

## АВТОМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ УПРАВЛІННЯ ЗА ПОКАЗНИКОМ СКЛАДНОСТІ

к.т.н. М.І. Гіневський, к.т.н. Ю.О. Акімова, І.І. Кучинський, Н.Ю. Любченко  
(подав д.т.н., проф. А.В. Корольов)

*Пропонується методика автоматичного синтезу альтернативних варіантів управління в мережних задачах і вибору оптимального варіанта за показником складності.*

**Вступ.** У існуючих методах розв'язання оптимізаційних задач у мережах [1 – 3] вихідні альтернативні варіанти і критерії вибору з них оптимального, як правило, визначаються особою, яка приймає рішення. Але можливий і автоматичний синтез альтернативних варіантів шляхом побудови дерева досяжності на основі аналізу властивостей елементів мережі, представлені матрицею інциденцій. Як критерії вибору оптимального варіанта звичайно приймають час, витрати на переміщення в мережі або інші техніко-економічні показники. З метою зменшення впливу суб'єктивної складової пропонується використовувати коефіцієнт складності  $K_c$  варіанта, що дозволяє неявно об'єднати основні техніко-економічні показники, і розрахованого в залежності від сформованої ситуації. При цьому інформація про структуру і властивості мережі зберігається в базі знань і коректується відповідно до зміни ситуації.

**Мета статті та постановка задачі.** Задамо мережу  $G$  у вигляді сукупності множин

$$G = \{S, P, \varphi\}, \quad (1)$$

де  $S$  – множина вершин (вузлів);  $P$  – множина дуг (зв'язків);  $\varphi$  – множина вихідних інциденцій вигляду  $\varphi : S \rightarrow P^\infty$ . Необхідно синтезувати всі альтернативні варіанти управління по переміщенню з вершин  $S_{\text{поч}}$  у  $S_{\text{кін}}$  і вибрати з них оптимальний за коефіцієнтом складності  $K_c$ . Наприклад, нехай є мережа, яка представлена на рис. 1, і задані початкові дані: початковий пункт (вершина)  $S_{\text{поч}} = S_{10}$ , кінцевий пункт  $S_{\text{кін}} = S_{13}$  і є інформація про довжину кожної ділянки  $P_j$  (множина  $D$ ) і кількості об'єктів на них (множина  $Z$ ). Дані по множинах  $Z$  і  $D$  наведені в табл. 1. Необхідно знайти всі альтернативні варіанти переміщення з  $S_{10}$  у  $S_{13}$  і вибрати з них такий, щоб  $K_c \rightarrow \min$ .

**Формалізація задачі.** Складемо функцію вихідних інцидентів  $\varphi$  вигляду  $\varphi : S \rightarrow P^\infty$  таким чином, щоб  $\varphi(S_1) = \{P_1, P_2\}$ ;  $\varphi(S_3) = \{P_4, P_7, P_8\}$ ;  $\varphi(S_{10}) = \{P_5, P_2\}$ ;  $\varphi(S_2) = \{P_1, P_3, P_4\}$ ;  $\varphi(S_6) = \{P_{10}, P_{11}\}$ ;  $\varphi(S_{11}) = \{P_8, P_9\}$ ;  $\varphi(S_3) = \{P_3, P_6\}$ ;  $\varphi(S_7) = \{P_{12}, P_{14}\}$ ;  $\varphi(S_{12}) = \{P_{13}, P_9, P_5\}$ ;  $\varphi(S_4) = \{P_6, P_{11}, P_{15}\}$ ;  $\varphi(S_8) = \{P_7, P_{10}, P_{12}\}$ ;  $\varphi(S_{13}) = \{P_{15}, P_{16}\}$ ;  $\varphi(S_9) = \{P_{14}, P_{13}, P_{16}\}$ .

