Мустафаев В.А., *кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой*
Кулиева У.Р.
(Сумгаитский государственный университет, Азербайджан)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНООБРОБОТКИ

Рассматривается разработка алгоритма функционирования раскрашенный сети Петри с селективный структурой. На основе этого алгоритма разработана модель функционирования гибкой производственной системы механообработки.

WORKING OUT THE MODEL OF FUNCTIONING FLEXIBLE MANUFACTURE SYSTEM OF MECHANICAL PROCESSING

In the paper development of functioning painted Petry net with selective structure is considered. On the base of this algorithm the model of functioning flexible manufacture system of mechanical processing is worked out.

Процесс моделирования показывает, что несмотря на теоретическую возможность, часто не удается из-за большой размерности и сложности построить сети Петри, моделирующие такие объекты, как участок гибких производственных систем, обрабатывающий центр с магазином инстру-ментов большой емкости и т.д. Использование сети Петри с разноцветными маркерами (СПРМ) существенно упрощает задачу моделирования таких объектов. СПРМ с конечным числом цветов маркеров эквивалентна по выразительным возможностям обыкновенной сети Петри. Она позволяет значительно сократить число позиций и переходов, необходимых для описания моделируемого объекта, что значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования.

В связи с этим, в статье рассматривается разработка модели функ-ционирования гибкой производственной системы механообработки в виде раскрашенный сети Петри.

Сети Петри с разноцветными маркерами [1] формально определяется как набор вида $N = (P, T, \Omega, F, H, \lambda, \Psi, \mu_0)$, где $P = \{p\}$ – непустое конечное множество позиций ; $T = \{t\}$ - непустое конечное множество переходов; $\Omega=\{\omega\}$- непустое конечное множество цветов маркеров;$F:P\times T \to \{0,1,2,...\}$ и $H:T\times P \to \{0,1,2,...\}$ – соответственно функции инцидентности множеств позиций и переходов;$\lambda : (P \times \Omega) \times T \to (0,1)$-функция распределения цветов маркеров по входным позициям переходов сети; $\psi:T\times(P\times\Omega)\to(P\times\Omega)$– функция распределения цветов маркеров по выходным позициям переходов сети; $\mu_0:P\times\Omega\to \{0,1,2,...\}$- начальная маркировка сети. Функции λ и Ψ задают законы срабатывания переходов и определяют распределение цветов маркеров по позициям сети в процессе ее функционирования.

Маркировка позиций сети представляется в виде матрицы размер-ности $|P|\times|\Omega|$, где $\mu_i(p,\omega)$ – число маркеров цвета ω в позиции p. Новая маркировка μ' при срабатывании перехода $t \in T$ определяется по формуле

$$\mu'(p,\omega) = \mu(p,\omega) + [H(t,p) - F(p,t)]\cdot \delta_t(\omega); \quad \text{где} \quad \forall p \in P; \ \omega \in \Omega; \ \delta_t(\omega) = \lambda_t$$

Функция допустимых распределений цветов маркеров по входным позициям переходов сети λ описывает условия их срабатывания. Функция распределения цветов по выходным позициям переходов сети Ψ определяет новую маркировку сети после срабатывания перехода.

Учитывая способ задания функции распределений цветов маркеров по входным и выходным позициям переходов, разработан алгоритм функцио-нирования сетей Петри с разноцветными маркерами, который состоит из следующих шагов (определена селективная структура раскрашенной сети, где ${}^{\bullet}t \in {}^{\bullet}C_t$ – множество допустимых входных, а $t^{\bullet} \in C^{\bullet}_t$ – множество допус-тимых выходных маркировок перехода t):

Шаг 1. Создание матрицы инцидентности множеств позиций F с раз-мерностью n×m: $F = [f_{ij}]$, $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,m}$;

$$\text{где} \quad f_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad p_i \in {}^{\bullet}t_j; \\ 0, & \text{если} \quad p_i \notin {}^{\bullet}t_j. \end{cases}$$

Шаг 2. Создание матрицы инцидентности множеств переходов H с размерностью m×n: $H = [h_{ji}]$, $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,m}$;

$$\text{где} \quad h_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad p_i \in t^{\bullet}_j; \\ 0, & \text{если} \quad p_i \notin t^{\bullet}_j. \end{cases}$$

Шаг 3. Создание матрицы начальной маркировки μ с размерностью n×к:
$\mu = [\mu_{i\ell}]$, $i = \overline{1, n}$, $\ell = \overline{1, k}$; где $\mu_{i\ell}$ равны числу маркеров цвета ω_ℓ в позиции p_i.

