

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИТЕРАТИВНЫХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

А.М. Корнеев, В.Н. Малыш,
Т.А. Сметанникова

Кафедра электроники телекоммуникаций
и компьютерных технологий
Факультет физико-математических и компьютерных наук
Липецкий государственный педагогический университет
ул. Ленина, 42, Липецк, Россия, 398020

Моделируется иерархическая упорядоченная последовательность автоматов, описывающих многостадийную пространственно-распределенную систему как совокупность взаимосвязанных объектов (стадий обработки, агрегатов, операций).

Ключевые слова: моделирование, последовательность автоматов, итеративная цепь, производственная система, технологический процесс.

Сложные пространственно-распределенные производственные системы характеризуются многостадийностью процесса превращения сырья и исходных материалов в готовую продукцию. Для клеточно-иерархического синтеза сложных производственных систем удобно использовать итеративные цепи, базирующиеся на клеточной интерпретации. При синтезе достаточно сложных автоматов, соответствующих отдельным стадиям обработки, их разбивают на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие внутренние итеративные цепи.

Технологический процесс может осуществляться в виде параллельных и последовательных потоков (рис. 1).

Вектор составлен из скалярных входов

$$V[t] = (V_1[t], \dots, V_L[t]),$$

где L — число входов, аналогично для состояний (технологических факторов):

$$x[t] = (x_{11}[t], \dots, x_{1M_1}[t], x_{21}[t], \dots, x_{2M_2}[t], x_{k1}[t], \dots, x_{kM_k}[t])$$

выходов $y[t] = (y_1[t], \dots, y_R[t])$ и элементов затрат $z[t] = (z_1[t], \dots, z_G[t])$.

По стадиям обработки, агрегатам или операциям формируются функциональные блоки, которые описываются автоматами.

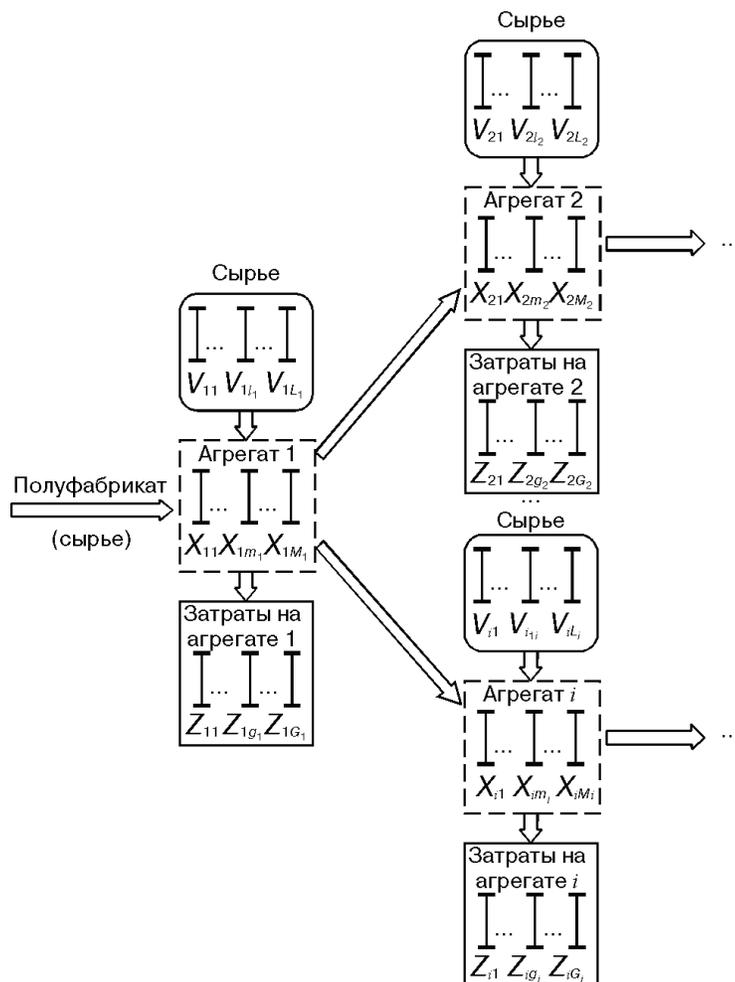


Рис. 1. Представление технологического процесса в виде параллельных потоков:

m_i X_{m_i} — технологический фактор i -й стадии обработки (агрегата); M_i — количество технологических факторов на i -й стадии обработки; Z_{ig} — g элемент затрат i -й стадии обработки; G_i — количество элементов затрат на i -м переделе; V_{i_l} — l -я входная величина i -й стадии обработки; L_i — количество входных элементов (сырья)

