

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ОКРЕСТНОСТНЫХ СИСТЕМ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ¹

Шмырин А. М.²
(ЛГТУ, г. Липецк)

Седых И. А.³

(Институт права и экономики, г. Липецк)

Предложены алгоритмы идентификации и управления сетями Петри с позиции окрестностных систем.

Ключевые слова: сети Петри, окрестностные системы, идентификация, управление.

1. Введение

Сети Петри, как и другие дискретные модели, являются частным случаем окрестностных систем. В работе предложена методика преобразования сетей Петри в окрестностные системы, приведены алгоритмы идентификации и управления функционированием недетерминированной окрестностной системы, полученной на основе сети Петри.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 08-08-00803)

² Шмырин Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики (amsh@lipetsk.ru)

³ Седых Ирина Александровна, доцент кафедры математических, естественнонаучных и экономических дисциплин (sedykh-irina@yandex.ru)

2. Понятие окрестностной системы

Окрестностная система [1] описывается набором $NGS = (N, X, V, Z, W, X[0])$, где:

1) $N = (A, O_x, O_v)$ – структура окрестностной системы; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество узлов; O_x – окрестности связей узлов по состояниям; O_v – окрестности связей узлов по управлениям. Для каждого узла $a_i \in A$ определена своя окрестность по

состояниям $O_x[a_i] \subseteq A$ и управлениям $O_v[a_i] \subseteq A$; $O_x = \bigcup_{i=1}^n O_x[a_i]$,

$O_v = \bigcup_{i=1}^n O_v[a_i]$;

2) $X \in R^n$ – вектор состояний окрестностной системы в текущий момент времени;

3) $V \in R^m$ – вектор управлений окрестностной системы в текущий момент времени;

4) $Z \in R_+^n$ – вектор временных задержек в узлах, где R_+ – множество неотрицательных действительных чисел;

5) $W : X_{O_x} \times V_{O_v} \rightarrow X$ – функция пересчета состояний окрестностной системы (в общем случае недетерминированная), где X_{O_x} – множество состояний узлов, входящих в окрестность O_x ; V_{O_v} – множество управлений узлов, входящих в окрестность O_v ;

6) $X[0]$ – начальное состояние системы.

Функция W может быть произвольной, например линейной, билинейной, квадратичной, полиномиальной и т.д. В линейном случае W можно представить в виде системы линейных уравнений:

$$(1) \quad \sum_{x \in O_x[t+1, a_i]} w_x[t+1, a_i, \alpha] x[t+1, \alpha] = \sum_{x \in O_x[t, a_i]} w_x[t, a_i, \alpha] x[t, \alpha] + \sum_{\beta \in O_v[t, a_i]} w_v[t, a_i, \beta] v[t, \beta],$$

где $O_x[t+1, a_i]$, $O_x[t, a_i]$ – окрестности узла a_i по x соответственно в моменты времени $t+1$ и t ; $O_v[t, a_i]$ – окрестность узла a_i по v в момент времени t , $a_i \in A$, $x[t+1, a_i] \in R^n$, $x[t, a_i] \in R^n$ –

состояния в узле a_i системы соответственно в моменты времени $t + 1$ и t , $v[t, a_i] \in R^m$ – вход в узле a_i системы в момент времени t , $w_x[t + 1, a_i, a] \in R^{c \times n}$, $w_x[t, a_i, a] \in R^{c \times n}$, $w_v[t, a_i, b] \in R^{c \times m}$ – матрицы-параметры.

Здесь t – номер такта функционирования системы. В начальный момент времени $t = 0$ блокируются все узлы системы $a_i \in A$ на заданное время z_i . Первый такт $t = 1$ соответствует разблокированию узлов с минимальной временной задержкой $z_k = \min_{i=1, \dots, n} z_i$, состояния разблокированных узлов системы пересчитываются по формуле (1), узлы снова блокируются на заданное время и т.д.

Модель (1) можно представить в виде:

$$(2) \quad W_x[t + 1] \cdot X[t + 1] = W_x[t] \cdot X[t] + W_v[t] \cdot V[t],$$

где $W_x[t + 1]$, $W_x[t]$ – матрицы коэффициентов по состояниям в моменты времени $t + 1$ и t соответственно; $W_v[t]$ – матрица коэффициентов по входам в момент времени t .

