

Міністерство транспорту та зв'язку України
Українська державна академія залізничного транспорту

Шубін Євген Вікторович

УДК 621.391

**МЕТОД СИНТЕЗУ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ
ДАНИХ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ
ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана

в Об'єднаному науково-дослідному інституті Збройних Сил Міністерства оборони України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Кучеренко Юрій Федорович**, Об'єднаний науково-дослідний інституту Збройних Сил, начальник науково-дослідного відділу – заступник начальника науково-дослідного управління

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Краснобаєв Віктор Анатолійович**, професор кафедри „Автоматизація та комп'ютерні технології” Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка

кандидат технічних наук **Дуравкін Євген Володимирович**, доцент кафедри „Теоретична та прикладна інформатика” Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна

Провідна установа: Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра „Телекомунікаційні системи”, Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться “___” _____ 2005 року о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.01 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “___” _____ 2005 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент

М.В. Книгавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відповідно до Закону України „Про Національну програму інформатизації” в державі триває процес створення державних інформаційних систем різного призначення, транспортною основою яких є телекомунікаційні мережі. Однією з різновидностей телекомунікаційних мереж є мережі передачі даних (МПД). Створення та подальша експлуатація МПД потребують значних фінансових витрат, що обумовлено високою вартістю телекомунікаційного обладнання та каналних ресурсів. Експлуатаційна вартість МПД в значній мірі визначається витратами на утримання каналних ресурсів які залежать від її топологічної структури.

Рішенню завдань синтезу топологічної структури телекомунікаційних мереж за критерієм мінімальної вартості каналних ресурсів присвячено багато робіт українських та закордонних вчених. Відомі на цей час методи синтезу топологічної структури МПД ґрунтуються на принципах заміни з залученням різних евристик. Всі вони дозволяють отримати рішення наближені до оптимальних, котрі знаходяться у вузькому діапазоні таких параметрів як вартість підсистеми каналів зв'язку та загальна пропускна здатність мережі. В той же час самі топологічні структури мереж, що отримані в результаті застосування даних методів, значно різняться і при однаковому коефіцієнті зв'язності мають різну структурну надійність (під структурною надійністю розуміється властивість МПД забезпечити потенційну можливість зв'язку між її абонентами). Розрахунок імовірно-часових характеристик МПД в даних методах, як правило, ґрунтується на пуассонівських моделях, в той час як багаточисельні дослідження реального трафіку показують, що такі традиційні моделі не в повній мірі відбивають характер процесу інформаційного обміну в сучасних МПД з статистично самоподібним трафіком.

Основними недоліками відомих методів є: збігання до локального оптимуму, що обумовлено градієнтним характером та евристичністю методів; відсутність універсального методу синтезу початкових топологій, що підлягають подальшій оптимізації; недостатня інформаційна ємність коефіцієнта зв'язності як показника структурної надійності МПД; відсутність врахування статистичної самоподібності сучасного мультимедійного трафіку під час визначення імовірно-часових характеристик МПД. Застосування існуючих методів для синтезу топологічної структури сучасної МПД приводить до збільшення витрат на її створення та до можливих проектних помилок, які виявляються лише під час її експлуатації. У зв'язку з цим набуває актуальності **науково-технічне завдання** розробки методу синтезу топологічної структури МПД зі статистично самоподібним трафіком за критерієм мінімальних витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у відповідності до положень „Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року” в частині стратегії розвитку відомчих мереж зв'язку. Матеріали дисертаційних досліджень знайшли застосування в науково-дослідних роботах “Обмін” та “Акцент-ЦКП-ВПС”, що виконувались у Науковому центрі бойового

застосування Військово-Повітряних Сил Збройних Сил України у відповідності до державної Програми створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи полягає у зменшенні витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку в сучасних МПД з статистично самоподібним трафіком, шляхом розробки методу синтезу їх топологічної структури.

Завданнями дослідження є:

- аналіз впливу вимог до інформаційних систем на процес проектування сучасних МПД з метою формулювання вимоги до методів синтезу їх топологічних структур;

- аналіз існуючих методів синтезу топологічних структур мереж передачі даних;

- розробка методу синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальних витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку, який враховує самоподібний характер трафіку та має вищу точність у порівнянні з відомими методами;

- визначення показника структурної надійності МПД та розробка методу отримання його значення;

- визначення економічного показника якості МПД та розробка методу отримання його значення;

- розробка програмного комплексу, який автоматизує процес синтезу, оптимізації та аналізу топологічних структур мереж передачі даних;

- розробка рекомендацій щодо практичного застосування розробленого методу синтезу топологічної структури МПД.

Об'єктом дослідження є процес проектування топологічної структури МПД за критерієм мінімальних витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку при самоподібному характері трафіка.

Предметом дослідження є методи синтезу та оптимізації топологічної структури МПД, а також методи визначення показників основних характеристик МПД.

Методи досліджень: теорія телетрафіку, теорія надійності, теорія графів, теорія масового обслуговування, теорія імовірностей, мови і засоби програмування.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримав подальший розвиток генетичний алгоритм (ГА) в якості методу синтезу топологічної структури мережі передачі даних за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку. Запропонований метод відрізняється від відомих методів, що ґрунтуються на принципах генетичного алгоритму, способом визначення ефективності топологічних структур, що дозволяє отримати більш точні рішення.

2. Удосконалено метод визначення вартості оренди підсистеми каналів зв'язку для МПД, який відрізняється від відомих тим, що враховує самоподібний характер трафіку при визначенні середнього часу затримки пакету в МПД та визначені

пропускних здатностей каналів зв'язку. Тим самим забезпечено адекватний вибір пропускних здатностей каналів зв'язку в умовах сучасного мультимедійного трафіка.

3. Вперше отримані залежності для двобічних оцінок імовірності зв'язності пари центрів комутації від надійності елементів МПД при визначеному коефіцієнті зв'язності та невідомій топологічній структурі. Отримані залежності дозволили здійснити оцінку інформаційної ємності коефіцієнта зв'язності як показника структурної надійності МПД.

4. Вперше розроблено стохастичний метод синтезу субоптимальних топологічних структур МПД для формування початкової множини топологій в генетичному алгоритмі. Даний метод враховує апріорну інформацію про МПД, що дозволяє формувати початкову множину топологічних структур в генетичному алгоритмі з субоптимальних топологій і тим самим забезпечує підвищення точність рішень та зменшення час їх пошуку.

Достовірність нових наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі підтверджується результатами експериментальних досліджень, коректним використанням математичного апарату, не протиріччям відомим результатам та отриманням ясного фізичного трактування результатів.

Практичне значення одержаних результатів. Матеріали дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри бойового застосування АСУ Харківського університету Повітряних Сил, а також у науково-дослідних роботах „Обмін” та „Акцент-ЦКП-ВПС”, що виконувались у Науковому центрі бойового застосування Військово-Повітряних Сил Збройних Сил України.

Розроблений метод синтезу надає можливість автоматизації процесу синтезу та оптимізації топологічних структур мереж передачі даних за критерієм мінімальних витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку.

