

МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОШАРОВИХ СТРУКТУР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ МЕТОДОМ ДІАКОПТИКИ

Запропоновано модель розрахунку багатошарових телекомунікаційних мереж за допомогою діакоптики. Проведено структурну оптимізацію телекомунікаційної мережі використовуючи лінійне програмування методом діакоптики. Здійснено дослідження затримки в транспортних мережевих вузлах при передаванні мультисервісних послуг.

The model for calculating of multilayer telecommunication networks using diakoptics has been proposed. Structural optimization research of telecommunications networks using linear programming and method diakoptic has been conducted. Delays research in the transport network nodes transmitting of multiservices traffic has been made.

1. ВСТУП

Невпинне зростання потоків інформації приводить до збільшення трафіку реального часу, що вимагає застосування нових алгоритмів оптимізації параметрів якості сервісу у транспортних телекомунікаційних мережах. В сучасних умовах утворилися різні типи мереж, так наприклад глобальна мережа, є складною не тільки для опису, а й для представлення. Відповідні мережі розкладають на рівні та представляють у вигляді багатошарового графа [1].

В [1] методи параметричного і структурного синтезу, які розглядають багатошарову систему в цілому є доволі складними для розрахунку. В роботі пропонується розглядати багатошарову мережу окремо на кожному з рівнів використовуючи метод діакоптики [2,3], для складних багатошарових телекомунікаційних структур при розв'язанні транспортної задачі за допомогою лінійного програмування.

2. ТОПОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

Для виконання поставленої мети, використовується метод розчленовувань, а також здійснюється поділ системи під час другого та наступних циклів, і нарешті, здійснює послідовну оптимізацію.

¹ Національний університет "Львівська політехніка"

Представлений метод оптимізації по частинах справедливий для таблиць з будь-яким типом елементів, при цьому вихідна задача має топологічну модель, яка може бути розчленована на кілька підсистем.

Завдання полягає в мінімізації повний час затримки передачі навантаження: 1) вибрати з k можливих невелике число маршрутів, які повинні бути використані; 2) визначити кількість навантаження, яке має бути відправлено по кожному з обраних маршрутів.

Вибір контурів і пар вузлів в системі координат l може бути зроблений довільно. Спочатку обираємо найпростіше можливу ортогональну систему координат l . В системі координат l існує тільки навантаження на вузлах, яке відповідає величинам вхідного і вихідного навантаження.

Для оцінки якості обслуговування за критерієм час затримки для телекомунікаційної мережі використовуємо формулу Літла [3]:

$$T = YL^{-1}, \quad (1)$$

де Y - представляє навантаження; L - відповідає коефіцієнту завантаженості; T - час затримки.

Базисні контури і пари вузлів. У загальному випадку B контурів і P пар вузлів в ортогональній системі можуть бути вибрані будь-яким довільним способом. Ортогональне перетворення системи координат буде складатися з двох одночасних кроків.

- 1) Контур перетвориться в одну з пар вузлів.
- 2) Одночасно одна з пар вузлів перетвориться контур.

Потік навантаження в «дереві». В ході перетворення систем координат, в кожній системі координат виконуються наступні умови:

- 1) всі пари вузлів утворюють єдине безперервне дерево,
- 2) кожен контур, який не входить в дерево, входить в окремий контур, який замикається через дерево.

Матриця переходу A_{10} є трикутною матрицею з двома одиничними діагональними блоками і одним недиагональним блоком.

3. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОДНОГО РІВНЯ МЕРЕЖІ

Відзначимо, що всі розділені гілки тимчасово видаляються зі схеми, так що при дослідженні кожної підсистеми не залишається ніяких слідів їхнього зв'язку.

Етапи оптимізації. Досліджувана мережа розчленовується на дві ізольовані мережі. Об'єднання оптимальних рішень полягає в багаторазовій оптимізації кожної з підмереж і підмережі перетинань.