Изменяя составляющие общего описания окрестностной системы, можно получить различные классы дискретных распределенных моделей, например, сети Петри, конечные, клеточные автоматы и т.д.

3. Методика преобразования сетей Петри в окрестностные системы

3.1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ МАРКИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ОКРЕСТНОСТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Обобщенная маркированная сеть Петри (или просто сеть Петри) задается $S = (N, m_0)$ [3], где:

1) $N = (P, T, F)$ – структура сети Петри S , для которой: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – непустое конечное множество позиций; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – непустое конечное множество переходов ($P \cap T = \emptyset$); F – множество дуг, разделяется на два подмножества: $\{p_i, t_j\} \subseteq P \times T$ и $\{t_j, p_i\} \subseteq T \times P$;

2) $m_0 = (m_1^0, \dots, m_n^0)^T$ – вектор начальной маркировки сети Петри, $m_i^0 \in \mathbb{N}_0$ ($i = 1, \dots, n$) – количество фишек в позиции p_i до

начала функционирования сети Петри. Здесь и далее N_0 – множество натуральных чисел и ноль, т. е. $N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$.

Покажем, что сеть Петри является динамической окрестностной системой. Поставим в соответствие позициям сети Петри $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ узлы окрестностной системы $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Маркировки позиций сети Петри будут соответствовать состояниям узлов окрестностной системы, начальная маркировка сети – состоянию окрестностной системы в начальный момент времени: $X[0] = m_0$. На каждый узел a_i ($i = 1, \dots, n$) окрестностной системы в каждый момент времени t воздействует управляющий сигнал $v[a_i, t]$, определяющий величину изменения состояния этого узла. [2, 4, 5]

Все множество связей между узлами A разобьем на m совокупностей окрестностей (слоев) $O[1], O[2], \dots, O[m]$. В каждый k -ый слой ($k = 1, \dots, m$) входят все узлы окрестностной системы $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ и часть связей между ними, соответствующая k -му переходу сети Петри. Так $x[j] \in O[k]_{x[t]}$ и $v[j] \in O[k]_{v[t]}$, если $\{p_i, t_k\} \subseteq F$ и $\{t_k, p_j\} \subseteq F$ ($i = 1, \dots, n, j=1, \dots, n$).

Для каждого k -го слоя окрестностной системы на основании правил функционирования сети Петри предложена система следующей структуры:

$$(3) \quad W_x^k[t+1] \cdot X[t+1] = W_x^k[t] \cdot X[t] + W_v^k[t] \cdot V[t],$$

где $W_x^k[t+1], W_x^k[t]$ – матрицы коэффициентов k -го слоя по состояниям в моменты времени $t+1$ и t соответственно; $W_v^k[t]$ – матрица коэффициентов k -го слоя по входам в момент времени t .

В каждый момент времени $t = \{0, 1, 2, \dots, q, \dots\}$ на основании текущего состояния узлов системы $X[t]$ формируется случайный вектор $D \in R^m$, состоящий из нулей и одной единицы в позиции, соответствующей выбираемому слою k , по уравнениям которого происходит пересчет состояний узлов окрестностной системы в следующий момент времени $t+1$. Таким образом, уравнение недетерминированной динамической линейной окрестностной системы, моделирующей сеть Петри, будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 & [W_x^1[t+1] \ W_x^2[t+1] \dots W_x^m[t+1]] \cdot D \cdot X[t+1] = \\
 (4) \quad & = [W_x^1[t] \ W_x^2[t] \dots W_x^m[t]] \cdot D \cdot X[t] + \\
 & + [W_v^1[t] \ W_v^2[t] \dots W_v^m[t]] \cdot D \cdot V[t].
 \end{aligned}$$

3.2. АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОКРЕСТНОСТНОЙ СИСТЕМЫ, МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СЕТЬ ПЕТРИ

Недетерминированная динамическая линейная окрестностная система, моделирующая сеть Петри, описывается системой уравнений (4). Особенностью системы является ее разбиение по слоям, причем каждому k -му слою соответствует своя система уравнений (3).