Запропоновані методи можуть бути застосовані:

при проектуванні мереж передачі даних з самоподібним трафіком для синтезу їх топологічних структур;

при проведенні експертних оцінок існуючих мереж передачі даних, оцінки їх структурної надійності та відпрацюванні пропозицій щодо оптимізації їх топологій з метою зменшення витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку.

Розроблено програмний комплекс, в якому реалізовано запропоновані методи. Даний комплекс надає можливість в інтерактивному режимі вести синтез нових та оптимізацію існуючих топологічних структур мереж передачі даних.

Особистий внесок здобувача. В роботі [1] автору належить розробка методу оптимізації топологічної структури МПД побудованого на принципах генетичного алгоритму, який відрізняється від відомих методів, що ґрунтуються на принципах генетичного алгоритму, способом визначення ефективності топологічних структур під час роботи алгоритму. В [2] автором запропоновано стохастичний метод синтезу топологічної структури МПД для формування початкової множини топологій в генетичному алгоритмі, який враховує апріорну інформацію про МПД. В роботі [3]

отримано аналітичний вираз для визначення середнього часу затримки повідомлення в МПД при умовах самоподібного трафіку. В роботі [4] автором проведена двобічна оцінка імовірності зв'язності пари центрів комутації в МПД з визначеним коефіцієнтом зв'язності. В [5] автором запропонована модель вартості підсистеми каналів зв'язку МПД. В роботі [6] автором проведено порівняльний аналіз впливу однорідного та одноточечного операторів перетину на ефективність пошуку рішення ГА синтезу топології телекомунікаційної мережі.

Апробація результатів дисертації проводилась на 3-х науково-технічних конференціях: „Програмно-цільові методи планування розвитку та управління функціонуванням складних ергатичних систем” Науковий центр бойового застосування Військово-Повітряних Сил Збройних Сил України (м. Харків, 2003); IV науковій конференції молодих вчених ХВУ (м. Харків, 2004); міжнародній науково-практичній конференції „Дні науки 2005” (м. Дніпропетровськ, 2005).

Публікації. Результати дисертаційних досліджень висвітлено у 6 наукових роботах, які опубліковано в наукових фахових виданнях України [1-6], а також тезах доповідей на науково-технічних конференціях [7-9].

Структура й обсяг дисертації. Робота складається з вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел, 3-х додатків. Повний обсяг дисертації складає 172 сторінки, у тому числі 139 сторінок основного тексту, 10 сторінок рисунків, 9 сторінок списку використаних джерел з 99 найменувань, 14 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовані мета та задачі досліджень. Зазначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, зв'язок роботи з науковими програмами та планами. Наведено відомості про публікації автора за темою дисертації.

У **першому розділі** на підставі аналізу тенденцій розвитку сучасних інформаційних систем та їх впливу на експлуатаційно-технічні характеристики МПД, сформульовано основні вимоги до методу синтезу топологічної структури МПД, а саме: отримання високої точності рішень; формування множини топологічних структур МПД близьких за вартістю з різними часовими показниками та показниками надійності; врахування надійності структурних елементів МПД; врахування особливостей сучасного мультимедійного трафіку при визначенні часових показників МПД та перепускних здатностей каналів зв'язку.

Проведений аналіз відомих методів синтезу топологічних структур МПД показав, що вони мають цілий ряд суттєвих недоліків: відсутність методу синтезу початкової топологічної структури у загальному випадку (для довільного коефіцієнта зв'язності); необхідність застосування даних методів до різних початкових топологій з наступним відбором кращого результату; відсутність врахування надійності елементів МПД; відсутність універсального, практичного методу визначення відповідності зв'язності топологічної структури МПД заданому

коефіцієнту зв'язності у загальному вигляді, що ускладнює їх використання для синтезу топологій з довільним коефіцієнтом зв'язності; критичність до розмірності МПД для якої ведеться синтез. На підставі проведеного аналізу зроблено висновок, що відомі методи не повною мірою задовольняють висунутим вимогам до методів синтезу топологічної структури МПД.

Аналіз характеру задачі синтезу топологічної структури МПД показав, що основними факторами, які визначають її складність є: невизначеність та велика розмірність. Фактор невизначеності – відсутність повних та точних вхідних даних про МПД, що проектується, головним чином про інтенсивність інформаційного обміну. Фактор розмірності – експоненціальна залежність часу пошуку рішення від кількості центрів комутації та абонентів, яка визначається NP- складністю складових задач, що вирішуються під час синтезу топологічної структури МПД.

Розглянуто принципи на яких ґрунтується робота генетичних алгоритмів. Визначені основні задачі, що потребують рішення при розробці генетичного алгоритму, а саме: визначення способу кодування рішень; визначення способу завдання цільової функції; розроблення операцій перетину та мутації для проблемно орієнтованої галузі застосування алгоритму; вибір типу операції відбору; визначення параметрів генетичного алгоритму (імовірність перетину, імовірність мутації, розмір множини рішень). Вказані переваги та недоліки ГА по відношенню до інших евристичних методів оптимізації.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок про необхідність рішення науково-технічного завдання, що полягає в розробці методу синтезу топологічної структури МПД, який би відповідав висунутим вимогам. Розгляд МПД як складної технічної системи та реалізація системного підходу надали можливості сформулювати окремі задачі на дослідження, розв'язання яких виконано в наступних розділах дисертації.

В другому розділі в рамках рішення загальної задачі проведено аналіз основних якісних характеристик МПД та визначено залежність значення їх показників від топологічної структури МПД. Виділено дві основні групи якісних характеристик, а саме: економічні (вартісні характеристики МПД) та експлуатаційно-технічні (продуктивність, надійність, можливість розширення та масштабування, керуємість, сумісність).

Проведений аналіз впливу топологічної структури МПД на її економічні показники якості показав, що витрати на створення та експлуатацію МПД в значній мірі залежать від кількості каналів зв'язку, їх пропускних здатностей та довжини. В свою чергу, кількість каналів зв'язку та їх параметри визначаються топологічною структурою. На підставі аналізу було зроблено висновок, що топологічна структура МПД є одним з найважливішим фактором, який визначає її економічні показники якості.

На підставі проведеного аналізу залежності верхньої та нижньої межі імовірності зв'язності двополюсного графу від величини коефіцієнта зв'язності показано, що області можливих значень імовірностей зв'язності для двополюсних графів з близькими значеннями коефіцієнтів зв'язності мають значний перетин

(рис. 1). Зроблено висновок, що застосування коефіцієнту зв'язності як показника структурної надійності МПД під час синтезу її топологічної структури приводить до отримання надлишкових топологій і, відповідно, до збільшення витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку. Виходячи з цього, запропоновано використати у якості показника структурної надійності нижню оцінку імовірності зв'язності.

