



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99837** (13) **U**  
(51) МПК (2015.01)  
**G06G 3/00**

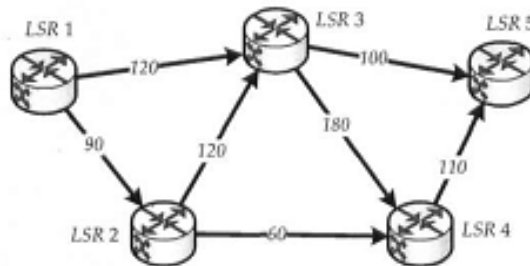
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	<b>u 2015 00068</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Лемешко Олександр Віталійович (UA), Арус Кінан Мохамед (UA), Вавенко Тетяна Василівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>05.01.2015</b>	(73) Власник(и):	<b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	<b>25.06.2015</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>25.06.2015, Бюл.№ 12</b>		

## (54) СПОСІБ ВІДМОВОСТІЙКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ МУЛЬТИПОТОКОВОГО ТРАФІКУ З ПІДТРИМКОЮ РІЗНИХ СХЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ МЕРЕЖНИХ РЕСУРСІВ

### (57) Реферат:

Спосіб відмовостійкої маршрутизації мультипотокowego трафіку з підтримкою різних схем резервування мережних ресурсів, що здійснює захист каналу, вузла та маршруту, задаються умови для здійснення одношляхової та багатшляхової маршрутизації, який відрізняється тим, що в ньому забезпечується відсутність перевантаження каналів зв'язку потоками як основного, так і резервного маршрутів, завдяки виконанню умови запобігання перевантаженню каналів зв'язку, які модифікуються в задану нерівність. А при розрахунку маршрутних змінних в ході розв'язання задачі відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційній мережі мінімізується певна цільова функція, що дозволяє запобігти перевантаженню каналів зв'язку навіть у випадку, якщо лише деякі потоки переключаться з основних шляхів на резервні.



Фіг. 1

UA 99837 U



Корисна модель належить до галузі електрозв'язку і є технологією маршрутизації трафіку, може знайти застосування на приграничних вузлах (маршрутизаторах і комутаторах третього рівня) транспортної телекомунікаційної мережі (ТКМ) при розв'язанні задач відмовостійкої маршрутизації для покращення якості обслуговування.

Відомий спосіб відмовостійкої маршрутизації в ТКМ (див. Basic Specification for IP Fast Reroute: Loop-Free Alternates. RFC 5286 / A. Atlas, A. Zinin. - 2008 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://tools.ietf.org/html/rfc5286> (дата звернення: 25.10.2014) полягає у реалізації ідей, що покладені в концепцію технології швидкої перемаршрутизації. В рамках даного способу в ході відмовостійкої маршрутизації трафіку здійснюється переключення потоків трафіку на резервний маршрут при відмові основного. Резервний маршрут розраховується одночасно з основним, при цьому реалізується одна з схем захисту: захист вузла, каналу чи маршруту.

Однак відомий спосіб відмовостійкої маршрутизації має ряд недоліків, які можуть призвести до зниження якості обслуговування, а саме: при використанні відомого способу не враховується те, що в каналах зв'язку одночасно можуть протікати потоки основних та резервних маршрутів; у відомому способі не передбачена технологія захисту від перевантаження каналів у випадку, якщо тільки деякі потоки переключаться з основного на резервні маршрути; на практиці використовується тільки схема по захисту каналу.

Найбільш близьким до запропонованого технічного рішення є спосіб відмовостійкої маршрутизації трафіку (див. Urra 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), в рамках якого розв'язується задача переключення потоків трафіку на резервний маршрут при відмові основного.

