УДК 004.942(045)

О.Б. Іванець, к.т.н.
М.В. Дворнік

ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Інститут електроніки та систем управління, marichka_d@list.ru

Запропоновано використання методів та засобів теорії мереж Петрі для задач моделювання складних систем. Розглядаються складні систем з багатоваріантними структурами, прикладом яких обраний процес психофізіологічного відбору операторів.

Ключові слова: *складні системи, моделювання, мережа Петрі, психофізіологічний відбір операторів.*

Вступ

В останні роки для моделювання технічних систем широко застосовуються моделюючі середовища, що використовують імітаційні моделі, елементи теорії автоматів та графові методи моделювання паралельних процесів. Для моделювання складних систем інтенсивно застосовуються методи інтервального аналізу, які вимагають мінімальної кількості інформації про досліджувану систему. В результаті застосування інтервальних методів замість одного значення на виході системи отримують множину рівнозначних величин. Як математична модель використовуються мережі Петрі, які є адекватним механізмом описання властивостей дискретних реактивних систем, що включають асинхронні елементи та розподілені частини. За цією моделлю будується транзиційна система, на якій перевіряється відсутність патологічних станів операторів екстремальних видів діяльності. Перевірка моделі ґрунтується на використанні методів лінійної алгебри та алгебри процесів.

Постановка проблеми

У статті розглядаються проблеми моделювання складних систем з багатоваріантними структурами, прикладом яких обраний складний процес психофізіологічного відбору операторів.

Основний виклад матеріалу

В даній роботі в якості об'єкту моделювання мережами Петрі був обраний процес відбору операторів. Процедура діагностування психофізіологічного стану людини як складової процесу відбору операторів є достатньо складною та багатоваріантною. При дослідженні стану здоров'я операторів-екстремалів приймаються до уваги не тільки ординарні впливи дії психологічних, соціальних та біологічних факторів, а також враховувався вплив їх комбінацій. Такий підхід дослідження принципово відрізняється від традиційних досліджень біомедичної моделі хвороби як суто фізичної аномалії, що викликається впливом фізико-хімічних факторів. Одне із завдань діагностики психофізіологічного стану складається в розпізнаванні поточного стану системи по кінцевій сукупності контрольних вимірів ряду параметрів. Для вирішення цього завдання пропонується модель, основу якої складають дві множини - множина розпізнаваних станів S і множина діагностичних ознак D, між якими встановлене відношення однозначного відображення однієї впорядкованої множини на іншу. Тоді множини S і D стають еквівалентними - кожному стану $s_i \in S$ відповідає одна певна ознака $d_i \in D$ і навпаки, що необхідно й досить для розпізнавання можливих станів системи.

Нехай діагностиці підлягає система A, що складається з елементів $A = \{a_1, a_2, ..., a_k\}$, взаємозв'язки між якими відомі. Стан елемента $a_i (i \in \overline{1,k})$ можна записати так:

$$P_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо елемент стійкий;} \\ 0, & \text{якщо елемент не стійкий.} \end{cases}$$

Тоді будь-який стан s_i з множини $S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$ $(n = 2^k)$ можливих станів системи А представляється k-мірним двійковим набором виду: $s_j = (P_1,\ P_2, ..., P_k)_j$, $j = (\overline{1,n})$.

Множина S станів системи A відображається таблицею станів (табл.1), що містить усілякі комбінації різноманітних патологій психофізіологічного стану.

Таблиця 1

Склад комбінації різноманітних патологій психофізіологічного стану

S	Елементи та їх склад				
	P_1	P_2	P_3	$\cdots$	P_k
S_1	1	1	1	…	1
S_2	0	1	1	…	1
S_3	1	0	1	…	1
…	…	…	…	…	…
S_{k+1}	1	1	1	…	0
S_{k+2}	0	0	1	…	1
…	…	…	…	…	…
S_n	0	0	0	…	0

Для діагностики системи, множина станів якої задано такою таблицею необхідно знайти прояви всіх видів відхилення психофізіологічного стану від норми й на основі їх аналізу визначити n різних діагностичних ознак, що дозволяють ідентифікувати будь-який стан системи. Здійснити це досить важко, тому що вже при k таблиця станів важко доступна для огляду. Очевидно, необхідно використовувати системний підхід, в основі якого лежить подання структури системи у вигляді двійкового дерева.

Зробимо розбивку системи на основні перевірки, які дозволяються виявити патологічні стани.

Перший етап. Систему А розбиваємо на дві підсистеми першого рівня [1]:

$$A_{\mathrm{I}}^{(1)} \quad i \quad A_{\mathrm{I}}^{(2)} \quad : \quad A = (A^{(1)},\ A^{(2)})_{\mathrm{I}}.$$

Позиції цих підсистем у двійковому впорядкованому наборі станів системи позначимо двійковими символами:

$$P_1^{(1)} = (\mathrm{I},0) \quad i \qquad P_2^{(1)} = (\mathrm{I},0)$$

де 0 - підсистема знаходиться в патологічному стані;

I - підсистема знаходиться в нормальному стані.