Пусть для окрестностной системы, заданной моделью (4), для каждого k -го слоя ($k = 1, \dots, m$) полностью определен набор всех $x[a_i, t]$, $v[a_i, t]$ в некоторый текущий момент времени t и $x[a_i, t+1]$ в следующий момент времени $t+1$ ($\forall a_i \in A$). Таким образом, для каждой k -ой системы (3) заданы наборы векторов $X[t]$, $X[t+1]$, $V[t]$. Исходные данные для идентификации системы получены в результате функционирования сети Петри. Требуется найти элементы матриц коэффициентов k -го слоя $W_x^k[t+1]$, $W_x^k[t]$, $W_v^k[t]$. В связи с особенностями полученной окрестностной модели, идентификация производится для каждого слоя отдельно.

В соответствии с [1], приведем систему (3) для каждого k -го слоя к виду:

$$(5) \quad A^k L^k = 0,$$

где L^k – матрица неизвестных коэффициентов специальной структуры k -го слоя. Число неизвестных коэффициентов в матрице L^k равно $3n^2$.

Для получения нетривиального решения системы (5) следует задать часть неизвестных матриц $W_x^k[t+1]$, $W_x^k[t]$, $W_v^k[t]$, т.е. решить задачу смешанной идентификации системы. Необходимое число задаваемых ненулевых элементов [1] равно $3n^2 - 3n$. Тогда (5) примет вид:

$$(6) \quad A^k L^k = B^k.$$

Критерий параметрической идентификации имеет вид:
 $\|A^k L^k - B^k\| \rightarrow \min$, для выполнения которого необходимо найти псевдорешение (6):

$$(7) \quad L^k = A^{k+} B^k + (E - A^{k+} A^k) y,$$

где A^{k+} – псевдообратная матрица к A^k ; E – единичная матрица; y – вектор с произвольными элементами соответствующей размерности.

Схема алгоритма параметрической идентификации окрестностной системы, полученной на основе сетей Петри, приведена на рис.1.

Идентификация модели (4) дает следующие результаты:

1. Все матрицы коэффициентов k -го слоя равны между собой: $W_x^k[t+1] = W_x^k[t] = W_v^k[t] = W^k$, $k = 1, \dots, m$.

2. Матрица коэффициентов любого слоя в уравнениях системы совпадает с матрицей смежности этого слоя: $W^k = S^k$, $k = 1, \dots, m$.

3. Вектор $V[t]$ зависит от выбранного слоя:
 $V[t] = [R_1 \ R_2 \ \dots \ R_m] \cdot D$.

Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$(8) \quad \begin{bmatrix} W^1 & W^2 & \dots & W^m \end{bmatrix} \cdot D \cdot (X[t+1] - X[t] - [R_1 \ R_2 \ \dots \ R_m] \cdot D) = 0.$$

3.3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОКРЕСТНОСТНЫХ СИСТЕМ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Временная сеть Петри C_t определяется как $C_t = (N, m_0, Z, S, S')$, где $Z = (z_1 \ z_2 \ \dots \ z_m)^T$, $z_k \in R_+$, $k = 1, \dots, m$, – вектор продолжительности срабатывания переходов (временных задержек, блокировок); $S = (s_1 \ s_2 \ \dots \ s_n)^T$, $s_i \in R_+$, $i = 1, \dots, n$, – вектор временных или материальных затрат; S' – суммарное значение затрат в текущий момент функционирования сети Петри; $S'_0 = 0$.