В рамках способу-прототипу ТКМ описується за допомогою орієнтованого графа  $G = (V, E)$ , де  $V$  - це множина вершин (вузлів зв'язку ТКМ), а  $E$  - множина дуг графа (каналів зв'язку ТКМ). Для кожного каналу зв'язку, що моделюється дугою  $(i, j) \in E$ , задається пропускна здатність каналу, що вимірюється в пакетах за секунду (1/с), яка позначена  $\varphi_{i,j}$ . З кожним  $k$  - м потоком пов'язано ряд параметрів:  $r_k$  - середня інтенсивність потоку на вході мережі;  $s_k$  - вузол-джерело;  $d_k$  - вузол-отримувач. При розв'язанні задачі маршрутизації необхідно розрахувати множину змінних  $x_{i,j}^k$ , кожна з яких характеризує долю інтенсивності  $k$ -го потоку в каналах зв'язку;  $k \in K$  де  $K$  - множина потоків в мережі.

При одношляховій маршрутизації виконуються умови:

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

а при необхідності реалізації багатoshляхових рішень умови (1) замінюються на.

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

Крім того, щоб не допустити втрат пакетів на мережних вузлах та у мережі в цілому, забезпечується виконання умов збереження потоку:

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

Для розрахунку резервного маршруту разом з невідомими змінними (2) розраховуються 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 цього, в структурі способу-прототипу для запобігання перетину основного і резервного маршрутів при реалізації різних схем резервування мережних ресурсів вводиться ряд додаткових умов-обмежень:

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

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

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

- при реалізації схеми захисту  $j$ -го вузла модель доповнюється умовою:

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

виконання якої гарантує використання  $j$ -го вузла (тобто всіх інцидентних йому каналів) або основним, або запасним маршрутом;

- для забезпечення захисту маршруту (маршрутів) 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).

Важливе місце в структурі математичної моделі потокової маршрутизації займають умови запобігання перевантаженню каналів зв'язку. Зміст цих умов полягає в тому, щоб сумарна інтенсивність потоків, що протікають в певному каналі зв'язку, не перевищувала його пропускну здатність. Розрахунок множини основних маршрутів будемо здійснювати відповідно до умов (див. 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):

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

Як показало дослідження, недоліки відомого способу належать і до недоліків способу-прототипу.

В основу корисної моделі поставлена задача створити спосіб відмовостійкої маршрутизації мультипоточкового трафіку з підтримкою різних схем резервування мережних ресурсів, в рамках якого б враховувалось те, що в каналах зв'язку одночасно можуть протікати потоки основних та резервних маршрутів та був передбачений механізм щодо захисту від перевантажень каналів зв'язку у випадку, якщо тільки деякі потоки переключаться з основного на резервні маршрути.

Ця задача вирішується наступним чином. На фіг. 1-5 показано приклад використання способу відмовостійкої маршрутизації для одношляхового випадку з реалізацією схеми захисту каналу для двох потоків для топології мережі, що представлена на фіг. 1.

Для цього у способі відмовостійкої маршрутизації мультипоточкового трафіку в телекомунікаційних мережах, згідно з запропонованою корисною моделлю, 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 каналі зв'язку можуть протікати потоки основних і резервних маршрутів. Сумарна інтенсивність потоків, що протікають по вибраному каналу зв'язку, буде розраховуватися для "гіршого випадку", тобто до уваги братиметься більша з інтенсивностей  $k$ -го потоку, що належить до основного або резервного маршруту. Тоді для варіанта одношляхової маршрутизації, коли невідомі маршрутні змінні носять булівський характер (1), умови запобігання перевантаженню матимуть вигляд

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

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

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

При розрахунку маршрутних змінних в ході розв'язання задачі відмовостійкої маршрутизації в ТКМ мінімізується наступна цільова функція:

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

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

Паралельно з розрахунком маршрутів визначається порядок їх використання потоками користувачів. Модель (1) - (10) необхідно доповнити умовою (див. 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)

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

виконання якої гарантує те, що основний маршрут (мультимаршрут) завжди буде ефективніше (за швидкістю або затримкою пакетів) резервного в рамках вибраних маршрутних метрик  $c_{i,j}^k$  і  $\bar{c}_{i,j}^k$ .

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

Запропонована математична модель для способу відмовостійкої маршрутизації для різних схем резервування мережних ресурсів (1)-(11): вузла (5), каналу (4) і маршруту (6). Новизна способу полягає в модифікації умов запобігання перевантаженню каналів зв'язку, 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 випадку, якщо лише деякі потоки переключаться з основних шляхів на резервні. Модель охоплює випадок одноадресної (unicast) маршрутизації, але умови (8) і (9) справедливі також і при організації багатоадресної (multicast) або широкомовної (broadcast) маршрутизації.

