

УДК 656.256:681.32

О.Ю. КАМЕНЄВ

Українська державна академія залізничного транспорту, Україна

МЕТОДИ МАТРИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ПІДСИСТЕМИ ЛОГІЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ СТРІЛОК ТА СИГНАЛІВ

Розроблені методи аналітичної інтерпретації графічних моделей підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів з використанням топологічних матриць. Дані методи дозволяють виконати компактне та наочне аналітичне представлення підсистеми логічних залежностей станцій великої розмірності, яке може бути застосоване в якості критерію адекватності комплексної випробувальної моделі. Матричне представлення підсистеми логічних залежностей передбачає попереднє розбиття графу даної підсистеми на компоненти, які наділені функціональною завершеністю з позиції моделювання поїзних та маневрових переміщень на залізничній станції, що обумовлює надмірність вихідних блоків топологічних матриць, яка виявляється в наявності спільних елементів в суміжних блоках. Виходячи з цього при розробці методу переходу від блочного розбиття до суцільної топологічної матриці передбачено виключення спільних стовпців та строк з блоків, які формуються на основі графу підсистеми логічних залежностей.

Ключові слова: мікропроцесорна централізація, підсистема обробки логічних залежностей, графічна модель, матриця інцидентності.

Вступ

Одним з основних критеріїв адекватності комбінованої моделі для випробувань систем мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів (МПЦ) на функційну безпечність та надійність як результату синтезу методів імітаційного та фізичного моделювання є збереженість взаємних зв'язків між компонентами моделі, з якими оперує підсистема логічних залежностей (ПОЛЗ) МПЦ [1, 2]. В роботі [1] в якості підтвердження даного критерію запропоновано досягнення відповідності результатів синтезу графічної моделі ПОЛЗ МПЦ, представленої у вигляді зв'язного (p, q) графу $G = (V, E)$. Основною перевагою графічної моделі є наочність зображення та простота аналізу, проте графічне представлення не дозволяє застосувати відносно моделі математичний апарат в рамках імітаційного та фізичного моделювання, а також коректно сформулювати принципи організації керуючих та контрольних впливів з боку електричної централізації. Тому подальше дослідження вимагає перетворення графічної моделі до сукупності аналітичних виразів. Одним з базових інструментів аналітичного представлення графів є апарат теорії матриць [3 – 5]. Проте побудова матричних виразів для графічних моделей великої розмірності вимагає розробки спеціальних методів поділу даних моделей з урахуванням специфіки роботи електричної централізації стрілок та сигналів (ЕЦ). Враховуючи основне призначення систем ЕЦ

як засобу управління поїзними та маневровими переміщеннями на станції, в даній статті розроблені методи побудови вихідних блоків топологічних матриць ПОЛЗ та переходу від блочного розбиття до суцільних матриць.

Вибір способу аналітичного представлення графічної моделі ПОЛЗ МПЦ

Частково аналітичне представлення графічної моделі виконує поєднання впорядкованих множин підмножин вагових параметрів вершин відповідних типів графу $G = (V, E)$ ПОЛЗ МПЦ, яке задається виразом [1]:

$$G \rightarrow H = V \cup C \cup D, \quad (1)$$

де $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ – впорядкована множина підмножин V_i вагових параметрів вершин першого типу (стрілок) потужністю n ;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – впорядкована множина підмножин C_j вагових параметрів вершин другого типу (сигналів) потужністю $m = p - n$ ($r = 0$);

$D = \{D_1, D_2, \dots, D_q\}$ – впорядкована множина підмножин D_i вагових параметрів ребер (ділянок колії) потужністю q .

Вираз (1) визначає упорядкованість елементів множин V, C, D , проте не задає взаємної упорядкованості елементів, які входять до складу різних множин об'єднання H . Взаємна упорядкованість

елементів графу G різних типів може бути задана за допомогою топологічних матриць (інцидентності, суміжності, контурів, перерізів тощо). Найбільш наочним є використання властивості інцидентності елементів графів [3, 4]. Вершина v_i та ребро e_k певного графу є інцидентними, якщо вершина v_i є кінцем ребра e_k [2]. Досліджуючи інцидентність вершин та ребер (p, q) графа, можна представити його матрицею інцидентності розміру $p \times q$, строки якої відповідають вершинам, а стовпці – ребрам. Для неорієнтованого графа елементи даної матриці визначаються за наступним правилом: ij -елемент дорівнює 1, якщо вершина v_i інцидентна ребру e_k , і дорівнює нулю, якщо v_i та e_k не інцидентні. У випадку орієнтованого графа ненульовий ij -елемент дорівнює 1, якщо v_i початкова вершина дуги (направленого ребра) e_k , і дорівнює -1, якщо v_i – кінцева вершина дуги e_k [3, 5].

