



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **63294** (13) **U**  
(51) МПК (2011.01)  
**G06G 3/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ ДВОРІВНЕВОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З КОМУТАЦІЄЮ ВІРТУАЛЬНИХ КАНАЛІВ**

1

2

(21) u2011101301

(22) 07.02.2011

(24) 10.10.2011

(46) 10.10.2011, Бюл.№ 19, 2011 р.

(72) ЛЕМЕШКО ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ, АХ-  
МАД М. ХАЙЛАН, СТАРКОВА ОЛЕНА ВОЛОДИ-  
МИРІВНА

(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-  
ТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ (ХНУРЕ)

(57) Спосіб дворівневої маршрутизації в телекому-  
нікаційних мережах з комутацією віртуальних ка-

налів, що включає реалізацію стратегії багатопля-  
хової маршрутизації "від джерела" та дозволяє  
забезпечити балансування навантаження в мере-  
жі, який **відрізняється** тим, що приграничний ма-  
ршрутизатор виконує розрахунок множини марш-  
рутів, а сервер маршрутів координує одержані  
рішення на основі принципу цільової координації  
для запобігання перевантаження трактів передачі  
мережі, що підвищує масштабованість одержува-  
них рішень.

Корисна модель належить до технологій  
управління трафіком і може знайти застосування  
на прикордонних вузлах (маршрутизаторах і кому-  
таторах третього рівня) транспортної мережі при  
рішенні задач маршрутизації.

Відомий спосіб (див. Yasukawa S. Signaling  
Requirements for Point-to-Multipoint Traffic-  
Engineered MPLS Label Switched Paths (LSPs),  
RFC4461 // April2006,30 р.) реалізує режим вірту-  
альних з'єднань з маршрутизацією "від джерела".

Основним недоліком даного способу є відсут-  
ність забезпечення ефективного балансування  
навантаження в мережі.

Найбільш близьким по сукупності ознак є спо-  
сіб (див. Seok Yo., Lee Yo., Choi Ya., Kim C.A  
constrained multipath traffic engineering scheme for  
MPLS networks // Proc.of IEEE ICC2002, New York,  
р. 2431-2436), який дозволяє реалізувати страте-  
гію багатопляхової маршрутизації та забезпечити  
більш ефективне балансування навантаження в  
мережі.

Однак даний спосіб належить до класу  
централізованих рішень та не забезпечує їх масш-  
табованість в умовах територіальної розподіленос-  
ті телекомунікаційної мережі.

В основу корисної моделі поставлена задача  
підвищення масштабованості одержуваних рішень  
в умовах територіальної розподіленості телекому-  
нікаційної мережі при реалізації багатопляхової  
маршрутизації "від джерела".

Поставлена задача вирішується тим, що в  
спосіб дворівневої маршрутизації в телекомуні-

каційних мережах з комутацією віртуальних кана-  
лів, що дозволяє реалізувати стратегію багатопля-  
хової маршрутизації "від джерела" та забезпе-  
чити ефективне балансування навантаження,  
згідно з корисною моделлю, умови запобігання  
перевантаження трактів передачі мережі подані у  
декомпозиційному вигляді та для оптимізації про-  
цесу дворівневої маршрутизації використано  
принцип цільової координації, що, зрештою, до-  
звولیло підвищити масштабованість одержуваних  
рішень.

Зміст заявленого способу пояснюється насту-  
пним.

Структурне описання MPLS-мережі

Нехай структура MPLS-мережі (фіг. 1) опису-  
ється за допомогою графа  $G=(M, E)$ , де  $M$  - мно-  
жина вузлів, а  $E$  - множина трактів передачі в ме-  
режі. Всю множину вузлів відповідно до принципів  
побудови мережі MPLS можна розбити на дві під-

$$M^+ = \left\{ M_r^+, r = \overline{1, m_{LER}} \right\}$$

множини:  
прикордонних маршрутизаторів (Label Edge

$$M^- = \left\{ M_j^-, j = \overline{1, m_{LSR}} \right\}$$

Router, LER) та  
множину транзитних маршрутизаторів (Label Switching

Router, LER). Кожній дузі  $(i, j) \in E$  графа, яка моде-  
лює відповідний тракт передачі в мережі, ставить-  
ся у відповідність пропускна здатність  $\Phi_{ij}$  цього

(19) **UA** (11) **63294** (13) **U**

тракту. Всю множину трафіків  $K$ , що надходять від абонентів (мереж доступу), залежно від того, на який прикордонний маршрутизатор надходить цей трафік, можна декомпозиціювати на підмножини

$\left\{ K_r, r = \overline{1, m_{LER}} \right\}$ , де  $K_r$  - множина трафіків, що надходять на  $r$ -й LER. Тоді кожному трафіку з множини  $K_r$  зіставляється ряд параметрів:

$M_r^+$ - $r$ -й LER, на який надходить  $k$ -й трафік (вузол-джерело);

$M_r^+$ - $p$ -й LER, через який  $k$ -й трафік убуває з MPLS-мережі (вузол-одержувач);

$\lambda^{kr}$  - інтенсивність  $k_r$ -го трафіка, тобто  $k$ -го трафіка, що надходить на  $r$ -й LER.