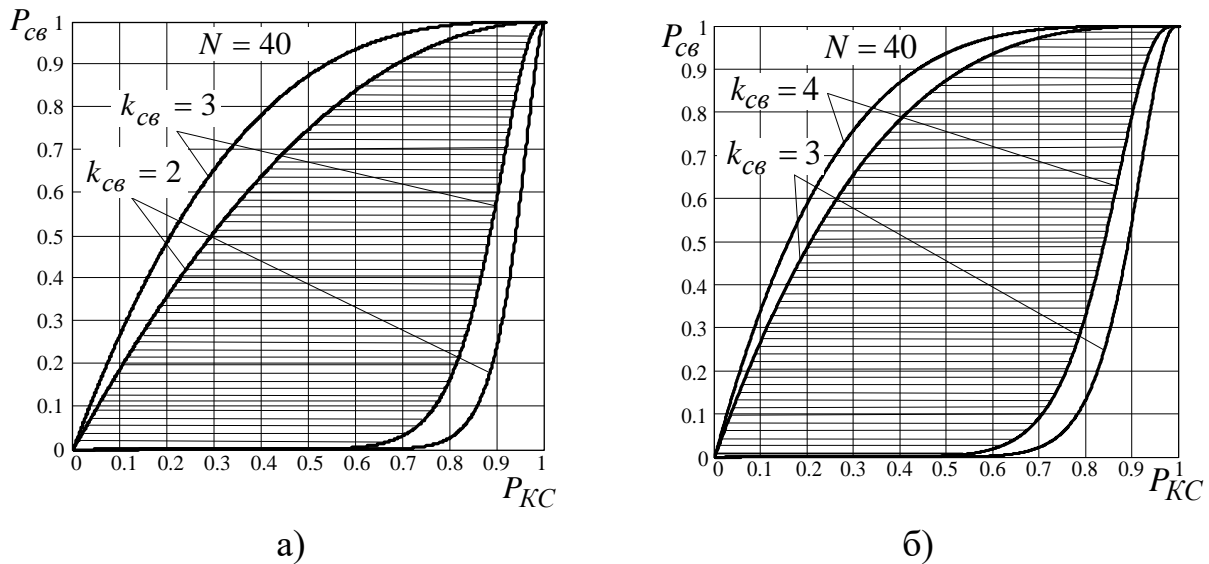


Рис. 1. Залежність двобічних оцінок імовірності зв'язності двополусного графу з невідомою топологією з N вершинами та коефіцієнтом зв'язності k_{cv} від імовірності справного стану каналів зв'язку P_{KC}

Спираючись на відомі результати досліджень реального трафіку у МПД, зроблено висновок, що традиційні методи розрахунку імовірно-часових характеристик для МПД, які ґрунтуються на пуасонівських моделях, не забезпечують повного та точного відображення процесів які відбуваються в сучасних МПД. Причиною неадекватності пуасонівських моделей є самоподібний характер трафіку у сучасних МПД. Використовуючи відомий результат, що встановлює залежність середньої довжини черги в одноканальній системі масового обслуговування з самоподібним вхідним потоком від коефіцієнта завантаженості ρ та параметру Херста H ($0.5 \leq H \leq 1$)

$$q = \rho \cdot \frac{\rho^{\frac{1}{2(1-H)}}}{(1-\rho)^{\frac{H}{1-H}}}, \quad (1)$$

та застосовуючи формулу Літла, було отримано вираз для визначення середнього часу затримки в черзі для даної моделі

$$T_c = \rho \cdot \frac{\frac{1}{\rho^{2(1-H)}}}{\lambda \cdot (1-\rho)^{\frac{H}{1-H}}},$$

де λ - середня інтенсивність надходження запитів. Враховуючи, що $\rho = \lambda/\mu$ (μ - середня інтенсивність обслуговування запитів), а час, який запит проводить в системі, складається з часу знаходження в черзі та часу обслуговування, було отримано вираз для визначення середнього часу затримки запита в системі

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{(\lambda \cdot \mu)^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(\mu - \lambda)^{\frac{H}{1-H}}}. \quad (2)$$

У випадку, коли $H = 0.5$ вираз (2) приймає класичний вигляд для системи M/M/1 - $T = 1/(\mu - \lambda)$.

Застосовуючи формулу Літтла до мережі черг та використовуючи вираз (2) було отримано вираз для визначення середнього часу затримки повідомлення в МПД з статистично самоподібним трафіком

$$T_{cp} = \frac{1}{H_{\Sigma}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[f_{ij} \cdot \left(\frac{1}{d_{ij}} + \frac{f_{ij}}{d_{ij}} \cdot \frac{(f_{ij} \cdot d_{ij})^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(d_{ij} - f_{ij})^{\frac{H}{1-H}}} \right) \right], \quad (3)$$

де d_{ij} і f_{ij} пропускна здатність каналу зв'язку між i -им та j -им центрами комутації та інтенсивність потоку в ньому, відповідно; N - кількість центрів комутації; $H_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N h_{ij}$, де h_{ij} - інтенсивність інформаційного потоку між i -им та j -им центрами комутації.

Відповідно до виразів (1), (2) були отримані залежності (рис. 2, 3), аналіз яких показує, що при великих значеннях параметру Херста H розмір черги та середній час затримки зростають значно швидше ніж передбачає класичний аналіз. На підставі аналізу зроблено висновок, що для МПД з статистично самоподібним трафіком потрібні канали зв'язку з більшою пропускною здатністю ніж для мереж з пуасонівським трафіком.

Розроблено метод визначення вартості підсистеми каналів зв'язку МПД, у рамках якого розроблено частковий метод розподілу інформаційного потоку в МПД, який враховує статистично самоподібний характер трафіку з коефіцієнтом Херста $H = 0.8$. Розроблено також частковий метод визначення пропускних здатностей каналів зв'язку за критерієм мінімуму їх загальної вартості. Показано, що функція $T_{cp}(f)$ при $H = 0.8$, вираз (3), строго опукла, бо задовольняє наступним умовам

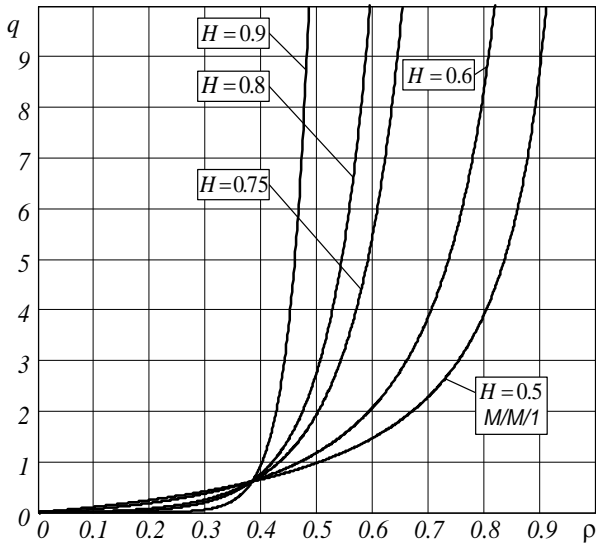


Рис. 2. Середній розмір черги для самоподібної моделі системи масового обслуговування