Виходячи з наведеного матеріалу та графу ПОЛЗ МПЦ відносно невеликої станції «Транзитна» (10 стрілок), підпорядкованої ТОВ «Димитріввантажтранс» (м. Красноармійськ, Донецька обл.), розробленого в роботі [1], матриця інцидентності цього графу має 36 строк (вершин) та 39 стовпців (ребер). В загальному випадку розмірність $p \times q$ матриці інцидентності $A_{\text{инц}}$ ПОЛЗ МПЦ станції з довільним топологічним розвитком становить:

$$p = N(\text{СТР}) + N(\text{СВ}) + N(\text{НЕЛ}) + N(\text{КІНЦ}) + N(\text{ПЕР}), \quad (2)$$

де $N(\text{СТР})$ – кількість стрілок (стрілки з'їздів підраховуються окремо, незалежно від наявності або відсутності спареності);

$N(\text{СВ})$ – кількість світлофорів, які задіяні в логіці залежностей електричної централізації;

$N(\text{НЕЛ})$ – кількість світлофорів, не задіяних в логіці залежностей ЕЦ;

$N(\text{КІНЦ})$ – кількість кінців ізольованих ділянок без світлофорів (для двох суміжних ділянок підраховується як одна позиція);

$N(\text{ПЕР})$ – кількість станційних переїздів.

$$q = N(\text{БД}) + N(\text{ПВ}) + 3N(1\text{СТР}) + 5N(2\text{СТР}) + 7N(3\text{СТР}) + N(\text{ССТ})/2, \quad (3)$$

де $N(\text{БД})$ – кількість безстрілочних ділянок в горловинах станції;

$N(\text{ПВ})$ – кількість приймально-відправних колій;

$N(1\text{СТР})$ – кількість стрілочних ділянок з однією стрілкою;

$N(2\text{СТР})$ – кількість стрілочних ділянок з двома стрілками;

$N(3\text{СТР})$ – кількість стрілочних ділянок з трьома стрілками;

$N(\text{ССТ})$ – кількість світлофорів у створі.

При складанні формули (3) було враховано, що розгалуженість однієї будь-якої стрілки становить

три промені (один з боку гостряка і два з боку хрестовини), кожна послідовна стрілка всередині стрілочної дільниці має один спільний промінь з попередньою стрілкою; кількість стрілок у складі однієї ізольованої секції не перевищує трьох [6].

Наприклад, для ПОЛЗ МПЦ станції «Передача-Донецьк» ПАТ «Донецьксталь – Металургійний завод» (м. Донецьк) з кількістю стрілок 31, обладнаною системою МПЦ розробки ТОВ «НВП «САТЕП» з централізованим розміщенням обладнання (система МПЦ-С), розмірність матриці інцидентності згідно підрахунків за формулами (2), (3), становить 105×134 [7, 8].

Зображення матриць такої великої розмірності громіздке та позбавлене наочності, а в деяких випадках неможливе через відсутність вільних полів для запису. Тому доцільно задати матриці інцидентності не в явному вигляді, а за допомогою блоків, які утворюються розбиттям вихідної матриці вертикальними та горизонтальними лініями. Впорядкованість позицій елементів матриці та збереження нумерації елементів матриці інцидентності в її блоках, побудованих безпосередньо на базі графу ПОЛЗ системи МПЦ, дозволяє виконати, за необхідності, зворотній синтез – від блочного розбиття до суцільної топологічної матриці.

Вихідне формування блоків матриці інцидентності ПОЛЗ МПЦ

Безпосереднє складання блоків матриці інцидентності можливе за допомогою використання розрізів графу ПОЛЗ. Під розрізом розуміється підмножина ребер $E' \subset E$ зв'язного графа $G = (V, E)$, при видаленні яких граф розпадається на дві або більше компонент. Розріз називається простим, якщо ніяка власна підмножина його ребер не є розрізом даного графа. Після видалення з графу ребер простого розрізу утворюється суграф, який складається точно з двох компонент [3].

Для кожної компоненти $G_k = (V_k \subset V, E_k \subset E)$ складається матриця інцидентності розміром $[V_k] \times [E_k]$. Проте використання одного розрізу $E' \subset E$ та складання матриць інцидентності відповідних блоків не відтворює матрицю інцидентності всього графу, оскільки з нею виключається множина ребер $E' \subset E$, які інцидентні з граничними вершинами відповідних компонент.

В наведених умовах формування вихідних блоків матриці інцидентності графу ПОЛЗ можливе при використанні двох рівнопотужних розрізів $E' \subset E$ та $E'' \subset E$, бієктивне відображення елементів яких характеризується відношенням суміжності відносно визначених опорних вершин v_i' за певним принципом (правилом). В той же час множина $V' = \{v_i'\}$

опорних вершин визначається бієктивним відношенням інцидентності з кожною з множин розрізів $E' = \{e'_i\}$ та $E'' = \{e''_i\}$ (рис. 1).

