

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 658.52

Л. А. Тарандушка, асп.

## ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МЕХАНООБРОБКИ

### Вступ

Одним з поширених математичних апаратів, що використовуються для описання систем дискретного типу є сітки Петрі [1]. Теорія сіток Петрі забезпечує можливість моделювання системи математичним представленням її у вигляді сіткової моделі, аналіз якої на обмеженість, розв'язок, безпечність тощо дозволяє отримувати важливу інформацію про структуру та динамічну поведінку досліджуваної системи. Як апарат моделювання, сітки Петрі можуть відображати конфліктні ситуації, логічні взаємозв'язки подій в системі, а також описувати паралельні процеси, які протікають одночасно.

В наш час математичні методи дослідження характеристик сіток Петрі інтенсивно розвиваються. Однак, питання про використання сіток Петрі для моделювання складних технічних систем, таких як автоматизовані системи механообробки, залишається поки що маловивченим. Усуненню цього недоліку в певній мірі й присвячена дана стаття.

### Узагальнена процедура побудови моделей у вигляді сіток Петрі

Побудова моделей систем у вигляді сіток Петрі полягає у виконанні таких дій.

1. Процеси, що моделюються, описуються множиною подій та умов, а також причинно-наслідковими відношеннями.

2. Стани системи задаються множиною умов.

3. Початковий стан системи задається початковим маркуванням сітки Петрі, кінцевий стан — кінцевим маркуванням.

4. Алгоритм функціонування сітки Петрі задається послідовністю переходів (подій), що виконуються.

5. Сітка Петрі представляється у вигляді графу.

Сітка Петрі формально описується набором:

$$C = \{P, T, I, O, M, \Omega\},$$

де  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$  — скінченна множина позицій;  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$  — скінченна множина переходів;  $P \cap T = \emptyset$ ;  $I(t)$  — вхідна функція відображення переходів у комплекти позицій

$$I(t_1) = \{\}, \quad I(t_2) = \{p_1, p_2\}, \quad I(t_3) = \{p_3\}, \quad I(t_4) = \{p_4\}.$$

$O(t)$  — вихідна функція відображення переходів у комплекти позицій:

$$O(t_1) = \{p_1\}, \quad O(t_2) = \{p_3\}, \quad O(t_3) = \{p_2, p_4\}, \quad O(t_4) = \{\};$$

$M = \{\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_n\}$  — скінченна множина маркування сітки;  $\mu_0$  — початкове маркування;

$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$  — скінченна множина кольорів маркерів.

Під час функціонування сітки Петрі відбувається спрацювання дозволених переходів.

Дозвіл на виконання переходу  $t_j \in T$  визначається умовою

$$\mu(p_1) \geq \#(p_1, I(t_1)), \quad (1)$$

де  $\mu(p_1)$  — кількість маркерів позиції  $p_1 \in P$ ;  $\#(p_1, I(t_j))$  — кратність вхідної позиції  $p_1$  для переходу  $t_j$ .

В результаті спрацювання дозволеного переходу  $t_j \in T$  змінюється маркування сітки

$$\begin{aligned} \mu' &= \{\mu'(p_1), \mu'(p_2), \mu'(p_3), \mu'(p_4)\}; \\ \mu'(p_1) &= \mu(p_1) - \#(p_1, I(t_j)) + \#(p_1, O(t_j)), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\mu'$  — нове маркування сітки;  $\mu'(p_1)$  — нове маркування позиції  $p_1 \in P$ ,  $\#(p_1, O(t_j))$  — кратність вихідної позиції  $p_1$  для переходу  $t_j$ .

### Імітаційні моделі елементів, які складають виробничі системи механообробки

Кожна з окремих одиниць обладнання характеризується певними параметрами. Наприклад, стан металообробного верстату визначається тривалістю виконання технологічних операцій, переліком інструмента в інструментальному магазині, типом інструмента, який використовується в даний час та ін. Найважливішими характеристиками накопичувачів та складського обладнання є їх ємність, час обміну виробами, порядок доступів до виробів.

Вхідні та вихідні матеріальні, а також інформаційні потоки мають дискретний характер та є рухом виробів, матеріалів, енергії, інформації. Наприклад, входами металообробного верстату є потоки заготовок, інструмента, енергії, керівної інформації, а виходи утворюються потоками оброблених деталей, використаних інструментів, відходів оброблення, інформації в систему керування [2, 3]. Процес функціонування кожного елемента системи механообробки — це зміна його стану в часі. Під час імітаційного моделювання системи механообробки використовується дискретний рух від події до події та приймається допущення, що в проміжках часу між подіями змін в системі не відбувається. Це дозволяє проводити імітаційні експерименти на достатньо тривалих інтервалах часу. Імітаційне моделювання автоматизованої системи механообробки (СМО), як і будь-якої іншої виробничої системи дискретного типу, передбачає визначення змісту і характеристик її елементів і зв'язків між ними.

