

УДК 621.324

Г.А. КУЧУК

Харківський університет Повітряних Сил, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ БАЗОВИХ МЕРЕЖНИХ СТРУКТУР ШИРОКОСМУГОВОЇ ЦИФРОВОЇ МЕРЕЖІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Запропоновано підхід до оптимізації в'язки каналів у базових мережних структурах широкосмугової цифрової мережі інтегрального обслуговування (ШЦМІО) за критерієм мінімізації витрат при побудові мережі і забезпеченні необхідної якості обслуговування.

**широкосмугова цифрова мережа інтегрального обслуговування, базова мережна структура, маргінальні характеристики**

### Вступ

Стрімкий науково-технічний прогрес в галузі телекомунікацій і глобалізації інформатизації суспільства стимулював формування єдиного інформаційно-телекомунікаційного простору з використанням різних високошвидкісних мережних технологій, нових телекомунікаційних систем на основі комутації пакетів. Основним напрямком в галузі побудови телекомунікаційних мереж в останнє десятиліття є створення і розвиток ШЦМІО [1], що дозволяють надати користувачам мережі за допомогою єдиних уніфікованих засобів передачі, розподілу, обробки і збереження інформації різні види телекомунікаційного обслуговування. При цьому виникає ряд задач, пов'язаних з безперервним удосконалюванням мережних технологій [2], забезпеченням життєвого циклу телекомунікаційних мереж [3], різноманітним варіантів побудови мережної структури [4] тощо. Зокрема, на етапах формування і модернізації ШЦМІО необхідно знайти оптимальний варіант структури при заданих вихідних даних. Запропоновані в [5, 6] способи рішення даної задачі не дозволяють для складних мережних структур визначити оптимальні ємності в'язки каналів на всіх сполучних лініях, тому **метою даної статті** є обґрунтування фрагментарного підходу до побудови оптимальної структури, при якому ємності в'язок каналів сполучних ліній визначаються для елементарних базових

мережних структур з використанням апарату маргінальних мережних характеристик за критерієм мінімізації витрат.

### 1. Формалізація задачі

При використанні в ШЦМІО з'єднань у режимі багатоканальної комунікації є декілька можливих шляхів для обслуговування навантаження між кожною парою станцій: прямий шлях і низка обхідних шляхів, які використовуються для надлишкового навантаження (у багатьох випадках це основний обхідний шлях і шлях останнього вибору, що використовується при великому перевантаженні прямого шляху). Відповідно до цього виділимо типові фрагменти (базові мережні структури) і проведемо автономний аналіз в'язок каналів на їхніх сполучних лініях (СЛ).

Нехай на станцію фрагмента  $k$  мережі надходить навантаження  $E_{II}^{(k)}$ ;  $E_O^{(k)}$  – обслуговане навантаження;  $n_i$  – ємність в'язки каналів  $i$ -ї СЛ;  $N = \sum_{i \in \Phi} n_i$  – сумарна ємність в'язок каналів фрагмента  $\Phi$ ;  $E_H^{(k)} = E_{II}^{(k)} - E_O^{(k)}$  – надлишкове навантаження,  $E_H^{(k)} = \varphi_k(E_{II}^{(k)}, N)$ ;  $P_i$  – втрати на в'язці  $i$ -ї СЛ ємністю  $n_i$ ;  $Z_i$  – витрати на канал  $i$ -ї СЛ при побудові ШЦМІО і забезпеченні необхідної якості обслуговування. Вхідне надходяче навантаження  $E_{II}^{(k)}$  визна-

чається парами  $(R_k, K_k^{(D)})$ , де  $R_k$  – інтенсивність навантаження на  $k$ -у станцію, а  $K_k^{(D)}$  – коефіцієнт дисперсії навантаження  $k$ -ї станції ( $K_k^{(D)} = D_k/R_k$ ,  $D_k$  – дисперсія навантаження).

Розглянемо наступні маргінальні характеристики аналізуемого мережного фрагмента ШЦМІО [7]:

$$\alpha = \left( \frac{\partial E_O}{\partial N} \right)_{E_{II}=\text{const}} \quad \text{– маргінальне використання,}$$

що визначає збільшення обслугованого навантаження  $E_O$  при одиничному збільшенні ємності в'язки каналів  $N$  і постійному надходячому навантаженню  $E_{II}$ ;

$$\beta = \left( \frac{\partial E_{II}}{\partial N} \right)_{E_H=\text{const}} \quad \text{– маргінальна ємність, що ви-}$$