Іншими словами: кожній опорній вершині ставиться у відповідність своя пара елементів (ребер) розрізів E' та E'' :

$$(\forall v'_i \in V') \leftrightarrow (e'_i \in E') \wedge (e''_i \in E''), \quad (4)$$

$$\begin{cases} E'' = f(E') = \varphi_2(V'), \\ E' = f^{-1}(E'') = \varphi_1(V''), \\ V' = \varphi_1^{-1}(E'), \\ V'' = \varphi_2^{-1}(E''), \end{cases} \quad (5)$$

де V' – повна множина опорних вершин графу G ;

f, f^{-1} – відповідно пряме та зворотне бієктивні відношення між розрізами E' та E'' ;

$\varphi_1, \varphi_1^{-1}$ – відповідно пряме та зворотне бієктивні відношення між множинами V' та E'' ;

$\varphi_2, \varphi_2^{-1}$ – відповідно пряме та зворотне бієктивні відношення між множинами V'' та E' .

Формування правил, за якими відбуваються відношення f, φ_1 та φ_2 , а також зворотні їх відношення, наведені нижче.

Для кожного розрізу визначається своя множина компонент графу станції $K(E') = \{G^{E'_{k1}}, G^{E'_{k2}}, \dots, G^{E'_{kn}}\}$ та $K(E'') = \{G^{E''_{k1}}, G^{E''_{k2}}, \dots, G^{E''_{kn}}\}$, $K(E') \cap K(E'') = \emptyset$, причому впорядковані множини вершин та ребер даних розрізів мають наступні властивості:

$$V^{E'_{ki}} \cap V^{E''_{ki}} = V'_t, \quad (6)$$

$$\bigcup_{i=1}^n V^{E'_{ki}} \cap \bigcup_{i=1}^n V^{E''_{ki}} = V' = \bigcup_{i=1}^n V'_t \subset V, \quad (7)$$

$$\bigcup_{i=1}^n V^{E'_{ki}} + \bigcup_{i=1}^n V^{E''_{ki}} = V, \quad (8)$$

$$E^{E'_{ki}} \cap E^{E''_{ki}} = \emptyset, \quad (9)$$

$$\bigcup_{i=1}^n E^{E'_{ki}} \cup \bigcup_{i=1}^n E^{E''_{ki}} = E, \quad (10)$$

де $V^{E'_{ki}}$ – множина вершин компоненти i $G^{E'_{ki}}$, утвореної розбиттям графу G розрізом E' ;

$V^{E''_{ki}}$ – множина вершин компоненти i $G^{E''_{ki}}$, утвореної розбиттям графу G розрізом E'' ;

$V'_t \subset V'$ – множина t опорних вершин графу G , відносно якої суміжні ребра розрізів, які відокремлюють дві сусідні компоненти графу;

$E^{E'_{ki}}$ – множина ребер компоненти i $G^{E'_{ki}}$, утвореної розбиттям графу G розрізом E' ;

$E^{E''_{ki}}$ – множина ребер компоненти i $G^{E''_{ki}}$, утвореної розбиттям графу G розрізом E'' .

Відповідно до властивостей розбиття матриці на блоки [3 – 5] та формул (6) – (10) процедура формування блоків матриці інцидентності графу ПОЛЗ МПЦ G має виконуватися за наступними послідовними етапами:

1. Визначення напрямку аналізу графу $G = (V, E)$: зліва направо, справа наліво, зверху вниз, знизу вгору.

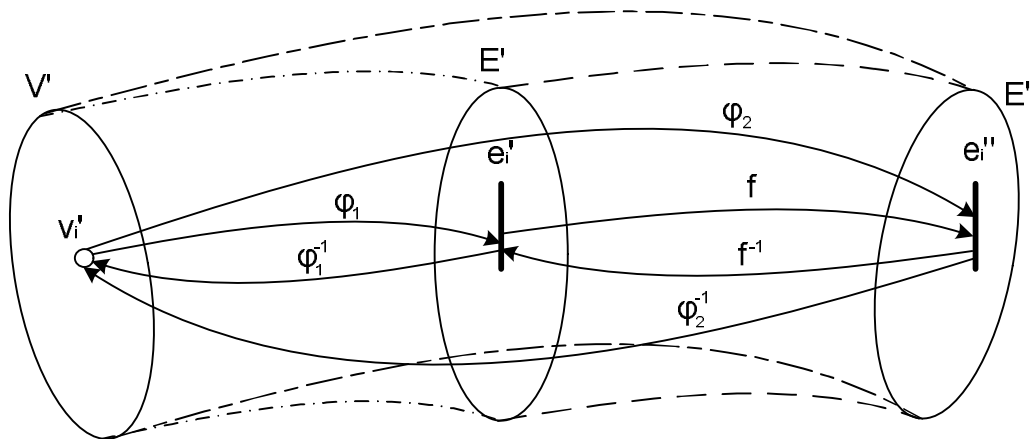


Рис. 1. Діаграма взаємних відношень множин опорних вершин та розрізів графу ПОЛЗ МПЦ