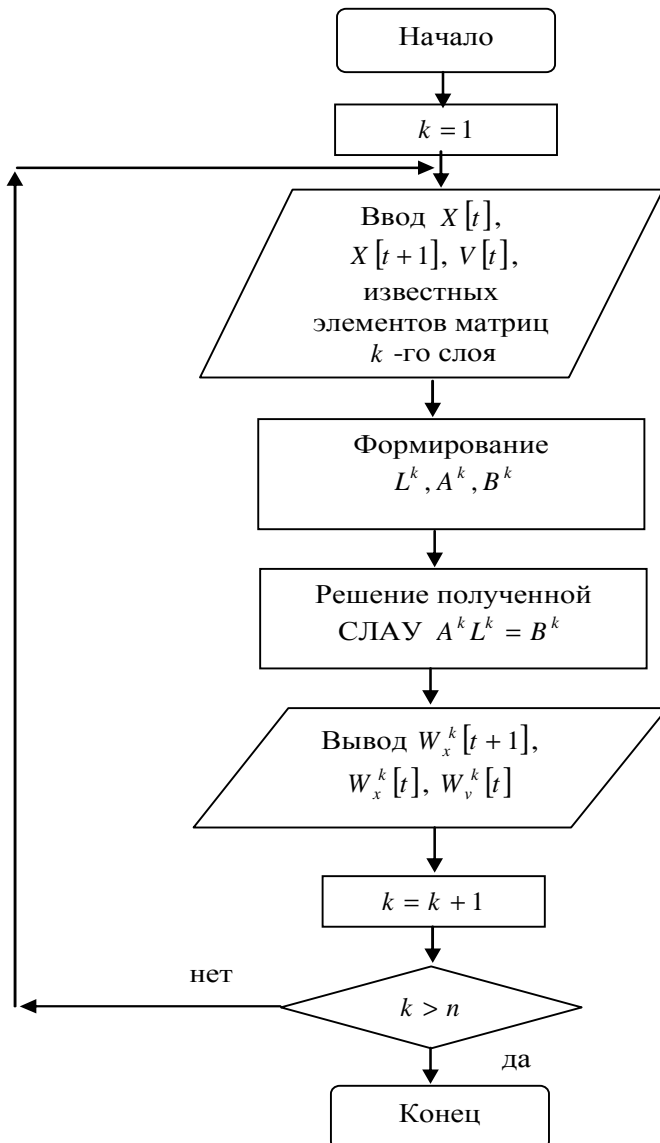


Рис.1 Схема алгоритма параметрической идентификации

Идентификация окрестностной системы, моделирующей временную сеть Петри, аналогична идентификации окрестностной системы, приведенной выше для обобщенных сетей Петри. Различия проявляются лишь в том, что каждому k -му слою ($k = 1, \dots, m$) приписывается время его блокировки z_k , и уравнение (8) разбивается на два уравнения – в начале и в конце блокировки слоя:

$$(9) \quad \begin{aligned} & [W^1 \ W^2 \ \dots \ W^m] \cdot D \cdot (X[t+1] - \\ & - X[t] - [R_1^- \ R_2^- \ \dots \ R_m^-] \cdot D) = 0; \end{aligned}$$

$$(10) \quad \begin{aligned} & [W^1 \ W^2 \ \dots \ W^m] \cdot D \cdot (X[t+1] - \\ & - X[t] - [R_1^+ \ R_2^+ \ \dots \ R_m^+] \cdot D) = 0. \end{aligned}$$

3.4. ПРИМЕР ИДЕНТИФИКАЦИИ ОКРЕСТНОСТНОЙ СИСТЕМЫ, ПОЛУЧЕННОЙ НА ОСНОВЕ СЕТИ ПЕТРИ

Приведем пример идентификации окрестностной системы, полученной на основе конкретной сети Петри. Рассмотрим сеть Петри (рис. 2).

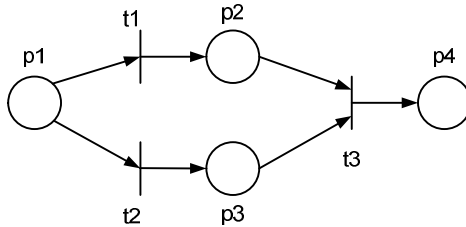


Рис.2. Пример сети Петри

Матрица инциденций данной сети:

$$R = R^+ - R^- = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Данной сети Петри соответствуют три совокупности элементарных окрестностей (слоя).

1. Первый слой.

Связи между узлами первого слоя окрестностной системы, соответствующего первому переходу сети Петри, показаны на рис. 3.

