

УДК 681.324

Ю.Ф. Кучеренко, С.А. Олізаренко, О.М. Гузько

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПРОПОЗИЦІЇ ПО ЗАСТОСУВАННЮ АЛГОРИТМІВ СИНТЕЗУ ТОПОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ РІЗНОЇ РОЗМІРНОСТІ

*Розглядаються деякі проблем, які виникають при вирішенні задачі оптимізації топологічної структури телекомунікаційних мереж, проведено аналіз деяких методів синтезу топологічної структури мереж різної розмірності та мінімальної вартості, Розроблені пропозиції щодо застосування деяких алгоритмів синтезу топологічної структури телекомунікаційних мереж великої розмірності, з врахуванням деяких загальних принципів щодо їх створення що дозволяє виявити нові більш ефективні шляхи синтезу топологічних структур мінімальної вартості.*

**Ключові слова:** алгоритм, метод, оптимізація, синтез, топологія, структура, мережа

### Вступ

**Постановка проблеми.** При проектуванні телекомунікаційних мереж (мереж передачі даних) доводиться вирішувати широке коло задач. Однією з таких задач є задача синтезу структури мережі, що проектується. Дана задача дуже важлива, бо недостатньо обґрунтований вибір конфігурації телекомунікаційної мережі (ТКМ) може в процесі її експлуатації викликати перевантаження окремих елементів, привести до неефективного використання її ресурсів, невиправданого збільшення її вартості або до неспроможності виконувати свої основні функції. Тому синтез топологічної структури телекомунікаційних мереж мінімальної вартості має велике актуальне і практичне значення.

Проблема оптимізації структури ТКМ, крім задачі аналізу затримки в доставці повідомлень, вбирає в собі задачі: вибору перепускних здатностей каналів зв'язку  $\{D_i\}$ ; розподілення потоків по каналах зв'язку  $\{h_i\}$ ; визначення її структури. У якості критерію оптимальності доцільно вибрати середню затримку повідомлень, а на вартість системи накладати обмеження. Таким чином, параметрами, які змінюються, є  $\{D_i\}$ ,  $\{h_i\}$  та структура ТКМ.

Критерій оптимізації – мінімальні приведені витрати на створення та експлуатацію системи. Вони визначаються як сума приведених витрат на комунікаційне обладнання та канали зв'язку (КЗ).

Найбільше розповсюдження отримав опис задачі синтезу структури мереж як задачі оптимізації на графах.

У загальному вигляді задача оптимізації структури ТКМ формулюється наступним чином: задано місця розташування вузлів ТКМ; задано можливий ряд перепускних здатностей каналів зв'язку  $D = \{d, d_2, \dots, d_n\}$ ; відома функція коштовності КЗ з перепускною здатністю  $d_i$  та довжиною –  $L$ ; визна-

чена матриця інформаційних вимог  $H = \|h_{ij}\|$  між усіма вузлами ТКМ  $i$  та  $j$ , де  $h_{ij}$  – інтенсивність потоку, який потрібно передати від вузла  $i$  до вузла  $j$  за одиницю часу.

У результаті оптимізації потрібно знайти таку  $M$  структуру ТКМ при заданих зв'язності вузлів ( $k_{cb}$ ) та перепускних здібностях всіх КЗ  $d_i$ , при яких забезпечується передача заданих трафіків між будь-якою парою вузлів системи, при цьому витрати на структуру повинні бути мінімальними

$$\min_{(i,j) \in M} \sum C_{ij}(d_{ij}) = \min_{M,D} W_{\Sigma}(M, D),$$

де  $C_{i,j}$  – вартість передачі між парою вузлів  $i$  та  $j$ ;

$W_{\Sigma}$  – загальна вартість системи.

При обмеженнях на затримку повідомлень у ТКМ та на потоки інформації, що циркулюють між усіма вузлами мережі згідно інформаційній матриці вимог, час передачі  $T_c$  між будь-якою парою вузлів буде визначатися за формулою:

$$T_c = \frac{1}{h_{\Sigma}} \sum_{(i,j) \in M} f_{ij} / (d_{ij} - f_{ij}) \leq T_{\max},$$

де  $f_{ij} \leq d_{ij}$ ,  $(i, j) \in M$  є обмеженням на навантаження в КЗ.