Структурные алфавиты входов, состояний и выходов могут иметь различную значность. Их составляющие можно представить следующим образом:

$k = 1, \dots, K$ — номер стадии обработки (функционального блока, агрегата);

$a_{kl_k j_{l_k}}$ — составляющая алфавитов входов,

где $j_{l_k} = 1, \dots, J_{l_k}$, где J_{l_k} — значность алфавита l -го входа на k -м агрегате;

$l_k = 1, \dots, L_k$ — номер входа (элементов сырья, полуфабрикатов) на k -м агрегате;

J_{l_k} — значность алфавита l -го входа на k -м агрегате;

$b_{k,m_k j_{m_k}}$ — составляющая алфавитов состояний (технологических факторов)

для k -го агрегата;

$j_{m_k} = 1, \dots, J_{m_k}$, где J_{m_k} — значность алфавита m -го технологического фактора на k -м агрегате;

$m_k = 1, \dots, M_k$ — номера факторов на k -й стадии обработки;

C_{rj_r} — составляющая алфавитов r -го выхода;

$j_r = 1, \dots, J_r$ — значность алфавита p -го выхода;

$r = 1, \dots, R$ — номер выхода ...

Пространственно-распределенную производственную систему можно представить в виде итеративной цепи (рис. 2).

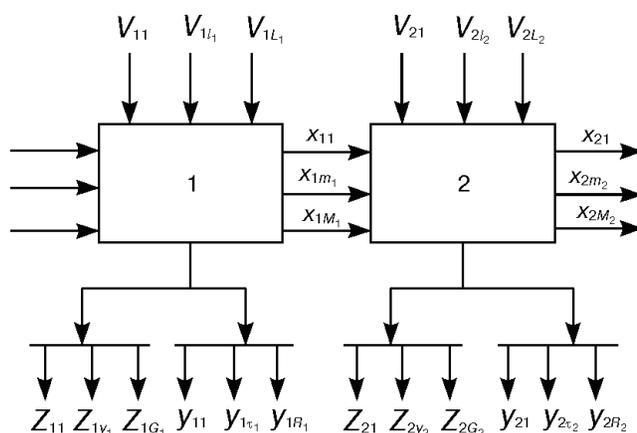


Рис. 2. Представление пространственно-распределенной производственной системы в виде итеративной цепи

Описать цепь можно с помощью уравнений

$$\begin{aligned} x(k) &= \Phi x(k-1) + \psi v(k), \\ y(k) &= Hx(k-1) + Gv(k). \end{aligned} \tag{1}$$

Данные уравнения применимы, если используется линейная итеративная цепь. В общем случае (при учете взаимного влияния величин) необходимо перейти к нелинейным итеративным цепям.

Так как для каждой клетки цепи (технологического агрегата) используется разное количество входов, состояний и выходов, а функции переходов и выходов не идентичны, формируется пространственно-неоднородная цепь.

В итоге технологический прогресс описан в виде клеток, каждая из которых соответствует отдельному технологическому агрегату или стадии обработки. Моделирование внутренних цепей иерархии клеток представлено на рис. 3.

Внутри стадии обработки технологические параметры реализуются одновременно или последовательно. Чтобы удобно было описывать реализацию процесса и осуществить его оперативное управление, необходимо для каждой клетки цепи, соответствующей одному агрегату или стадии обработки, сформировать внутренние итеративные цепи, учитывающие одновременную или последовательную реализацию технологических величин (рис. 4).