Як приклад, на фіг.1 показані інтенсивності двох трафіків ( $\lambda^1$  і  $\lambda^2$ ), що надходять на другий LER та призначені для четвертого та третього LER відповідно.

Функціональне описання MPLS- мережі

В MPLS- мережі в ході рішення задач маршрутизації в межах поточкових моделей необхідно розрахувати один або множину шляхів (Label Switching Path, LSP) між парою прикордонних вузлів відправник-одержувач, а також визначити порядок розподілу між ними трафіка заданої інтенсивності. Умовимося, що з точки зору підвищення масштабованості рішень задач маршрутизації застосуємо дворівневу схему розрахунку:

- на нижньому рівні - шукані маршрути підлягають розрахунку незалежно на кожному LER для трафіків, які надходять до нього від абонентів (мереж доступу);

- на верхньому рівні - отримані на нижньому рівні рішення координуються з метою запобігання ймовірного перевантаження трактів передачі мережі через децентралізацію прийнятих рішень щодо маршрутизації трафіків.

Тоді для кожного  $r$ -го LER як шукані виступають маршрутні змінні  $x_{ij}^{kr}$ , які характеризують ін-

тенсивність  $k_r$ -го трафіку в тракті  $(i, j) \in E$ . З метою недопущення втрат пакетів на маршрутизаторах і в мережі в цілому протягом розрахунку маршрутних змінних необхідно забезпечити виконання умов збереження потоку:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{kr} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{kr} = \lambda^{kr} & \text{при } k_r \in K_r, i = M_r^+; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{kr} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{kr} = 0 & \text{при } k_r \in K_r, i \neq M_r^+, M_p^+; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{kr} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{kr} = \lambda^{kr} & \text{при } k_r \in K_r, i = M_p^+; \end{cases}$$

Система рівнянь-умов (1) повинна виконуватися для кожного трафіка, який надходить на довільний прикордонний маршрутизатор (LER). Крім того, з метою запобігання можливого перевантаження трактів передачі MPLS-мережі протягом розрахунку маршрутних змінних важливо виконати умови (за кількістю трактів передачі):

$$\sum_{r \in M^+} \sum_{k_r \in K_r} x_{ij}^{kr} \leq \varphi_{ij}; \quad (i, j) \in E. \quad (2)$$

Варто врахувати, що при децентралізованому розрахунку маршрутних змінних на кожному окремо взятому LER умови (2) в явному вигляді врахувати не представляється можливим, тому що кожен прикордонний маршрутизатор визначає LSP для трафіків користувачів, що надходять до нього, без інформації про результати розрахунку на сусідніх LER. У зв'язку з цим умови (2) запишемо в наступному вигляді:

$$\sum_{k_r \in K_r} x_{ij}^{kr} \leq \varphi_{ij}; \quad - \sum_{s \in M^+} \sum_{k_r \in K_r} x_{ij}^{kr}; \quad r \in M^+, (i, j) \in E. \quad (3)$$

Значення виразу (3) полягає в тому, що трафік, який маршрутизується з  $r$ -го LER, не повинен за своєю інтенсивністю перевищувати доступної пропускної здатності тракту передачі, яка залишилася після обслуговування трафіків інших прикордонних маршрутизаторів.

Згідно з фізичним змістом маршрутних змінних, на них слід накласти обмеження вигляду

$$0 \leq x_{ij}^{kr} \leq \lambda^{kr} \quad (4)$$

У векторно-матричній формі умови (1)-(3) та критерій (4) можна представити в наступному вигляді:

$$B_r \cdot \vec{x}_r \leq \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} C_{rs} \vec{x}_s. \quad (5)$$

При розрахунку вектора шуканих змінних як критерій оптимальності одержуваних рішень виберемо мінімум наступної цільової функції:

$$\min_x F \quad \text{при } F = \sum_{r \in M^+} \bar{c}_r^t \vec{x}_r, \quad (6)$$

де вагові коефіцієнти - координати вектора  $\bar{c}_r$  по суті є метрикою тракту  $(i, j)$ , характеризуючи умовну вартість використання  $k_r$ -м трафіків цього тракту;  $[\cdot]^t$  - операція транспонування вектору (матриці).

