



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **84986** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
G06G 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

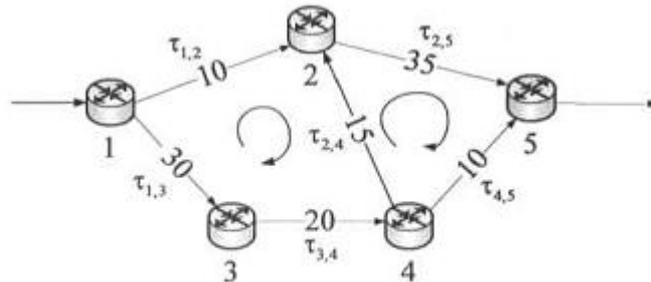
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 04667	(72) Винахідник(и): Лемешко Олександр Віталійович (UA), Вавенко Тетяна Василівна (UA), Стерін В'ячеслав Леонідович (UA), Євсєєва Оксана Юрїївна (UA), Гаркуша Сергій Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.04.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.11.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.11.2013, Бюл.№ 21	(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)

(54) СПОСІБ МАРШРУТИЗАЦІЇ З БАЛАНСУВАННЯМ НАВАНТАЖЕННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

(57) Реферат:

Спосіб маршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах здійснює багатопляхову маршрутизацію з балансуванням навантаження в каналах телекомунікаційних мереж (ТКМ). Крім цього, балансування навантаження здійснюється за середньою багатопляховою затримкою пакетів, коли задача маршрутизації розв'язується за умови, що в маршрутах передачі трафіку контурні складові середніх багатопляхових затримок порівнюються до нуля.



Фиг. 1

UA 84986 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 маршрутизації для забезпечення збалансованого навантаження каналів мережі та покращення якості обслуговування.

Відомий спосіб маршрутизації з балансуванням навантаження в ТКМ (див. Wang Y., Wang Z. Explicit routing algorithms for Internet Traffic Engineering // Proc. of 8th International Conference on Computer Communications and Networks. Paris, 1999. - P. 582-588) полягає в тому, що на основі використання потокової багатопродуктової багатополіусної моделі ТКМ розв'язується задача маршрутизації з балансуванням навантаження у каналах зв'язку. В рамках даного способу в ході маршрутизації трафіку здійснюється балансування навантаження за критерієм мінімізації коефіцієнта максимального завантаження каналів ТКМ. Це обумовлено тим, що чим менш завантажені канали ТКМ, тим кращі значення показників якості обслуговування, в тому числі середня затримка та рівень втрат пакетів.

Однак дослідження відомого способу маршрутизації з балансуванням навантаження показали, що мінімізація завантаження каналів зв'язку не завжди призводить до максимального підвищення якості обслуговування, особливо це було помічено для мереж з напівдуплексними та дуплексними каналами зв'язку, а також для мереж з неоднорідною структурою, представлених розділимим графом (див. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] /А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекоммуникаций. - 2012. - № 1 (6). С. 12-29. Режим доступа к журн.:

http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/12_l_lemeshko_multipath.pdf). Крім того, балансування навантаження в рамках відомого способу призводить до зростання джитера пакетів, викликаного реалізацією багатопрохідної стратегії маршрутизації, тобто середні затримки пакетів вздовж різних шляхів можуть суттєво різнитись.

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням є спосіб маршрутизації трафіку (див. патент US № 7.889.661 B2, МПК H04L 12/28, публ. 29.05.2003), в рамках якого розв'язується задача багатопрохідної маршрутизації з балансуванням навантаження в каналах ТКМ.

В рамках способу-прототипу ТКМ описується за допомогою орієнтованого графа $G=(V, E)$, де V - це множина вузлів ТКМ, а E - множина каналів.

