

МЕТОДИ СТРУКТУРНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглядаються методи вирішення задач оцінювання існуючих, а також параметричного і структурного синтезу перспективних топологій волоконно-оптичних мереж передачі даних спеціального призначення з урахуванням вимог до топології системи передачі даних, особливостей рельєфу місцевості та технічних можливостей засобів зв'язку.

Ключеві слова: система передачі даних, структурний та параметричний синтез, топологія мережі.

Y.O. TSAREV

National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi (Khmelnytskyi)

METHODS OF STRUCTURAL AND PARAMETRICAL SYNTHESIS OF OPTICAL-FIBER NETWORKS OF SPECIAL PURPOSE DATA TRANSMISSION

The methods for solving problems of evaluating existing, and also parametric and structural synthesis of perspective topology of optical-fiber networks of special data transmission taking into account requirements to data transmission topology system, peculiarities of terrain and technical possibilities of communication facilities are considered.

Tasks of evaluating and synthesis (optimisation) of different structures and parameters of optical-fiber systems of special data transmission are performed using the offered methods. With the help of the considered methods were evaluated and optimization of the existing structure, SDT, and structural and parametric synthesis of promising SDT special purpose.

Keywords: data transmission system, structural and parametrical synthesis, network topology.

Вступ

На сьогоднішній день залишається актуальною задача оптимізації структури та параметрів волоконно-оптичних мереж передачі даних спеціального призначення. Задача є в достатній мірі складною тому, що вона є багатокритеріальною і дискретною. При цьому критерій, що описує якість і надійність мережі завжди суперечить критерію вартості мережі. Крім того, критерій якості мережі є певним узагальнюючим поняттям, яке містить у собі такі параметри як живучість, надійність та завадозахищеність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що існуючим системам передачі даних (СПД) спеціального призначення властиві наступні основні недоліки: низький рівень живучості, високі затримки часу в передачі даних, значні капітальні й експлуатаційні витрати [1, 2]. Одним із напрямків усунення зазначених недоліків є структурна та параметрична оптимізація існуючих та синтез перспективних територіально розподілених волоконно-оптичних систем передачі даних. Однак у зв'язку з великими обсягами початкових даних і відсутністю ефективних інженерних методик вирішення даної задачі виникає необхідність у розробці спеціальних методів параметричного і структурного синтезу перспективних СПД

Метою статті є розробка методів синтезу структури та параметрів волоконно-оптичних СПД спеціального призначення.

Вклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо більш детально вирішення задач оцінювання, оптимізації існуючих та синтезу перспективних структурно стійких СПД.

Задача оцінювання структури СПД формулюється в такий спосіб. Є N вузлів n_1, \dots, n_N і задані координати їхніх місць дислокації. Обмін інформацією між ними здійснюється відповідно до матриці інтенсивностей $H = \|h_{ij}\|$ розміру $N \times N$, де h_{ij} – обсяг інформації, переданий від абонента n_i до абонента n_j в одиницю часу. Для всіх m каналів відома функція вартості $C_{ij}(l_{ij}, d_{ij}, h_{ij})$ каналу зв'язку з пропускнуою здатністю d_i і довжиною l_i . Потрібно оцінити наступні показники якості СПД: надмірність структури R_s , нерівномірність структури N_s , діаметр структури D_s , компактність структури B_s , ступінь централізації структури C_s , стійкість структури СПД F_s [1–3].

Аналіз типових структур (рис. 1) показує, що показники R_s, N_s, D_s, B_s і C_s (табл. 1) характеризують їх живучість, надійність, завадостійкість, продуктивність і вартість. Отже, за допомогою цих показників знаходиться та здійснюється оцінка стійкості системи в структурному відношенні СПД F_s . Задача синтезу топології СПД формулюється в такий спосіб. Дано N абонентів. Місця дислокації абонентів задані координатами $\{X_i, Y_i\}, \dots, \{X_N, Y_N\}$. Швидкість обміну інформацією у всіх абонентів однакова і дорівнює V . Відома функція вартості каналу зв'язку з пропускнуою здатністю d_{ij} і довжиною l_{ij} . Задана допустима величина витрат на створення стійкої структури СПД W_0 . Потрібно синтезувати таку структуру СПД, у якій досягається максимальний рівень структурної стійкості F_s за умови, що величина витрат не перевищує задану величину W_0 .