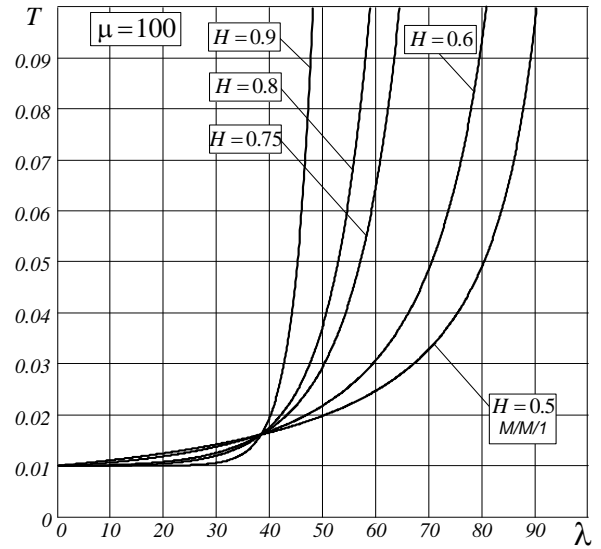


Рис. 3. Середній час затримки для самоподібної моделі системи масового обслуговування

$$\frac{\partial T_{cp}}{\partial f_{ij}} = \frac{1}{h_{\Sigma}} \left(\frac{1}{d_{ij}} + \frac{\frac{1}{d_{ij}^2} \cdot f_{ij}^{\frac{5}{2}} (7 \cdot d_{ij} + f_{ij})}{2 \cdot (d_{ij} - f_{ij})^5} \right) > 0;$$

$$\frac{\partial^2 T_{cp}}{\partial f_{ij} \partial f_{kl}} = \begin{cases} 0, & (i, j) \neq (k, l); \\ \frac{1}{h_{\Sigma}} \left(\frac{35 \cdot d_{ij}^{\frac{1}{2}} \cdot f_{ij}^{\frac{3}{2}}}{4 \cdot (d_{ij} - f_{ij})^4} + \frac{28 \cdot d_{ij}^{\frac{1}{2}} \cdot f_{ij}^{\frac{5}{2}}}{(d_{ij} - f_{ij})^5} + \frac{20 \cdot d_{ij}^{\frac{1}{2}} \cdot f_{ij}^{\frac{7}{2}}}{(d_{ij} - f_{ij})^6} \right) > 0, & (i, j) = (k, l). \end{cases}$$

Строга опуклість функції $T_{cp}(f)$ дозволила в основу методу розподілу інформаційного потоку покласти принципи відхилення потоку.

При вирішенні задачі розподілу інформаційних потоків реалізовано механізм, який забезпечив можливість використання немодифікованого методу відхилення потоку, що дозволило в цілому зменшити складність програмної реалізації методу визначення вартості оренди підсистеми каналів зв'язку.

Запропоновано спосіб визначення нижньої оцінки імовірності зв'язності пари центрів комутації, який зводиться до пошуку максимальної множини простих ланцюгів між ними, що вершинно не перетинаються. Метод пошуку даної множини ґрунтується на правилах приведення графа двополюсної мережі до дводольного вигляду та теоремі про сумарний потік, що циркулює у графі двополюсної мережі, вершини і ребра якого мають одиничну пропускну здатність.

У третьому розділі визначено перелік завдань які потребують вирішення при розробці методу генетичного алгоритму синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімуму витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку, а саме:

- розроблення моделі цільової функції;
- визначення способу кодування топології МПД;
- розроблення методу синтезу початкових топологій з метою формування початкової множини топологічних структур МПД;
- розроблення методів генетичних операторів перетину та мутації і визначення порядку їх застосування до топологічних структур МПД;
- розроблення методу перевірки допустимості топологій, що отримуються в результаті застосування операторів перетину та мутації;
- визначення способу відбору топологічних структур для перетину;
- визначення параметрів методу (імовірність перетину, імовірність мутації, розміри множини топологічних структур, на якій здійснюється пошук, критерію зупинки).

Розроблено метод синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімуму витрат на утримання підсистеми каналів зв'язку. В основу метода покладено репродуктивний план Холланда (генетичний алгоритм). Метод передбачає наступну послідовність дій:

1. Ініціалізація початкової множини топологій.

Ввести точку підрахунку ітерацій $t = 0$. Синтезувати R топологічних структур МПД та сформувати з них початкову множину $\beta(0) = (A_1(0), \dots, A_R(0))$. Визначити вартість всіх топологій множини $\upsilon(0) = (\mu_1(0), \dots, \mu_R(0))$.

2. Відбір пари топологій для операції перетину.

Визначити випадкову змінну $Rand_t$ на множині $\zeta_R = \{1, \dots, R\}$, призначивши імовірність випадання будь якого $z \in \zeta_R$ з врахуванням $\mu_z(t)$. Провести одне випробування $Rand_t$ та обчислити результат $i(t)$, який визначить номер першої топології $A_{i(t)}(t)$. Наступним випробуванням визначити номер другої топології $i'(t)$.

3. Формування нової топології.

З імовірністю P_c виконати операцію перетину для відібраних топологій та зберегти отриману топологію як ${}^1A(t)$. Застосувати до ${}^1A(t)$ з імовірністю P_m операцію мутації. Отриману топологію $A'(t)$ помістити до множини $\beta(t + 1)$.

4. Визначення вартості нової топології.

Визначити значення вартості топології $\mu_E(A'(t))$ та помістити його до множини $\beta(t + 1)$.

5. Копіювання.

З імовірністю $1 - P_c$ з топологій, відібраних на кроці 2, відібрати топологію з кращим показником вартості та скопіювати її до множини $\beta(t + 1)$.

6. Якщо розмір множини $\beta(t+1)$ дорівнює R , збільшити номер ітерації на одиницю $t = t + 1$ та перейти до пункту 7, інакше перейти до пункту 2.

7. Якщо не досягнуто критерію зупинки, перейти до пункту 2, інакше закінчити пошук.

Відповідно до визначених завдань, що потребують вирішення при розробці методу генетичного алгоритму синтезу топологічної структури МПД, розроблено метод синтезу субоптимальних топологічних структур МПД для формування початкової множини топологій у генетичному алгоритмі. Ідея методу полягає у тому, що канали зв'язку між центрами комутації i та j вводяться з певною імовірністю p_{ij} , величина якої залежить від відстані між даними центрами комутації та математичного очікування кількості інцидентних їм каналів зв'язку. При цьому загальна довжина каналів зв'язку, що очікується, повинна бути мінімальною

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N l_{ij} p_{ij},$$

де l_{ij} - відстань між i -им та j -им центрами комутації, а N - кількість центрів комутації. При обмеженнях:

$$p_{\min} \leq p_{i,j} \leq p_{\max} \quad i, j = \overline{1, N}, i \neq j,$$

де p_{\min} , p_{\max} - мінімально та максимально дозволені значення імовірностей введення каналів зв'язку;

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N p_{ij} \geq k_i, \quad i = \overline{1, N},$$

де k_i - мінімальне математичне очікування кількості каналів зв'язку для i -того центру комутації. Для вирішення даної задачі лінійного програмування пропонується використати симплекс метод.