Тоді, переходячи до задачі на безумовний екстремум, необхідно максимізувати лагранжіан за множниками Лагранжа  $\mu$ :

$$\min_x F = \max_{\mu} L,$$

Де

$$L = \sum_{r \in M^+} \bar{c}_r^t \vec{x}_r + \sum_{r \in M^+} \mu_r^t \left( B_r \cdot \vec{x}_r - \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} C_{rs} \vec{x}_s \right). \quad (7)$$

Використання методу цільової координації для реалізації багаторівневої стратегії маршрутизації

Для рішення сформульованої оптимізаційної задачі використаємо метод цільової координації, в межах якого лагранжіан (7) подамо у вигляді:

$$L = \sum_{r \in M^+} \bar{c}_r^t \vec{x}_r + \sum_{r \in M^+} \rho_r^t (A_r \cdot \vec{x}_r - \bar{a}_r) - \sum_{r \in M^+} \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} \mu_r^t C_{rs} \vec{x}_s \quad (8)$$

Припустивши, що величини  $\mu_r$  є фіксованими, можна останній доданок у виразі (8) привести до вигляду:

$$\sum_{r \in M^+} \mu_r^t \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} C_{rs} \bar{x}_s = \sum_{r \in M^+} \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} C_{rs} \bar{x}_s$$

тоді вираз (8) можна записати наступним чином:

$$L = \sum_{r \in M^+} L_r, \\ L_r = \bar{c}_r^t \bar{x}_r + \mu_r^t (B_r \cdot \bar{x}_r) - \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} \mu_s^t C_{rs} \bar{x}_s$$

де

Таким чином, функція (9) набуває сепарабельної форми, а загальна проблема маршрутизації в MPLS-мережі виявилася декомпозиційованою на ряд маршрутних задач (за кількістю прикордонних маршрутизаторів), де кожна задача маршрутизації на  $r$ -му LER, що складається в розрахунок вектора  $\bar{x}_r$ , звелася до максимізації лагранжиану  $L_r$ . Рішення завдання максимізації виразу (9) визначає нижній рівень розрахунків - LER-рівень. На верхньому рівні (LSR-рівні), основною задачею якого є

координація рішень, отриманих на нижньому рівні з метою недопущення перевантаження трактів передачі мережі (2), здійснюється модифікація вектора множників Лагранжа шляхом виконання наступної градієнтної процедури:

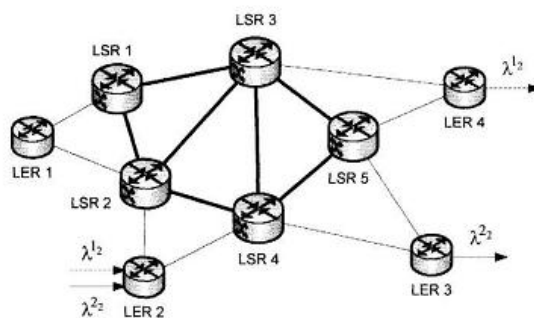
$$\mu_r(\alpha + 1) = \mu_r(\alpha) + \nabla \mu_r \quad (10)$$

де  $\nabla \mu_r$  - градієнт функції, який розраховується, виходячи з одержуваних на верхньому рівні

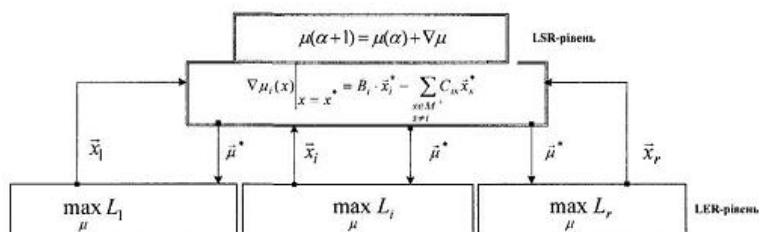
результатів рішення задач маршрутизації ( $\bar{x}_r^*$ ) на кожному конкретному  $r$ -му LER ( $r \in M^+$ ), тобто

$$\nabla \mu_r(x) \Big|_{x=x^*} = B_r \cdot \bar{x}_r^* - \sum_{\substack{s \in M^+ \\ s \neq r}} \mu_s^t C_{rs} \bar{x}_s^* \quad (11)$$

Загальна схема дворівневої маршрутизації в MPLS-мережі наведена на фіг.2.



Фіг. 1



Фіг. 2