**Аналіз літератури.** Синтез топологічної структури телекомунікаційних мереж може бути розглянутий як пошук топології, що мінімізує витрати на підсистему каналів зв'язку, з огляду на обмеження по надійності і затримці. Це NP-важка задача оптимізації [1], що за звичай, вирішується за допомогою евристичних методів. Існує досить багато джерел, у яких описані такі методи [2 – 4]. Останнім часом для рішення ряду важкоформалізованих, а також NP-важких задач

оптимізації успішно застосовуються генетичні алгоритми (ГА) [5]. Існує ряд робіт, у яких запропоновані ГА для пошуку оптимальних топологій мереж [6, 7]. Однак аналізу методів синтезу топологічної структури мереж різної розмірності мінімальної вартості у комплексі між собою в них уваги не приділялось.

**Головна мета** статті полягає в розгляді пропозицій щодо застосування алгоритмів синтезу топологічної структури телекомунікаційних мереж великої розмірності та врахуванні деяких загальних принципів їх створення.

### Основна частина

Існує декілька підходів до вирішення задач синтезу структури телекомунікаційних мереж різної розмірності – це використання комбінаторних, евристичних, декомпозиційних та генетичних алгоритмів. Причому кожен з них мають свої переваги і недоліки при використанні їх для синтезу структури телекомунікаційних мереж. Розглянемо деякі з них з метою більш ефективного визначення їх застосування для синтезу структури телекомунікаційних мереж різної розмірності і в першу чергу великої розмірності.

Комбінаторні методи засновуються на представленні мережі у вигляді кінцевого графу, вершини якого відповідають вузлам мережі, а ребра – каналам зв'язку. Наприклад у мережі з 10 вузлами існує  $2^{45}$  варіантів розташування каналів зв'язку. Якщо припустити, що аналіз кожного з варіанту складає 1 с., то на дослідження усіх варіантів потрібно більше ніж  $9 \cdot 10^8$  років. Тому потрібно застосовувати відсіч неперспективних варіантів. Для відсічу неперспективних варіантів використовується нижня оцінка вартості мережі, а також нижня границя числа ребер  $M_{\min}$ , що дозволяє значно скоротити множину можливих рішень. При наявності нижньої границі кількості ребер відпадає необхідність досліджувати усі графи з  $M$  ребрами для  $M < M_{\min}$ , і все таки для комбінаторних методів загальна кількість варіантів, які розглядаються, дуже велика. Це потребує великих витрат машинного часу при проектуванні структури мереж з кількістю вузлів 7-10, а при розмірності мереж у 12 і більше вузлів вирішити задачу знаходження топологічної структури мінімальної вартості за розумні терміни здається не можливим. З цього можливо зробити висновок, що застосування комбінаторних методів з відсічною неперспективних варіантів та генерацією початкового графу з заданими властивостями для вирішення задач топологічної оптимізації структур мереж з кількістю вузлів більше 12 не раціональне. При цьому дані методи мають певну перевагу, яка полягає в тому, що вони дозволяють отримати точне рішення задачі структурної

оптимізації. Наявність такого рішення дозволяє оцінити якість відомих евристичних, декомпозиційних алгоритмів та тих, що будуть розроблюватись для знаходження топологічної структури мережі мінімальної вартості.

З цього приводу, бачаться найбільш перспективними за часом, вирішення задачі знаходження топологічної структури, евристичні методи структурної оптимізації мереж, такі як: методи заміни гілок, усунення гілок та насиченого перетину.