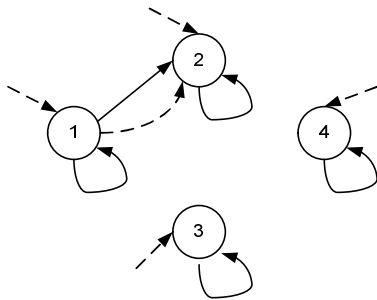


Рис.3. Первый слой окрестностной системы

Запишем уравнения этого слоя в общем виде.

$$\begin{cases} w_x^1[t+1,1,1]x_1[t+1] + w_x^1[t+1,1,2]x_2[t+1] = w_x^1[t,1,1]x_1[t] + \\ + w_x^1[t,1,2]x_2[t] + w_v^1[t,1,1]v_1[t] + w_v^1[t,1,2]v_2[t], \\ w_x^1[t+1,2,2]x_2[t+1] = w_x^1[t,2,2]x_2[t] + w_v^1[t,2,2]v_2[t], \\ w_x^1[t+1,3,3]x_3[t+1] = w_x^1[t,3,3]x_3[t] + w_v^1[t,3,3]v_3[t], \\ w_x^1[t+1,4,4]x_4[t+1] = w_x^1[t,4,4]x_4[t] + w_v^1[t,4,4]v_4[t]. \end{cases}$$

Исходные данные состояний и управлений, необходимые для идентификации системы, получим в результате функционирования сети Петри. Приведем систему к виду (6) и найдем ее решение.

После идентификации получаем следующую систему уравнений.

$$\begin{cases} x_1[t+1] + x_2[t+1] = x_1[t] + x_2[t] + v_1[t] + v_2[t], \\ x_2[t+1] = x_2[t] + v_2[t], \\ x_3[t+1] = x_3[t] + v_3[t], \\ x_4[t+1] = x_4[t] + v_4[t]. \end{cases}$$

В матричной форме:

$$W_x^1[t+1] \cdot X[t+1] = W_x^1[t] \cdot X[t] + W_v^1[t] \cdot V[t],$$

где $W_x^1[t+1] = W_x^1[t] = W_v^1[t] = S^1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$.

Управление для первого слоя: $V[t] = R_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$.

2. Второй слой.

Связи между узлами второго слоя окрестностной системы, соответствующего второму переходу сети Петри показаны на рис. 4.

Запишем уравнения этого слоя.

$$\begin{cases} w_x^2[t+1,1,1]x_1[t+1] + w_x^2[t+1,1,3]x_3[t+1] = w_x^2[t,1,1]x_1[t] + \\ + w_x^2[t,1,3]x_3[t] + w_v^2[t,1,1]v_1[t] + w_v^2[t,1,3]v_3[t], \\ w_x^2[t+1,2,2]x_2[t+1] = w_x^2[t,2,2]x_2[t] + w_v^2[t,2,2]v_2[t], \\ w_x^2[t+1,3,3]x_3[t+1] = w_x^2[t,3,3]x_3[t] + w_v^2[t,3,3]v_3[t], \\ w_x^2[t+1,4,4]x_4[t+1] = w_x^2[t,4,4]x_4[t] + w_v^2[t,4,4]v_4[t]. \end{cases}$$

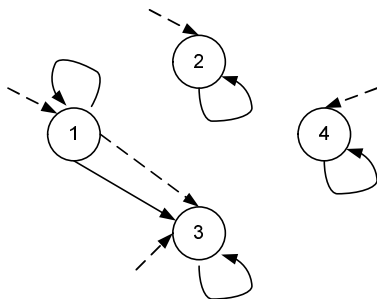


Рис.4. Второй слой окрестностной системы

После идентификации получаем следующую систему уравнений.

$$\begin{cases} x_1[t+1] + x_3[t+1] = x_1[t] + x_3[t] + v_1[t] + v_3[t], \\ x_2[t+1] = x_2[t] + v_2[t], \\ x_3[t+1] = x_3[t] + v_3[t], \\ x_4[t+1] = x_4[t] + v_4[t]. \end{cases}$$

В матричной форме:

$$W_x^2[t+1] \cdot X[t+1] = W_x^2[t] \cdot X[t] + W_v^2[t] \cdot V[t],$$

$$\text{где } W_x^2[t+1] = W_x^2[t] = W_v^2[t] = S^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\text{Управление для второго слоя: } V[t] = R_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

3. Третий слой.

Связи между узлами третьего слоя окрестностной системы, соответствующего третьему переходу сети Петри, показаны на рис. 5.