2. Нумерація вершин і ребер графу G за напрямком аналізу таким чином, щоб виконувалася одна з наступних умов:

- будь-яка компонента графу G , отримана довільним розрізом, мала неперервну (суцільну) наскрізну нумерацію вершин та ребер;

- будь-яка компонента графу G , отримана довільним розрізом, мала неперервну наскрізну нумерацію

вершин та наскрізну нумерацію ребер i , що складається з неперервних блоків цілих чисел, розділеними номерами (індексами) елементів даного розрізу.

3. Визначення множини впорядкованих підмножин опорних вершин для розбиття графу ПОЛЗ на компоненти $V' = \{V'_t\}$ наступним чином:

- нумерація t множин V'_t виконується за напрямком аналізу графу починаючи з одиниці;

- кожна підмножина V_t має формувати за принципом суміжності відносно своїх елементів (вершин) два простих розрізи E'_i та E''_i .

При цьому $\sum_t t = n - 1 = [K(E')] - 1 = [K(E'')] - 1$.

4. Визначення розрізів $E' = \{e'_i\}$ та $E'' = \{e''_i\}$, відповідні елементи e'_i яких (ребра) суміжні відносно вершин $v'_i \in V'_t \subset V_t \subset V$. При цьому ребра графу $e'_i \in E'$ та $e''_i \in E''$ обриваються за наступними принципами:

- для опорних вершин множин $V'_x \subset V'_t$ з непарними номерами ребра $e''_i \in E''$, інцидентні вершинам $v'_i \in V'_x$, призначаються першими в напрямку аналізу графу G відносно відповідних опорних вершин $v'_i \in V'_x$, а ребра $e'_i \in E'$ – другими;

- для опорних вершин множин $V'_y \subset V'_t$ з парними номерами навпаки – ребра $e'_i \in E'$, призначаються першими в напрямку аналізу графу G відносно відповідних опорних вершин $v'_i \in V'_y$, а ребра $e''_i \in E''$ – другими.

Наведені принципи визначають сутність відношень $f^{\pm 1}$, $\phi_{1,2}^{\pm 1}$ в формулах (6), (7):

$$f(E'_t) = f^{-1}(E'_t) = [(e'_i \in E_t) \wedge (e''_i \in E'_t)] \uparrow [v'_i \in V'_t], \quad (11)$$

$$\phi_1(V'_t) = \phi_1^{-1}(E'_t) = \begin{cases} [t = x] \rightarrow [(e'_i \in E'_t) \downarrow (v'_i \in V'_t)], \\ [t = y] \rightarrow [(e'_i \in E'_t) \uparrow (v'_i \in V'_t)], \end{cases} \quad (12)$$

$$\phi_2(V'_t) = \phi_2^{-1}(E''_t) = \begin{cases} [t = x] \rightarrow [(e'_i \in E'_t) \uparrow (v'_i \in V'_t)], \\ [t = y] \rightarrow [(e'_i \in E'_t) \downarrow (v'_i \in V'_t)], \end{cases} \quad (13)$$

де x, y відповідно парні і непарні значення номеру (індексу) t ;

\uparrow – умовний символ суміжності;

\downarrow – умовний символ інцидентності за умови слідування елемента зліва даного символу першим в напрямку аналізу графу відносно елемента справа від даного символу;

\uparrow – умовний символ інцидентності за умови слідування елемента зліва даного символу другим в напрямку аналізу графу відносно елемента справа даного символу;

Слід зазначити, що відношення (операції) інцидентності, позначені умовними символами \downarrow та \uparrow не комутативні.

5. Розбиття графу G на дві впорядковані множини компонентів $K(E') = \{G^{E'_{kj}}\}$ та $K(E'') = \{G^{E''_{kj}}\}$, причому номер j кожній компоненті присвоюється в порядку слідування за обраним напрямком аналізу графу, починаючи з одиниці.

При цьому $\sum_j j = n = [K(E')] = [K(E'')]$ – кількість компонент графу G , розбитого розрізами E' та E'' .

6. Побудова сукупності матриць інцидентності для різних компонент графу G за наступним принципом:

- матриць інцидентності $A^{E'_{инцу}} = A^{E'_{инцj}} (G^{E'_{kj}})$ для компонентів графу G з непарними номерами j , утвореними розрізом E' ($u \in U \subset J$, де U – підмножина непарних номерів множини номерів J компонентів графу G ;

- матриць інцидентності $A^{E''_{инцw}} = A^{E''_{инцj}} (G^{E''_{kj}})$ для компонентів графу G з парними номерами j , утвореними розрізом E'' ($w \in W \subset J$, де W – підмножина парних номерів множини номерів J компонентів графу G).