Процес синтезу включає наступні три етапи: визначення початкової структури СПД; введення в СПД структурної надмірності; оптимізація структури СПД. Синтез топології здійснюється з урахуванням особливостей рельєфу місцевості і реально існуючих технічних засобів зв'язку, характеристики яких зберігаються у базі даних технічних засобів.

Аналіз показників

№ п/п	Тип структури	m	R_s	N_s	D_s	B_s	C_s	F_s
1	Зірка	8	0	1	2	0,778	1	0,196
2	Дерево	8	0	0,558	4	1,444	0,649	0,166
3	Кільцеве дерево	9	0,125	0,722	3	1	0,714	0,236
4	Розподілена зірка	9	0,125	0,626	3	1,083	0,64	0,259
5	Нерегулярна	9	0,125	0,552	4	1,222	0,743	0,185
6	Кільце	9	0,125	0	4	1,5	0	0,407
7	Решітка	12	0,5	0,044	4	1	0,571	0,372
8	Радіально-кільцева	18	1,25	0,014	2	0,556	0,265	0,627
9	Регулярна	16	1,0	0	2	0,5	0	0,666
10	Повний взаємозв'язок	36	3,5	0	1	0	0	0,95

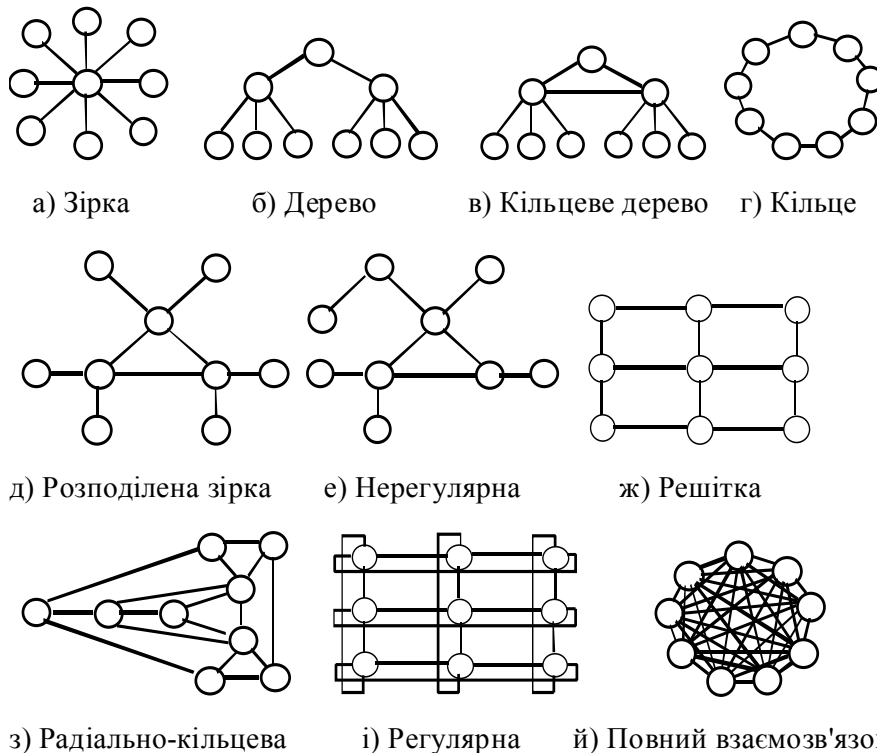


Рис. 1. Типи структур СПД

Розглянемо більш детально етапи синтезу топології СПД.

На першому етапі визначається оптимальна кількість вузлів комутації (ВК) і їх розміщення в географічному відношенні, а також перелік джерел і споживачів інформації, що обслуговуються кожним ВК.