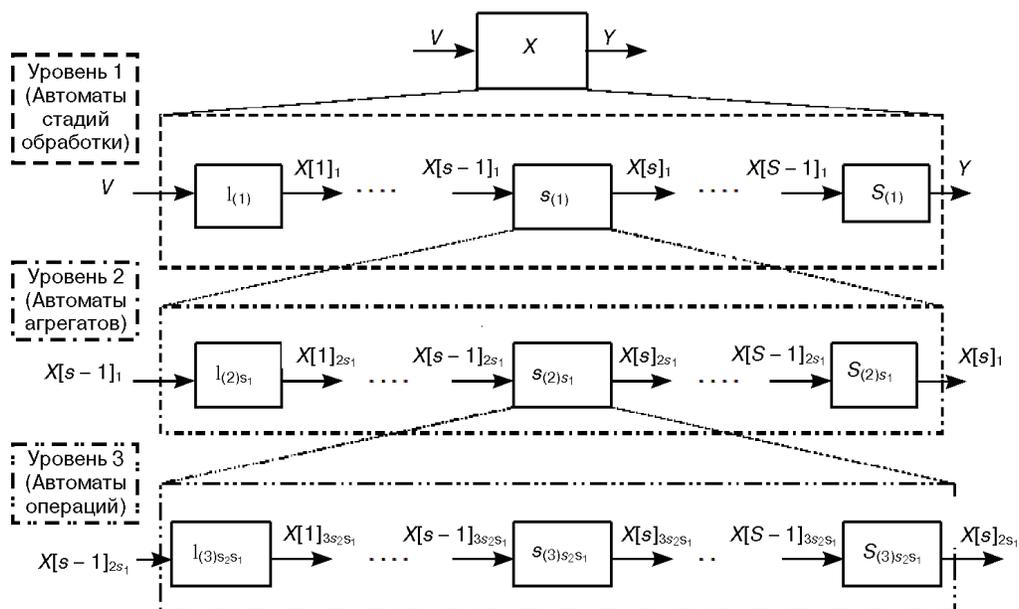


Рис. 3. Моделирование внутренних цепей иерархии клеток

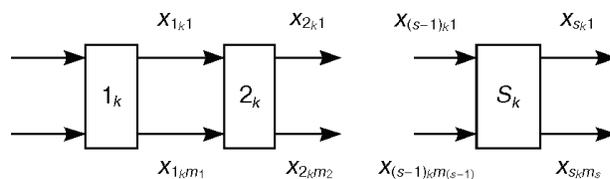


Рис. 4. Представление внутренней итеративной цепи k -й стадии обработки

Количество внутренних входов и выходов каждой клетки цепи может быть равным одному или m_{s_k} .

Варианты клеток представлены на рис. 5.

При этом

$$M_{s_k} = \sum_{j=1}^{s_k} m_j, \quad (2)$$

где m_j — количество внутренних выходов j -й клетки.

Каждый внутренний вход и выход клетки имеет три индекса (номер стадии обработки (k — номер клетки внешней цепи), номер клетки внутренней цепи (s), номер фактора, соответствующий его порядковой реализации — m_{s_k}).

На вход в первую клетку внутренней цепи поступают данные о факторах, реализованных на предыдущей стадии обработки (клетке внешней цепи).

Для каждой клетки необходимо формировать свои законы изменения состояний и выходов, описываемые в виде уравнений или таблиц.