Шаг 4. Создание матрицы определения распределения цветов маркеров по входным позициям переходов λ с размерностью m×k: $\lambda = [\lambda_{j\ell}]$, $j = \overline{1,m}$, $\ell = \overline{1,k}$;

$$\text{где} \quad \lambda_{j\ell} = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad (\overrightarrow{t^{\bullet}, \omega_\ell}) \in {}^{\bullet}C_t; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Шаг 5. Создание матрицы определения распределения цветов маркеров по выходным позициям переходов ψ с размерностью m×к: $\Psi = [\Psi_{j\ell}]$, $j = \overline{1,m}$, $\ell = \overline{1,k}$;

$$\text{где} \quad \psi_{j\ell} = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad (\overrightarrow{t^{\bullet}, \omega_\ell}) \in C^{\bullet}_t; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Шаг 6. Поиск разрешенного перехода. Для каждого перехода t_j, $j = \overline{1,m}$ проверяется условие срабатывания:

а) из матрицы F определяются все входные позиции перехода t_j : $p_{i_1}, p_{i_2}, ..., p_{i_z}$, где $z = \left|{}^{\bullet}t_j\right|$;.

б) из матрицы λ определяются все доступные распределения цветов по входным позициям t_j : $\omega_{\ell_1}, \omega_{\ell_2}, ..., \omega_{\ell_p}$, $p \in [1, k]$;

в) из матрицы μ выбираются числа определенного цвета маркеров во всех определенных входных позициях перехода t_j:

$$\mu_{i_z \ell_p} = \left(p_{i_z}, \omega_{\ell_p} \right), \ z = \overline{1, \left| {}^{\bullet}t_j \right|}, \ p = \overline{1,k} \ ;$$

г) если для $\forall i_z$ существует $\exists \ \ell_p$ что, $\mu_{i_z \ell_p} \geq f_{i_z j}$, тогда переход t_j разрешен и выполняется шаг 8.

Шаг *7.* Если для перехода t_j условие срабатывания не выполняется, то индекс j увеличивается на единицу*:* $j=j+1$. Если $j \leq m$, то осуществляется переход к пункту а), в противном случае сообщается о тупиковом состоянии.

Шаг 8. Вычисление элементов матрицы $\mu^{/}$:

Шаг 9. Переход к шагу 6. Процесс продолжается до получения искомой маркировки.

Рассмотрим модель функционирования модуля обрабатывающего центра в гибкой производственной системе механообработки в виде раскрашенной сети. Обрабатывающий центр состоит из одного персонального входного накопителя, оборудования для выполнения двух операций и одного персонального выходного накопителя.

Связь модуля с предыдущим и последующим модулями происходит соответственно с помощью вышеуказанных накопителей. На модуле обрабатываются два типа деталей. Детали поступают на персональный входной накопитель и ожидают обработку. Деталь типа 1 требует выполнения операции 1, а деталь типа 2 требует выполнения операции 2. Если оборудование настроено на выполнение операции 1 и на накопитель поступает деталь типа 1, то выполняется операция 1, и деталь отправляется на выходной накопи-тель. Если оборудование настроено на выполнение операции 1 и на накопи-тель поступает деталь типа 2, то происходит переналадка оборудования из выполнения операции 1 на выполнение операции 2. После этого деталь пере-дается на обработку и выполняется операция 2. Если оборудование нас-троено на выполнение операции 2 и в накопитель поступает деталь типа 2, то выполняется операция 2, а если в накопитель поступает деталь типа 1, то происходит переналадка оборудования из выполнения операции 2 на выполнение операции 1 и только после этого деталь передается на обработку и выполняется операция 1.

Обработанные детали обоих типов поступают на выходной накопитель и ожидают отправку к последующему модулю.

В модели, составленной с помощью раскрашенной сети Петри (рис.1), состояния модуля обрабатывающий центр описываются восьми позициями: *p1*– входной накопитель, содержащий деталь для обработки; *p2* – переналадка оборудования от операции 1 на операцию 2; *p*3 – выполнение операции 1; *p4* – настройка оборудования на выполнение операции 1; *p5* – переналадка оборудования от операции 2 на операцию 1; *p6* – выполнение операции 2; *p7* – настройка оборудования на выполнение операции 2; *p*8 – выходной накопитель для отправки.

Возможные события в модуле обрабатывающий центр описываются восьми переходами: *t1* – деталь передается на обработку для операции 1; *t2* – деталь передается на обработку для операции 2; *t3* – деталь передается на обработку после переналадки оборудования от операции 1 на операцию 2; *t4* – выполняется операция 1; *t5* – деталь передается на обработку после переналадки оборудования от операции 2 на операцию 1; *t6* – выполняется операция 2; *t7* – деталь передается на выходной накопитель после операции 1; *t8* – деталь передается на выходной накопитель после операции 2. Детали 1-го и 2-го типа представляются соответственно маркерами двух цветов ω1 и ω2.