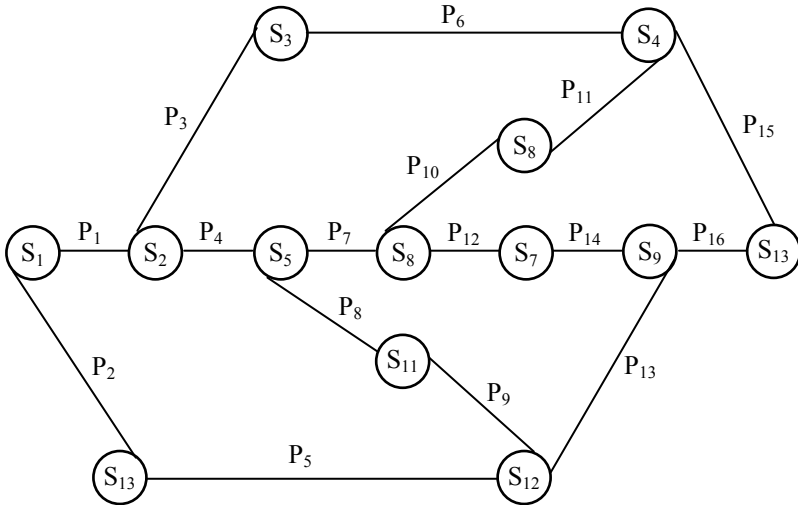


Рис. 1. Графічна інтерпретація мережі G

Таблиця 1

Параметри множин мережі G

$P_j$	$Z_j$ (шт)	$D_j$ (м)	$P_j$	$Z_j$ (шт)	$D_j$ (м)
1	0	155	9	0	60
2	3	230	10	0	60
3	0	275	11	1	50
4	0	140	12	1	90
5	2	550	13	2	170
6	5	340	14	0	45
7	0	170	15	1	270
8	0	50	16	0	130

Представимо мережу у вигляді матриці інцидентів  $A$ , рядки якої відповідають вершинам, а стовпці – дугам [3]. Тоді кожен елемент матриці  $A$  визначається наступним чином:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } P_j \in O(S_i); \\ 0, \text{ у протилежному разі.} \end{cases} \quad (2)$$

Матриця інцидентів для мережі G (рис. 1) наведена в табл. 2.

Використовуючи матрицю А, синтезуємо множину L всіх альтернативних варіантів шляхом побудови дерева досяжності.

Альтернативним варіантом  $L_k$  є рядок множини L, представлений у вигляді двовимірної матриці, що складається з множини зв'язків P. При цьому перший елемент  $L_k$  – зв'язок, що виходить із вершини  $S_{поч}$ , а останній – вхідний до вершини  $S_{кін}$ .

Таблиця 2

Матриця інциденцій для мережі G

S	P															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1														
2	1		1	1												
3			1			1										
4						1				1					1	
5				1			1	1								
6										1	1					
7												1		1		
8							1			1		1				
9													1	1		1
10		1			1											
11								1	1							
12					1				1				1			
13															1	1

Задамо правила обмеження дерева досяжності:

- вершина  $S_i$  – термінальна тоді, коли  $A_{ij} = 0$  при  $j = \overline{1, M}$ ;
- вершина  $S_i$  – кінцевий пункт тоді, коли  $S_i = S_{кін}$ ;
- вершина  $S_i$  – початковий пункт тоді, коли  $S_i = S_{поч}$ .

Складемо множину L, у якій кожен елемент формується таким чином:

$$P_j \in \begin{cases} L_k, & A_{ij} = 1 \wedge \Sigma l = 1 \wedge j \neq j_{вх}; \\ L_{z+1}, & A_{ij} = 1 \wedge \Sigma l > 1 \wedge j \neq j_{вх}; \\ \emptyset, & \text{у протилежному разі.} \end{cases} \quad (3)$$

де  $i$  – номер рядка,  $j$  – номер стовпця матриці А,  $j = \overline{1, M}$ ;  $j_{вх}$  – номер стовпця матриці А, за яким відбувається вхід у рядок  $i$  (у вершину  $S_i$ );  $k$  – поточний формований альтернативний варіант;  $z$  – кількість знайдених альтернативних варіантів.

**Алгоритм процедури синтезу.** 1. У базу знань заноситься інформація про структуру і властивості елементів мережі. Структура представляється окремою підбазою у вигляді матриці А(2).

2. Визначаються значення вихідних даних:  $S_{поч}$ ,  $S_{кін}$ ,  $S_i$ .

3. Перевіряються правила обмеження дерева для  $S_i$ . Якщо для  $S_i$  виконується хоча б одне правило, то  $S_i$  не розглядається.

4. За матрицею інциденцій  $A$  в рядку  $i$  знаходяться всі  $A_{ij} = 1$ .
5. Формується множина  $L$  елементами  $j$  матриці  $A$ , у яких  $A_{ij} = 1$  за правилом (3).
6. Для кожного останнього елемента  $X$  множини  $L$ , тобто  $L_{kb}$  і  $b = X$ , у стовпці  $j = L_{kb}$  матриці  $A$  знаходимо рядок  $i$ , у якому  $A_{ij} = 1$ . Знайдені значення  $i$  заносяться в множину  $T$ .
7. Формуються нові поточні значення змінних.
8. Якщо для всіх  $L_k$  виконуються правила обмеження (3), то алгоритм зупиняється і вважається, що множина  $L$  сформована. Інакше повторюється алгоритм, починаючи з п. 2.
9. Графічне та табличне зображення отриманої множини альтернативних варіантів  $L$ . Множина  $L$  представляється у вигляді матриці розміром  $D \times Y$ , де  $D$  – кількість альтернативних варіантів,  $Y$  – кількість зв'язків (шляхів  $P_j$ ) у варіанті. Далі будується дерево досягнення альтернативних варіантів.
10. Коефіцієнт складності може бути розрахований як [3]:

$$K_c = \frac{1}{m_1} \cdot \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^{m_1} \sum_{j=1}^{m_2} P_{ij} - 1, \quad (4)$$

де  $m_1$  – кількість вихідних вершин;  $m_2$  – кількість тупикових вершин;  $P_{ij}$  – кількість зв'язків, що ведуть з  $i$ -ї вершини в  $j$ -у.

