

**ОПТИМАЛЬНА МАРШРУТИЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОПУСКНОЇ  
ЗДАТНОСТІ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ**

**ОПТИМАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ЭФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

**OPTIMUM ROUTING OF EFFICIENT USAGE BANDWIDTH  
OF MULTISERVICE COMMUNICATIONS NETWORKS**

**Анотація.** Розроблено новий спосіб використання оптимальної маршрутизації ефективного використання пропускної здатності мультисервісної мережі зв'язку шляхом направлення потоку даних по маршрутах, що мають мінімальну довжину.

**Аннотация.** Разработан новый способ использования оптимальной маршрутизации эффективного использования пропускной способности мультисервисной сети связи путем направления потока данных по маршрутам, какие имеют минимальную длину.

**Summary.** Have developed a new way to use the optimum routing for efficient use of bandwidth multiservice communication network, by a data stream on the routes which have a minimum length.

Маршрутизація в мультисервісній мережі зв'язку використовує комплексний критерій якості обслуговування, важливим показником якої є вартісний показник, який, у свою чергу, визначається пропускною здатністю.

Існуючі проблеми маршрутизації в мультисервісних мережах зв'язку: підвищення стабільності та керованості маршрутами, формування та обслуговування баз даних топологій мережі шляхом обміну маршрутною інформацією, розробка нових технологій для забезпечення оптимальної маршрутизації, введення спрощених стратегій маршрутизації та ін. [1]. В [2] розглянуті основні моделі оцінки каналного ресурсу для сервісів реального часу мультисервісних мереж зв'язку, але не розглядалася оптимальна маршрутизація для ефективного використання пропускної здатності мережі.

Метою роботи є розробка нового способу оптимальної маршрутизації, а саме такої, яка дозволить ефективно використовувати пропускну здатність мультисервісної мережі зв'язку.

Ефективне використання пропускної здатності мультисервісної мережі зв'язку вирішується так званими потоковими моделями, які ґрунтуються на використанні середнього навантаження, що пропускає кожна окрема лінія. Використання потокової моделі дозволяє побудувати алгоритм маршрутизації, що забезпечує оптимальний розподіл потоків повідомлень у лініях мережі [2]. Проаналізувавши методи обліку показників оптимального розподілу потоків у критерії якості обслуговування й відповідно в критеріях вибору маршруту на комутаційних вузлах мультисервісної мережі зв'язку, розглянемо матрицю побудови поточкових моделей та алгоритми оптимальної маршрутизації, що базуються на їхній основі.

У потоковій моделі мультисервісної мережі статистика вхідного потоку повідомлень у будь-яку лінію  $(i, j)$ , змінюється через відновлення маршрутів та не змінюється з інших причин, а під навантаженням, створюваним потоком у мережі та у лініях, буде розумітися навантаження в загальноприйнятому контексті [3]. Таким чином, потік даних  $F_{ij}$ , що передається лінією  $(i, j)$  створює вхідне навантаження  $A_{ij}$ , використовуються величини, що вимірюють потік в одиницях пропорційних навантаженню, у числі віртуальних каналів, що організовані на базі даної лінії зв'язку.

Статистика потоку даних не змінюється в часі та може використовуватися для реальних умов функціонування мультисервісної мережі, коли ця статистика змінюється повільно відповідно до середнього часу, необхідного для збільшення або зменшення черги на обслуговування в мережах, відповідно для зміни статистики відмов. Така умова є прийнятною для телефонних мереж загального користування, в яких до кожної автоматичної телефонної станції підключена значна кількість абонентів, причому інтенсивність навантаження кожного із цих абонентів мала порівнянно із сумарною інтенсивністю всіх абонентів на виході станції.

У мультисервісній мережі зв'язку за аналогією зі звичайними телефонними мережами загального користування можливі різні варіанти вартісних показників на основі пропускної здатності.

Вартісними показниками мультисервісної мережі зв'язку можуть бути:

$$1) \sum_{(i,j)} D_{ij}(A_{ij}), \quad (1)$$

де  $D_{ij}$  – монотонно зростаюча функція;

$$2) \frac{A_{ij}}{C_{ij} - A_{ij}} + d_{ij} A_{ij}, \quad (2)$$

де  $C_{ij}$  – пропускна здатність лінії зв'язку  $(i, j)$ ,  $d_{ij}$  – затримка через кінцевий час обробки та передавання повідомлення;

$$3) \max_{(i,j)} \left\{ \frac{A_{ij}}{C_{ij}} \right\}, \quad (3)$$

тобто – максимальний коефіцієнт використання лінії.