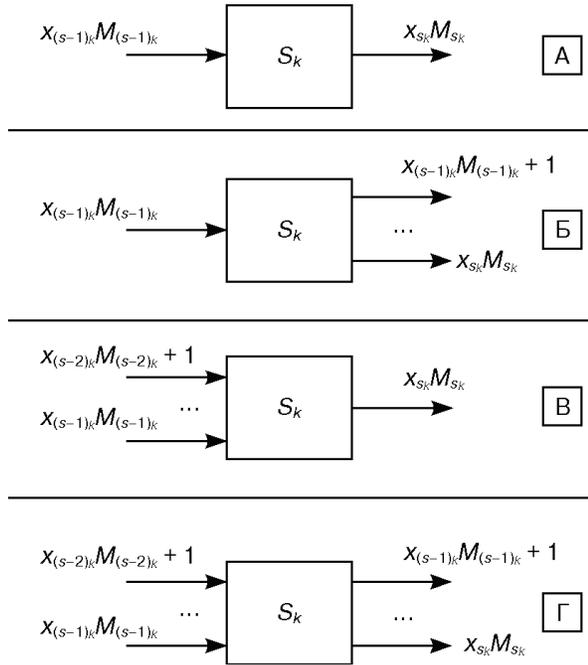


Рис. 5. Варианты внутренних входов и выходов клеток цепи

Клетки внутренней цепи неоднородны. Они описываются уравнениями

$$\begin{bmatrix} x_{(s-1)k} (M_{(s-1)k} + 1) \\ \dots \\ x_{S_k} M_{S_k} \end{bmatrix} = \Phi \begin{bmatrix} x_{(s-2)k} (M_{(s-2)k} + 1) \\ \dots \\ x_{(s-1)k} M_{(s-1)k} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Более полное представление может дать включение всех ранее реализованных факторов (состояний) и входных воздействий в таблицу. Ниже представлена такая таблица с накопленными на предыдущих агрегатах факторами (табл. 1).

Таблица 1

Таблица переходов с накопленными на предыдущих агрегатах и пределах факторами

$V_{11} \dots V_{1L_1}$	$V_{21} \dots V_{2L_2}$	...	$V_{(k-1)1} \dots V_{(k-1)L_{(k-1)}}$	$X_{11} \dots X_{1M_1}$	$X_{21} \dots X_{2M_2}$	...	$X_{k1} \dots X_{kM_k}$	...	$X_{(k-1)1} \dots X_{(k-1)M_{(k-1)}}$
$1_{(1)}$	$1_{(2)}$		$1_{(k-1)}$	$1_{(1)}$	$1_{(2)}$		$1_{(k)}$		$(k-1)$
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		
$A_{(1)}$	$A_{(2)}$		$A_{(k-1)}$	(1)	(2)		(k)		

Общее количество строк в такой таблице, являющейся полным перебором сочетаний алфавитов входов и состояний на всех рассмотренных стадиях обработки, велико и составляет

$$D = \prod_{i=1, \dots, k+1} \sigma_{\alpha} \times \prod_{i=1, \dots, k} \xi_{\beta} \dots \quad (4)$$

Таким образом, полное заполнение таблицы практически невозможно из-за отсутствия в реальных условиях производства некоторых сочетаний алфавитов.

Однако анализ реального производства позволяет выделить все основные комбинации входов и состояний при различных сочетаниях алфавитов. Эти сочетания и должны быть вынесены в данные таблицы переходов, причем использование такого представления дает наглядную картину реализации производственных процессов с выделением их основных траекторий.

После выделения всех встречающихся сочетаний алфавитов, которые можно назвать технологическими траекториями, число опытов $n_{\sigma\xi}$, приходящихся на каждую траекторию, может изменяться в пределах

$$0 < n_{\sigma\xi} \leq M, \tag{5}$$

где M — число опытов.

В то же время число сочетаний алфавитов (T), для которых $n_{\sigma\xi} > 0$ (при $n_{\sigma\xi} = 0$ сочетание автоматически исключается из таблицы), изменяется от 1 до M , но не более D .

В табл. 2 приведены внутренние выходы клетки s (k -й стадии обработки и глубины пространственной памяти s).

Таблица 2

Таблица внутренних входов клетки s (k -й стадии глубины пространственной памяти s)