Для цього етапу характерно, з одного боку, невизначеність типу майбутньої структури, а з іншого – відсутність точних початкових даних, особливо в частині обсяго-часових характеристик потоків інформації. Тому тут використовується одна з найпростіших моделей оптимізації, яка дозволяє отримати допустиме рішення за умови, що абонентська комунікаційна мережа будується по типу структури "зірка", а міжвузлова комунікаційна мережа має тип структури "кільце". Така топологія СПД обумовлена малими витратами на її створення при забезпеченні мінімально необхідного рівня стійкості.

Введення в СПД структурної надмірності здійснюється на другому етапі. Структурна надмірність припускає можливість передачі інформації між будь-якою парою абонентів за декількома маршрутами. Під введенням структурної надмірності розуміється введення додаткового ребра між парою абонентів, які мають найменший рівень структурної стійкості.

На третьому етапі визначається оптимальна структура та параметри СПД. На цьому етапі синтезується структура СПД, реалізація якої не повинна перевищувати заданої вартості. З цією метою використовуються алгоритми вилучення й перестановки гілок [3]. Після кожної структурної зміни обчислюються структурна стійкість та вартість топології СПД, щоб визначити поліпшення або погіршення цих показників структури. Якщо після виконання процедур третього етапу приведені витрати на СПД перевищують допустимі витрати, то в інтерактивному режимі підключається алгоритм вилучення гілок. За допомогою цього режиму розробник має можливість на свій вибір позначати гілки, які необхідно вилучити. При цьому після кожного позначення здійснюється розрахунок параметрів СПД, її вартості і структурної

стійкості.

При рішенні задачі синтезу виконуються наступні алгоритми: визначення початкової структури системи передачі даних, введення структурної надмірності, вилучення гілок, перестановки гілок та вилучення гілок в інтерактивному режимі.

Задача оптимізації структури СПД, на відміну від рішення задачі синтезу, виконується лише в два етапи: введення надмірності і оптимізації (вилучення та перестановка гілок). Це викликано тим, що при рішенні задачі синтезу на першому етапі створюється початкова структура, а у існуючій СПД така (початкова) структура уже є. У даному випадку задача оптимізації структури СПД формулюється в такий спосіб. Дано початкову структуру з N абонентами. Місця дислокації абонентів задані координатами $\{X_1, Y_1\}, \dots, \{X_N, Y_N\}$. Швидкість обміну інформацією у всіх абонентів однакова і дорівнює V . Відома функція вартості каналу зв'язку з пропускну здатністю d_{ij} і довжиною l_{ij} . Задана допустима величина витрат на підвищення структурної стійкості СПД W_0 . Потрібно знайти таку структуру СПД, в якій досягається максимальний рівень структурної стійкості F_s за умови, що величина витрат не перевищує задану величину W_0 .

При рішенні задачі оптимізації підключаються ті ж самі алгоритми, крім алгоритму синтезу початкової структури тому, що оптимізація здійснюється на основі структури, яка вже існує.

Розглянемо рішення задачі синтезу топології СПД до максимального рівня стійкості системи при мінімальних витратах на її створення і експлуатацію.

Нехай задані вузли мережі зв'язку і їхні координати $V_{xi}, V_{yi}, i=1, \dots, n$. Всі можливі для даних вершин топології утворюють множину L . Ставиться задача знайти таку топологію $l_i \in L$ щоб критерій якості мережі $F_s(l_{ie})$ приймав максимальне значення, а вартість будівництва та експлуатації мережі $W(l_i)$ була мінімальна.

При розв'язанні даної задачі синтезу розглянемо можливе застосування методу скалярної згортки за нелінійною схемою компромісів [4, 5].

Нехай задана множина можливих розв'язків $X \subset E^n$, що складається з векторів $x = \{x_i\}_{i=1}^n$ n -мірного Евклідового простору, компоненти яких можуть приймати тільки дискретні значення: $x_i = x_i^{(j)}, j \in [1, J_i], J_i \geq 2, i \in [1, n]$. Рішення приймається при зовнішніх впливах, що описуються вектором r , заданим на множині можливих факторів R . Ситуація, що складається в результаті прийняття багатокритеріального рішення x у заданих умовах r , характеризується декартовим добутком $C = X \times R$.