значає збільшення надходячого навантаження  $E_{II}$  при одиничному збільшенні ємності в'язки каналів  $N$  в умовах постійних втрат  $\Pi$  на ньому;

$$\gamma = \left( \frac{\partial E_H}{\partial E_{II}} \right)_{N=\text{const}} \quad \text{– маргінальне надлишкове на-}$$

вантаження, що визначає інтенсивність зміни надлишкового навантаження  $E_H$  при зміні надходячого навантаження  $E_{II}$  і постійної ємності в'язки  $N$ ;

$$\xi = \left( \frac{\partial E_{II}}{\partial N} \right)_{E_H=\text{const}} \quad \text{– маргінальне надходяче на-}$$

вантаження, яке визначає збільшення надходячого навантаження  $E_{II}$  при одиничному збільшенні ємності в'язки каналів  $N$  і постійному значенні надлишкового навантаження  $E_H$ .

## 2. Оптимізація трьохвузлових мережних фрагментів

Розглянемо найпростіший трьохвузловий односпрямований мережний фрагмент Ф1 (рис. 1), у якому крім прямого шляху  $\eta_{1,2}$  зі станції  $S_1$  на  $S_2$ , розглядається обхідний шлях  $\eta_{1,3,2} = \eta_{1,3} \parallel \eta_{3,2}$  для обслуговування надлишкового навантаження (СЛ Ф1: (1, 2); (1, 3); (3, 2)).

У цьому випадку сумарні витрати складатимуть

$$Z = Z_{1,2} \cdot n_{1,2} + Z_{1,3} \cdot n_{1,3} + Z_{3,2} \cdot n_{3,2}. \quad (1)$$

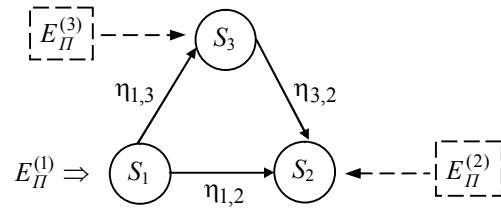


Рис. 1. Трьохвузловий фрагмент Ф1

Тоді в умовах заданого навантаження і відомих втрат ємності СЛ на шляхах  $\eta_{1,3}$  і  $\eta_{3,2}$  визначаються ємністю СЛ (1, 2):

$$n_{1,3} = \varphi_{1,3}(n_{1,2}); \quad n_{3,2} = \varphi_{3,2}(n_{1,2}),$$

тобто для знаходження оптимального значення  $Z$  досить вирішити рівняння

$$\frac{\partial Z}{\partial n_{1,2}} = 0 \Rightarrow Z_{1,2} + Z_{1,3} \frac{\partial n_{1,3}}{\partial n_{1,2}} + Z_{3,2} \frac{\partial n_{3,2}}{\partial n_{1,2}} = 0,$$

яке після підстановки відповідних маргінальних характеристик і ряду перетворень приймає вигляд

$$\frac{Z_{1,2}}{\alpha_{1,2}} = \frac{Z_{1,3}}{\beta_{1,3}} + \frac{Z_{3,2}}{\beta_{3,2}}. \quad (2)$$

Проведемо дослідження структури фрагмента Ф1 за умови, що аналізується і навантаження, яке надходить на вузол 2 та при цьому відбувається двоспрямоване обслуговування – трьохвузловий двоспрямований мережний фрагмент Ф2 з розподіленим навантаженням (рис. 2,  $(E_{II} = E_{II}^{(1)} + E_{II}^{(2)})$ ).

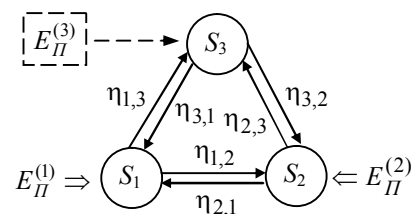


Рис. 2. Трьохвузловий фрагмент Ф2

Для даного фрагмента сумарні витрати можна описати рівнянням (1) за таких умов:

$$Z_{i,j} = Z'_{i,j} + Z'_{j,i}; \quad n_{i,j} = n'_{i,j} + n'_{j,i}, \quad i, j = \overline{1,3},$$

де  $Z'_{i,j}$ ,  $n'_{i,j}$  – витрати і ємність в'язки каналів відповідно, необхідні для передачі інформації від станції  $S_i$  до станції  $S_j$  по наступним СЛ: (1, 2); (1, 3); (3, 2); (2, 1); (3, 1); (3, 3).