При цьому нумерація строк та стовпців матриць інцидентності компонент $A^{E'_{инцу}}$ та $A^{E''_{инцw}}$ повинна зберігати відповідну нумерацію вершин і ребер вихідного графу G підсистеми обробки логічних залежностей МПЦ.

Виходячи з наведеного вище матеріалу матриця інцидентності графу G повністю характеризується поєднанням впорядкованих множин матриць інцидентності його непарних і парних компонентів $A^{E'_{инцу}}$ та $A^{E''_{инцw}}$:

$$A_{инц}(G) \rightarrow S = S^{E'_u} \cup S^{E''_w}, \quad (14)$$

$$\sum_u u + \sum_w w = \sum_j j = n, \quad (15)$$

де $S = \{A^{E'_{инцу}}, A^{E''_{инцw}}\}$ – множина матриць інцидентності компонент графу G ;

$S^{E'_u} = \{A^{E'_{инцу}}\}$ – множина матриць інцидентності непарних компонент;

$S^{E''_w} = \{A^{E''_{инцw}}\}$ – множина матриць інцидентності парних компонент.

Приклад аналітичного представлення ПОЛЗ МПЦ станції «Транзитна»

Для графу $G_{тр} = (V_{тр}, E_{тр})$ ПОЛЗ МПЦ станції «Транзитна» (рис. 3 в роботі [1]) побудова матриць $A^{E'_{инцу}}$ та $A^{E''_{инцw}}$ може бути виконана у наступній послідовності відповідно до формул (11) – (15):

- напрямком аналізу графу $G_{тр} = (V_{тр}, E_{тр})$ обирається зліва направо;

- множина вершин $V'_{тр}$ обирається таким чином, щоб граф $G_{тр}$ був розбитий на чотири компоненти, розбіжність в розмірностях яких незначна:

$$V'_{тр} = \{v_8, v_9, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19}, v_{26}, v_{28}\}, [V'_{тр}] = 8. \quad (16)$$

- відповідно до обраних за формулою (16) опорних вершин $V'_{тр}$ визначаються розрізи $E'_{тр}$ та $E''_{тр}$ графу ПОЛЗ $G_{тр}$:

$$E'_{тр} = \{e_9, e_{10}, e_{16}, e_{17}, e_{18}, e_{19}, e_{32}, e_{33}\}, [E'_{тр}] = 8; \quad (17)$$

$$E''_{тр} = \{e_7, e_8, e_{20}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{28}, e_{29}\}, [E''_{тр}] = 8. \quad (18)$$

- методом виключення елементів розрізів $E'_{тр}$ та $E''_{тр}$ за формулами (17) та (18) утворюються дві групи компонентів графу $G_{тр}$ відносно розрізів $E'_{тр}$ та $E''_{тр}$: $K(E'_{тр}) = \{G^{E'}_{тр kj}\}$ та $K(E''_{тр}) = \{G^{E''}_{тр kj}\}$ (рис. 2, 3).

- для підмножини непарних компонент $\{G^{E'}_{тр ku}\} \in K(E'_{тр})$ та для підмножини парних компонент $\{G^{E''}_{тр ku}\} \in K(E''_{тр})$ складаються матриці інцидентності з відповідною даним компонентам нумерацією строк та стовпців.

При цьому для позначення нумерації строк та стовпців кожної матриці інцидентності компонентів складається множина впорядкованих підмножин номерів строк та стовпців матриці, які співпадають з індексами відповідних вершин та ребер графу $G_{тр}$:

$$R^{E'}_{інц u} = \{P^{E'}_{інц u}, Q^{E'}_{інц u}\} = \{\{ind^v(G^{E'}_{тр ku})\}, \{ind^e(G^{E'}_{тр ku})\}\}, \quad (19)$$

$$R^{E''}_{інц w} = \{P^{E''}_{інц w}, Q^{E''}_{інц w}\} = \{\{ind^v(G^{E''}_{тр kw})\}, \{ind^e(G^{E''}_{тр kw})\}\}, \quad (20)$$

де $R^{E''}_{інц w}$ – впорядковані множини підмножин індексів вершин та ребер відповідно компонент $G^{E'}_{тр ku}$ та $G^{E''}_{тр kw}$;

$P^{E'}_{інц u} = \{ind^v(G^{E'}_{тр ku})\}$, $P^{E''}_{інц w} = \{ind^v(G^{E''}_{тр kw})\}$ – впорядковані множини індексів вершин відповідно компонент $G^{E'}_{тр ku}$ та $G^{E''}_{тр kw}$;

$Q^{E'}_{інц u} = \{ind^e(G^{E'}_{тр ku})\}$, $Q^{E''}_{інц w} = \{ind^e(G^{E''}_{тр kw})\}$ – впорядковані множини індексів ребер відповідно компонент $G^{E'}_{тр ku}$ та $G^{E''}_{тр kw}$.

