

Математичні моделі та методи

УДК 681.324

О.В. Барабаш¹, В.В. Кіреєнко²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОДУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Стаття присвячена адаптації відомих евристичних алгоритмів для вирішення задач забезпечення структурної надійності системи передачі радіолокаційної інформації із застосуванням методів налаштування їх параметрів до вирішення поставлених задач з використанням евристичного підходу. Зважаючи на характер ієрархічної побудови існуючої системи передачі радіолокаційної інформації дослідження проводились за допомогою графової моделі, а саме розглядалися питання побудови оптимально-зв'язних структур. Ефективність вирішення задач впливає в кінцевому результаті на якість отриманих рішень. Так як синтез топології системи передачі радіолокаційної інформації пов'язано з витратами на прокладку резервних каналів передачі та їх обслуговування, то якість отриманих структур системи має важливе значення. На основі отриманих результатів з'являється можливість оптимальним чином обирати необхідну структуру системи передачі радіолокаційної інформації за критерієм максимуму функціональної стійкості.

Ключові слова: система передачі радіолокаційної інформації, неорієнтований граф, структура.

Вступ

Постановка проблеми. При вирішенні задачі проектування та модернізації топології системи передачі радіолокаційної інформації (СПРІ) в якості моделей використовується орієнтовані та неорієнтовані графи, мережі Петрі, моделі масового обслуговування, нечіткі графи, гіперграфи. Відношення між елементами структури СПРІ формалізуються шляхом використання математичного апарату теорії графів.

Проте інформаційні технології при визначенні оптимальної побудови СПРІ, як основи для проведення всіх розрахунків даної складної системи, практично не використовуються, а це, як наслідок, спричиняє неповне використання бойових можливостей угрупованням радіотехнічних військ.

Для вирішення задач визначення оптимальної топології системи передачі радіолокаційної інформації розглянемо можливість застосування наступних евристичних алгоритмів: генетичного, імунного та методу імітації отжигу.

Для синтезу оптимальних топологій СПРІ з використанням евристичних алгоритмів вирішуються такі задачі: побудова функцій кодування (декодування) задачі до зручного вигляду для роботи евристичних алгоритмів; побудова функції оцінювання згенерованих результатів; розробка методу генерації початкової множини рішень; розробка способу відбору рішень на наступну ітерацію алгоритму; налаштування параметрів евристичного алгоритму.

Ефективність вирішення запропонованих задач в кінцевому рахунку впливає на якість отриманих

результатів. Розглянуті евристичні алгоритми є ітераційними. На кожному етапі відбувається формування нових рішень на основі вже існуючих та відбір на нову ітерацію найбільш ефективних.

На кожній ітерації евристичні алгоритми будуть опрацьовувати деяку множину топологій. Евристичні алгоритми продовжують свою роботу до тих пір, поки дозволяють обмеження, або не буде згенерована задана кількість ітерацій. У множині рішень будуть отримані результати заданої якості.

Недоліки існуючих методів і алгоритмів визначення оптимальної побудови СПРІ обумовлені наявністю внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів, які на етапі побудови не враховуються, але є достатньо суттєвими. Практична відсутність комп'ютеризації підтримки рішення при побудові СПРІ в сукупності вимагають пошуку вирішення цієї задачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Об'єм і характер розв'язуваних системами передачі радіолокаційної інформації задач, а також вимоги, що висуваються до їх рішення, в значній мірі визначають принципи побудови СПРІ. Науково-обґрунтовані підходи до побудови СПРІ [1 – 3] відкривають нові можливості для підвищення виконання завдань за призначенням, підвищення надійності і живучості радіотехнічних комплексів у цілому. Разом з тим, зростає необхідність підвищення показників ефективності СПРІ, тому що прорахунки у побудові структури СПРІ можуть привести до суттєвих негативних наслідків.

Аналіз літератури показав [4 – 6], що особливості функціонування СПРІ вимагають обґрунтованих підходів до підвищення ефективності. Існуючі

особливості роботи СПРІ дозволили зробити висновок про те, що, незважаючи, на діючи підходи до її побудови, досліджувані в них математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати процес функціонування СПРІ.

Метою статті є адаптація евристичних методів для визначення оптимальної побудови структури системи передачі радіолокаційної інформації та подальшим оцінюванням функціональної стійкості.

Виклад основного матеріалу дослідження

При вирішенні завдань синтезу топологій мереж, побудованих на великій кількості вузлів, точні алгоритми побудови рішень не працюють. Тому застосовуються евристичні методи. Проте, при проектуванні топологій мереж евристичними методами в результаті роботи класичних операторів, таких, як кросовер і мутація генерується значна частка неприпустимих рішень, що представляють собою незв'язні граф-моделі. Аналіз робіт [1, 2, 5] в цій області показав, що автори враховують цю особливість, як правило, відкидаючи неприпустимі рішення.