Проведений порівняльний аналіз результатів топологічних рішень, отриманих генетичними алгоритмами з іншими методами формування початкової множини топологій (рис. 4), показав, що у разі застосування розробленого методу вигравш в точності рішень складає від 5% до 8% в залежності від розмірів початкової множини топологій.

Задача синтезу топології МПД була представлена як задача пошуку сполучення певних комбінацій інцидентностей каналів зв'язку для кожного центру комутації, при якому буде забезпечено зменшення сумарної вартості оренди всіх каналів. Було зроблено припущення, що інтенсивність комбінування каналів зв'язку для заданого центру комутації в результаті перетину двох топологій може бути виражена імовірністю виникнення нової комбінації каналів зв'язку P_c для даного центру комутації. На підставі аналізу принципу формування схем (рис. 5), що кодують інцидентність каналів зв'язку заданому центру комутації, було отримано функціональну залежність між порядковим номером центру комутації i в матриці суміжності та визначаючою довжиною схеми L_i , яка кодує інцидентність каналів зв'язку до даного центру комутації

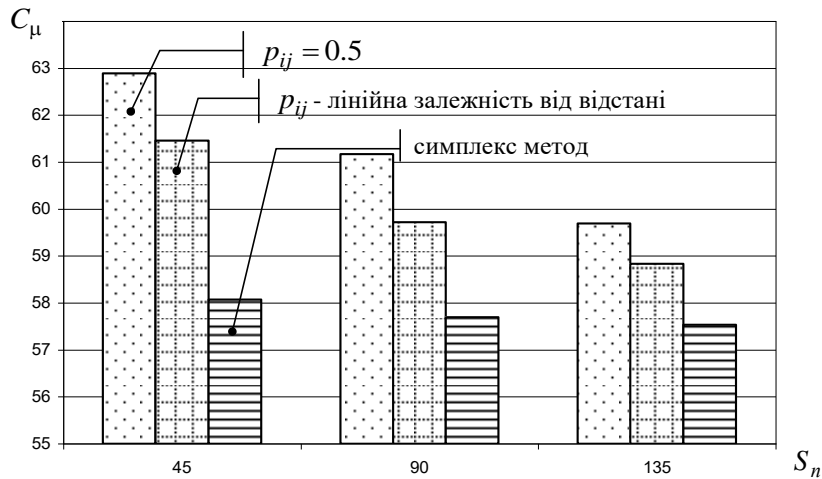


Рис. 4. Залежність математичного очікування вартості топології МПД C_μ в серії запусків ГА від розміру множини топологій S_n , при різних методах формування початкових топологій

$$L_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^i (N - j) - i + 2, & i \neq 1; \\ N - 1, & i = 1, \end{cases}$$

де N – кількість центрів комутації. Залежність імовірності виникнення нової комбінації каналів зв'язку для i -го центру комутації у разі застосування одноточечного оператора перетину має вигляд

$$P_{c_i} = \frac{2 \cdot L_i}{N \cdot (N - 1)}. \quad (4)$$

Відповідно до (4) були побудовані залежності (рис. 6).

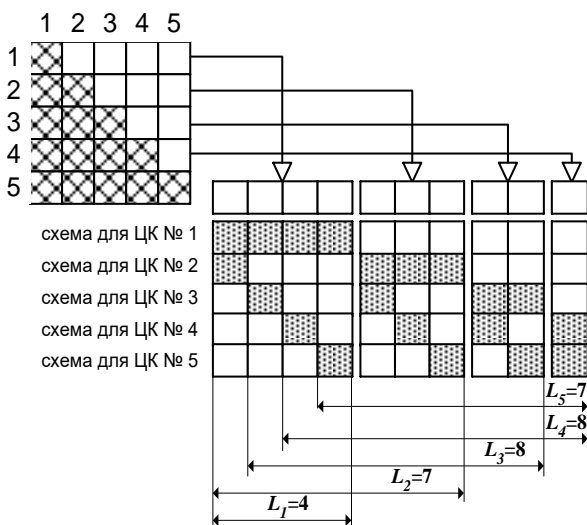


Рис. 5. Формування схем інцидентних каналів зв'язку для центрів комутації

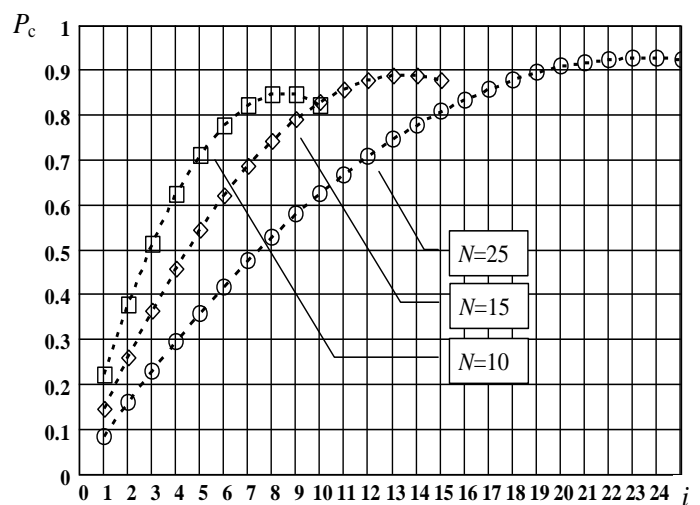


Рис. 6. Імовірність виникнення нової комбінації каналів зв'язку для i -го центру комутації

У випадку застосування однорідного оператора перетину

$$P_{ci} = 1 - 0.5^{N-1}. \quad (5)$$

На підставі аналізу залежностей (рис. 6) та виразу (5) було зроблено висновок, що, при вирішенні задачі синтезу топологічної структури МПД методом генетичного алгоритму, однорідний оператор перетину є більш ефективний по відношенню до одноточечного, тому що у однорідного оператора перетину інтенсивність пошуку інцидентних каналів для всіх центрів комутації однакова і залежить тільки від кількості центрів комутації (5).

Спираючись на експериментальні результати було проведено аналіз впливу імовірності мутації на час пошуку рішень генетичним алгоритмом синтезу топологічної структури МПД та їх точність. Проведений аналіз показав, що збільшення імовірності мутації приводить до експоненціального зростання часу пошуку рішення та логарифмічного зростання частоти знаходження глобального оптимуму в серії запусків алгоритму.

Використання відомостей про частоту знаходження глобального оптимуму ω_n у серії з n запусків генетичного алгоритму дозволило отримати значення необхідного числа запусків алгоритму для отримання глобального оптимуму з визначеною імовірністю P_{zo}

$$N_3 = \log_{1-\omega_n} (1 - P_{zo}) = \frac{\ln(1 - P_{zo})}{\ln(1 - \omega_n)}.$$

Проведено аналіз впливу розміру множини топологічних структур, на якому ведеться пошук рішення ГА, на значення величини похибки в рішеннях. На підставі аналізу зроблено висновок, що для отримання рішення з похибкою, яка не перевищує 1.5%, розмір множини не повинен бути менше $2 \cdot L$ (L - кількість розрядів у бінарному рядку, що кодує топологію МПД), що співпадає з відомим результатом.

