-одержувача).

Умови запобігання перевантаження каналів зв'язку телекомунікаційної мережі

Немаловажне місце в структурі математичної моделі потокової маршрутизації займають умови запобігання перевантаження каналів зв'язку. Зміст цих умов полягає в тому, щоб сумарна інтенсивність потоків, що протікають по певному КЗ, не перевищувала його пропускну здатність. В роботах [3, 4] розрахунок множини основних маршрутів здійснювалася відповідно до умов

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j)} r^k x_{i,j}^k \leq \varphi_{ij}, \quad (i, j) \in E, \quad (7)$$

а для потоків, що протікають за резервними маршрутами подібні умови (7) не вводилися. Для врахування потоків резервних маршрутів умови (7) необхідно модифікувати, ввівши в ліву частину нерівності змінні $\bar{x}_{i,j}^k$. У разі реалізації відмовостійкої маршрутизації в рамках моделі (1)-(6) важливо врахувати, що в один і той же момент часу можуть відмовити лише деякі елементи (вузли, канали) мережі, тобто в одному і тому ж КЗ можуть протікати потоки основних і резервних маршрутів. Тому в оновленій версії умов (7) сумарна інтенсивність потоків, що протікають у обраному КЗ, розраховуватиметься для «гіршого випадку», тобто до уваги братиметься більша з інтенсивностей k -го потоку, що відноситься до основного або резервного маршруту. Тоді для варіанту одношляхової маршрутизації, коли шукані маршрутні змінні носять булевий характер (1), умови запобігання перевантаження будуть мати вигляд

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j)} r^k \left(\frac{x_{i,j}^k + \bar{x}_{i,j}^k}{x_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k + 1} \right) \leq \varphi_{ij}, \quad (i, j) \in E, \quad (8)$$

а для випадку організації багатошляхової маршрутизації умови (8) модифікуються в нерівність

$$\frac{1}{2} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j)} r^k \left((x_{i,j}^k + \bar{x}_{i,j}^k) + \sqrt{(x_{i,j}^k - \bar{x}_{i,j}^k)^2} \right) \leq \varphi_{i,j}, \quad (i, j) \in E. \quad (9)$$

Критерій оптимальності рішень щодо підвищення відмовостійкості маршрутних рішень в ТКС

Для розрахунку маршрутних змінних $x_{i,j}^k$ та при розв'язанні задач відмовостійкої маршрутизації в ТКС необхідно мінімізувати наступну цільову функцію:

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

де $c_{i,j}^k$ та $\bar{c}_{i,j}^k$ – маршрутні метрики каналів основного і запасного маршрутів відповідно. Функція (10) чисельно характеризує сумарні витрати на формування і використання основного і резервного маршрутів між парою вузлів відправник-одержувач.

Паралельно з розрахунком маршрутів визначався порядок їх використання потоками користувачів. Як наголошується в роботах [3, 4] модель (1)-(10) необхідно доповнити умовою

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{i,j}^k x_{i,j}^k \leq \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} \bar{c}_{i,j}^k \bar{x}_{i,j}^k, \quad (11)$$

виконання якої гарантує те, що основний шлях завжди буде ефективнішим за резервним в рамках обраних маршрутних метрик $c_{i,j}^k$ та $\bar{c}_{i,j}^k$.

Завдання щодо розрахунку маршрутних змінних $x_{i,j}^k$ та $\bar{x}_{i,j}^k$ при наявності обмежень (1), (3)-(6), (8), (11) з цільовою функцією (10) відноситься до класу задач змішаного цілочисельного нелінійного програмування. А при реалізації багатошляхової відмовостійкої маршрутизації, тобто при обліку умов (2) і (9) замість (1) і (8) – це задача нелінійного програмування.

Висновки

Пропонується математична модель відмовостійкої маршрутизації для різних схем резервування мережевих ресурсів (1)-(11). Модель представлена лінійними (1)-(3), (11) і нелінійними (4)-(6), (8), (9) умовами-обмеженнями, які спільно з цільовою функцією (10) дозволили сформулювати оптимізаційну задачу щодо розрахунку шуканих маршрутних змінних. В рамках моделі закладена можливість реалізації різних схем резервування: вузла (5), каналу (4) і маршруту (6). Новизна моделі полягає в модифікації умов запобігання перевантаження каналів зв'язку, за якими, в загальному випадку, одночасно можуть протікати

потоки як основних, так і резервних маршрутів. Використання умов (8) і (9) в ході реалізації одно- і багатошляхової маршрутизації дозволить запобігти перевантаженню каналів зв'язку навіть у разі, якщо лише деякі потоки будуть перемикатися з основних шляхів на резервні. Модель охоплює випадок одноадресної (unicast) маршрутизації, але введені умови (8) і (9) справедливі також і при організації багатоадресної (multicast) та широкомовної (broadcast) маршрутизації, здійснюваної, наприклад, в рамках моделі, описаної в роботах [5-7].

Література

- [1] Hussain I. *Fault-Tolerant IP and MPLS Networks*, Cisco Press, - 2004, 336p.
- [2] Urrea A., Calle E., Marzo J.L. *Partial Disjoint Path for Multi-layer Protection in GMPLS Networks* // *Proceedings.5th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks*, 2005. (DRCN 2005). – P. 165-170.
- [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 МТУСН*, 2013. – С. 203-206.
- [4] Lemesko 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-(Zakarpattia), UKRAINE 19-23 February 2013: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2013. – P. 202-203.
- [5] 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.
- [6] Лемешко А.В. *Потоковые 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 к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131_lemeshko_multicast.pdf.
- [7] Лемешко А.В., Кинан М. Арус. *Потоковая 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.