Сутність методу заміни гілок полягає в тому, що виходячи з топології, яка довільно реалізується, визначається клас локальних перетворень, при яких одне ребро прибирається, а якесь інше додається, при цьому вимоги щодо зв'язності вузлів виконуються. Потім вирішується задача вибору пропускних здатностей (ВПЗ) та розрахунку потоків (РП), після чого оцінюється вартість мережі. Якщо отримане значення цільової функції мережі покращується в порівнянні з початковою довільною структурою, то структурне перетворення приймається. У протилежному випадку, коли значення цільової функції погіршується, ребро, яке було вилучене, відтворюється, а структурне перетворення не приймається. Так здійснюється до тих пір, поки не будуть виконані усі перетворення, які дозволяють зберегти двохзв'язність мережі (або іншу задану зв'язність) та не буде визначена  $W_{\min}$  структури ( $W_{\min}$  – мінімальна вартість мережі). Після чого алгоритм закінчує свою роботу.

Перевага даного методу складається в тому, що він дуже простий у застосуванні, бо складається з однотипних операцій, на кожній з яких відбувається розрахунок ВПЗ і РП, а також розрахунок вартості мережі. Поряд з цим він має наступні недоліки: зі зростанням кількості вузлів у структурі мережі ефективність методу падає через трудомісткість в обчислювальному плані, що полягає в перерахуванні всіх характеристик мережі на кожній ітерації, і при кількості вузлів 40 і більше вирішувати задачу структурної оптимізації даним методом не доцільно, тому що витрати машинного часу на пошук структури мінімальної вартості різко зростають.

Крім цього даний алгоритм не гарантує знаходження самого оптимального рішення, через те, що його застосовують до довільної топології мережі. Погіршність складає порядку 10 % від загальної вартості мережі.

Іншим евристичним методом є метод усунення гілок. Його застосовують до початкової повнозв'язної структури мережі, для розрахунку характеристик якої використовують метод відхилення потоку (ВП). Застосування методу ВП дозволяє усунути неекономічні лінії і зменшити кількість надлишкових гілок, при цьому в процесі рішення задачі

постійно перевіряється умова обмеження з зв'язності.

Застосувавши до декількох випадково обраних початкових потоків метод відхилення потоку, ми одержуємо різні структури, з яких вибираємо найбільш оптимальні для нас. Даний метод, хоча й усуває неекономічні ребра, але також як і метод заміни гілок, складається з великої кількості ітерацій, на кожній з яких приходиться робити розрахунок характеристик мережі, що вимагає великої кількості машинного часу для знаходження оптимальної структури мережі. Але найбільший недолік даного методу полягає в тім, що хоча алгоритм і ефективно усуває неекономічні гілки, але не забезпечує генерацію нових гілок.

Розвитком методу заміни гілок є метод насиченого перетину. Суть методу полягає в тім, що для деякої слабкозв'язної структури визначається критичний перетин, під яким розуміється безліч вузлів і каналів зв'язку, видалення яких розбиває мережу на дві незв'язні частини. Цей перетин визначається в той момент роботи алгоритму, коли подальше збільшення потоку в мережі при видаленні каналів зв'язку приводить до збільшення часу затримки. Суть алгоритму полягає в додаванні каналів зв'язку, що проходять через цей перетин. Якщо додати канал зв'язку мінімальної вартості, то він з'єднає два вузли, що безпосередньо примикають до перетину. Даний метод припускає не тільки додавання нових каналів зв'язку але і збільшення пропускної здатності каналів зв'язку критичного перетину, причому при додаванні нового каналу найменш завантажений канал у перетині вилучається. Так відбувається доти, поки жодне збільшення значення пропускної здатності або додавання каналу в жодному перетині мережі не приводить до покращення.

Розглянуті вище евристичні методи оптимізації структури мереж мають загальні недоліки:

– по-перше, методи складаються з великої кількості ітерацій, на кожній з них приходиться робити перерахування багатьох параметрів мережі, що приводить до зростання часу пошуку оптимального рішення, а тому вони дуже критичні до розмірності мереж і при кількості вузлів від 40 і більше вирішувати задачу структурної оптимізації даними методами не доцільно;

– по-друге, усі вище розглянуті методи спрямовані на оптимізацію існуючої початкової структури. У них не запропоновано метод синтезу початкової структури, що задовольняє всім обмеженням на топологічну структуру мережі, що проектується. Тобто дані алгоритми є пасивними;

– по-третє, дані алгоритми не гарантують, що знайдене рішення буде оптимальне. Погрішність при оптимізації топологічної структури складає порядку 10 % - 15 % від загальної вартості мережі.