Кожен цикл оптимізації виконується в чотири етапи:

- 1) Окремо оптимізуються п підмереж.
- 2) Обчислюється реакція від цих оптимізацій на підмережу перетинань за допомогою матриці перетворення.
- 3) Окремо оптимізується підмережа перетинань.
- 4) Обчислюється зворотна реакція від оптимізації підмережі перетинань на інші підмережі, окремо для кожної під мережі.

Число кроків в процесі досягнення оптимізації в описуваному методі більше, ніж без розчленування, однак його перевагою є:

- 1) метод дозволяє провести оптимізацію значно більшою системи;
- 2) малі зміни в структурі системи та її параметрів можуть бути враховані без повторення процесу оптимізації з самого початку.

Досліджувана мережа. Розглянемо для прикладу мережу представлену на рис.1, де А, В, С - три точки відправлення і D,E,F,G,H- п'ять точок призначення навантаження. Між зазначеними точками існує п'ятнадцять маршрутів, в кожній з яких відповідає певний коефіцієнт завантаженості каналу, що обслуговує навантаження 100 Гбіт за 1 с і представлені у матричному вигляді

$$\begin{array}{c|ccccc}
 & D & E & F & G & H \\
 \hline
 A & 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\
 B & 5 & 4 & 3 & 1 & 1 \\
 C & 1 & 2 & 3 & 4 & 5
 \end{array} \cdot M_s = \begin{vmatrix} A & B & C \\ 1 & 5 & 7 \end{vmatrix}, \quad M_r = \begin{vmatrix} D & E & F & G & H \\ 3 & 3 & 3 & 2 & 2 \end{vmatrix}.$$

де M_s кількість відправленого та M_r отриманого навантаження представлено за допомогою вагових коефіцієнтів, що відповідають кількості 100 Мбіт.

Припустимо, що топологічна мережа розділена на дві частини, як показано на рис.1. Усунемо тимчасово всі розділені контури.

Матриця перетворення першої підмережі та вихідна таблиця можуть бути отримані безпосередньо з рис.2а.

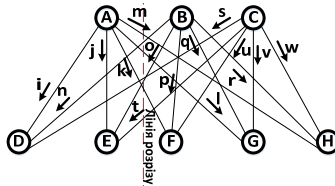


Рис.1. Транспортна мережа

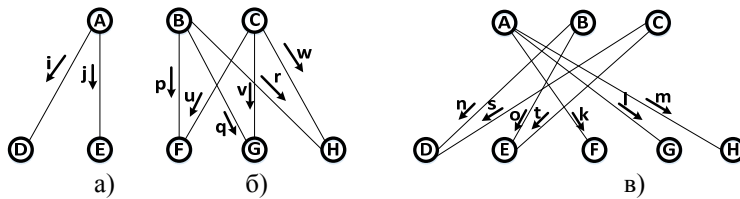


Рис. 2. Ізольовані підмережі до оптимізації: а) перша підмережа, б) друга під мережа, в) підмережа перетинань до оптимізації

$$A_{10}^{(1)} = \begin{array}{c|ccc|cc} & Y & A & D & E & i & j \\ \hline A & 1 & 1 & & & 1 & 1 \\ D & 3 & & 1 & & 1 & \\ E & 3 & & & 1 & & 1 \\ \hline L^{-1} & -7M & & & & 3 & 2 \\ & & & & & -2M & -2M \end{array}$$

Вихідна таблиця для другої підмережі:

$$A_{10}^{(2)} = \begin{array}{c|cccccc|cccc} & Y & B & C & F & G & H & p & q & r & u & v & w \\ \hline B & 5 & 1 & & & & & 1 & 1 & 1 & & & \\ C & 7 & & 1 & & & & & & & 1 & 1 & 1 \\ F & 3 & & & 1 & & & 1 & & & 1 & & \\ G & 2 & & & & 1 & & & 1 & & & 1 & \\ H & 2 & & & & & 1 & & & 1 & & & 1 \\ \hline L^{-1} & -19M & & & & & & 3 & 1 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ & & & & & & & -2M & -2M & -2M & -2M & -2M & -2M \end{array}$$