В даному випадку кожному структурному елементу систем механообробки ставиться у відповідність набір позицій та переходів сітки Петрі, а кожний стан елемента однозначно характеризується визначеною розміткою сітки.

В описаній вище сітці Петрі позиції  $p_1 \in P$  є станом елемента системи механообробки, а переходи  $t_1 \in T$  відображають умови, що відповідають зміні стану та мають такий фізичний зміст:  $p_1$  — предмет матеріального або інформаційного потоку (деталь, різальний інструмент, сигнал керування), що чекає виконання над ним технологічної операції або будь-якої іншої дії;  $p_2$  — обладнання вільне та готове до виконання технологічних операцій;  $p_3$  — виконання технологічної операції;  $p_4$  — технологічна операція виконана;

$t_1$  — прибуття предмета матеріального або інформаційного потоку;  $t_2$  — початок виконання технологічної операції;  $t_3$  — закінчення виконання технологічної операції;  $t_4$  — відправка предмета матеріального чи інформаційного потоку.

Приклад сітки Петрі для імітаційного моделювання елемента СМО показано на рис. 1.

Тут маркування сітки Петрі  $\mu = \{0, 1, 0, 2\}$  відповідає стану елемента системи механообробки, коли виконання технологічних операцій над двома предметами різного типу завершено та обладнання готове до прийняття наступного предмета матеріально-інформаційного потоку, тобто дозволено тільки перехід  $t_1$ . Рух різнотипних предметів матеріально-інформаційного потоку від-

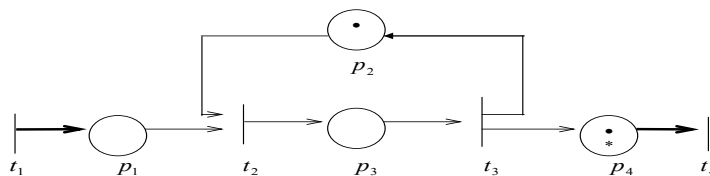


Рис. 1. Сітка Петрі для імітаційного моделювання елемента СМО

бражається в сітці маркерами різних кольорів.

Побудова загальної імітаційної моделі системи механообробки відбувається на основі принципу модульності та полягає в об'єднанні моделей всіх елементів в загальну сітку та встановленні між ними переходів [3, 4].

Сітка Петрі на рис. 2 ілюструє об'єднання двох моделей на прикладі системи «верстат—робот».

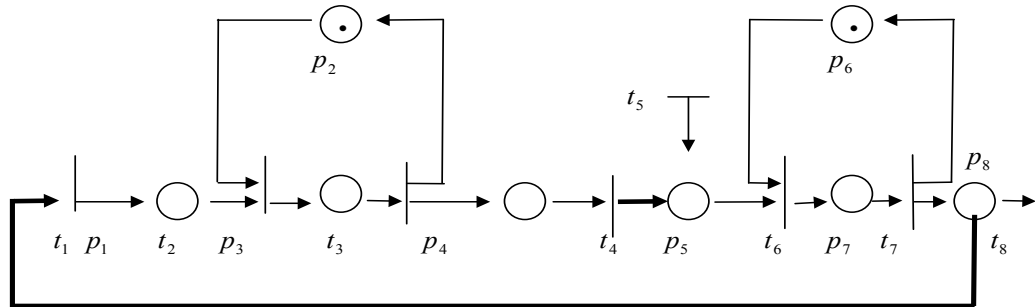


Рис. 2. Сітка Петрі для імітаційного моделювання системи «верстат—робот»

Сітка складається з двох моделей верстата та робота, зв'язки між якими показані на графі широкими стрілками. Стан та переходи сітки мають такий фізичний зміст:

$p_1$  — деталь чекає на оброблення на верстаті;  $p_2$  — верстат вільний;  $p_3$  — оброблення деталі на верстаті;  $p_4$  — деталь оброблена на верстаті;  $p_5$  — деталь чекає завантаження/вивантаження роботом;  $p_6$  — робот вільний;  $p_7$  — переміщення деталі роботом;  $p_8$  — деталь завантажена/вивантажена роботом;  $t_1$  — деталь завантажена на верстат;  $t_2$  — початок оброблення на верстаті;  $t_3$  — завершення оброблення на верстаті;  $t_4$  — оброблена деталь вивантажена з верстата;  $t_5$  — деталь надійшла для завантаження роботом;  $t_6$  — початок переміщення деталі роботом;  $t_7$  — завершення переміщення деталі роботом;  $t_8$  — оброблена деталь відправляється із системи «верстат—робот».