Декомпозиційні методи синтезу топологічної структури є найбільш перспективними бо дозволяють синтезувати структуру мереж з розмірністю 100 і більше вузлів. Вони складаються з декількох етапів:

- розбивки вузлів на підмножини (кластери);
- синтезу початкової структури мережі, заданої зв'язності, у кожному кластері;
- побудови міжкластерної мережі та отримання топологічної структури мережі в цілому.

На першому етапі, оскільки основний критерій оптимізації – це одержання структури мінімальної вартості, то необхідно розбити безліч вершин мережі таким чином, щоб у кожен кластер увійшли всі найближчі до нього вузли. Якщо головні вузли мережі не задані, то прив'язку вершин мережі до головних вузлів кластерів можливо здійснити за максимальним значенням із заданої матриці вимог

$$H = \left\| h_{ij} \right\|_n^n,$$

де  $h_{ij}$  – інтенсивність потоку від вузла  $i$  до вузла  $j$ .

На другому етапі синтезу початкової структури мережі, заданої зв'язності, у кожному з кластерів можливо здійснити за одним з вище вказаних методів синтезу топологічної структури мереж.

Побудову міжкластерної мережі та отримання топологічної структури мережі на третьому етапі можливо здійснити з врахуванням мінімальної відстані між вузлами кластерів, з'єднавши дані вузли кластерів між собою.

Перевага декомпозиційного методу у порівнянні з евристичними методами заключається в тому, що він може застосовуватись для вирішення задачі структурної оптимізації мереж з кількістю вузлів 100 і більше, а недолік такий як і у евристичних методів. Погрішність даного методу у визначенні топологічної структури мережі складає приблизно 10 % від загальної вартості мережі.

Таким чином, виникає питання про необхідність використання методів, в яких початкова структура мережі заданої зв'язності вибирається не випадково, а генерується цілеспрямовано, за допомогою спеціального алгоритму і потім здійснюється її оптимізація за критерієм мінімуму вартості, з урахуванням усіх введених обмежень. Одним з таких методів є метод  $M$  - структур.

В його основі лежать такі ідеї: попередньо на множині всіх вузлів будують найкоротше зв'язане дерево, яке далі перетворюється у надлишкову структуру заданої зв'язності  $M_0$ , за деякими ознаками. Потім оптимізують початкову структуру  $M_0$  за критерієм мінімуму вартості при виконанні усіх введених обмежень. Даний метод дозволяє на попередньому етапі синтезувати структуру близьку до оптимальної, що скорочує загальну кількість ітера-

цій, але використовувати його для розподілених систем з кількістю вузлів  $N \geq 60$  не доцільно [2].

В останній час, поширились спроби, для рішення задачі синтезу топології телекомунікаційних мереж, застосовувати генетичні алгоритми. Як приклад розглянемо генетичний алгоритм, що ґрунтується на алгоритмі Холланда [8]. Робота алгоритму проводиться за наступною схемою.

1. Генерувати випадковим чином популяцію топологічного розміру  $R$ ;

2. Обчислити цільову функцію для кожного рядка популяції;

3. Виконати операцію селекції;

4. Виконати операцію схрещування:

4.1. Вибрати пари для схрещування;

4.2. Для кожної обраної пари: із заданою імовірністю виконати схрещування, одержати двох нащадків і зробити в популяції заміну батьків на їхніх нащадків;

5. Виконати операцію мутації: із заданою імовірністю, інвертувати кожен біт нової популяції;

6. Якщо критерій зупинки не досягнутий перейти до кроку 2, інакше завершити роботу.