Таблиця підмережі перетинів (рис. 2,в) в системі координат 1 має вигляд:

$$A_{10}^i = \begin{array}{c|cccccc|cccc} & Y & k & l & m & n & s & o & t \\ \hline A & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & \\ D & 3 & & & & 1 & 1 & & \\ E & 3 & & & & & & 1 & 1 \\ \hline B & 5 & & & & 1 & & 1 & \\ C & 7 & & & & & 1 & & 1 \\ F & 3 & 1 & & & & & & \\ G & 2 & & 1 & & & & & \\ H & 2 & & & 1 & & & & \\ \hline L^{-1} & -26M & 1 & 2 & 3 & 5 & 1 & 4 & 2 \\ & & -2M & -2M & -2M & -2M & -2M & -2M & -2M \end{array}$$

Елементи кожного стовпця вказують, з якими вузлами з'єднані розділені контури.

Оптимізація підмереж. Наслідуючи симплексному методу, міняємо місцями вузол А і контур j за допомогою матриці переходу

$A^{(1)}_{21}$ після чого обчислюючи $A^{(1)}_{20}=A^{(1)}_{21}A^{(1)}_{10}$ отримаємо результуючу матрицю з'єднань. Матриці $A^{(1)}_{21}$ і $A^{(1)}_{20}$ матимуть вигляд:

$$A^{(1)}_{21} = \left[\begin{array}{c|ccc} & a & D & E \\ J & 1 & & \\ D & & 1 & \\ E & -1 & & 1 \\ \hline L^{-1} & -2 & & \\ & 2M & & \end{array} \right], \quad A^{(1)}_{20} = \left[\begin{array}{c|cccc|cc} Y & a & D & E & i & J \\ J & 1 & & & 1 & 1 \\ D & 3 & & 1 & & \\ E & 2 & -1 & & 1 & -1 \\ \hline L^{-1} & -2 & -2 & & 1 & \\ & -5M & 2M & & & \end{array} \right].$$

Оскільки в матриці немає негативних значень коефіцієнтів завантаження каналів, то перша підмережа вже оптимізована. Результуючі шляхи показані на рис.3,а. Столпець a показує, що контур a включає вузли J та E (рис.3,а).

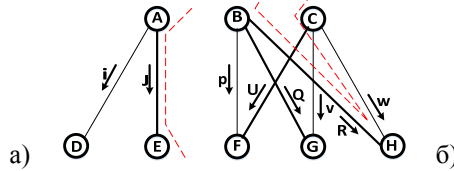


Рис.3. Підмережі після оптимізації: а) перша підмережа; б) друга підмережа

При оптимізації другої підмережі, необхідно виконати три послідовних перетворення. Вузли G,H,F перетворюються в контури q,r,u відповідно. Визначивши матрицю переходу $A^{(2)}_{41}$ отримаємо оптимізовану матрицю з'єднань:

$$A^{(2)}_{40} = \left[\begin{array}{c|cccc|cccc} Y & B & C & f & g & h & p & Q & R & U & v & w \\ B & 1 & 1 & & -1 & -1 & 1 & & & & -1 & -1 \\ C & 4 & & 1 & -1 & & -1 & & & & 1 & 1 \\ U & 3 & & & 1 & & 1 & & & 1 & & \\ Q & 2 & & & & 1 & & 1 & & & 1 & \\ R & 2 & & & & & & & 1 & & & 1 \\ \hline L^{-1} & -13 & & -3 & -1 & -1 & 1 & & & & 3 & 4 \\ & -5M & & 2M & 2M & 2M & & & & & & \end{array} \right].$$

Оптимальні шляхи показані на рис.3,б.