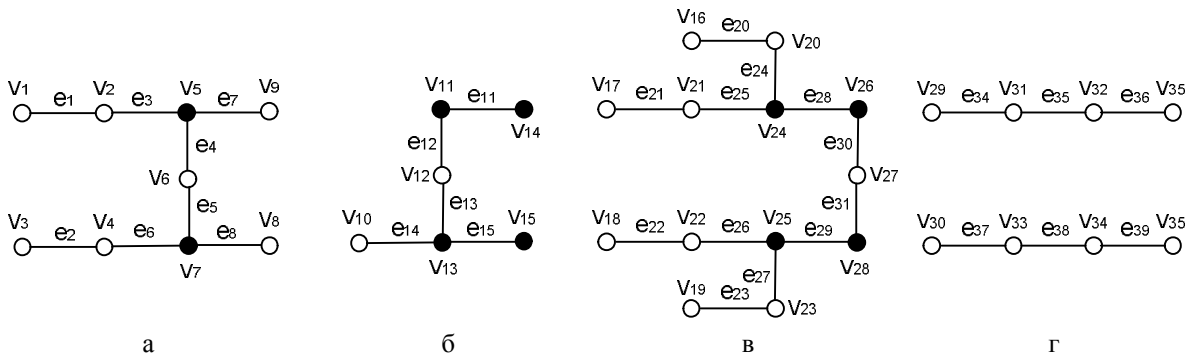


Рис. 2. Компоненти графу $G_{тр}$, утворені розрізом $E'_{тр}$:

а – $G^{E'}_{тр k1}$; б – $G^{E'}_{тр k2}$; в – $G^{E'}_{тр k3}$; г – $G^{E'}_{тр k4}$

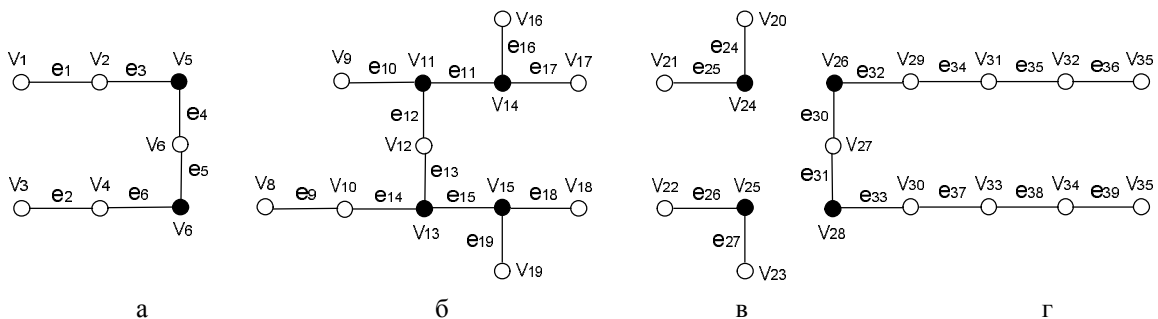


Рис. 3. Компоненти графу $G_{тр}$, утворені розрізом $E''_{тр}$:

а – $G^{E''}_{тр k1}$; б – $G^{E''}_{тр k2}$; в – $G^{E''}_{тр k3}$; г – $G^{E''}_{тр k4}$

Складання для кожної матриці множин $R^{E'}_{інц u}$ та $R^{E''}_{інц w}$ за формулами (19) та (20) дозволяє задавати дані матриці в канонічному вигляді. без зображення нумерації кожної строки та стовпця, та дає можливість використовувати традиційну нумерацію елементів матриць при виконанні алгебраїчних та інших операцій над ними.

Нижче наведені матриці інцидентності компонент $G^{E'}_{тр ku}$ та $G^{E''}_{тр kw}$ підсистеми обробки логічних залежностей МПЦ станції «Транзитна», складені на основі рисунків 2 та 3, та відповідні їм множини $R^{E'}_{інц u}$ та $R^{E''}_{інц w}$:

$$A^{E'}_{інц1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$P^{E'}_{інц1} = \{1, 2, \dots, 9\}, \quad Q^{E'}_{інц1} = \{1, 2, \dots, 8\};$$

$$A_{\text{інц}3}^E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$P_{\text{інц}3}^E = \{16, 17, \dots, 28\}, \quad Q_{\text{інц}3}^E = \{20, 25, \dots, 31\};$$

$$A_{\text{інц}2}^E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$P_{\text{інц}2}^E = \{8, 9, \dots, 19\}, \quad Q_{\text{інц}2}^E = \{9, 10, \dots, 19\};$$

$$A_{\text{інц}4}^E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$P_{\text{інц}4}^E = \{26, 27, \dots, 36\}, \quad Q_{\text{інц}4}^E = \{30, 31, \dots, 39\}.$$

Сукупність наведених виразів повністю відтворює взаємозв'язки між об'єктами управління і контролю електричної централізації стрілок та сигналів, які обробляються програмними засобами ПОЛЗ.