Функция инцидентности множеств позиций представляется матрицей $F\,[8,8]$:

F	*t1*	*t2*	*t3*	*t4*	*t5*	*t6*	*t7*	*t8*
p_1	1	1	1	0	1	0	0	0
p_2	0	0	0	0	0	1	0	0
p_3	0	0	0	0	0	0	1	0
p_4	1	0	1	0	0	0	0	0
p_5	0	0	0	1	0	0	0	0
p_6	0	0	0	0	0	0	0	1
p_7	0	1	0	0	1	0	0	0
p_8	0	0	0	0	0	0	0	0

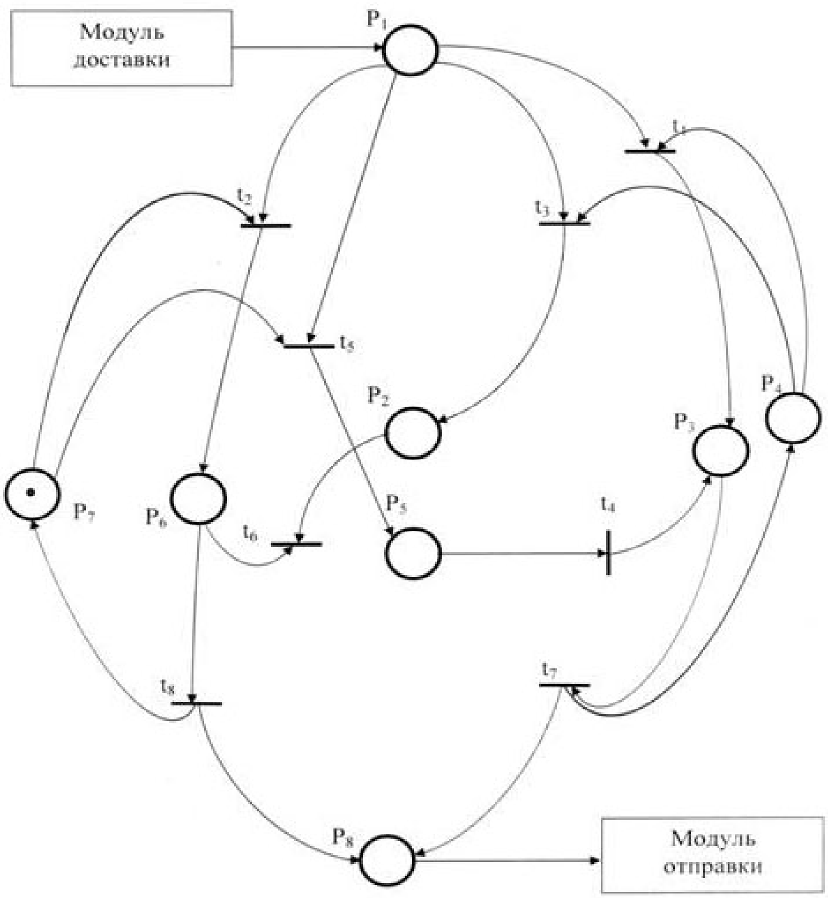

Рис.1. *Функция инцидентности множеств переходов представляется матрицей H[8,8]:*

H	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8
t1	0	0	1	0	0	0	0	0
t2	0	0	0	0	0	1	0	0
t3	0	1	0	0	0	0	0	0
t4	0	0	1	0	0	0	0	0
t5	0	0	0	0	1	0	0	0
t6	0	0	0	0	0	1	0	0
t7	0	0	0	1	0	0	0	1
t8	0	0	0	0	0	0	1	1

Распределения цветов маркеров по входным позициям переходов сети представляется матрицей λ[8,2]:

λ	ω1	ω2
t1	1	0
t2	0	1
t3	1	1
t4	1	0
t5	1	1
t6	0	1
t7	1	0
t8	0	1

Так как модель представляется селективной раскращенной сетью, матрица распределения цветов маркеров по входным позициям переходов сети совпадает с матрицей λ :Ψ[j,κ]=λ[j,k], $j=\overline{1,8}$, $k=\overline{1,2}$.

Начальная маркировка представляется матрицей μ [8,2]:

μ	ω1	ω2
p1	1	1
p2	0	0
p3	0	0
p4	1	0
p5	0	0
p6	0	0
p7	0	0
p8	0	0

Начальной маркировке соответствует состояние, когда на выходном накопителе находятся две детали типа ω_1, ω_2 и оборудование настроено на выполнение операции 1.

По вышеуказанным начальным данным проведен машинный экспе-римент и получены результаты:

$$\begin{Vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Vmatrix} \xrightarrow{t3} \begin{Vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Vmatrix} \xrightarrow{t7} \begin{Vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{Vmatrix} \xrightarrow{t3} \begin{Vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{Vmatrix} \xrightarrow{t6} \begin{Vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{Vmatrix} \xrightarrow{t8} \begin{Vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{Vmatrix}$$

Видно что, последовательность срабатываемых переходов запусков принимает вид $\delta=(t_1, t_7, t_3, t_6, t_8)$. Маркировке, полученной при запуске этой последовательности, соответствует состояние, когда обе детали обработаны и находятся на выходном накопителе, и оборудование настроено на выпол-нение операции 2. Из этого следует, что данная сеть жива и достижима.

Ресурсы современных компьютеров позволяют решать эти задачи с матрицами достаточно большого размера, что вполне удовлетворяет моделированию реальных дискретных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. М: Мир, 1984.
2. Управление ГПС: Модели и алгоритмы./ Под общ. ред. Академика АН СССР С.В.Емельякова, М: Машиностроение, 1987.