Якість рішення оцінюється за сукупністю окремих суперечливих критеріїв, що утворюють s -мірний вектор $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s$, що визначений на множині X . Вектор часткових критеріїв обмежений допустимою областю: $y \in M$ [6].

Ставиться задача: визначити таке рішення $x^* \in X$, що при заданих умовах, зв'язках і обмеженнях оптимізує вектор ефективності $y(x)$.

Не втрачаючи загальності будемо вважати, що всі часткові критерії потребують мінімізації і що вони невід'ємні та обмежені, запишемо

$$M = \{y \mid 0 \leq y_k(x) \leq A_k, k \in [1, s]\}.$$

Тут $A = \{A_k\}_{k=1}^s$ – вектор обмежень. Дана система нерівностей являє собою структурований вираз (паралелепіпед) допустимої області $y \in M$.

Визначення багатокритеріального рішення за своєю природою компромісне. Обравши схему компромісів, можна перейти від загального векторного виразу до скалярної згортки окремих критеріїв, що є основою для побудови конструктивного апарату рішення багатокритеріальних задач. Якщо використовується спосіб скалярної згортки, то математично модель рішення задачі векторної оптимізації запишеться у вигляді

$$x^* = \arg \min_{x \in X} Y[y(x)],$$

де $Y(y)$ – скалярна функція, яка має зміст скалярної згортки вектора часткових критеріїв, вигляд якої залежить від обраної схеми компромісів.

Основна складність переходу від векторного критерію якості до скалярної згортки полягає в тому, що вона повинна являти собою конгломерат окремих критеріїв, важливість кожного з яких у загальній оцінці змінюється в залежності від ситуації. У різних ситуаціях ранг "найбільш важливого" можуть одержувати різноманітні часткові критерії. Іншими словами, скалярна згортка часткових критеріїв повинна бути виразом схеми компромісів, що адаптується до ситуації.

Перевагою концепції нелінійної схеми компромісів є можливість прийняття багатокритеріального рішення формально, без особистої участі людини. Апарат нелінійної схеми компромісів, розроблений як формалізований інструмент для дослідження систем керування із суперечливими критеріями, дозволяє практично вирішувати багатокритеріальні задачі широкого класу.

Таким чином при розрахунку узагальненого критерію використовується вираз

$$\Phi = K_{\Phi 1} (1 - F_s)^{-1} + K_{\Phi 2} (1 + \varepsilon - W)^{-1} \text{ при } \sum_{i=1}^2 K_{\Phi i} = 1,$$

де ε – деяка достатньо мала величина, яка служить для того, щоб уникнути ділення на нуль при $W=1$. При значеннях W близьких до 0 цей коефіцієнт мало впливає на значення узагальненого критерію. При наближенні W до 1 (напружена ситуація) його вплив на узагальнений критерій збільшується. Даний підхід

можна використовувати тільки у випадку, якщо точно відомо значення W_{max} . У випадку, якщо W_{max} невідомо, можлива ситуація коли W більше 1, у цьому випадку можливо ділення на 0 при розрахунку узагальненого критерію. У нашому випадку W_{max} легко підрахувати – це вартість будівництва повнозв'язної мережі (усі вершини сполучені безпосередньо з усіма).

У цьому випадку оптимізація відбувається шляхом вибору оптимального ребра для видалення на кожному кроці ітераційного процесу.

В якості додаткових параметрів настроювання оптимізаційного процесу виступають: *кількість ітерацій* (I_{max}) і *ознака зупинки* при відсутності листів дерева оптимізації з кращими показниками ніж нетермінальні вузли.

