

## МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ ПУНКТУ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄДНАННЯ

І.П. Півень, І.В. Тітов  
(подав д.т.н., проф. О.І. Романов)

*Пропонується один з підходів, що враховує позитивні сторони найбільш розповсюджених видів структур топології дерева, застосування яких можливо при дослідженні мережі абонентського доступу (МАД) цифрових інтегральних мереж з інтеграцією служб електрозв'язку військових об'єднань (з'єднань).*

**Постановка задачі.** Мережа абонентського доступу (МАД) пункту управління (ПУ) об'єднання є розподіленою структурою, до складу якої входять мережа розподілу (МР) та мережа абонентських ліній (МАЛ). Для оптимізації побудови структури польової компоненти МАД ПУ об'єднання необхідно проводити вибір множини внутрішніх первинних параметрів, як структурних, так і алгоритмічних, що дозволили б забезпечити екстремум функціонала корисності. Однак, для досить обґрунтованої побудови зазначеного функціоналу використовується маргінтальний підхід, тобто оптимізація одного із зовнішніх параметрів системи при обмеженнях на всі інші [1].

З огляду на специфіку МАД, як основний критерій оптимальності пропонується використовувати мінімум сумарних витрат, необхідних для побудови й експлуатації МАД, при виконанні обмежень на якість обслуговування абонентів і структурну надійність.

**Аналіз останніх досліджень.** На теперішній час, в галузі оптимального синтезу структур зв'язку стосовно задач реальної розмірності застосовуються алгоритми, які мають евристичний характер [2, 3, 5 – 7]. Алгоритм побудови МАЛ розглянуто в [4]. Всі вони виконують оптимізацію синтезованої мережі за одним критерієм – вартістю мережі. Як недолік, слід вказати на їх громіздкість та використання великого часового ресурсу.

**Мета статті.** Таким чином метою статті є розробка методичного забезпечення рішення задачі синтезу структури мережі розподілу польової компоненти МАД з інтеграцією послуг зв'язку ПУ об'єднання.

**Методика синтезу структури мережі розподілу.** Задача оптиміза-

ції побудови структури МАД для ПУ АК складається в необхідності пошуку внутрішніх параметрів, структури та алгоритмів функціонування МАД. При цьому дані алгоритми повинні відповідати вимогам по своєчасності доставки інформації, живучості МАД. Необхідні витрати для побудови та експлуатації МАД мінімізуються по безлічі можливих варіантів. Сукупність абонентських пунктів (АП) задається координатами розміщення на місцевості і характеристиками потоків повідомлень [3 – 7].

У процесі рішення структурно мережної задачі (СМЗ), необхідно визначити: число і склад груп АП, пріоритетність АП ПУ, координати вузлів доступу (ВД) і їх кількість, структуру мережі абонентських ліній МАЛ, структуру МР, алгоритми розподілу потоків (РП) і обмеження навантаження (ОН), вартість МАД, основні техніко-експлуатаційні характеристики МАД, витрати ресурсу.

За основні техніко-експлуатаційні характеристики МАД приймаємо тип і масогабаритні показники з'єднувального обладнання (кабелю), а так само кількість автотранспорту, необхідну для його перевезення. Під витратами ресурсу маємо на увазі час і трудовитрати, необхідні для розгортання МАД. Для зниження обчислювальної розмірності СМЗ пропонується розділити її на сукупність приватних задач, що являють собою сукупність системних моделей.

Структурою мережі розподілу (МР) мережі абонентського доступу (МАД) на пунктах управління є сукупність вузлів доступу, розташованих у місцях розміщення пунктів управління і по'єднуючих їх ліній зв'язку. Методика синтезу структури мережі абонентського доступу містить у собі облік структурної живучості мережі, визначення необхідної зв'язності в елементів її структури, вибір стартової структури, формування початкової  $v$ -зв'язної реберно-надлишкової структури, формування структури мережі розподілу.