Вирази вартісних показників, що наведені вище, якісно показують факт виникнення перевантаження, тобто випадок, коли  $A_{ij} \geq C_{ij}$ , що є основним підтвердженням їхнього призначення як вартісних функцій. Дослідження, що проведені для мультисервісних мереж в [3], вказують на відсутність розходжень при використанні тієї або іншої вартісної функції для оптимізації маршрутизації, що дає підстави вибирати в якості вартісної ту функцію, яку простіше всього оптимізувати, на першому етапі дослідження потокових моделей для мультисервісних мереж вартісною функцією будемо вважати функцію виду (1).

Основним завданням оптимальної маршрутизації в мультисервісній мережі зв'язку, для кожної пари  $w = (i, j)$  різних кореспондуючих вузлів  $i$  та  $j$  процес надходження пакетів є пуассонівським, з інтенсивністю  $\lambda_w$  – інтенсивність навантаження, що надходить у мережу від вузла  $i$  до вузла  $j$ .

Основна мета використання оптимальної маршрутизації полягає в тому, щоб вхідне навантаження  $A_{ij}$  розділити по декількох маршрутах від джерела до адресата таким чином, щоб загальний результируючий потік різномісних повідомлень в усіх лініях мінімізував вартісну функцію

$$\sum_{(i,j)} D_{ij}(A_{ij}).$$

Запишемо завдання у формалізованому виді, для чого використаємо:

- $W$  – безліч всіх кореспондуючих пар;
- $P_w$  – безліч всіх орієнтованих маршрутів, що з'єднують вузли джерела та отримувача кореспондуючої пари  $w$ ;
- $x_p$  – інтенсивність навантаження потоку по маршруту  $p$ .

Інтенсивності навантажень всіх маршрутних потоків  $\{x_p | w \in W, p \in P_w\}$  повинні задовольняти обмеженням:

$$\sum_{p \in P_w} x_p = A_w \text{ для всіх } w \in W,$$

$$x_p \geq 0 \text{ для всіх } p \in P_w, w \in W.$$

Навантаження потоку  $A_{ij}$  дорівнює сумі складових маршрутних навантажень, що проходять по даній лінії  $A_{ij} = \sum_{\forall p \supset (i,j)} x_p$ .

Переформулюємо завдання оптимізації в позначеннях маршрутних навантажень.

Розглянувши вартісну функцію  $\sum_{(i,j)} D_{ij} \cdot (A_{ij})$ , замінивши сумарні потоки із кінця в кінець

від вузла  $i$  до вузла  $j$  на потоки по маршрутах від вузла  $i$  до вузла  $j$ .

У даному випадку завдання формулюється наступним чином: мінімізувати

$$\sum_{(i,j)} D_{ij} \left[ \sum_{\forall p \supset (i,j)} x_p \right] \quad (4)$$

при обмеженнях

$$\sum_{p \in P_w} x_p = A_w \text{ для всіх } w \in W; x_p \geq 0 \text{ для всіх } p \in P_w, w \in W.$$

Завдання оптимальної маршрутизації в мультисервісних мережах зв'язку сформоване в термінах невідомих навантажень по маршрутах  $\{x_p | w \in W, p \in P_w\}$  та буде розглядатися в подальшому в даній інтерпретації.

Задачі такого виду мають, числове та аналітичне розв'язання, при їх використанні потрібно враховувати особливості, які властиві характеристикам потоків навантаження. В [2] показано, що при використанні оптимальної маршрутизації для розподілу однорідного трафіка, останній направляється по тих маршрутах, які є мінімальними в контексті узагальнених критеріїв, пов'язаних з лініями, по яких розподіляються вхідні потоки. Дану обставину необхідно використовувати при розробці алгоритмів пошуку оптимального рішення для мультисервісної мережі зв'язку, тому розглянемо сутність зазначеної рекомендації.