Перехід від блочного розбиття до суцільної матриці інцидентності

Даний перехід передбачається при формуванні комбінованого випробувального комплексу системи МПЦ на базі синтезу імітаційного та фізичного моделювання, коли виникає необхідність безпосереднього представлення підсистеми обробки логічних залежностей мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів у вигляді комп'ютерної програми або технологічного файлу. В цьому випадку може бути необхідним аналітичне зображення взаємних зв'язків всього топологічного розвитку залізничної станції, на базі якої проводяться випробування з використанням синтезу імітаційного та фізичного моделювання.

Оскільки, як вже було зазначено раніше, не завжди має місце технічна можливість зображення суцільної матриці інцидентності графу великої розмірності через брак вільних полів, розроблений спосіб переходу до матриці інцидентності може мати алгоритмічний характер, тобто застосовуватися у вигляді спеціалізованої програми в обчислювальному пристрої. В даний пристрій можуть вводитися лише матриці інцидентності компонент графу G , а за вказаною методикою програмне забезпечення обчислювального пристрою в даному випадку побудує повну топологічну матрицю без її явного зображення.

Враховуючи, що специфіка розбиття графу G на компоненти передбачає наявність спільних вершин та ребер в компонентах G_{ku}^E та G_{kw}^E за умови $w=u+1$, перехід від блочного розбиття до суцільної матриці інцидентності вимагає виключення з суміжних блоків спільних для них стовпців та строк:

$$P(A_{\text{бл.інц } u}) = P(A_{\text{інц } u}) / P(A_{\text{інц } w}), \quad (21)$$

$$Q(A_{\text{бл.інц } u}) = P(A_{\text{інц } u}) / Q(A_{\text{інц } w}), \quad (22)$$

$$P(A_{\text{бл.інц } w}) = P(A_{\text{інц } u}) / P(A_{\text{інц } u}), \quad (23)$$

$$Q(A_{\text{бл.інц } w}) = P(A_{\text{інц } u}) / Q(A_{\text{інц } u}), \quad (24)$$

де $P(A_{\text{бл.інц } u})$, $Q(A_{\text{бл.інц } u})$ – впорядковані множини відповідно стовпців та строк структурних блоків суцільної матриці інцидентності графу G з непарними номерами;

$P(A_{\text{бл.інц } w})$, $Q(A_{\text{бл.інц } w})$ – впорядковані множини відповідно стовпців та строк структурних блоків суцільної матриці інцидентності графу G з парними номерами;

$P(A_{\text{інц } u})$, $Q(A_{\text{інц } u})$ – впорядковані множини відповідно стовпців та строк матриць інцидентності компонент графу G з непарними номерами;

$P(A_{\text{інц } w})$, $Q(A_{\text{інц } w})$ – впорядковані множини відповідно стовпців та строк матриць інцидентності компонент графу G з парними номерами.

З властивостей матриць інцидентності, основною з яких є наявність лише двох елементів які дорівнюють 1 в кожному стовпці [3 – 5], а також наведеної методики побудови вихідних компонентів графу G ПОЛЗ МПЦ залізничної станції, впливає діагональний спосіб розташування блоків матриць інцидентності, побудованих згідно формул (21) – (24). Це означає можливість виключення саме граничних стовпців та строк матриць інцидентності компонентів графу G при виконанні операцій за формулами (21) – (24). В той же час поля матриці інцидентності графу G, які не заповнені похідними блоками від матриць інцидентності компонент, являють собою нуль-матриці з кількістю стовпців та строк, які визначаються розмірністю сусідніх змістовних матриць.

Таким чином, результуюча матриця інцидентності графічної моделі ПОЛЗ МПЦ має такий вигляд:

$$A_{\text{инцидент}} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline A_{\text{бл.інц 1}} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & A_{\text{бл.інц 2}} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \diagdown & 0 \\ \hline \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & 0 & 0 & A_{\text{бл.інц 2}} \\ \hline \end{array} \quad (25)$$

де $A_{\text{бл.інц 1}}, A_{\text{бл.інц 2}}, \dots, A_{\text{бл.інц k}}$ – блоки матриці з виключенням спільних стовпців та строк для вихідних матриць інцидентності компонент графу G з суміжними номерами; 0 – нуль-матриця.

Побудована за правилами (21) – (25) матриця інцидентності повністю відтворює взаємні зв'язки між об'єктами управління і контролю ПОЛЗ МПЦ.