Внешние входы цепи	Внутренние входы клеток				Внутренние входы цепи				Внутренние выходы клеток
	V_{11}	V_{21}	...	$V_{s_k 1}$	x_{1k1}	x_{2k1}	...	$x_{(s-1)k1}$	
$x_{S_{k-1}}$	...	...	...	...	...	...	...	...	$x_{s_k 1} \dots x_{s_k M_{s_k}}$
$x_{S_{k-1} M_{S_{k-1}}}$	V_{1L_1}	V_{2L_2}	...	$V_{s_k L_{s_k}}$	$x_{1k} M_{1k}$	$x_{2k} M_{2k}$	...	$x_{(s-1)k} M_{(s-1)k}$	
$\xi_{1(s_{k-1})}$	$\sigma_{1(1)}$	$\sigma_{1(2)}$	...	$\sigma_{1(s)}$	$\xi_{1(1)}$	$\xi_{1(2)}$	...	$\xi_{1(s-1)k}$	$\xi_{1(s_k)}$
...
$\xi_{B(s_{k-1})}$	$\sigma_{A(1)}$	$\sigma_{A(2)}$	...	$\sigma_{A(s)}$	$\xi_{B(1)}$	$\xi_{B(2)}$	...	$\xi_{B(s-1)k}$	$\xi_{B(s_k)}$

Автоматы (клетки), для которых функции переходов и выходов определены на всех парах входов и состояний являются полностью определенными или полными автоматами. Автоматы, для которых функции переходов и выходов определены не на всех парах входов и состояний, являются недоопределенными автоматами. Неиспользуемые пары в таблицы не заносятся.

Данные переходы описываются уравнениями:

$$\begin{bmatrix} x_{k1} \\ \dots \\ x_{k, M_k} \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} V_{k1} \\ \dots \\ V_{kL_k} \\ x_{k-1,1} \\ \dots \\ x_{k-1, M_{k-1}} \end{bmatrix} \tag{6}$$

или

$$X(k) = \Phi X(k-1) + \Psi V(k), \quad (7)$$

где $X(k) = (x_{k1}, \dots, x_{k, M_k})$, $X(k-1) = (x_{k-1,1}, \dots, x_{k-1, M_{k-1}})$, $V(k) = (V_{k1}, \dots, V_{kL_k})$.

$$\begin{aligned} x_{s_k j_{s_k}} [s] = & \phi_{s_k} (x_{1_{k1}} [1], \dots, x_{1_k M_{1k}} [1], x_{2_{k1}} [2], \dots, x_{2_k M_{2k}} [2], \dots, \\ & x_{(s-1)_{k1}} [s-1], \dots, x_{(s-1)_k M_{(s-1)_k}} [s-1], x_{S_{(k-1)1}} [1], \dots, x_{S_{(k-1) M_{S_{(k-1)}}}} [1], \\ & V_{11} [1] \dots V_{1L_1} [1], V_{21} [2] \dots V_{2L_2} [2], \dots, V_{s_k 1} [s], \dots, V_{s_k L_{s_k}} [s]). \end{aligned} \quad (8)$$

Для удобства составления таблиц все возможные сочетания входов и выходов можно представить в виде кодов, состоящих из номеров или букв, что позволяет не загромождать матрицу. Информация о кодах входов и выходов может быть приведена в отдельной таблице.

Выводы. Описан метод моделирования сложных пространственно-распределенных объектов на основе иерархии автоматов, принадлежащих к заранее заданному конечному числу типов автоматов. Рассмотрено описание пространственно-распределенных объектов с помощью конечных автоматов и неоднородных итеративных цепей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Блюмин С.Л., Корнеев А.М.* Дискретное моделирование систем автоматизации и управления: Монография. — Липецк: ЛЭГИ, 2005.
- [2] *Захаров Н.Г., Rogov В.Н.* Синтез цифровых автоматов: учебное пособие. — Ульяновск: УЛГТУ, 2003.
- [3] *Лазарев В.Г., Пийль Е.И.* Синтез управляющих автоматов. — М.: Энергоатомиздат, 1989.

THE USE OF ITERATIVE CIRCUITS TO DESCRIBE MULTISTAGE DISTRIBUTED INDUSTRIAL SYSTEMS

A.M. Korneev, V.N. Malysh,
T.A. Smetannikova

Department of Electronics, Telecommunications and Computer Technologies
Physics, Mathematics and Computer Science Faculty
Lipetsk State Pedagogical University
Lenina Str., 42, Lipetsk, Russia, 398020

Hierarchically ordered sequence of automatic machines, describing the multistage space-distributed system as a set of interrelated objects (stages of processing, equipment, operations) is modeled.

Key words: simulation, sequence of automatic machines, iterative circuit, industrial system, process.