Пропускна здатність каналу E_{ij} ($E_{ij} \in E$) ТКМ, який з'єднує вузли V_i та V_j , позначена через c_{ij} . Кожному k -му трафіку з множини K ($k \in K$) відповідає ряд параметрів: d_k, s_k, t_k - інтенсивність k -го трафіку, вузол-джерело та вузол-отримувач відповідно. Керуючою змінною виступає величина x_{ij}^k , яка характеризує частку k -го трафіку, що проходить через канал $E_{ij} \in E$. У відповідності до фізики задачі на змінні x_{ij}^k накладаються обмеження:

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

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

$$\begin{cases} \sum_{E_{ij} \in E} x_{ij}^k - \sum_{E_{ji} \in E} x_{ji}^k = 0, k \in K, i \neq s_k, t_k \\ \sum_{E_{ij} \in E} x_{ij}^k - \sum_{E_{ji} \in E} x_{ji}^k = 1, k \in K, i = s_k, \\ \sum_{E_{ij} \in E} x_{ij}^k - \sum_{E_{ji} \in E} x_{ji}^k = -1, k \in K, i = t_k. \end{cases} \quad (2)$$

Крім цього, складовою способом є умова забезпечення відсутності перевантаження у каналах зв'язку:

$$\sum_{k \in K} d_k x_{ij}^k \leq c_{ij} \alpha, E_{ij} \in E \quad (3)$$

де α - динамічно керований поріг завантаження каналів ТКМ (максимальне завантаження), на який накладаються наступні обмеження:

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4).$$

В ході розв'язання задачі маршрутизації трафіком мінімізується максимальне завантаження каналів ТКМ:

$$\alpha \rightarrow \min \quad (5).$$

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

В основу винаходу поставлена задача створити спосіб балансування навантаження в ході розв'язання задачі багатопляхової маршрутизації в телекомунікаційній мережі, який забезпечить підвищення якості обслуговування на підставі використання інших критеріїв при балансуванні навантаження, наприклад критеріїв, пов'язаних безпосередньо з показниками якості обслуговування.

Для цього у способі маршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах, згідно з запропонованою корисною моделлю, пропонується відмовитися від мінімізації максимального навантаження каналів ТКМ, як в способі-прототипі, а здійснювати балансування навантаження за середньою багатопляховою затримкою пакетів.

При такому підході з метою отримання мінімальної та однакової для всіх шляхів середньої затримки пакетів в запропонованому способі контурні складові по середніх багато шляхових затримках для кожного трафіку $k \in K$ прирівнюються до нуля, це також сприяє мінімізації джитеру пакетів, який обумовлений реалізацією багатопляхової стратегії маршрутизації, та забезпечує відсутність петель (Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной // Праці УНДІРТ. Випуск № 4 (40). - Одеса: Видання УНДІРТ, 2004. - С. 12-18):

$$\vec{\tau}_{\text{конт.}}^k = 0 \quad (6),$$

де $\vec{\tau}_{\text{конт.}}^k$ - вектор контурних затримок, координати якого визначають суму затримок вздовж кожного незалежного контуру в ТКМ.

Кількість незалежних контурів визначається наступним виразом:

$$g = n - m + 1, \quad (7)$$

де n - кількість каналів зв'язку, m - кількість вузлів ТКМ.

Наприклад, в структурі телекомунікаційної мережі з фіг. 1 є два незалежних контури, а умова (6) для даного випадку набуває вигляду:

$$\vec{\tau}_{\text{конт.1}}^k = \tau_{1,2} - \tau_{2,4} - \tau_{3,4} - \tau_{1,3},$$

$$\vec{\tau}_{\text{конт.2}}^k = \tau_{2,5} - \tau_{4,5} - \tau_{2,4},$$

де $\tau_{i,j}^k$ - середня затримка пакетів k -го трафіку в каналі $E_{ij} \in E$.