Евристичні алгоритми [6, 7], працюють з бітовими рядками що описують рішення. Тому необхідно розробити механізми кодування топологій мережі передачі даних в бітовий рядок та її декодування. При цьому від способу кодування і розміру бітового рядка залежить обчислювальна складність алгоритмів.

Початковим етапом під час вирішення оптимізаційної задачі є визначення простору множини всіх можливих рішень. У загальному вигляді це є простором потенційних рішень з заданими обмеженнями, що містить множини зв'язних топологій структури системи передачі радіолокаційної інформації.

Необхідно розробити методи коректування отриманих неприпустимих рішень, забезпечивши їх різноманітність з метою якісного дослідження області допустимих рішень, дослідження структурних зв'язків граф-моделі мережі і локалізації уразливих структурних частин СПРІ.

Крім того, модернізація СПРІ є ітераційним процесом, побудованим на аналізі топології існуючої мережі. Синтез її структури направлено на урахування сукупності обмежень, що існує на практиці при формуванні множини альтернативних рівноцінних рішень для їх подальшого дослідження. Вибір одного рішення здійснюється із застосуванням експертних методів та повторення ітерацій аналізу і синтезу у разі виявлення нових обмежень та формування вимог до функціональної стійкості СПРІ.

Для подальших досліджень скористуємось математичною моделлю у вигляді неорієнтованого графа [2], вузлам і ребрам відповідають кінцеві пункти (вузли комутації) і лінії передачі

$$G(V, L), \quad V = \{i\}, \quad L = \{l_{ij}\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Вважатимемо, що у графі $G(V, L)$ відсутні орієнтовані ребра, оскільки передача інформації в реальних СПРІ про повітряну обстановку здійснюється в двох напрямках. Вважатимемо, що в графі відсутні петлі та кратні ребра. Граф можна задати 3 способами:

– матрицею зв'язності розміром n

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i, j = 1 \dots n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } l_{ij} \in L; \\ 0, & \text{при } l_{ij} \notin L. \end{cases} \quad (1)$$

– списком суміжності, якому кожній вершині N_{V_i} ставиться у відповідність список вершин, суміжних з v_i . Під цей список досить відвести $\deg(v_i)+1$ чарунок – по одній на кожен елемент і одна чарунка для позначення кінця списку. Крім того, формується список $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$, де N_i – номер чарунки, у якій зберігається перший елемент списку. Отже, такий спосіб представлення графа вимагає $m = |L|$ чарунок пам'яті;

– матрицею інцидентності розмірністю $n \times m$.

Запишемо параметри досліджуваних рішень у вигляді бінарного рядка розмірністю $n^*(n-1)/2$, який дорівнює потужності множини E^{all} . Кожному елементу множини E^{all} ставиться відповідна змінна, яка визначає приналежність даного елемента до множини E^* . Нехай кожна змінна x_i для i -го елемента ($i = 1, \dots, n^*(n-1)/2$) у множині E^{all} може приймати тільки два значення:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо ребро } e_i \text{ існує;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2)$$

У відповідності з (2), постановка задачі побудови оптимальної топології СПРІ має такий вигляд:

$$\begin{cases} Q(x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_m^{opt}) = opt Q(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*); \\ X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) \in T^{allow}, \end{cases} \quad (3)$$

де $Q(x)$ – цільова функція, $X = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ – множина допустимих рішень, $x_1^{opt}, x_2^{opt}, \dots, x_m^{opt}$ – оптимальне рішення.

Зазначмо, якщо змінна x_i буде мати s значень, то для її кодування буде потрібний бінарний підрядок довжиною $\log(2s)$, а загальна довжина бітового рядка, буде відповідно дорівнювати $E^* \log(2s)$. Кожний параметр цільової функції кодується за допомогою одного біта бітового рядка, тобто значення i -го біта бітового рядка відповідає значенню параметру.

В якості прикладу кодування розглянемо елемент типової структури СПРІ, яка представлена на (рис. 1), а її граф-модель відповідно на рис. 2.

Якщо в топології структури СПРІ можливо реалізувати будь-який канал зв'язку, то цільова функція $Q(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$ залежить від значень аргументів, тобто розмірність матриці інцидентності буде дорівнювати $n \times m$ (рис. 3).