Підмережа перетинань складається з усіх видалених гілок мереж (рис.2,в). Реакцію від оптимізації підсистем на підмережу перетинань можна обчислити за один крок використовуючи матриці переходу $A^{(1)}_{21}$ та $A^{(2)}_{41}$, тоді отримаємо для підмережі перетинів результуючу матрицю з'єднань (рис.4,а):

	k	l	m	n	s	o	t	Y
J	1	1	1					1
D				1	1			3
E	-1	-1				1	1	2
B		-1	-1	1		1		1
$A_{s_0}^i = C$	-1				1		1	4
U	1							3
Q		1						2
R								2
L^{-1}	-4	-1		5	1	4	2	-15
	$2M$	$2M$	$2M$	$-2M$	$-2M$	$-2M$	$-2M$	$-10M$

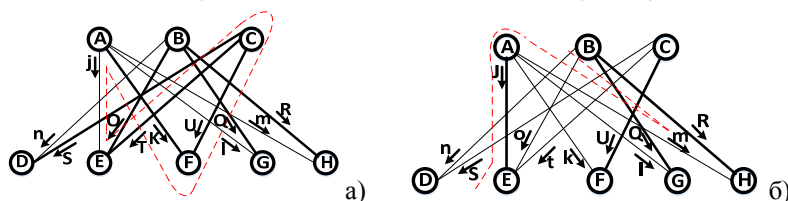


Рис.4. Підмережа перетинань: а) до її оптимізації, але після оптимізації під мереж; б) після її оптимізації

В прикладі загальний час затримки представлений абсолютним значенням негативного числа. На початку оптимізації він дорівнював $-26M$, (де M - велике число, яке визначає додатку затримку у вузлі). Загальний час затримки зменшився до $15 + 10M$.

Зворотна двоїста оптимізація відрізняється від стандартної оптимізації наступним чином:

- 1) при заміні контура на вузол в матриці перетворення на перетині відповідних строки та стовпця записувати не $+1$, а -1 ;
- 2) порядок перетворень змінюється на обернений.

В результаті чотирьох послідовних перетворень всі негативні коефіцієнти завантаження каналів зникнуть, а саме, контури s , t , o , k послідовно переставляються з парами вузлів D, C, B, J відповідно. Відповідна топологічна модель приведена на рис.4,б. Знаки у всіх нових рядках матриці $A^{(i)_{09}}$, як і L^{-1} , слід замінити на протилежні, щоб напрямки векторів відповідали рис.4,б. Загальний час затримки 22 .

При оптимізації підмережі перетинань чотири вузли D, C, B і J , які були частинами ізольованих підмереж, стали контурами, але є вузлами підмереж на рис.3. Для уникнення взаємного впливу між підмережами, необхідно зберегти їх в якості вузлів як в підмережах, так і в підмережі перетинів.

Кожен з заново створених чотирьох контурів в підмережі перетинань буде розділений на дві пари вузлів.

- 1) Базиси представлятимуть короткі пари вузлів (к.п.в.).
- 2) Решта контурів представлятимуть довгі пари вузлів (д.п.в.). Дві пари вузлів утворюють замкнутий контур.

Одиниці в чотирьох рядках (D, C, B і J) підмереж досі представляли к.п.в. Через д.п.в. не проходить навантаження Y . Для того, щоб врахувати нове представлення чотирьох елементів мережі, необхідно замінити значення компонент вектора контурів підмереж. Решта рівнянь підмереж залишаються без зміни, але їхні вектори Y замінюють векторами підмережі перетинів. Заміна к.п.в. на д.п.в. визначається наступним співвідношенням: $l'_{дпв} = l'_к + l'_{кпв}$.

Розглянемо вектор l'_m в матриці $A^{(1)_{09}}$ для оптимізованої підмережі перетинань:

- 1) виберемо чотири коефіцієнта завантаження каналів з нових контурних стовбців j, d, b, c;

- 2) розташуємо їх у тому ж порядку, в якому вони розташовані в стовбцях підмереж;

- 3) помістимо одиничну матрицю над кожним вектором;

- 4) утворені матриці є матрицями зворотної реакції.