У четвертому розділі визначено, що для застосування на практиці розробленого методу синтезу топологічної структури МПД потрібно розробити відповідний програмний комплекс в якому реалізуються функції системи автоматизованого проектування. Висунуто вимоги до програмного комплексу синтезу й оптимізації топологічних структур МПД, а саме:

можливість формулювання проектною задачі з синтезу топологічної структури МПД зручним для проектувальника способом;

наявність засобів ефективного корегування вхідних даних проектною задачі;

відсутність жорстких обмежень на структуру і обсяг вхідних даних та тип носіїв інформації, на яких вони зберігаються;

можливість оперативного підключення до програмного комплексу нових модулів та вилучення застарілих;

надання можливості проектувальнику на основі проміжних результатів приймати рішення про вибір методів для подальшого рішення проектною задачі, а також зміни значень окремих параметрів методів;

можливість під час виконання проектних дій відслідковувати значення основних показників процесу, що свідчать про його ефективність та у залежності від їх значень корегувати процес;

можливість включення навчальних програм з метою підвищення кваліфікації проектувальника;

забезпечення сумісності автоматизованого та неавтоматизованого видів проектування.

Згідно висунутих вимог до програмного комплексу синтезу й оптимізації топологічних структур МПД визначено перелік задач, які повинні вирішуватись даним програмним комплексом з метою реалізації функцій проектування топологічної структури МПД:

підготовлення, корегування вхідних даних, їх візуалізація та збереження;

формування множини початкових топологічних структур МПД;

синтезу топологічної структури МПД;

розподілу інформаційних потоків у МПД з визначеною топологічною структурою;

розрахунку пропускних здатностей каналів зв'язку;

розрахунку середнього часу затримки одиниці інформації у МПД;

розрахунку вартості оренди підсистеми каналів зв'язку у МПД з визначеною топологічною структурою;

візуалізації, збереження та документування результатів проектних рішень.

Розроблено структурну схему програмного комплексу синтезу й оптимізації топологічної структури МПД.

Визначено, що при розробці програмного комплексу синтезу й оптимізації топологічної структури МПД доцільно застосувати методи об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування. Відповідно до стандарту уніфікованої мови моделювання (Unified Modeling Language UML) було розроблено діаграми основних класів програмного комплексу, а саме діаграма класів МПД (NetWork) та діаграма класів генетичного алгоритму (GeneticAlgoritm) (рис. 7, 8). До яких увійшли: клас центр комутації (Node); клас каналу зв'язку (Link); клас матриці інформаційних потоків (TrafficMatrix); клас маршруту між парою центрів комутації (Route); класи списків для центрів комутації, каналів зв'язку та маршрутів (ListNode, ListLink, ListRoute).

Надано практичні рекомендації щодо можливості застосування розробленого методу синтезу топологічної структури МПД, а саме: під час створення територіально розподілених корпоративних телекомунікаційних мереж на етапі проектування їх топологічної структури; під час конфігурування IP (Internet Protocol) мережі поверху АТМ (Asynchronous Transfer Mode); для рішення задачі динамічної реконфігурації топології IP мережі поверху АТМ.

Проведено порівняльний аналіз результатів синтезу топологічної структури МПД, отриманих в результаті застосування методу заміни гілок та комбінаторного методу, з розробленим. На підставі аналізу зроблено висновок, що топологічні структури, що отримані розробленим методом, мають на 10% меншу вартість у порівнянні з методом заміни гілок і на 1-2% більшу вартість у порівнянні з

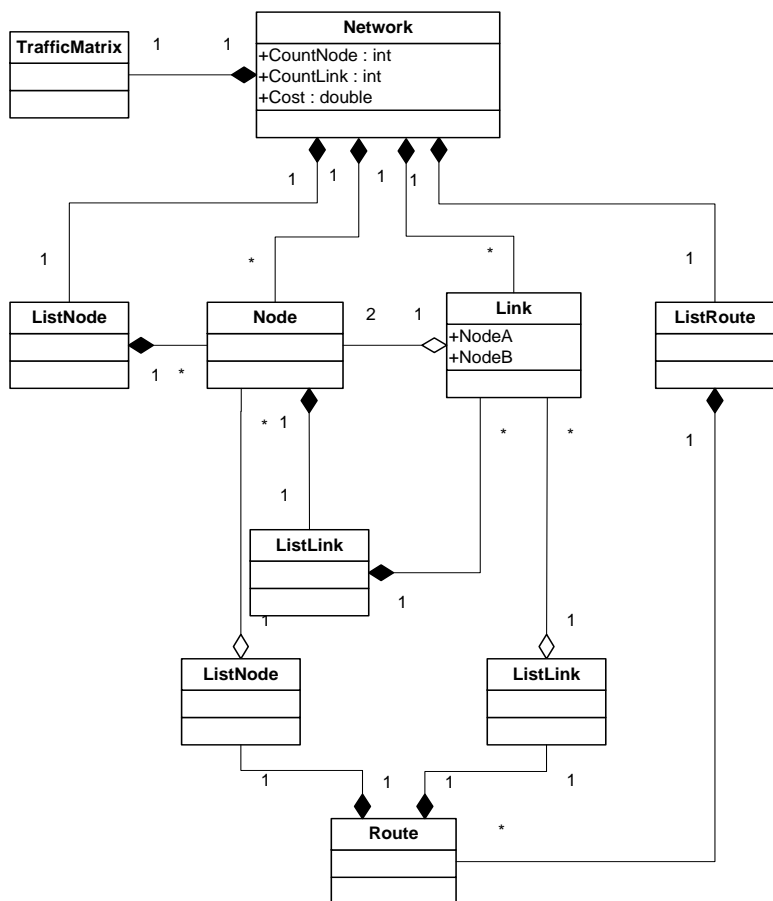


Рис. 7. Діаграма класів МПД (NetWork)

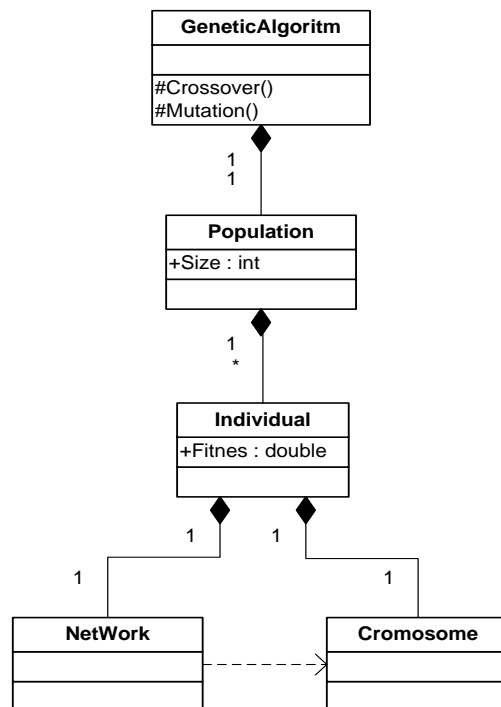


Рис. 8. Діаграма класів генетичного алгоритму (GeneticAlgorithm)

результатами комбінаторного методу. Комбінаторний метод було застосовано до мереж малої розмірності, кількість центрів до 7. Для мереж з кількістю центрів комутації менше 7 результати отримані в результаті застосування комбінаторного методу співпадали з результатами отриманими застосуванням розробленого методу.

ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано актуальне науково-технічне завдання щодо розробки методу синтезу топологічної структури МПД зі статистично самоподібним трафіком за критерієм мінімальних витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку. За результатами рішення даного науково-технічного завдання зроблені наступні висновки:

1. Проведений у роботі аналіз сучасних тенденцій розвитку інформаційних систем та їх впливу на експлуатаційно-технічні характеристики МПД дозволив сформулювати вимоги до методів синтезу топологічної структури МПД, серед яких основними слід вважати: отримання високої точності рішень; формування множини топологічних структур МПД близьких за вартістю та різними за значеннями часових

показників і показників надійності; врахування надійності структурних елементів МПД; врахування особливостей сучасного мультимедійного трафіку при визначенні значень часових показників МПД та перепускних здатностей каналів зв'язку. З огляду на те, що жоден з відомих методів синтезу топологічної структури МПД не задовольняє повною мірою висунутим вимогам, було поставлено задачу щодо розробки методу синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку.

2. В результаті аналізу загальної характеристики задачі синтезу топологічної структури МПД та аналізу принципів роботи генетичного алгоритму було визнано перспективність використання генетичного алгоритму як методу синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку.

3. Аналіз впливу топологічної структури на основні показники якості МПД показав, що вона в значній мірі визначає вартість та структурну надійність МПД. Аналіз коефіцієнту зв'язності як показника структурної надійності виявив, що його застосування під час синтезу топологічної структури МПД приводить до отримання надлишкових топологічних структур та зайвих фінансових витрат на оренду підсистеми каналів зв'язку. З метою усунення даного недоліку запропоновано застосувати у якості показника структурної надійності нижню оцінку імовірності зв'язності пар центрів комутації.

4. З метою отримання чисельних значень вартості МПД розроблено метод визначення вартості підсистеми каналів зв'язку МПД. В рамках розробки даного методу отримано аналітичний вираз для визначення середнього часу затримки пакету в МПД, який враховує статистично самоподібний характер сучасного мультимедійного трафіку.

5. Відповідно до поставленої задачі розроблено метод синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку, який ґрунтується на принципах генетичного алгоритму та враховує статистично самоподібний характер сучасного мережевого трафіку при визначенні середнього часу затримки пакету в МПД.

6. У рамках розробки методу синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку розроблено частковий недетермінований метод синтезу субоптимальних топологічних структур МПД. Застосування запропонованого методу для формування початкової множини топологічних структур в генетичному алгоритмі дозволило підвищити ефективність пошуку рішення і тим самим зменшити вартість підсистеми каналів зв'язку МПД.

7. Проведений аналіз впливу типу оператора перетину на ефективність пошуку рішення генетичним алгоритмом синтезу топологічної структури МПД виявив більшу ефективність однорідного оператора перетину у порівнянні з одноточечним, що обумовлено однаковою інтенсивністю комбінування каналів зв'язку для кожного центру комутації у разі застосування однорідного оператора перетину.

8. Для реалізації запропонованого методу розроблено програмний комплекс, який дозволяє здійснювати синтез та оптимізацію топологічних структур МПД за

критерієм мінімальної вартості, як в автоматичному, так і в інтерактивному режимі. При рішенні даної задачі сформульовані вимоги, що ставляться перед такими системами проектування, а також принципи їх функціонування.

9. Проведено експериментальне дослідження розробленого методу на прикладі синтезу топологічної структури корпоративної телекомунікаційної мережі на території України з центрами комутації у всіх обласних центрах. Результати експериментальних досліджень продемонстрували, що мережа з топологічною структурою, яка отримана в результаті застосування розробленого методу, має на 10% меншу вартість у порівнянні з мережею, топологічна структура якої отримана методом заміни гілок.

10. Надано рекомендації щодо можливості застосування розробленого методу синтезу топологічної структури МПД для вирішення задач конфігурування та динамічної реконфігурації топології IP мережі побудованої поверх АТМ. Динамічна реконфігурація топології дозволить збільшити пропускну здатність мережі та виправити тимчасову невідповідність між поточною топологічною структурою і трафіком.

11. Про достовірність отриманих результатів свідчить: відсутність протиріч з відомими результатами для середньої довжини черги та середнього часу затримки заявки в системі масового обслуговування М/М/1; ясне фізичне трактування причин зростання довжини черги та середнього часу затримки заявки в самоподібній моделі системи масового обслуговування у порівнянні з М/М/1; ясне трактування причин підвищення точності рішень в результаті застосування розробленого методу у порівнянні з рішеннями отриманим іншими методами; результати проведених експериментальних досліджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. *Кучеренко Ю.Ф., Шубин Е.В., Гузько О.Н.* Генетический алгоритм синтеза топологической структуры сети передачи данных // Системи обробки інформації: Зб. наукових праць. – Харків: ХВУ, 2004. – Вип. 11(39). – С. 113-119.

2. *Кучеренко Ю.Ф., Шубин Е.В.* Метод формирования начальной популяции топологий в генетическом алгоритме синтеза топологической структуры сети передачи данных // Системи обробки інформації: Зб. наукових праць. – Харків: Харківський університет ПС, 2005. – Вип. 2(42). – С. 98-102.

3. *Кучеренко Ю. Ф., Шубин Е. В., Гузько О.Н.* Среднее время задержки пакета в сети передачи данных с самоподобным трафиком // Системи обробки інформації: Зб. наукових праць. – Харків: Харківський університет ПС, 2005. – Вип. 5(45). – С. 69-73.

4. *Кучеренко Ю.Ф., Александров С.Н., Шубин Е.В., Закиров З.З.* Двухсторонняя оценка вероятности связности двух центров коммутации в системе обмена данными с заданным коэффициентом связности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т „ХАИ”, 2004. – Вип. 22. – С. 118-123.

5. Шубін Є.В. Задача розподілу інформаційного потоку та визначення перепускних здатностей каналів зв'язку для моделі вартості СОД // Радиоэлектроника и информатика: Научно-технический журнал. – Харьков: ХНУРЭ. – 2001. – № 4. – С. 47-48.

6. Кучеренко Ю.Ф., Александров С.Н., Шубин Е.В. Влияние вида оператора скрещивания на эффективность поиска решения генетическим алгоритмом синтеза топологии телекоммуникационной сети // Вісник НТУ „ХПІ”. Зб. наукових праць. Тематичний випуск „Системний аналіз, управління та інформаційні технології” – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 41. – С. 101-104.

7. Шубін Є.В. Модель вартості системи обміну даними (каналів зв'язку) заданої структури з визначеними часовими характеристиками // Воєнно-наукова конференція „Програмно-цільові методи планування розвитку та управління функціонуванням складних ергатичних систем”: Зб. тез доповідей. – Харків: НЦ БЗ ВПС ЗСУ, 2003. – С. 25.