**Визначення зв'язності елементів структури мережі розподілу.** Структуру МР представимо як граф  $G \{A, B\}$ , де  $A \{a_1, \dots, a_n\}$  – сукупність ВД (вершин графу) та  $B\{b_{ij}\}$  – множина ребер графу, тобто ліній зв'язку, які з'єднують ВД  $a_i$  та  $a_j$ . Цей граф можливо записати матрицею зв'язності порядку  $v$ . Вхідження матриці  $a_{ij}$  приймають значення 1, якщо є ребро, яке зв'язує вузли  $a_i$  та  $a_j$ , та 0, якщо ребра немає. Якщо в мережі немає направлених ребер, то матриця симетрична по відношенню до головної діагоналі:

$$G = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Структурна живучість, як характеристика мережі, пов'язана із властивостями зв'язності. Як наведено у [1], під структурною живучістю маємо на увазі властивість мережі зберігати зв'язність при порушенні її декількох елементів. Розрізняють вершинну та реберну зв'язність. Вершинна зв'язність – це міра захищеності мережі, яка представлена у вигляді графу, від розпаду її на незв'язані між собою частини при вилученні вершин. Реберна зв'язність – це міра захищеності мережі, яка представлена у вигляді графу, від розпаду її на незв'язані між собою частини при вилученні ребер.

Таким чином, для будь-яких мереж військового призначення, незалежно від того, які вимоги або обмеження закладаються у визначення структурної живучості, зв'язність є найважливішою властивістю мережі зв'язку та може бути використана, як показник структурної живучості. Таким чином зв'язність є адекватною мірою при рішенні задач структурно-мережної оптимізації. Взагалі пропонується в якості показника живучості та надійності МР застосовувати вершинну зв'язність  $v = v(G)$  відповідного їй графу  $G\{A,B\}$ .

Вершинна зв'язність  $v = v(G)$  графу  $G\{A,B\}$ , який модулює МР, визначається як найменше число вершин, які необхідно вилучити, щоб граф став незв'язним. Таким чином, при зменшенні вершинної зв'язності МР, зменшується її структурна живучість, так як відмова ВД викликає відмову ліній зв'язку, які до нього підключено. Виходячи з цього, для визначення зв'язності МР пропонується уточнити коефіцієнти готовності ВД ( $K_{ГВД}$ ) та ліній зв'язку між ними.

Коефіцієнт готовності шляху передачі  $K_{ГШП}$  визначається коефіцієнтами готовності ВД ( $K_{ГВД}$ ) та лінійного тракту ( $K_{ГЛТ}$ ) [1, 5, 6, 7]:

$$K_{ГШП} = K_{ГВД} \times K_{ГЛТ}. \quad (1)$$

При наявності  $v$ -незалежних шляхів (від 1 до  $v$ ) передавання має місце паритет

$$K_{ГШПРез} = 1 - [(1 - K_{ГШП1}) \times \dots \times (1 - K_{ГШПv})], \quad (2)$$

де  $K_{ГШПРез}$  – коефіцієнт готовності шляху передачі, який зарезервовано,  $v$  – кількість ліній зв'язку.

Якщо вважати  $K_{ГШП}$  рівними, то вираз (2) спрощується:

$$K_{ГШПРез} = 1 - (1 - K_{ГШПv})^v. \quad (3)$$

Після перетворення (3) одержуємо вираз вимог до зв'язності МР [3, 4]:

$$v \geq \lg(1 - K_{\Gamma\text{ШПРез}}) / \lg(1 - K_{\Gamma\text{ШП}}). \quad (4)$$

При цьому  $v$  необхідно розглядати як необхідну кількість ліній зв'язку, які повинні з'єднувати деякий ВД МР з іншими ВД.

Таким чином, задача синтезу МР – це задача синтезу графу  $G = \{A, B\}$  із заданим порядком  $n$  ( $|A| = n$ ), числом ребер  $m$  ( $|B| = m$ ) та із заданою зв'язністю  $v$ . Результатом рішення задачі повинна бути оптимальна структура МР  $G = \{A, B\}$ . Для цього необхідно з'єднати ВД таким чином, щоб вартість структури була мінімальною при виконанні вимог за своєчасністю та стійкістю. Рішення задачі виконується шляхом послідовного виключення гілок мінімальної корисності із перевіркою обмежень. Якщо обмеження не виконуються, то гілка поновлюється. Для цього, на другому етапі методики синтезу структури МР пропонується заформувати стартову структуру у вигляді початкової  $v$ -зв'язної реберно-надлишкової структури.

**Метод розмитих евристик в задачах синтезу початкової  $v$ -зв'язної реберно-надлишкової структури МР.** Існують ефективні алгоритми синтезу 1- та 2-зв'язної мережі, підходи яких можливо застосовувати для побудови початкової реберно-надлишкової структури мережі зв'язку [3 – 7]. Для синтезу структури МАД (на основах принципів побудови розподілених мереж) умови 1- та 2-зв'язності не відповідають показникам надійності та живучості. Крім того відсутні ефективні алгоритми синтезу структури МАД розподіленої конфігурації, сама задача для польової компоненти є новою. Для рішення цієї задачі взагалі використовуються евристичні методи зміни: метод заміни гілок, метод добавлення, вгнутий метод усунення ребер. Ці методи реалізують два етапи, які багаторазово повторюються: генерацію векторного припустимого рішення задачі та його послідовну трансформацію, тобто локальну оптимізацію. Однак метод генерації припустимого варіанта рішення взагалі довільний, тому трансформація цього варіанта може не призвести до оптимального рішення задачі. Після кожної зміни гілки необхідно перевіряти зв'язність отриманого варіанта структури.