Тоді оптимізаційні рівняння для фрагмента Ф2 мають такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial n'_{1,2}} = 0; \\ \frac{\partial Z}{\partial n'_{2,1}} = 0; \\ \frac{\partial(Z_{1,3}n_{1,3})}{\partial n'_{1,2}} + \frac{\partial(Z_{3,2}n_{3,2})}{\partial n'_{1,2}} + \frac{\partial(Z_{1,2}n_{1,2})}{\partial n'_{1,2}} = 0; \\ \frac{\partial(Z_{1,3}n_{1,3})}{\partial n'_{2,1}} + \frac{\partial(Z_{3,2}n_{3,2})}{\partial n'_{2,1}} + \frac{\partial(Z_{1,2}n_{1,2})}{\partial n'_{2,1}} = 0. \end{cases}$$

Після підстановки маргінальних характеристик і ряду перетворень одержуємо

$$\alpha'_{1,2} \left( \frac{Z'_{1,3}}{\beta'_{1,3}} + \frac{Z'_{3,2}}{\beta'_{3,2}} \right) + \alpha'_{2,1} \left( \frac{Z'_{2,3}}{\beta'_{2,3}} + \frac{Z'_{3,1}}{\beta'_{3,1}} \right) = k_{1,2} Z_{1,2}, \quad (3)$$

де  $k_{1,2}$  – кількість блоків приросту кількості каналів сполучної лінії між  $S_1$  та  $S_2$ .

### 3. Оптимізація багатовузлових мережних фрагментів

У [8] запропонований підхід поширення оптимізаційних рівнянь трьохвузлових структур на більш складні структури. Наприклад, розглянемо чотирьохвузловий односпрямований мережний фрагмент Ф3 (рис. 3) з аналізованим навантаженням тільки станції  $S_1$ , тобто  $E_{II} = E_{II}^{(1)}$ .

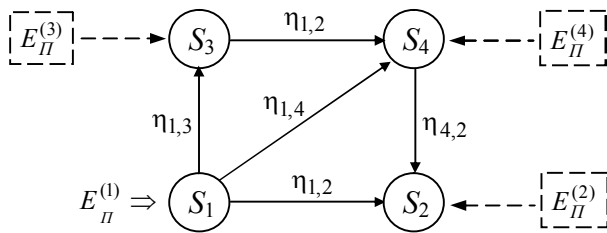


Рис. 3. Чотирьохвузловий фрагмент Ф3

Даний фрагмент можна розглядати як декомпозицію двох трьохвузлових базових структур, які пов'язані між собою фіксованими функціональними залежностями [9], отриманими з виразу (2):

$$\frac{Z_{1,4}}{\alpha_{1,4}} = \frac{Z_{1,3}}{\beta_{1,3}} + \frac{Z_{3,4}}{\beta_{3,4}}; \quad \frac{Z_{1,2}}{\alpha_{1,2}} = \frac{Z_{1,4}}{\beta_{1,4}} + \frac{Z_{4,2}}{\beta_{4,2}}, \quad (4)$$

де загальна маргінальна ємність визначається як

$$\beta_{1,4} = \left( \frac{E_{II}^{(1,4)} + E_H^{(1,2)}}{\partial n_{1,4}} \right)$$

при наступних умовах: втрати  $\Pi_{1,4}$ , отримані після визначення оптимального значення ємності в'язки  $n_{1,4}$ , є постійними; коефіцієнт дисперсії  $K_{1,4}^{(D)}$  навантаження на даній в'язці – постійний; коефіцієнт доступності до в'язки  $K_{1,4}^{(нрпсм)}$  теж постійний.

Отже, функціональну залежність між рівняннями системи (4) можна визначити наступними виразами:

$$\frac{\partial E_H^{(1,4)}}{\partial n_{1,4}} = \left( E_{II}^{(1,4)} + E_H^{(1,2)} \right) \frac{\partial \Pi_{1,4} \left( E_{II}^{(1,4)} + E_H^{(1,2)} \right)}{\partial n_{1,4}};$$

$$\beta_{1,4} = \frac{\partial \left( E_{II}^{(1,4)} + E_H^{(1,2)} \right)}{\partial n_{1,4}}.$$

### 4. Ітераційний алгоритм

Оптимальні структурні параметри розглянутих мережних фрагментів при заданих обмеженнях на якість обслуговування можна одержати, вирішуючи відповідні оптимізаційні рівняння (2) – (4). Однак стандартні ітераційні процедури знаходження рішення навіть для фрагмента Ф1 є важкорезалізуєми. Тому для зниження обсягу обчислень необхідно використовувати апроксимації, що гарантують необхідні границі оцінки надійності мережних параметрів. Зважаючи на те, що на сьогодні базові структури ШЦМІО мають ієрархічну структуру (тому що в багатьох випадках – це мережі, що накладені на існуючі мережі зв'язку), можна використовувати апроксимацію, запропоновану в [9], що враховує структуру комутаційного поля вузлів комутації й алгоритм установалення з'єднання.