Такій розбивці відповідає таблиця 2, що містить чотири стани [2]:

$$S_{\mathrm{I}} = (S_1, S_2, S_3, S_4)\,.$$

Таблиця 2

Стан елементів підсистем

S	P		F
	$P_{\mathrm{I}}^{(1)}$	$P_{\mathrm{II}}^{(1)}$	$F(S_i) = P$
S_1	1	1	
S_2	1	0	
S_3	0	1	
S_4	0	0	

На цій підмножині функція працездатності $F(S)$ системи приймає два значення:

$$P = F(s) = \begin{cases} \mathrm{I}, & \text{якщо підсистема працездатна;} \\ 0, & \text{якщо підсистема не працездатна.} \end{cases}$$

Значення, прийняте функцією $F(s)$ при $S = s_i \in S_{\mathrm{I}}$, залежить від формулювання поняття "система знаходиться в патологічному стані" і від впливу елементів, що характеризують патологічний стан, підсистем $A_{\mathrm{I}}^{(1)}$ і $A_{\mathrm{I}}^{(2)}$ на працездатність системи A. Функція $F(s)$ установлює відображення $F : S_{\mathrm{I}} \to P$ множини S_{I} станів $S_i = (P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{I}}$ підсистем $A_{\mathrm{I}}^{(1)}$ і $A_{\mathrm{I}}^{(2)}$ на множині із двох значень стану системи $P = F\,(P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{I}}$ [3]. Характер цього відображення визначається при аналізі взаємодії систем першого рівня системи A.

Другий етап. Кожну підсистему першого рівня розбиваємо на дві підсистеми другого рівня: $A_{\mathrm{I}}^{(1)} = (A^{(1)}, A^{(2)})_{\mathrm{II}}$; $A_{\mathrm{I}}^{(2)} = (A^{(3)}, A^{(4)})_{\mathrm{II}}$

Кожний стан табл. 1 комбінується з кожним станом табл. 2 утворюючи шістнадцятиелементну множину станів підсистем другого рівня, які становлять підмножину $S_{\mathrm{II}} = (S_5, S_6, ..., S_{20})$, $S_i = (P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(3)}, P^{(4)})_{\mathrm{II}}$ $(i = 5,\ 6,\ ...,\ 20)$ множини S станів системи A, однак при аналізі системи, що має метою визначення значень $F_1(S_i)$ і $F_2(S_i)$ треба розглядати не 16 чотирьохкомпонентних станів $S_i = (P^{(1)}, P^{(2)}, P^{(3)}, P^{(4)})_{\mathrm{II}}$ $(i = 5,\ 6,\ ...,\ 20)$, а 8 двохкомпонентних станів $S_i = (P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{II}}$ і $S_i = (P^{(3)}, P^{(4)})_{\mathrm{II}}$ $(i = 1,\ ...,\ 4)$.

Продовжуючи розбивку структури до рівня, обумовленого необхідною глибиною діагностики, одержуємо таблиці станів, що підлягають розпізнаванню, граф мережами Петрі [4] (рис. 1) і співвідношення, що встановлюють зв'язки між станами підсистем різ них рівнів:

$P = F(P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{I}}$;

$P_{\mathrm{I}}^{(1)} = F_1(P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{II}}$; $P_{\mathrm{I}}^{(2)} = F_2(P^{(3)}, P^{(4)})_{\mathrm{II}}$;

$P_{\mathrm{II}}^{(1)} = F_3(P^{(1)}, P^{(2)})_{\mathrm{III}}$; $P_{\mathrm{II}}^{(2)} = F_4(P^{(3)}, P^{(4)})_{\mathrm{III}}$; $P_{\mathrm{II}}^{(3)} = F_5(P^{(5)}, P^{(6)})_{\mathrm{III}}$;

$P_{\mathrm{II}}^{(4)} = F_6(P^{(7)}, P^{(8)})_{\mathrm{III}}$; і т.д.

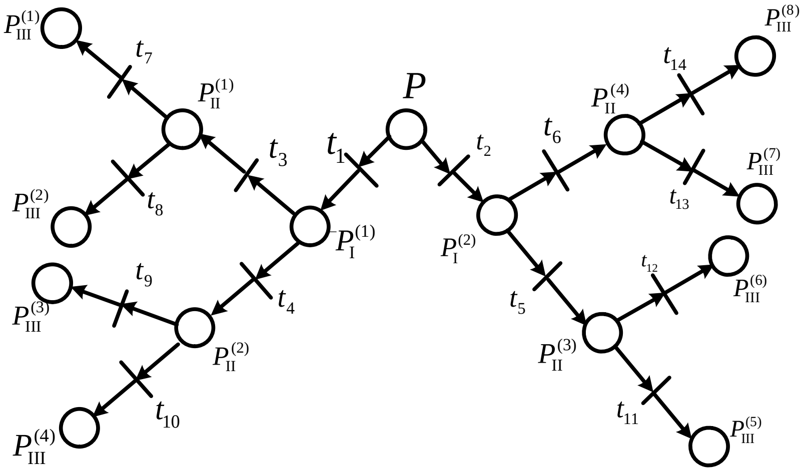

Рис. 1. Мережа Петрі для моделювання психофізіологічних станів.