Даний коефіцієнт враховує тільки кількість зв'язків, але не враховує їхніх властивостей. Тому пропонується розраховувати коефіцієнт складності для кожного синтезованого альтернативного варіанта за формулою

$$K_{c_k} = \sum_{j=1}^{N(L_k)} \frac{3_j}{D_j}, \quad k = \overline{1, M}, \quad (5)$$

де  $K_{c_k}$  – показник складності для  $k$ -го альтернативного варіанта;  $L_k$  –  $k$ -й альтернативний варіант;  $N(L_k)$  – кількість ділянок, що складають  $k$ -й альтернативний варіант;  $M$  – кількість варіантів множини  $L$ ;  $3_j$  – кількість об'єктів на  $j$ -й ділянці  $L_k$ -го варіанта;  $D_j$  – довжина  $j$ -ї ділянки  $L_k$ -го варіанта.

Запропонований коефіцієнт складності має розмірність

$$[K_{c_k}] = \text{шт/м}$$

і фізичний зміст: ступінь заповнювання  $1\text{м}$  довжини ділянки переміщення альтернативного варіанта  $K_{c_k}$ . Отже, він містить показники (завантаженість ділянок і їхню довжину), від яких залежать час і витрати на переміщення за кожним альтернативним варіантом.

Результати розрахунку  $K_c$  для розглянутого прикладу наведені в табл. 3.

11. Варіант, у якого розрахований  $K_c$  приймає мінімальне значення, є оптимальним. Отже, оптимальним варіантом, виходячи з досягнення

мінімального значення коефіцієнта складності, є шлях  $L_7 = \{P_5, P_9, P_8, P_7, P_{12}, P_{14}, P_{16}\}$ , у якого  $K_{c7} = 0,015$ .

Таблиця 3

Результати розрахунку  $K_c$

L	$K_c$	L	$K_c$
$P_2, P_1, P_3, P_6, P_{15}$	0,032	$P_5, P_{13}, P_{16}$	0,016
$P_2, P_1, P_4, P_8, P_9, P_{13}, P_{16}$	0,025	$P_5, P_9, P_8, P_7, P_{10}, P_{11}, P_{15}$	0,023
$P_2, P_1, P_4, P_7, P_{10}, P_{11}, P_{15}$	0,037	$P_5, P_9, P_8, P_7, P_{12}, P_{14}, P_{16}$	0,015
$P_2, P_1, P_4, P_7, P_{12}, P_{14}, P_{16}$	0,024	$P_5, P_9, P_8, P_4, P_3, P_6, P_{15}$	0,023

**Реалізація запропонованого алгоритму.** Алгоритм автоматичного синтезу альтернативних варіантів реалізований у середовищі операційної системи Windows XP на ЕОМ Pentium-1700 на мові програмування C++. Усі дані зберігаються в базі знань і коректуються з ініціативи користувача при зміні ситуації в системі. Вихідна інформація представляється в графічній або текстовій формі за бажанням користувача.

**Висновок.** Застосування інтелектуальних систем для підтримки прийняття рішень вимагає розробки спеціальних методів і програмного забезпечення. Запропонована формалізована модель та алгоритм реалізації вибору оптимального варіанта за показником складності складають основу методики автоматичного синтезу альтернативних варіантів управління в мережних задачах багатокритеріального управління процесом, яка дозволяє суттєво підвищити ефективність розглядаємого процесу незалежно від його галузевої належності та підвищити ефективність використання ресурсів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Йенсен П., Барнес Д. *Потоковое программирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 392 с.*
2. Джонсон Э. *Потоки в сетях // Исследование операций: В 2-х т.: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – С. 194 – 224.*
3. Саати Т. *Теория графов: некоторые методы и приложения / Исследование операций: В 2-х т.: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – С. 168 – 193.*

Надійшла 16.04.2004

**ГІНЕВСЬКИЙ Михайло Іванович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, начальник ІОЦ ХВУ. У 1969 р. закінчив Харківське ВКІУ. Область наукових інтересів – обробка інформації.

**АКІМОВА Юлія Олександрівна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Харківського філіалу Української академії банківської справи. В 1996 році закінчила мехмат ХДУ. Область наукових інтересів – оптимізація інформаційних систем.

**КУЧИНСЬКИЙ Ігор Іванович**, ст. помічник нач. НОВ ХВУ. Закінчив ХВВКІУ у 1979 році. Область наукових інтересів – розпізнавання образів.

**ЛЮБЧЕНКО Наталія Юрївна**, науковий співробітник НДВ ХВУ. Закінчила у 1986 році ХПІ. Область наукових інтересів – розпізнавання образів.