Основні операції генетичного алгоритму: селекція, схрещування і мутація виконуються над елементами популяції. Популяція - множина бітових рядків. Кожен бітовий рядок представляє в закодованому виді одне з можливих рішень задачі. По бітовому рядку може бути обчислена цільова функція, що характеризує якість рішення. Як початкова популяція може бути використаний довільний набір бітових рядків. Результатом виконання основних операцій алгоритму є чергова популяція. Даний процес продовжується ітераційно, поки не буде досягнутий критерій зупинки.

Операція селекції забезпечує формування на черговій ітерації алгоритму з бітових рядків, отриманих на кроках 4, 5, нової популяції.

Операція схрещування. Пари рядків випадковим образом вибираються з популяції для виконання схрещування. У пропонованому ГА застосовується "однорідний" оператор схрещування, у якому до нащадка з імовірністю  $P_0$  переходить біт першого батька, і з імовірністю  $1 - P_0$  переходить біт другого батька.

Операція мутації. Параметр операції-порог імовірності мутації ( $P_m$ ). Операція виконується в такий спосіб: Для кожного біта генерується випадкове число  $P'_m$ .

Якщо  $P'_m < P_m$ , то біт інвертується.

У всіх описаних нижче операціях використовувався генератор випадкових чисел з рівномірним законом розподілу.

Критерій зупинки і цільова функція. У даному ГА ознакою закінчення пошуку рішення є відсут-

ність зміни середньої пристосованості за популяцією протягом 3-х поколінь підряд.

Як цільова функція використовується модель вартості телекомунікаційних мереж [9], у якій вирішується задача розподілу інформаційних потоків у мережі за найкоротшим шляхом, а також задача вибору оптимальних пропускних здібностей каналів зв'язку.

Результати досліджень показують перспективність застосування генетичних алгоритмів як методу синтезу оптимальних топологій ТКМ, які на відміну від відомих евристичних методів мають велику імовірність перебування глобального оптимуму, що обумовлено одночасною присутністю стохастичності і градієнтності в генетичному алгоритмі (стохастика присутня на етапі мутації, а градієнтність відображується в правилах добору і породженні нової особи). Це дозволяє досягти високої ефективності пошуку рішення, варіюючи співвідношення внесків цих методів у загальний алгоритм, за допомогою зміни імовірності мутації, визначаючи тим самим як багато рішень у середньому змутує і наскільки сильно.

Основним недоліком ГА є потреба у великих обчислювальних ресурсах, як з боку пам'яті, так і продуктивності процесора. Наслідком чого є відносно великий час пошуку рішення (у даному випадку воно склало близько 76 годин для системи на процесорі Pentium 4 2400 Гц і 256 Мбайт пам'яті, при розмірі мережі 25 вузлів).

## Висновок

Таким чином найбільш доцільно при вирішенні задач синтезу топологічної структури мінімальної вартості телекомунікаційних мереж великої розмірності (при кількості вузлів 100 і більше) застосовувати комбіновані методи, що ґрунтуються на принципах декомпозиції (розбивці вузлів мережі на кластери), з застосуванням методів М-структур та ГА у якості синтезу топологічних структур у даних кластерах і пошуку міжкластерних зв'язків.

Побудову міжкластерної структури здійснювати не по мінімальній відстані між вузлами даних кластерів, а з врахуванням тих зовнішніх потоків, що будуть утворені в результаті того, що деякі вузли першого кластера за інформаційним потоком будуть взаємозв'язані з деякими вузлами іншого кластера і навпаки.

Щоб усунути даний недолік необхідно:

– знайти оптимальні вузли виходів зовнішніх потоків  $F_{12}$  (зовнішній потік який необхідно передати з одного кластера до іншого) і  $F_{21}$  (зовнішній потік який передається з іншого до другого кластера, що забезпечують  $\min \Delta W_{кл1}$ ,  $\min \Delta W_{кл2}$  та  $\min \Delta W_{клт}$  ;

– дані вершини з'єднати між собою ребрами, що і буде являти собою оптимальну міжкластерну структуру.