Змінні к.п.в. перетворюються, в змінні д.п.в. за допомогою одиничної матриці. Змінні д.п.в. позначаються штрихом.

Обчисливши вираз $A^{(1)_{40}} = A^{(1)_{20}} A^{(1)_{42}}$ отримаємо для першої підмережі з д.п.в.:

$$A_{40} = \begin{array}{c|cccc|cc} Y & a & D' & E & i & J' \\ \hline J' & 0 & 1 & & 1 & 1 \\ \hline D' & 0 & & 1 & & 1 \\ \hline E & 0 & -1 & & 1 & -1 \\ \hline L^{-1} & 0 & & 1 & 1 & 4 & 2 \\ \hline & & & & & & 2M \end{array}$$

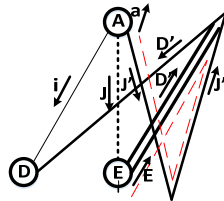


Рис.5. Довгі пари вузлів в першій під мережі

Перетворення полягає просто в множенні кожного стовпця на вектор l'_m , отримані скалярні вирази поміщаються в останньому рядку. Інші рядки не відрізняються від відповідних рядків вихідної матриці. Контури і пари вузлів показані на рис.5. Контур a включає тепер д.п.в. J' (замість короткої) і пару вузлів E. Контурне значення завантаження каналу тепер дорівнює: $l'_a = 2M$.

Перетворення для другої підмережі і підмережі перетинів відбувається аналогічним чином.

В нас ще є негативні коефіцієнти завантаження каналів, які повинні бути ліквідовані. Оскільки перша підмережа не має негативних l' , оптимізується тільки друга. Здійснимо заміну контуру p на д.п.в. V' . Загальна мета оптимізації полягає в тому, щоб в якості базису виступали контури, а не вузли.

Останні два етапи у другому циклі. Міняємо місцями вузол O з контуром b . Всі l' - позитивні, значить оптимізація підмережі перетинань закінчена. Наступний крок - знайти зміни в підмережі перетинань, що з'явилися в результаті оптимізації підмереж.

Позбавимось від д.п.в., через які проходить навантаження Y . Через д.п.в. C' (яка включає вузол) проходить навантаження Y , тому краще замінити д.п.в. на к.п.в..

Тепер через к.п.в. C навантаження Y не проходить, крім того, негативних l' немає. У другому циклі загальний час затримки зменшився з 22 одиниць до 20. Оптимізація підмережі перетинань здійснювалася в два етапи:

1. Вузол O , що належить підмережі перетину, замінювався на контур. Оскільки через O проходить тільки контурне навантаження підмережі перетинань, то цей етап не дає зворотної реакції на підмережі.

2. Д.п.в. C' змінювалась на к.п.в. C , аналогічна зміна має бути зроблена в підмережах. Проводимо заміну д.п.в. C' у другій підмережі на к.п.в., яка протилежна перетворенню.

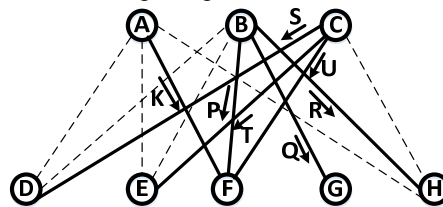


Рис.6. Оптимальне проходження навантаження

Негативних координат у вектора l' не виникло. Зворотної реакції на першу підмережу немає і в ній відсутні негативні координати у вектора l' , т.ч. оптимізація по частинах завершена.

Повний час затримки дорівнює сумі добутків навантажень Y на відповідні l' : $T_{чз}=20$ мс. Отже, оптимізовано проходження навантаження за критерієм оптимальності часу затримки (рис.6).

4.ОЦІНКА ЧАСУ ЗАТРИМКИ СЕРВІСІВ У ВУЗЛАХ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ.