Для проведення оптимізації будується повнозв'язна мережа, а потім відбувається видалення ребер у відповідності зі значенням узагальненого критерію. Для проведення оптимізації будується дерево оптимальних рішень. Його вузлами є варіанти мереж, а ребрами – факт видалення одного відповідного ребра з мережі верхнього рівня. Таким чином, чим нижче ми просуваємося по дереву, тим більше ребер вилучається і тим менше їх залишається. На кожному наступному кроці вибирається термінальна вершина дерева з найкращим значенням узагальненого критерію оптимізації і розглядаються всі можливі варіанти видалення одного ребра з обраної мережі. Всі отримані варіанти і значення узагальненого критерію заносяться до дерева оптимізації, а обрана вершина перетяє бути термінальною. Тепер знову вибирається найкраща термінальна вершина і процес повторюється поки не вичерпаються всі термінальні вершини, не вичерпається лічильник ітерацій або (при включеній *ознаці зупинки*) не трапиться ситуація коли оптимальне рішення не буде належати термінальному вузлу.

Алгоритм може бути перерваний на будь-якій ітерації. У цьому випадку ми одержуємо кращий результат для даної кількості ітерацій.

Розглянемо алгоритм оптимізації.

Крок 0. Створити повнозв'язну мережу і встановити її в якості кореня дерева оптимізації S_0 .

Крок 1. Знайти в дереві оптимізації лист із найкращим значенням узагальненого критерію (на першому кроці це буде корінь дерева – тому що він єдиний вузол дерева) $S = S_l$. Обчислити всі можливі варіанти видалення одного ребра з мережі і отриманий результат занести до дерева оптимізації. Повторювати цей крок поки не досягне межі лічильник кількості ітерацій або не залишиться жодного допустимого термінального вузла.

За допомогою розглянутих методів проводились оцінювання і оптимізація існуючої структури СПД, та структурний і параметричний синтез перспективної СПД спеціального призначення. Як показують результати досліджень, застосування цих методів дозволило підвищити стійкість топології СПД при різних умовах рішення задачі оптимізації на 20–30 %.

Висновки

Таким чином, при використанні запропонованих методів забезпечується вирішення задач оцінювання і синтезу (оптимізації) різноманітних структур та параметрів волоконно-оптичних СПД спеціального призначення з урахуванням вимог до їх топології, особливостей рельєфу місцевості та технічних можливостей засобів зв'язку.

Література

1. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга. – К. : Техніка, 1986. – 168 с.
2. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 199 с.
3. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М. : Наука, 1982. – 200 с.
4. Сложные технические и эргатические системы / [А.М. Воронін, Ю.К. Зіатдінов, А.В. Харченко та ін.]. – Харків : Факт, 1997. – 240 с.
5. Векторная оптимизация динамических систем / [А.М. Воронін, Ю.К. Зіатдінов та ін.]. – К. : Техніка, 1999. – 284 с.
6. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М. : Сов. радио, 1975. – 200 с.

References

1. Zajchenko Ju.P. Strukturnaja optymyzacija setej ЭВМ / Ju.P. Zajchenko, Ju.V. Ghonta. – K.: Tekhnika, 1986. – 168 s.
2. Nykolaev V.Y. Systemotekhnika: metody y prylozhenija / V.Y. Nykolaev, V.M. Bruk. – L.: Mashynostroenye, Lenynghr. otd-nye, 1985. – 199 s.
3. Cvyrkun A.D. Osnovy synteza struktury slozhnykh system / A.D. Cvyrkun. M.: Nauka, 1982. 200 s.
4. Slozhnye tekhnicheskyye y earghatycheskyye systemy / A.M. Voronin, Ju.K. Ziatdinov, A.V. Kharchenko ta in. – Kharkiv: Fakt, 1997. – 240 s.
5. Vektornaja optymyzacija dynamycheskykh system / A.M. Voronin, Ju.K. Ziatdinov ta in. – K.: Tekhnika, 1999. – 284 s.
6. Cvyrkun A.D. Struktura slozhnykh system / A.D. Cvyrkun. M.: Sov. radyo, 1975. 200 s.

Рецензія/Peer review : 6.9.2014 р. Надрукована/Printed : 1.10.2014 р.
Рецензент: д.т.н., проф. М.І. Лисий