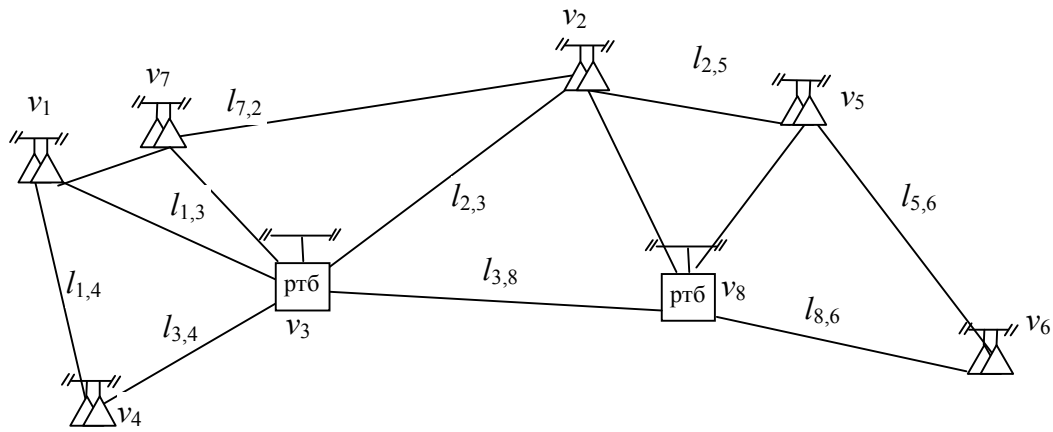


Рис. 1. Елемент структури СПРІ

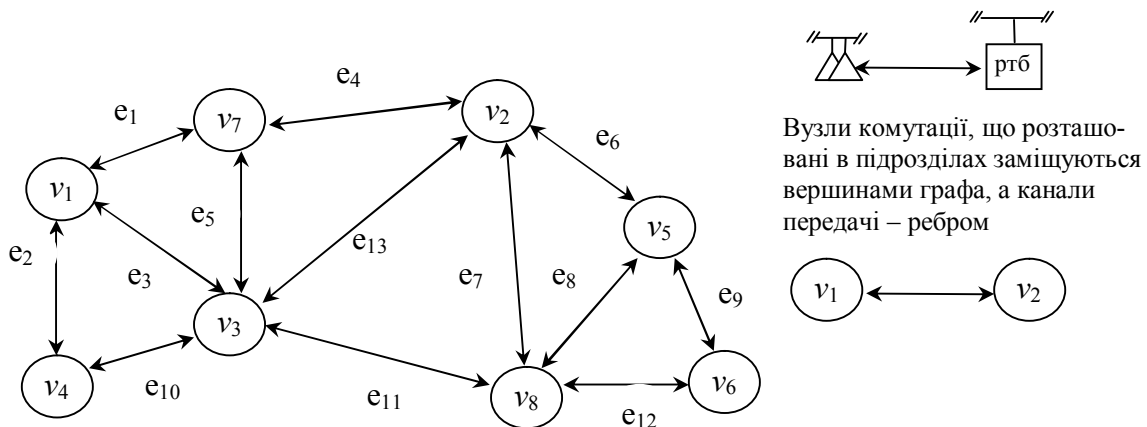


Рис. 2. Неорієнтований граф структури СПРІ

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}	e_{16}	e_{17}	e_{18}	e_{19}	e_{20}	e_{21}	e_{22}	e_{23}	e_{24}	e_{25}	e_{26}	e_{27}	e_{28}	
v_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_2	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_7	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Приклад повної матриці інцидентності структури СПРІ

При цьому наявність одиничного значення змінної x_i визначає існування ребра e_i . Наприклад, x_2 визначає існування e_2 .

Тоді бітовий рядок, який кодує рішення топології структури СПРІ має наступний вигляд (рис. 4).

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	\dots	x_{28}
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---------	----------

Рис. 4. Бітовий рядок, який кодує рішення

Таким чином, графу, що представлено на рис. 2, буде відповідати згенерований бітовий рядок (рис. 5).

1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	\dots	\dots	\dots	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------	---------	---------	---

Рис. 5. Значення бітового рядка

Після завершення ітераційних процесів роботи евристичних алгоритмів необхідно виконати декодування отриманого результату, тобто виконати перетворення бітового рядка в топологію структури. Задача функції декодування полягає у відображенні бітового рядка X у рішення, тобто множина E^* , яка описує оптимальну топологію структури СПРІ. Декодування бітового рядка у множині E^* здійснюється наступним чином.

Елемент e_1 множини E^{all} , який описується матрицею інцидентності, додаємо до множини $E^*(e_1 \in E^*)$, якщо відповідне значення $b_i = 1$ та елемент множини $E^*(e_1 \notin E^*)$, якщо відповідне значення $b_i = 0$, де b_i – біт з номером i бітового рядка X .

Після отримання множини ребер E^* результат видається у вигляді неорієнтованого графу G .

На практиці, при вирішенні задачі синтезу топології структури системи передачі радіолокаційної інформації, особливо при введенні оптимальним чином додаткової лінії зв'язку, на існуючу структу-