Таким чином, є необхідність створення ефективного апарата синтезу структури основного фрагмента МАД – МР, який полягає в розробці універсальних алгоритмів, які дозволяють при високій швидкодії отримати рішення, які наближуються до оптимальних та при цьому включати у процес оптимізації потрібну кількість критеріїв. Даний напрямок достатньо просто може бути реалізовано на базі субоптимального програмування методом розмитих евристик (МРЕ) [3, 4].

МРЕ представляє можливість для вибору виду та параметрів перетворень евристик, які орієнтовані на рішення однокритеріальних задач, для отримання ефективного алгоритму рішення багатокритеріальної задачі.

До дійсного часу проведено велику кількість досліджень, які демонструють високий ступінь універсальності та ефективності МРЕ для задач різного класу [3 – 7], тобто будь-який алгоритм можна модифікувати по МРЕ, при цьому збільшення об'єму розрахунків незначне: 1,5 – 2 рази, в залежності від умов реалізації на ПЕОМ.

Завдання задачі, заснованої на МРЕ – це синтез структури МР, яка оптимальна за критерієм  $H_1$  – мінімізації наведеної вартості мережі:

$$L^{np} = \sum_{(i,j) \in \Omega}^n \ell_{ij}^{np}(d_{ij}), i, j = \overline{1, N}, \quad (5)$$

де  $\Omega$  – топологія мережі розподілу;  $\ell_{ij}^{np}(d_{ij})$  – вартість забезпечення в лінії  $(i, j)$  пропускної спроможності, яка дорівнює  $d_{ij} \in \tilde{d}$ , де  $\tilde{d}$  – спектр пропускної спроможності ліній МР (кбіт/с);  $H_2$  – мінімізації середньої затримки пакетів в мережі  $\bar{T}$ ,  $N$  – кількість ВД МР.

У загальному вигляді вираз можна записати так [3]:

$$\gamma = [\gamma_1^{\beta_1} \times \gamma_2^{\beta_2} \times \dots \times \gamma_m^{\beta_m}]_H, \quad (6)$$

де  $\gamma$  – результуюча евристика,  $\gamma_i^{\beta_i}$  – піднесення до ступеня  $\beta_i$  евристики  $\gamma_i$ , яка орієнтована мінімізацією  $i$ -го часткового критерію  $H_i$ ,  $m$  – число критеріїв задачі,  $[\cdot]_H$  – операція нормування ваг.

На кожному кроці пошуку здійснюється випадковий вибір елементів із ймовірностями, що пропорційні вагам, які визначені за евристикою  $\gamma$ .

Необхідно ввести два побічних критерії ( $H_1$  – мінімізації сумарної довжини ліній, які включено в структуру МР та  $H_2$  – максимізації частини потоків, які розподілено за найкоротшим шляхом, тобто між усіма суміжними ВД):

$$H_1 = \sum_{(i,j) \in \Omega} \ell_{ij}; \quad (7)$$

$$H_2 = \frac{1}{\gamma} \sum_{(i,j) \in \Omega} \lambda_{ij}, \quad (8)$$

де  $\ell_{ij}$  – довжина лінії  $(i, j)$ ,  $\lambda_{ij}$  – потік, який поступив у вузол  $i$  та приз-

начений для вузла  $j$ ,  $\Omega$  – топологія МР, величина  $\gamma = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}$ .

Таким чином, для кожної лінії  $(i, j)$ , яка є кандидатом на включення в топологію МР, призначається вага

$$W_{ij} = \frac{\lambda_{ij} + \lambda_{ji}}{\ell_{ij}}. \quad (9)$$

Основна ідея модернізації алгоритмів синтезу за допомогою МРЕ складає у зміні вибору ліній за максимумом ваг (9) випадковим вибором ліній з вірогідністю, яка пропорційна вагам [3]:

$$W_{ij}^{\beta_0} = \left( \frac{\lambda_{ij} + \lambda_{ji}}{\ell_{ij}} \right)^{\beta_0}, \quad (10)$$

де  $\beta_0 \geq 0$  – ступінь розмитості.