У такий спосіб буде отримана оптимальна структура мережі, що складається зі  $W_{1,t \min}$  структур кластерів, зв'язаних між собою вузлами, через які здійснюється вихід зовнішніх потоків.

Запропонований комбінований метод синтезу топологічної структури телекомунікаційної мережі великої розмірності дозволяє одержати оптимальне чи близьке до нього рішення, при незначних витратах машинного часу і розширити область застосування методів структурної оптимізації мереж до розмірності  $10^2$  і більше, при меншій погрішності ніж у евристичних методах (до 7 %).

При синтезі топологічної структури телекомунікаційної мережі великої розмірності потрібно враховувати деякі загальні принципи: незалежності, багаторівневого моделювання, а також принцип її розвитку [3].

Створювати телекомунікаційну мережу великої розмірності потрібно як відкриту систему, тому що створення її топологічної структури неминуче пов'язано з поступовим введенням її до експлуатації та розвитку.

Застосування комбінованих методів дозволяє виявити нові, більш ефективні шляхи вдосконалення методів синтезу топологічних структур мінімальної вартості телекомунікаційних мереж великої розмірності.

### Список літератури

1. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстегнеев – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.

2. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гойта. – К.: Техника, 1986. – 168 с.

3. Жожикашвили В.А., Вишнеvский В.М. Сети масcового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишнеvский. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.

4. Dengizand B. A simulated annealing algorithm for design of computer communication networks. In Proceedings of World Multiconference on Systemics / B. Dengizand, D. Reichelt, F. Rothlauf, P. Gmilkowsky. – Cybernetics and Informatics, SCI 2001. – volume 5, 2001.

5. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Пепрашев, С.А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.

6. Topology Reconfiguration of an IP Network Embedded over an ATM Network. – 2001. – IEICE TRANS. COMMUN. – Vol. E84-B. – № 11.

7. Reichelt D. Designing reliable communication networks with a genetic algorithm using a repair heuristic / D. Reichelt, F. Rothlauf, and P. Gmilkowsky // In Proceedings 4th European Conference, EvoCOP 2004, – Vol. 3004 of LNC. – P. 177-187.

8. Holland J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems / J.N. Holland. – Ann Arbor, Michigan: Univ. Michigan Press, 1975. – 98 p.

9. Шубін Є.В. Задача розподілу інформаційного потоку та визначення перепускних здатностей каналів зв'язку для моделі вартості СОД / Є.В. Шубін // Радіоелектроніка й інформатика. – 2001. – № 4. – С. 47-48.

Надійшла до редколегії 5.03.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АЛГОРИТМОВ СИНТЕЗА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ РАЗНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Ю.Ф. Кучеренко, С.А. Олизаренко, О.Н. Гузько

Рассматриваются некоторые проблемы, которые возникают при решении задач оптимизации топологической структуры телекоммуникационных сетей, проведен анализ некоторых методов синтеза топологической структуры сетей различной размерности и минимальной стоимости. Разработаны предложения по применению некоторых алгоритмов синтеза топологической структуры телекоммуникационных сетей большой размерности, с учетом некоторых общих принципов по их созданию, что позволяет выявить новые более эффективные пути синтеза топологических структур минимальной стоимости.

**Ключевые слова:** алгоритм, метод, оптимизация, синтез, топология, структура, сеть.

### THE OFFER TO TOPOLOGY STRUCTURE SYNTHESIS ALGORITHMS APPLICATION DURING THE TELECOMMUNICATION SYSTEMS PROJECTING ON THE DIFFERENT DIMENSIONS

J.F. Kucherenko., S.A. Olizarenko, O.N. Guzko

Is considered to some problem connected with decide sum rational in search topology structure telecommunication systems, the conduct analysis some method synthesis topology structure systems different dimensions and minimum value. The work out offer to application some algorithms synthesis topology structure telecommunication systems larger dimensions, with calculation some common principle on their creation, permission bring to light new effective way synthesis topology structure minimum value.

**Keywords:** algorithm, method, optimization, synthesis, topology, structure, network.