

УДК 519.7

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ КЛЕТОЧНО-ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Корнеев А.М., Абдуллах Л.С., Аль-Саиди Ф.А.

*ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
Липецк, e-mail: d.48@rambler.ru*

Представлена методология структурного моделирования дискретных клеточно-иерархических систем. Моделируется иерархическая упорядоченная последовательность автоматов, описывающих многостадийную пространственно-распределённую систему как совокупность взаимосвязанных объектов (стадий обработки, агрегатов, операций). Основной задачей структурного клеточно-иерархического моделирования сложных систем является построение структурных схем автоматов на основе их композиции. Итеративная цепь – композиция неоднородных клеток (автоматов) разной степени сложности, имеющих последовательное соединение, в которых внутренние выходы предыдущих клеток (автоматов) являются внутренними входами последующих. Дискретная клеточно-иерархическая система – система многоуровневой структуры, представляющая собой композицию сложных автоматов (клеток), которые разбиваются на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие внутренние итеративные цепи. Процесс структурного моделирования начинается с формирования функциональных блоков, соответствующих отдельным стадиям обработки, каждый из которых представляется в виде конечного автомата высокого уровня. При моделировании сложных автоматов их разбивают на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие итеративные цепи. Приведен метод представления и описания многоступенчатых производств с использованием клеточной интерпретации процессов, применением конечных автоматов. Доказаны теоремы об использовании внутренних цепей иерархии клеток при моделировании дискретных клеточно-иерархических систем.

Ключевые слова: методология структурного моделирования, сложные дискретные системы, сочетания алфавитов состояний, клетки цепи

STRUCTURAL MODELING OF DISCRETE CELLULAR-HIERARCHICAL SYSTEM

Korneev A.M., Abdullakh L.S., Al-Saydi F.A.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: d.48@rambler.ru

Is the methodology of structural modeling of discrete cellular-hierarchical systems, Simulate the hierarchical state machines, describing an ordered sequence of spatially-distributed system of steelworks as a set of interrelated objects (processing stages, units, operations). The main objective of structural cell- hierarchical modeling of complex systems is the construction of block diagrams machines based on their composition. Complex composition of automata (cells), which are broken down into individual cells (elementary automata) forming the inner iterative chain. Structural modeling process begins with the formation of functional blocks corresponding to the individual processing steps, each of which is represented as a finite state machine high. When modeling complex machines is partitioned them into individual cells (elementary automata) forming iterative chain. A method for representation and description of multistage production with cellular processes of interpretation, application of finite automata.

Keywords: methodology structural modeling, complex discrete systems, combination of alphabets states, cell circuit

Сложные дискретные клеточно-иерархические системы характеризуются многостадийностью процесса превращения сырья и исходных материалов в готовую продукцию. Основной задачей структурного клеточно-иерархического моделирования таких систем является построение структурных схем автоматов на основе их композиции. Для клеточно-иерархического синтеза сложных многостадийных дискретных систем используются итеративные цепи, базирующиеся на клеточной интерпретации. Моделируется иерархическая упорядоченная последовательность автоматов, описывающих систему как совокупность взаимосвязанных объектов (стадий обработки, агрегатов, операций). При синтезе достаточно сложных автоматов, соответствующих отдельным стадиям обработки, их разбивают на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие внутренние итеративные цепи.

Определение 1. Итеративная цепь – композиция неоднородных клеток (автоматов) разной степени сложности, имеющих последовательное соединение, в которых внутренние выходы предыдущих клеток (автоматов) являются внутренними входами последующих.

Определение 2. Дискретная клеточно-иерархическая система – система многоуровневой структуры, представляющая собой композицию сложных автоматов (клеток), которые разбиваются на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие внутренние итеративные цепи.

Процесс структурного моделирования начинается с формирования функциональных блоков, соответствующих отдельным стадиям обработки, каждый из которых представляется в виде конечного автомата высокого уровня. Каждая операция, соответствующая определенной стадии обработки, может быть описана в виде клетки

без памяти и является автоматом нижнего уровня. Так как операции выполняются на отдельных технологических агрегатах, то каждый из агрегатов, в свою очередь, описывается в виде автомата более высокого уровня (автомата агрегата), который включает в себя цепочку клеток, образованную автоматами операций. Данная цепочка формирует линейную итеративную цепь [1, 2].

Аналогично, на более высоком уровне стадии обработки объединяют группы технологических агрегатов и могут быть представлены в виде комбинации клеток (автоматов стадий обработки), включающих в себя цепочки клеток (автоматов агрегатов) в виде внутренних итеративных цепей. После моделирования внутренних цепей иерархии клеток определяются внутренние входы и выходы каждой клетки всех уровней.

Сложные промышленные системы имеют структуру, дискретную по времени, пространству и алфавитам. Они обладают сложной нелинейной структурой связей по входам, состояниям и выходам, алфавиты которых конечны. По стадиям обработки формируются функциональные блоки, которые описываются автоматами. При синтезе достаточно сложных автоматов их разбивают на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие итеративные цепи или сети. Таким образом, в общем случае производственный процесс можно представить в виде композиции автоматов. В полученной системе производится отождествление стадий обработки с отдельными автоматами.