Висновок

Розроблені методи аналітичного представлення підсистеми логічних залежностей дозволяють на основі наявної графічної моделі безпосередньо

сформувати вихідні блоки матриць інцидентності ПОЛЗ, зберігаючи при цьому логічну завершеність компонент вихідного графу. При розробці комбінованої моделі для випробувань системи МПЦ на функційну безпечність та надійність дані блоки або топологічна матриця в цілому (побудована за відповідними правилами) виконують функцію аналітичного критерію адекватності випробувальної моделі, а також дають можливість дослідження її властивостей із застосуванням ЕОМ. Вибір матриць інцидентності для аналітичного виразу графічної моделі не є принциповим з точки зору визначення адекватності випробувальних моделей: в якості аналітичних виразів можуть бути використанні будь-які топологічні матриці ПОЛЗ МПЦ. Подальші дослідження в цьому напрямку мають полягати у формуванні випробувального комплексу на базі розроблених моделей та визначенні коректності результатів випробувань при його застосуванні.

Література

1. Каменєв, О.Ю. Розробка графічної моделі підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації [Текст] / О.Ю. Каменєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №2. – С. 25 – 30.
2. Дослідження надійності та функційної безпечності мікропроцесорних систем електричної централізації стрілок та сигналів ЕЦМ та МПЦ-С [Текст]: Звіт про НДР (заключ.) / УкрДАЗТ; Керівник А.Б. Бойнік, 2012. Реєстр. номер 0112U000578; інв. номер 0712U006644.
3. Сигорский, В.П. Математический аппарат инженера [Текст] / В.П. Сигорский; изд. 2-е, стереотип. – К.: Техника, 1977. – 768 с.
4. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: Гос. изд-во технико-теор. литературы, 1957. – 672 с.
5. Хорн, Р. Матричный анализ [Текст] / Р. Хорн, Ч. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 655 с.
6. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов ж.д. трансп. / Вл.В. Сапожников, Б.Н. Елкин, И.М. Кокурин и др.; под. ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
7. ООО «НПП «САТЭП». Системы и устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.satep.com.ua>. – 20.05.12 г.
8. ЗАО «Донецксталь – металлургический завод». Микропроцессорная централизация станции «Передача-Донецк» // Проект С 17879.022 – СЦБ. – Х.; НПП САТЭП, 2010. – 125 с.

Надійшла до редакції 15.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., декан ф-ту підвищення кваліфікації В.І. Мойсєнко, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків.

МЕТОДЫ МАТРИЧНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ СТРЕЛОК И СИГНАЛОВ

А.Ю. Каменев

Разработаны методы аналитической интерпретации графических моделей подсистемы логических зависимостей микропроцессорной централизации стрелок и сигналов с использованием топологических матриц. Данные методы позволяют выполнить компактное и наглядное представление подсистемы логических зависимостей станций большой размерности, которое может быть использовано в качестве критерия адекватности комплексной испытательной модели. Матричное представление подсистемы логических зависимостей предусматривает предварительное разбиение графа данной подсистемы на компоненты, которым свойственна функциональная завершенность с позиции моделирования поездных и маневровых перемещений на железнодорожной станции, которая обуславливает избыточность исходных блоков топологических матриц, что заключается в наличии общих элементов в смежных блоках. Исходя из этого при разработке метода перехода от блочной разбивки к сплошной топологической матрице предусмотрено исключение общих столбцов и строк из блоков, которые формируются на основе графа подсистемы логических зависимостей микропроцессорной централизации.

Ключевые слова: микропроцессорная централизация, подсистема обработки логических зависимостей, графическая модель, матрица инцидентности.

METHODS OF MATRIX INTERPRETATION OF SUBSYSTEM OF LOGICAL DEPENDENCES OF MICROPROCESSOR INTERLOCKING OF POINTERS AND SIGNALS

O.J. Kamenjev

The methods of analytical interpretation of graphic models of subsystem processing logical dependences of microprocessor interlocking of pointers and signals with the use of topological matrices are developed. These methods allow to execute compact and evident presentation of subsystem processing logical dependences of the large dimension stations, which can be used as a complex test-bed criterion of adequacy. Matrix presentation of subsystem of logical dependences is foreseen by the previous laying out the count of this subsystem on components, which are provided with a functional completeness from position of design of the train and mobile moving at the railway station, which stipulates surplus of initial blocks of topological matrices, which appears in a presence general elements in contiguous blocks. Coming from it at development of transition method from the sectional laying out to the continuous topological matrix the exception of general columns and term is foreseen from blocks which are formed on basis the count of subsystem of logical dependences of microprocessor interlocking.

Keywords: microprocessor interlocking, subsystem processing logical dependences, graphic model, incidence matrix.

Каменєв Олександр Юрійович – аспірант каф. автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, Україна, e-mail: alexstein@meta.ua.