Маркування сітки  $\mu^0 = \{0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0\}$ , яке показано на графі (рис. 2), є початковим та відповідає стану готовності системи «верстат—робот» до оброблення деталей. При цьому дозволений тільки перехід  $t_5$ .

Для моделювання варіантів виробничої системи вводиться підсистема керування, яка працює за заданим алгоритмом, до функцій якої в необхідних випадках входить зміна параметрів моделі та станів елементів [5].

Узагальнену процедуру імітаційного експерименту з моделями системи механообробки запропонованого типу показано на рис. 3. Перед початком імітації виробництва виконується наладка параметрів моделі та задання початкового маркування сітки Петрі. Наладка параметрів полягає у заданні конкретного розподілення кольорів маркерів, значень часових затримок в позиціях сітки та кратностей дуг на входах та виходах переходів.

Імітація представляє собою циклічне виконання трьох основних процедур. З початку за умовою (1) визначається множина різних переходів та відповідних вихідних позицій, з яких обирається найближча за часом подія. Потім в результаті спрацювання переходу, відповідного найближчій події, в сітці Петрі створюється нове маркування, яке обчислюється за формулою (2). Та, на кінець, виконується перелік системного часу на величину часової затримки виконаної дії [4, 5].

Метою імітаційного експерименту може бути закінчення встановленого інтервалу часу, появлення в системі відповідної події, що очікується, або досягнення заданого маркування сітки. Після досягнення поставленої мети виконується статична інтерпретація результатів, які накопичилися в процесі імітації.

## Висновки

Важливою характеристикою систем моделювання є спосіб організації процесу моделювання в часі. Існує два таких способи — з фіксованим за часом кроком та від події до події. Виробничі системи механообробки відносяться до класу дискретних, тому для них більш ефективно моделювання за подіями, оскільки воно дозволяє економно використовувати машинний час, особливо у випадках, коли проміжки часу між подіями нерівномірні та великі.

Наведені приклади сіток Петрі показують, що вони можуть бути використані достатньо ефективно для імітаційного моделювання функціонування виробничих систем механообробки.

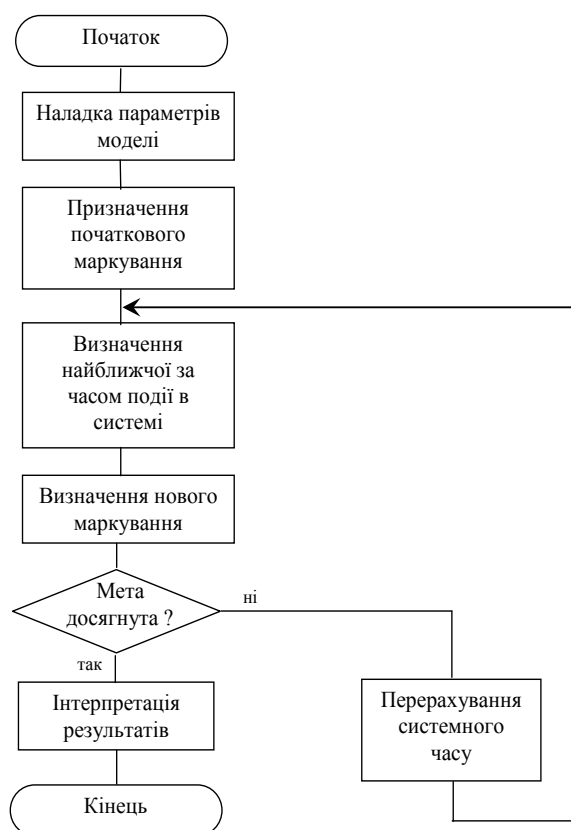


Рис. 3. Узагальнена процедура імітаційного експерименту з моделлю СМО

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Емельянов С. В. Управление гибкими производственными системами: Модели и алгоритмы. — М.: Машиностроение, 1987. — 368 с.
2. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 418 с.
3. Вавилова А. А. Имитационное моделирование производственных систем. — М.: Машиностроение; Техника, 1983. — 416 с.
4. Чудаков А. Д. Системы управления гибкими комплексами механообработки. — М.: Машиностроение, 1990. — 240 с.
5. Колосов А. Д. Аналитико-имитационная модель гибкого производственного участка механообработки. Сб. науч. тр. — Киев: Ин-т Кибернетики им. В. М. Глушкова, 1988. — 260 с.

Рекомендована кафедрою захисту інформації

Надійшла до редакції 8.09.04  
Рекомендована до друку 18.10.04

**Тарандушка Людмила Анатоліївна** — аспірантка кафедри інформатики та інформаційної безпеки.  
Черкаський державний технологічний університет