8. Кучеренко Ю.Ф., Шубін Є.В. Генетичний алгоритм оптимізації топологічної структури системи обміну даними // IV наукова конференція молодих вчених Харківського військового університету: Зб. тез доповідей. – Харків: ХВУ, 2004. – С. 58.

9. Шубин Е.В., Олизаренко С.А., Гузько О.Н. Метод формирования начальной популяции топологий в генетическом алгоритме синтеза топологии телекоммуникационной сети // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції „Дні науки 2005”. Сучасні інформаційні технології. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – Т. 34. – С. 23-25.

АНОТАЦІЯ

Шубін Є.В. Метод синтезу топологічної структури мережі передачі даних за критерієм мінімальної вартості з використанням генетичного алгоритму. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2005.

Дисертація присвячена розробці нових підходів до вирішення задачі синтезу топологічної структури мережі передачі даних (МПД) за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку.

Сформульовано основні вимоги до методів синтезу топологічної структури МПД, серед яких є: отримання високої точності рішень; врахування надійності структурних елементів МПД; врахування особливостей сучасного мультимедійного трафіку. Аналіз відомих методів синтезу топологічної структури МПД показав, що жоден з них не задовольняє повною мірою висунутим вимогам. Відповідно до висунутих вимог було розроблено метод синтезу топологічної структури МПД за критерієм мінімальної вартості підсистеми каналів зв'язку, який ґрунтується на

принципах генетичного алгоритму та враховує статистично самоподібний характер сучасного трафіку.

Розроблено програмний комплекс в якому реалізовано запропонований метод. Комплекс надає можливість здійснювати синтез нових та оптимізацію існуючих топологічних структур МПД за критерієм мінімальної вартості, як в автоматичному, так і в інтерактивному режимі.

Ключові слова: мережа передачі даних, топологічна структура, генетичний алгоритм, статистична самоподібність стохастичного процесу, структурна надійність.

АННОТАЦІЯ

Шубин Е.В. Метод синтеза топологической структуры сети передачи данных по критерию минимальной стоимости с использованием генетического алгоритма. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена разработке новых подходов к решению задачи синтеза топологической структуры сети передачи данных (СПД) по критерию минимальной стоимости подсистемы каналов связи.

Показано, что известные на сегодняшний день методы синтеза топологических структур сетей передачи данных основаны на принципах замены с привлечением различных эвристик. Все они позволяют получить решения приближенные к оптимальным, которые находятся в узком диапазоне таких параметров как стоимость подсистемы каналов связи и общая пропускная способность СПД. В тоже время, сами топологические структуры значительно отличаются и при одинаковом коэффициенте связности обладают различной структурной надежностью. В известных методах для расчета вероятностно-временных характеристик СПД, как правило, применяются пуассоновские модели. Многочисленные исследования реального трафика показывают, что традиционные методы расчета вероятностно-временных характеристик не дают адекватного описания процессов в современных СПД для которых характерен статистическо самоподобный трафик.

На основе анализа современных тенденций развития информационных систем и их влияния на эксплуатационно-технические характеристики СПД были сформулированы основные требования к методам синтеза топологической структуры СПД, среди которых основными следует считать: высокая точность получаемых решений; учет надежности структурных элементов СПД; учет особенностей современного мультимедийного трафика.

На основе анализа коэффициента связности как показателя структурной надежности сделан вывод, что его применение в методах синтеза топологической структуры СПД приводит к получению избыточных топологических структур и увеличению финансовых затрат на содержание подсистемы каналов связи. С целью

устранения данного недостатка предложено использовать в качестве показателя структурной надежности нижнюю оценку вероятности связности пар центров коммутации.

Разработан метод синтеза топологической структуры СПД по критерию минимальной стоимости подсистемы каналов связи. В основу метода положен генетический алгоритм. Отличительной особенностью данного метода от известных методов синтеза топологической структуры СПД, построенных на принципах генетического алгоритма, является метод определения эффективности (стоимости) получаемых топологий, а также его ориентированность на статистически самоподобный характер передаваемого трафика.

В рамках предложенного метода разработан частный недетерминированный метод синтеза субоптимальных топологических структур. Применение данного метода для формирования начального множества топологических структур в генетическом алгоритме позволило повысить эффективность поиска решения и обеспечить снижение стоимости подсистемы каналов связи в СПД.

Используя известный результат для средней длины очереди в одноканальной системе массового обслуживания с статистически самоподобным входящим потоком заявок было получено аналитическое выражение для среднего времени задержки пакета в СПД с самоподобным трафиком.

Создан программный комплекс в котором реализован разработанный метод. Комплекс предоставляет возможность осуществлять синтез топологической структуры СПД за критерием минимальной стоимости как в автоматическом так и в интерактивному режиме.

Проведено экспериментальное исследование разработанного метода на примере синтеза топологической структуры корпоративной телекоммуникационной сети на территории Украины с центрами коммутации в областных центрах. Результаты экспериментальных исследований показали, что сеть с топологической структурой полученной в результате применения разработанного метода, имеет на 15% меньшую стоимость по сравнению с сетью топологическая структура которой получена методом замены ветвей.

Даны рекомендации по применению разработанного метода синтеза топологической структуры СПД для решения задач конфигурации и динамической реконфигурации топологии IP (Internet Protocol) сети построенной поверх ATM (Asynchronous Transfer Mode). Динамическая реконфигурация позволит увеличить пропускную способность сети и исправить временное несоответствие между текущей топологией и трафиком.

Ключевые слова: сеть передачи данных, топологическая структура, генетический алгоритм, статистическая самоподобность стохастического процесса, структурная надежность.

SUMMARY

Shubin E. V. Method of synthesis of topological structure of a network of data transmission by criterion of the minimal cost with use of genetic algorithm. - Manuscript.

Dissertation for the candidate's degree of technical sciences in a specialty 05.12.02. Telecommunication systems and networks. – Ukrainian State Academy of a Railway Transport, Kharkov, 2005.

The dissertation is devoted to development of new approaches to the decision of a problem of synthesis of topological structure of a network of data transmission (NDT) by criterion of the minimal cost of a subsystem of liaison channels.

The basic requirements to methods of synthesis of topological structure NDT, among which high accuracy of received decisions have been formulated; the account of reliability of structural elements NDT; the account of features of the modern multimedia traffic. The lead analysis of known methods of synthesis of topological structure NDT has shown, that any of them does not meet to the full put forward requirements. According to the put forward requirements the method of synthesis topological structures NDT by criterion of the minimal cost of a subsystem of liaison channels which is based on principles of genetic algorithm has been developed and takes into account statistical self-similitude of the modern traffic.

The program complex in which offered method is developed is realized. The complex gives an opportunity to carry out synthesis new and optimization of existing topological structures NDT both in automatic and in interactive a mode.

Key words: network of data transmission, topological structure, statistical self-similitude of stochastic process, structural reliability.