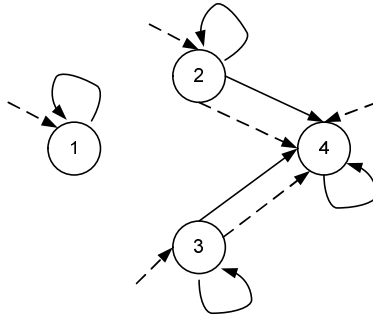


Рис.5. Третий слой окрестностной системы

Запишем уравнения 3-го слоя.

$$\begin{cases} w_x^3[t+1,1,1]x_1[t+1] = w_x^3[t,1,1]x_1[t] + w_v^3[t,1,1]v_1[t], \\ w_x^3[t+1,2,2]x_2[t+1] + w_x^3[t+1,2,4]x_4[t+1] = w_x^3[t,2,2]x_2[t] + \\ w_x^3[t,2,4]x_4[t] + w_v^3[t,2,2]v_2[t] + w_v^3[t,2,4]v_4[t], \\ w_x^3[t+1,3,3]x_3[t+1] + w_x^3[t+1,3,4]x_4[t+1] = w_x^3[t,3,3]x_3[t] + \\ w_x^3[t,3,4]x_4[t] + w_v^3[t,3,3]v_3[t] + w_v^3[t,3,4]v_4[t], \\ w_x^3[t+1,4,4]x_4[t+1] = w_x^3[t,4,4]x_4[t] + w_v^3[t,4,4]v_4[t]. \end{cases}$$

После идентификации получаем следующую систему уравнений.

$$\begin{cases} x_1[t+1] = x_1[t] + v_1[t], \\ x_2[t+1] + x_4[t+1] = x_2[t] + x_4[t] + v_2[t] + v_4[t], \\ x_3[t+1] + x_4[t+1] = x_3[t] + x_4[t] + v_3[t] + v_4[t], \\ x_4[t+1] = x_4[t] + v_4[t]. \end{cases}$$

В матричной форме:

$$W_x^3[t+1] \cdot X[t+1] = W_x^3[t] \cdot X[t] + W_v^3[t] \cdot V[t],$$

$$\text{где } W_x^3[t+1] = W_x^3[t] = W_v^3[t] = S^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\text{Управление для третьего слоя: } V[t] = R_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

4. Алгоритм управления функционированием окрестностной системы

Рассмотрим управление функционированием окрестностной системы, полученной на основе временной сети Петри S_7 . Управление осуществляется вектором D , единица в котором соответствует слою окрестностной системы. По уравнениям выбранного слоя происходит переход к новым состояниям.

Вектор D определяется на основании условия активности слоя недетерминированной окрестностной системы. Заблокированным будем считать слой, в котором в текущий момент времени выполняется задержка. Активным считается незаблокированный слой, для которого выполняется условие

$$(11) \quad X[t] \geq R_j^-.$$

В каждый момент времени может быть активно несколько слоев.

При управлении функционированием недетерминированной окрестностной системы можно ввести ограничение на количество активных слоев, которое позволит варьировать недетерминированность системы в каждый момент времени t .

Для недетерминированных окрестностных систем можно рассмотреть несколько критериев оптимальности, учитывающих, например, время функционирования производственного процесса, общее количество затрат на производство продукции и т.д. В данной работе рассмотрим критерий времени функционирования процесса при ограничении размера затрат:

$$(12) \quad J = \sum_{\tau=1}^T z_{\tau} \rightarrow \min \quad \text{при} \quad \sum_{\tau=1}^T \sum_{a_i \in O[\tau]} S[a_i] \leq S_{kp},$$

где τ – номер такта функционирования системы; $O[\tau]$ – активный

слой на шаге τ ; $a_i \in O[\tau]$ – узлы, входящие в слой; $S[a_i]$ – затраты в узле a_i ; $S_{кр}$ – критическое значение затрат.

Опишем алгоритм управления функционированием недетерминированной окрестностной системы на основе задания меры недетерминированности, обеспечивающий минимальное значение критерия при максимальном значении недетерминированности. Алгоритм основан на построении дерева состояний из текущего состояния на заданную глубину.