Застосування даної апроксимації розглянемо на прикладі фрагмента Ф1, який формалізує оптимізаційне рівняння (2). Відповідний алгоритм буде виглядати таким чином.

Крок 1. Задаємо початкові значення маргінальних ємностей  $\beta_{1,3}$  і  $\beta_{3,2}$  (за [9] –  $0,7 \div 0,8$ ).

Крок 2. Обчислюємо  $\alpha_{1,2}$ , використовуючи оптимізаційні рівняння (2):

$$\alpha_{1,2} = \frac{Z_{1,2}}{Z_{1,3}/\beta_{1,3} + Z_{3,2}/\beta_{3,2}}.$$

Крок 3. Обчислюємо ємність прямої в'язки каналів на шляху  $\eta_{1,2}$  ( $n_{1,2}$ ), виходячи зі знайденого  $\alpha_{1,2}$ .

Крок 4. Обчислюємо параметри надлишкового навантаження із в'язки каналів на шляху  $\eta_{1,2}$ , що надходить на обхідний шлях  $(E_H^{(1,2)}, K_{1,2}^{(D)})$ .

Крок 5. Обчислюємо параметри навантаження на сполучній лінії (1, 3):

$$E_H^{(1,3)} = E_H^{(2)} + E_H^{(1,2)}; K_{1,3}^{(D)} = \frac{E_H^{(2)} + E_H^{(1,2)} \cdot K_{1,2}^{(D)}}{E_H^{(1,3)}}.$$

Крок 6. Розраховуємо ємність шляху  $\eta_{1,3}$  ( $n_{1,3}$ ).

Крок 7. Розраховуємо середню величину навантаження, що обслуговано на в'язці каналів шляху  $\eta_{1,3}$ .

Крок 8. Обчислюємо параметри навантаження на сполучній лінії (3, 2):

$$E_H^{(3,2)} = E_H^{(3)} + E_H^{(1,3)}; K_{3,2}^{(D)} = \frac{E_H^{(3,2)} + E_H^{(1,3)} \cdot K_{1,3}^{(D)}}{E_H^{(3,2)}}.$$

Крок 9. Розраховуємо ємність шляху  $\eta_{3,2}$  ( $n_{3,2}$ ).

Крок 10. Розраховуємо уточнені значення маргінальних ємностей  $\beta_{1,3}$  і  $\beta_{3,2}$ .

Крок 11. Якщо  $(\beta_{1,3} \leq \varepsilon) \wedge (\beta_{3,2} \leq \varepsilon)$ , то шукані значення  $n_{i,j}$  отримані, інакше виконуємо крок 2.

Аналогічний алгоритм складений для Ф2. Ці алгоритми є базою побудови загального алгоритму пошуку оптимального числа в'язок каналів сполучних ліній ШЦМІО.

## Висновки

З використанням описаних у статті маргінальних характеристик автономних мережних фрагментів ШЦМІО запропонований спосіб складання оптимізаційних рівнянь базових трьохвузлових структур.

Наведено приклад поширення запропонованого способу на більш складні мережні структури. Показано застосування ітераційного алгоритму для знаходження рішення оптимізаційних рівнянь із заданою точністю. **Напрямок подальших досліджень** є аналіз можливості застосування запропонованого фрагментарного способу для оптимізації ШЦМІО, які мають фрактальний характер навантаження на станції.

## Література

1. Захаров Г.П., Симонов М.В., Яновский Г.Г. Службы и архитектура ШЦМІО. – М.: Эко-Трендз, 1993. – 102 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекоммуникаційні мережі. – К.: Техніка, 2001. – 392 с.
3. Варакин Л.Е. Введение в теорию инфокоммуникаций. Ч. 1. // Электросвязь. – 2000. – № 2 (14). – С. 2 – 11.
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети. – С.-Пб.: Питер, 2003. – 784 с.
5. Cheng C.S., Thomas J.A. Effective bandwidth in high-speed digital networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1995. – V. 13. – P. 1091 – 1100.
6. Королёв А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Управление сетевыми ресурсами. – Х.: ХВУ, 2004. – 224 с.
7. Pratt C. The concept of marginal overflow in alternate routing // The 5-th ITC. – New-York. – June, 1969. – P. 52.46 – 58.46.
8. Wallstrom A. Methods for optimizing alternative routing networks // Ericsson Technics. – 1989. – № 1. – P. 3 – 29.
9. Pinski E. Simple approximation for the Erlang loss function // Performance evaluation. – 1990. – № 5. – P. 131 – 136.

Надійшла до редакції 1.12.2004

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський державний університет сільського господарства, Харків.