Оптимальна маршрутизація ефективного використання пропускної здатності в мультисервісній мережі використовує похідні функції  $D_{ij}$ . Тут і далі передбачається, що будь-яка функція  $D_{ij}$  є двічі диференційованою по  $A_{ij}$  й визначена на напіввідкритому інтервалі  $(0, C_{ij})$ , де  $C_{ij}$  може дорівнювати пропускній здатності лінії мережі, або, за відсутності лінії, нескінченності. Тут передбачається, що перша й друга похідні  $D_{ij}$ , позначені  $D'_{ij}$  й  $D''_{ij}$  суворо позитивні для всіх  $A_{ij}$  з  $(0, C_{ij})$ . Звідси видно, що  $D_{ij}$  є опуклою монотонно зростаючою функцією на  $(0, C_{ij})$ , і  $D_{ij}(A_{ij}) \rightarrow \infty$  при  $A_{ij} \rightarrow C_{ij}$ .

Розв'язання задачі оптимальної маршрутизації виходить, з визначаючої необхідні й достатні умови оптимальності наступним формулюванням.

Нехай  $f$  – деяка диференційована опукла функція  $n$  – вимірного вектора  $x = (x_1, \dots, x_n)$  та  $X$  – опукла безліч векторів. Тоді  $x^* \in X$  буде оптимальним розв'язанням задачі:

- мінімізувати  $f(x)$  при обмеженні  $x \in X$  тоді і тільки тоді, коли:

$$\sum \frac{df(x^*)}{dx_i} (x_i - x_i^*) \geq 0 \text{ для всіх } x \in X, \quad (5)$$

де  $\frac{df(x^*)}{dx_i}$  – значення першої похідної  $f$  по  $i$ -й координаті  $x_i$  в точці  $x^*$ .

Результат спрямовано на інтерпретацію положення, що у позначеннях прийнятих для мультисервісної мережі має вид:

$$D(x) = \sum_{(i,j)} D_{ij} \left[ \sum_{\forall p \supset (i,j) (p \in P_w, w \in W)} x_p \right], \frac{dD(x)}{dx_p} = \sum_{\forall i, i \subset p} D'_{ij}, \quad (6)$$

з якого видно, що  $\frac{dD}{dx_p}$  є довжиною шляху  $p$ , якщо довжину кожної лінії  $(i,j)$  прийняти рівною першій

похідній  $D'_{ij}$ , взятої від  $x$ . Відповідно  $\frac{dD}{dx_p}$  є першопохідна довжина шляху  $p$ .

У свою чергу, це останнє положення (6) зводиться до еквівалентного виразу, відповідно для мультисервісної мережі, щоб для всіх  $w \in W$  було  $x_p^* > 0$  тільки тоді, коли

$$\frac{dD(x^*)}{dx'_p} \geq \frac{dD(x^*)}{dx_p} \text{ для всіх } p' \in P_w. \quad (7)$$

Вираз показує, що набір шляхових навантажень оптимальний лише тоді, коли маршрутне навантаження позитивне тільки для тих маршрутів, які мають мінімальну першопохідну довжину. Звідси випливає, що в точці оптимуму шляху, по якому проходить ненульова частина вхідного навантаження  $A_{ij}$  кореспондуючої пари абонентів  $w$  повинні мати однакову довжину.

У висновках слід зазначити, що розглянуті варіанти оптимальної маршрутизації для ефективного використання пропускної здатності мультисервісної мережі зв'язку концептуально

свідчать про наступні можливості такого використання:

1. Завдання оптимальної маршрутизації для потокової моделі мультисервісної мережі можуть бути сформульовані з використанням фіксованих значень вхідного навантаження  $A_{ij}$ , що демонструє процес надходження та обслуговування заявок на розподіл потоків у режимах комутації пакетів, комутації віртуальних каналів, а також комутації в дейтаграмному режимі.

2. Математичні методи оптимальної маршрутизації повинні вибиратися з урахуванням доведеного положення про те, що потік даних направляється по маршрутах, що мають мінімальну першопохідну довжину.

### **Література**

1. Хелеби Сэм. Принципы маршрутизации в Internet. – [2-е изд.], Серия «Cisco Press» / Сэм Хелеби, Денни Мак-Ферсон . – Вильямс; 2001. – 448 с.: с ил.
2. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / Степанов С.Н. – М.: Эко-Трендз. – 2010. – 544 с.: с ил.
3. Ложковський А.Г. Теория масового обслуговування в телекомунікаціях / А.Г. Ложковський. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.