На даній мережі Петрі переходи $t_1 - t_{14}$ [5] характеризують безпосередню перевірку відповідного стану S_i.

До станів першого рівня відносяться стани які проходять перевірку за допомогою психофізіологічних тестів. Підмножина станів 2 рівня включає в себе перевірку як за допомогою тестів так і за допомогою проведення електроенцефалографічних досліджень. Підмножина 3 рівня характеризує сукупності контрольних вимірів ряду параметрів за допомогою магніторезонансной томографії.

Характер завдань діагностики і пошуку рівня на котрому стан пацієнта видає патологію вимагає впорядкування станів. Упорядкованою множиною станів назвемо її множина S із заданим на ньому відношенням строгого порядку, що встановимо за допомогою відносини включення (для підмножин множини S у такий спосіб) [6].

Нехай розбивка системи A на задану глибину виділяє m рівнів. Тоді множина S містить $(m+1)$ підмножини станів:

$S_0 = P$ – стан системи;

$S_{\mathrm{I}} = (S_1, ..., S_4)$ - підмножина станів першого рівня;

$S_{\mathrm{II}} = (S_5, ..., S_{20})$ - підмножина станів другого рівня;

$S_{\mathrm{III}} = (S_{21}, ..., S_{277})$ - підмножина станів третього рівня; і так до

S_m - підмножина m - го рівня.

Будемо вважати, що стан S_i, більше стану S_j, і позначимо це як $S_j \subset S_i$, якщо хоча б один компонент упорядкованого набору стану S_i є результатом злиття двох компонентів упорядкованого набору стану S_j [7]. Це визначення встановлює впорядкованість між підмножинами станів $S_0,..., S_m$. Будь-який стан з підмножини 1-го рівня (1=0, …, m – 1) більше будь-якого стану з множини станів (1+1) – го рівня. Підмножини $S_0,..., S_m$ є класами й задовольняють умовам:

$$\bigcup_{1=0}^{m} S_1 = S;\ S_1 \cap S_r = (1 \neq r);\ \ 1, r = \varnothing, m.$$

Стани, що належать тому самому класу, є еквівалентними. Стани усередині класів залишаються поки неупорядкованими.

Стан $S_i \in S$ будемо називати мінімальним (максимальним) у множини $(S, \subset)$, якщо не існує такого стану S_j, що $S_j \subset S_i$ (відповідно, $S_i \subset S$). На графі впорядкованої множини $(S, \subset)$, максимальним є стан нульового рівня, а мінімальні стани становлять клас S_m – нижній рівень. Оскільки в множини $(S, \subset)$, є єдиний максимальний стан, то воно є найбільшим. Тому можна затверджувати, що відношення строгого порядку (на множини S називається відношенням деревного порядку, якщо виконуються дві умови:

1. Тому що $S_a \subset S_b$ і $S_a \subset S_c$, те S_c *і* S_b порівнянні, тобто $S_b \subset S_c$ або $S_b = S_c$ або $S_b \supset S_c$;

2. У множини $(S, \subset)$ існує найбільший стан.

Тут знак рівності означає еквівалентність станів.

Оскільки при діагностуванні необхідно мати можливість розрізняти будь-які стани з множини S, те потрібно зробити впорядкування станів усередині кожного з m класів еквівалентних станів. Якщо мова йде про загальну діагностику психофізіологічного стану кількість рівнів може бути обмежена трьома рівнями. При проведенні оцінки психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності глибина діагностики може бути збільшена до m - го рівня.

Висновки

Патологічний психофізіологічний стан операторів екстремалів складається з множини елементів, які підпорядковуються загальним математичним моделям. Системи з такими елементами зручно описувати за допомогою мереж Петрі та їх графічного представлення у вигляді орієнтованих графів.

Список літературних джерел

1. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации.– К.: Высшая школа, 1983.– 511 с.
2. Дегтярьов Ю.И. Исследование операций: Учеб. для втузов по спец. АСУ. – М.: Высшая школа, 1986.– 320 с.
3. Бержер С., Гийар С. Графическое описание процес сов. Методика и технические средства./Научное редактирование А. В. Глазунов, В.Б. Михейкин.–Нижний Новгород: ОО СМЦ „Приоритет", 2003.– 250 с.
4. Дж. Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 263 с.
5. Кузовик В.Д., Іванець О.Б. Застосування мереж Петрі при топологічному моделюванні в техніко-економічних системах.– Вісник НАУ, №1. – К.: НАУ, 2003. – С.118-121.
6. Барбатов В.А. Теоретико-графовые модели при сетевой обработке информации. – М.: МИФИ, 1984. – 84 с.
7. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. – 2-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 224 с.