Для рішення задачі синтезу структури МР пропонується використувати модифіковану евристику з вагами для кожної лінії  $(i, j)$  мережі (без нормування):

$$W_{ij} = \left[ \frac{(\lambda_{ij} + \lambda_{ji})^{1-\alpha}}{\ell_{ij}^\alpha S} \right]^{\beta_0}, \quad i \neq j, i, j = \overline{1, N}, \quad (11)$$

де  $\lambda_{ij}$  та  $\lambda_{ji}$  – інформаційний потік (пакетів/с) від ВД  $i$  до ВД  $j$ , та в зворотному напрямку,  $S$  – деяка величина, яка враховує ступінь  $i$ - та  $j$ -ої вершини графу, яка забезпечує рівномірне збільшення усіх ступенів вершин графу МР.

Параметр  $\alpha$ , де  $0 \leq \alpha \leq 1$ , відображає перевагу критерію мінімізації вартості МР у відношенні до критерію мінімізації середньої затримки пакетів в МР.

Ступенем вершини в роботі визначається число ребер, які виходять із неї. Коефіцієнт розмитості  $\beta$  визначає ступінь збільшення або зменшення ймовірностей вибору ліній зв'язку МР. Слід звернути увагу, що ваги (11) використовуються для оцінки доцільності включення ліній в шукану топологію МР при послідовному отриманні рішення.

При визначенні ваг переваги ліній, які є кандидатами на виключення, необхідно враховувати такі обмеження:

- доцільно виключати лінії із високою вартістю та різним навантаженням у різних напрямках;
- недоцільно виключати лінії, які несуть значну частину трафіку.

**Висновки.** Таким чином, ідея застосування МРЕ до алгоритмів син-

тезу початкової реберно-надлишкової структури МР полягає в зміні вибору ліній за максимумом ваг (9) випадковим вибором ліній з вірогідністю, яка пропорційна їх вагам (11). При цьому основними критеріями оптимальності синтезу структури МР є:  $H_1$  – мінімізація сумарної вартості лінійно-кабельного обладнання,  $H_2$  – мінімізація середньої затримки пакетів у МР, при виконанні обмежень на зв'язність  $\nu$  МР МАД. В якості ефективного апарата синтезу структури МР пропонується використовувати 2-етапний метод, який дозволяє вже на першому етапі сформулювати граф МР із урахуванням ряду критеріїв, він відрізняється від інших тим що вони однокритеріальні. Вони використовують або критерій – вартість мережі, або в іншому випадку використовується генерація довільної структури або повнозв'язний граф.

Використання пропонованого методу забезпечує на другому етапі синтезу, який складається із оптимізації  $\nu$ -зв'язної структури, отримати оптимальне рішення із використанням алгоритму, в якому значно знижена обчислювальна складність та крім того враховуються додаткові критерії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бахмет І.Г. Теоретичні основи організації зв'язку: Навчальний посібник. – Полтава, ПВІЗ, 2000. – 124 с.
2. Буренин Н.И. Новые сетевые технологии в системах военного управления. – СПб.: ВАС, 2000. – 216 с.
3. Півень І.П., Самишев І.М. Оптимізація побудови мережі абонентських ліній ІМ: Збірник тез доповідей Науково-практичної конференції “Розвиток сучасних послуг зв'язку через інтелектуальні платформи”. – К.: ВІПІ, 2001. – С. 66 – 67.
4. Півень І.П., Коломиец А.С. Построение сети абонентских линий цифровых интегральных сетей // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 6(22). – С. 337 – 341.
5. Агаян А.А. Исследование алгоритмов многокритериальной оптимизации топологии вычислительных сетей. – М.: Кибернетика, 1981. – 56 с.
6. Рейнгольд Э., Нивергельд Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы: Теория и практика. – М.: Мир, 1980. – 476 с.
7. Стратьев А.А. Метод размытых эвристик в задачах синтеза сетевых структур. В кн. Модели и методы исследования информационных сетей. Вып.2. – СПб.: Тема, 1999. – С. 21 – 24.

Надійшла 9.04.2004

**ПІВЕНЬ Ігор Петрович**, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії ПВІЗ. Закінчив КВІУЗ у 1997 році. Область наукових інтересів – дослідження телекомунікаційних мереж.

***ТИТОВ Ігор Володимирович**, військовослужбовець, закінчив ХВУ у 1995 році. Область наукових інтересів – цифрова обробка сигналів.*

---