1. Каждому k -му слою ($k = 1, \dots, m$) окрестностной системы сопоставить свой вес (или приоритет) $w_k \in [0, 1]$ по следующему правилу: чем меньше время блокировки слоя z_k , тем больше приоритет.

2. Задать глубину дерева G . Задать начальное состояние $X[0]$. Задать меру недетерминированности $1/m \leq g \leq 1$, где m – количество слоев окрестностной системы; $t := 0$.

3. Для текущего состояния $X[t]$ найти множество активных слоев A_t в соответствии с условием (11). Если активных слоев нет, конец алгоритма.

4. В соответствии с мерой g найти подмножество B_t множества A_t , причем в B_t выбираются слои из A_t в порядке убывания приоритета.

5. В дерево добавить потомков узла $X[t]$, полученных в результате всех комбинаций последовательности функционирования слоев из множества B_t . Для каждого узла дерева v найти время функционирования t_v и величину затрат S_v . Причем, если для какого-либо узла дерева $S_v > S_{кр}$, то такой узел далее не рассматривается.

6. В цикле перебрать потомков узла $X[t]$, $t := t + 1$. Для каждого из потомков выполнять алгоритм, начиная с пункта 3.

В построенном дереве ищется путь, для которого $S_v \leq S_{кр}$ и время функционирования минимально. Найденный путь даст оптимальное значение критерия (12) при максимальной мере недетерминированности $g = 1$. При уменьшении меры недетерминированности можно получить квазиоптимальное решение, при этом существенно снижается время работы алгоритма.

5. Заключение

В работе предложена методика преобразования сетей Петри в окрестностные системы, приведены алгоритмы идентификации и управления функционированием недетерминированной окрестностной системы, полученной на основе сети Петри.

Обратное преобразование окрестностных систем в сети Петри возможно только для узкого класса окрестностных систем с заданными ограничениями. Например, окрестностная система, преобразуемая в сеть Петри, должна быть недетерминированной, с изменяющимися окрестностными связями в каждый момент времени (за исключением частного случая сети Петри с одним переходом).

Следует также отметить, что сети Петри являются удобным инструментом для имитационного моделирования параллельных процессов. К основным их достоинствам относятся наглядность представления и возможность анализа свойств полученной модели. Однако после проведения анализа свойств и разработки адекватной модели сети Петри и перехода к соответствующей окрестностной модели можно решать более общие задачи, например, задачи оптимизации, смешанного управления и т.д.

Литература

1. БЛЮМИН С. Л., ШМЫРИН А. М. *Окрестностные системы: монография*. – Липецк: ЛЭГИ, 2005. – 132 с.
2. БЛЮМИН С. Л., ШМЫРИН А. М., СЕДЫХ И. А. *Основные свойства сетей Петри как окрестностных систем* / Материалы Воронежской весенней математической школы «Понтрягинские чтения-ХІХ». – Воронеж: ВГУ, 2008. – С. 48-49.
3. ЛЕОНЕНКОВ А. В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. ШМЫРИН А. М., СЕДЫХ И. А. *Идентификация линейных окрестностных систем, представляющих сети Петри. Перспективы развития информационных технологий* / Сбор-

ник материалов I Всероссийской научно-практической конференции – Новосибирск: ЦРНС – Издательство СИБ-ПРИНТ, 2008. – С. 91-97.

5. ШМЫРИН А. М., СЕДЫХ И. А. *Моделирование сетей Петри линейными окрестностными системами*. Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы. Сборник научных трудов.– Липецк: МИПиЭ, 2008. – С. 133-136.

ALGORITHMS OF IDENTIFICATION AND OPERATIONAL CONTROL OF NEIGHBORHOOD SYSTEMS BUILT ON THE BASIS OF PETRI NETS

Anatoly Shmyrin, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Doctor of Science, professor (amsh@lipetsk.ru).

Irina Sedykh, Institute of Law and Economy, Lipetsk, assistant professor (sedykh-irina@yandex.ru).

The algorithms of identification and control for Petri nets are considered for the point of view of neighborhood systems theory.

Keywords: Petri nets, neighborhood systems, identification, control.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии А.К. Погодаевым