Умова забезпечення відсутності перевантаження у каналах зв'язку (3) набуває вигляд:

$$\sum_{k \in K} d_k x_{ij}^k \leq c_{ij}, E_{ij} \in E \quad (8).$$

При цьому в ході розв'язання задачі маршрутизації змінюється цільова функція (5), а саме - мінімізується лінійна форма:

$$\min \vec{f}^t \vec{X} \quad (9),$$

де \vec{X} - вектор з координатами x_{ij}^k , а \vec{f} - вектор маршрутних метрик ТКМ, $[\cdot]^t$ - операція транспонування матриці.

В результаті проведеного дослідження математичної моделі, яка покладена в основу запропонованого способу маршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах, за формулами (1)-(3), (6), (8), (9), при різних вихідних даних було встановлено, що значення показників якості обслуговування при розв'язанні задачі маршрутизації в рамках запропонованого способу кращі, ніж при розв'язанні задачі маршрутизації в рамках способу-прототипу (див. формули (1)-(5)).

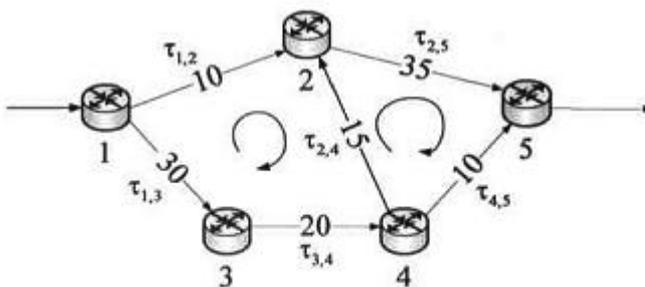
Результати порівняльного аналізу запропонованого способу зі способом-прототипом для структур телекомунікаційних мереж, показаних на фіг. 1-3, представлені на фіг. 4-6 відповідно. Для всіх структур трафік передавався від вузла з найменшим номером до вузла з найбільшим. На структурах ТКМ (фіг. 1-3) позначені пропускні здатності каналів зв'язку (1/c), а також незалежні контури. Порівняльний аналіз був проведений за показником середньої багатопляхової затримки, за яку бралось найбільше значення серед середніх затримок вздовж розрахованих маршрутів (див. Chen J.-C, Chan S.H. Multipath Routing for Video Unicast over Bandwidth-Limited Networks Department of Computer Science // Proc. of GLOBECOM'01: San Antonio, Texas - Vol. 3. - 2001. - p. 1963-1997). Результати аналізу представлені на фіг.4-6. Процес обслуговування в окремих каналах, як приклад, моделювався за допомогою системи масового обслуговування M/M/1. Якщо модель обслуговування змінюється, це вимагає зміни

умов (б), однак це не впливає на загальні результати щодо отримання мінімальної та однакової затримки для всіх шляхів, а також забезпечення відсутності петель.

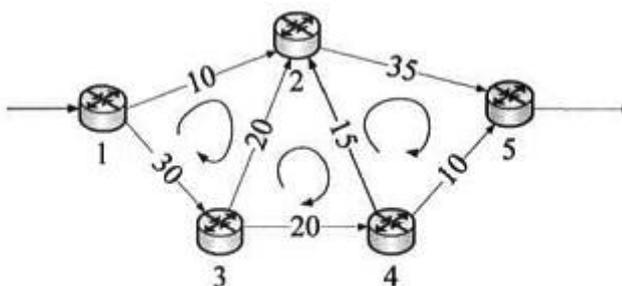
5 Як показали результати досліджень, якість обслуговування в результаті балансування навантаження в ході розв'язання задачі маршрутизації в рамках запропонованого способу за критерієм середньої багатошляхової затримки тим краще, чим більше шляхів проходження трафіку між відправником та отримувачем. Так, у наведених прикладах середні багатошляхові затримки пакетів зменшувалися у середньому на 5-13 % для ТКМ з трьома (фіг. 4), на 15-27 % для ТКМ з чотирма шляхами (фіг. 5), на 20-34 % для ТКМ з п'ятьма шляхами (фіг. 6). При цьому отримано мінімальну та однакову затримку для всіх шляхів, що сприяє мінімізації джитеру пакетів, який обумовлений реалізацією багатошляхової стратегії маршрутизації, а також забезпечується відсутність петель.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