На основі статистичних даних мережевого трафіку розроблено імітаційну модель обслуговування черг транспортної мережі (рис.7) з використанням пріоритезації. Дана модель являє собою послідовність операцій написаних в програмі MatLab.

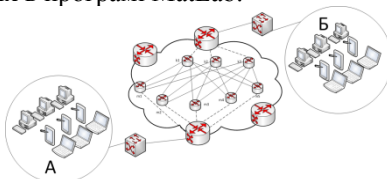


Рис. 7. Модель досліджуваної транспортної телекомунікаційної мережі

На вузли А, В, С, телекомунікаційної мережі надходить навантаження (агрегований потік) з середнім значенням $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (рис.8).

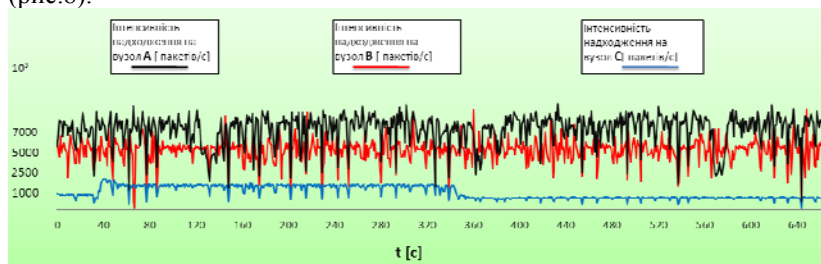


Рис.8. Залежність інтенсивності навантаження на транспортних вузлах протягом тривалості моделювання

У роботі здійснено порівняльний аналіз алгоритмів обслуговування черг в мережевих транспортних вузлах за критерієм часу затримки при передаванні мультисервісних послуг. Оцінено час затримки у мережевому вузлі для кожного із сервісів (рис.9).

Отримані дані параметрів QoS для кожного потоку відповідно до алгоритму обслуговування черг відображено на рис. 9 для нагляднішого аналізу та оцінки якості обслуговування кожного сервісу певним алгоритмом. Найкращими алгоритмами для забезпечення якості надання послуг із найменшою мережевою затримкою є WFQ.

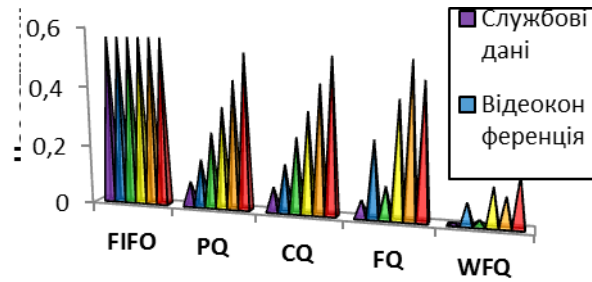


Рис. 9. Час затримки кожного потоку при використанні відповідного алгоритму обслуговування

5. ВИСНОВКИ

Вперше для телекомунікаційних задач використано методику розрахунку багатшарових структур за допомогою лінійного програмування методом діакоптики.

Розроблено алгоритм функціонування оптимізаційної моделі багатшарових телекомунікаційних структур за допомогою лінійного програмування методом діакоптики

Представлено постановку і розв'язок транспортної задачі, що дає змогу досягти оптимального розподілу інформаційних потоків та забезпечити необхідну якість обслуговування одночасно на всіх рівнях багатшарової мережі.

Проведено порівняльний аналіз алгоритмів обслуговування черг в транспортних телекомунікаційних мережевих вузлах для визначення оптимальної часової затримки сервісів.

1. Агеев Д.В. Моделирование современных телекоммуникационных систем многослойными графами // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – №1(1). – С. 23–34. 2. Крон Г. Исследование сложных систем по частям-диакоптика. – М.: «Наука». 1972. – 544с. 3. Стрихалюк Б.М., Климаш М.М., Кайдан М.В. Тензорне подання топологічних структур торoidalних мереж// Вісник НУ «ЛП» Радіоелектроніка та телекомунікації.- 2008 р. - №618. - С.138-145.