На фіг. 1-5 показано приклад використання способу відмовостійкої маршрутизації для одношляхового випадку з реалізацією схеми захисту каналу для двох потоків для топології мережі, що представлена на фіг. 1. Для першого потоку з інтенсивністю потоку 80 1/с вузлом-відправником є перший маршрутизатор, вузлом-отримувачем - п'ятий маршрутизатор. Для другого потоку з інтенсивністю 60 1/с вузлом-відправником є другий маршрутизатор, вузлом-отримувачем - четвертий маршрутизатор. За метрику використовується мінімум кількості переприйомів (хопів). Треба реалізувати схему захисту каналу (1, 3). На фіг. 2 представлено основний маршрут для першого потоку, на фіг. 3 - основний маршрут для другого потоку. На фіг. 4 представлено резервний маршрут для першого потоку, отриманий без використання умови (8), а на фіг. 5 - резервний маршрут для першого потоку, отриманий з використанням умови (8). Таким чином, використання умови (8) в ході реалізації відмовостійкої маршрутизації дозволило запобігти перевантаженню каналів зв'язку у випадку, коли першим потік був переключений з основного маршруту на резервний.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб відмовостійкої маршрутизації мультипотокowego трафіку з підтримкою різних схем резервування мережних ресурсів, що здійснює захист каналу, вузла та маршруту, задаються умови для здійснення одношляхової та багатошляхової маршрутизації, який **відрізняється** тим, що в ньому забезпечується відсутність перевантаження каналів зв'язку потоками як основного, так і резервного маршрутів, завдяки виконанню умови запобігання перевантаженню каналів зв'язку, які модифікуються в нерівність:

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

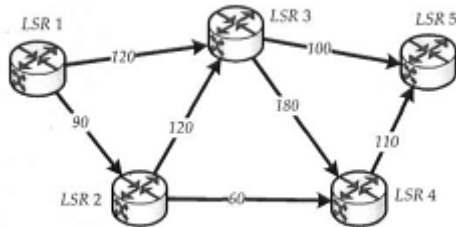
- для одношляхової маршрутизації та

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

- для багатошляхової маршрутизації, де  $x_{i,j}^k$  - частка інтенсивності k-го потоку в каналі зв'язку  $(i,j) \in E$ ;  $k = K$ , де  $K$  - множина потоків в мережі;  $E$  - множина каналів зв'язку телекомунікаційної мережі;  $r^k$  - середня інтенсивність потоку на вході мережі;  $\varphi_{ij}$  - пропускна здатність каналу  $(i,j) \in E$ , що вимірюється в пакетах за секунду (1/с), а при розрахунку маршрутних змінних в ході розв'язання задачі відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційній мережі мінімізується наступна цільова функція:

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

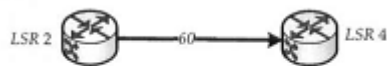
де  $c_{i,j}^k$  і  $\bar{c}_{i,j}^k$  - маршрутні метрики каналів для основного і запасного маршрутів відповідно, що дозволяє запобігти перевантаженню каналів зв'язку навіть у випадку, якщо лише деякі потоки переключаться з основних шляхів на резервні.



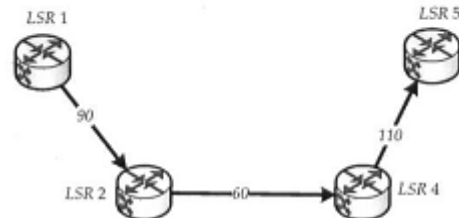
Фиг. 1



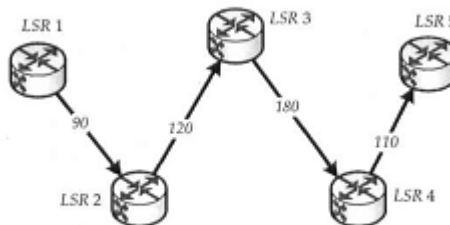
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5