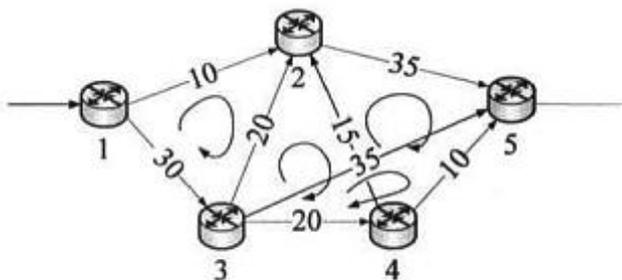
15 Спосіб маршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційних мережах, що здійснює багатошляхову маршрутизацію з балансуванням навантаження в каналах ТКМ, який відрізняється тим, що балансування навантаження здійснюється за середньою багатошляховою затримкою пакетів, коли задача маршрутизації розв'язується за умови, що в маршрутах передачі трафіку контурні складові середніх багатошляхових затримок привірюються до нуля.



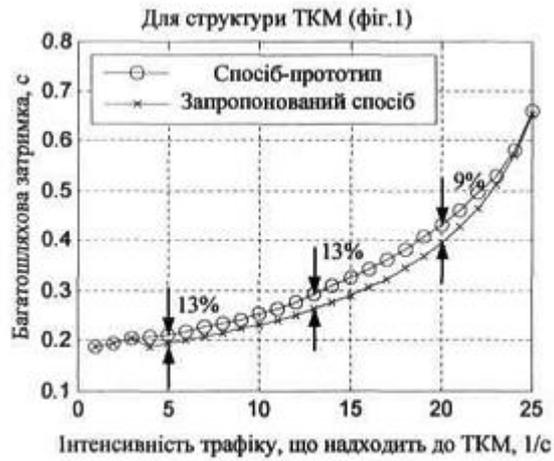
Фиг. 1



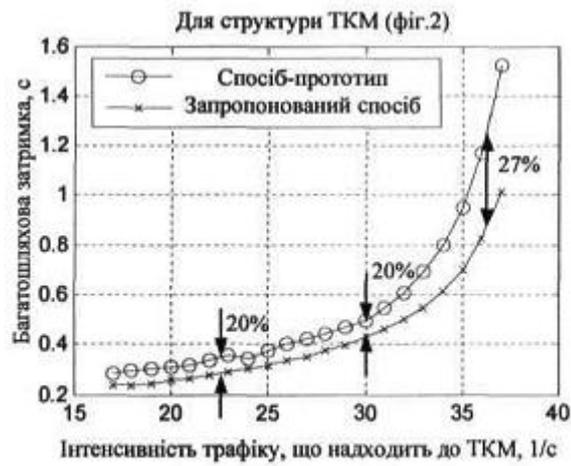
Фиг. 2



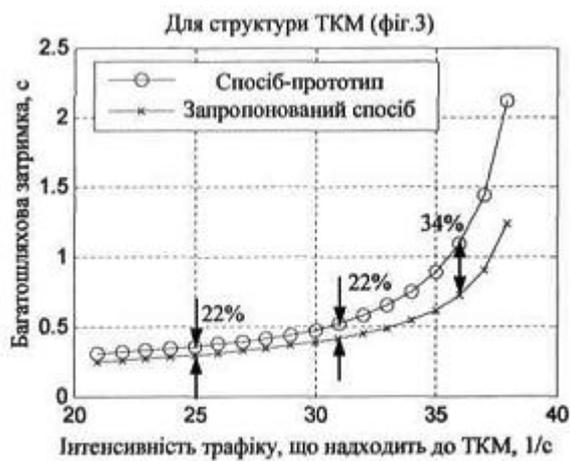
Фиг. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601