На следующем этапе формулируются условия работы каждого автомата, т.е. определяются условия его взаимодействия с другими объектами, выявляются необходимые входы и выходы автомата и намечается общий закон появления выходных сигналов в зависимости от воздействия на входы автомата. Упорядоченная последовательность автоматов, входящих в систему, которая характеризуется тем, что хотя бы один из выходных узлов каждого предыдущего автомата соединен с некоторым входным узлом следующего за ним автомата, формирует итеративную цепь.

При моделировании сложных автоматов их разбивают на отдельные клетки (элементарные автоматы), формирующие итеративные цепи или сети [1-3]. Цепи являются итеративными, т.к. процесс определения параметров каждой клетки связан с производственным процессом. По мере продвижения полуфабриката по стадиям обработки фиксируются значения технологических факторов, которые поступают в автоматы, соответствующие определенным стадиям обработки. Отсюда сигналы, вырабатываемые автоматами цепи, зависят от сигналов автоматов (клеток), сформированных на предыдущих стадиях обработки (итерациях).

Для каждой клетки необходимо формировать свои законы изменения состояний и выходов, описываемые в виде уравнений или таблиц. Отсюда можно сформировать таблицы переходов и выходов для каждой клетки (табл. 1, 2).

Таблица 1

Таблица переходов для k -й стадии обработки (k -й клетки цепи)

$x_{k-1,1}, \dots, x_{k-1,M_{k-1}}$	$(\xi_{1(k-1)})$	...	$(\xi_{\beta(k-1)})$	...	$(\xi_{B(k-1)})$
$v_{k1}, \dots, v_{kL_k}$	$\sigma_{1(k)}$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\ddots$
$\sigma_{\alpha(k)}$	$\dots$	$b_{k1j_1} \dots b_{km_k j_{m_k}} \dots b_{kM_k j_{M_k}}$	$(\xi_{\beta k})$	$\dots$	$\dots$
$\sigma_{A(k)}$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\ddots$	$\ddots$

Алфавиты входов, состояний и выходов могут иметь разную значность, и их составляющие представляются (кодируются) следующим образом:

$k = 1, \dots, K$ – номер стадии обработки (агрегата), a_{klj_k} – составляющая алфавитов входов, где $j_k = 1, \dots, J_k$, где J_k – значность алфавита l -го входа на k -м агрегате, $l = 1, \dots, L_k$ – номер входа (элементов сырья, полуфабрикатов) на k -м агрегате, J_k – знач-

ность алфавита l -го входа на k -м агрегате, $b_{k,m_k j_k}$ – составляющая алфавитов состояний (технологических факторов) для k -го агрегата, $j_k = 1, \dots, J_k$, где J_k – значность алфавита m -го технологического фактора на k -м агрегате, $m = 1, \dots, M_k$ – номера факторов на k -й стадии обработки. $C_{rj_k}^{rj_k}$ – составляющая алфавитов r -го выхода, $j_k = 1, \dots, J_k$ – значность алфавита p -го выхода, $r = 1, \dots, R$ – номер выхода.

Таблица 2

Таблица выходов для k -й стадии обработки (k -й клетки цепи)

$x_{k-1,1}, \dots, x_{k-1,M_{k-1}}$	$(\xi_{1(k-1)})$	...	$(\xi_{\beta(k-1)})$	...	$(\xi_{B(k-1)})$
$v_{k1}, \dots, v_{kL_k}$	$\sigma_{1(k)}$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\sigma_{\alpha(k)}$	$\dots$	$c_{k1j_1}, \dots, c_{kr_k j_{r_k}}, \dots, c_{kR_k j_{R_k}}$	$(\tau_{\gamma(k)})$	$\dots$	$\dots$
$\sigma_{A(k)}$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Таким образом, конечный входной алфавит:

$$V = \{a_{111}, \dots, a_{11J_1}\} \times \dots \times \{a_{1L_1 1}, \dots, a_{1L_1 J_{L_1}}\} \times \dots$$

$$\dots \times \{a_{k11}, \dots, a_{k1J_1}\} \times \dots \times \{a_{kL_k 1}, \dots, a_{kL_k J_{L_k}}\} =$$

$$= \left\{ \sigma_{\alpha_k}, \alpha_k = 1, \dots, A_k; A_k = \prod_{i=1}^{L_k} J_i \right\}, \quad (1)$$

где σ – вариант сочетаний алфавитов входов $V[t]$; A_k – максимальное количество сочетаний алфавитов входов на k -м агрегате.

Конечный внутренний алфавит (алфавит технологических факторов)

$$X = \{b_{111}, \dots, b_{11J_1}\} \times \dots \times \{b_{1M_1 1}, \dots, b_{1M_1 J_{M_1}}\} \times \dots$$

$$\dots \times \{b_{k11}, \dots, b_{k1J_1}\} \times \dots \times \{b_{kM_k 1}, \dots, b_{kM_k J_{M_k}}\} =$$

$$= \left\{ \xi_{\beta_k}, \beta_k = 1, \dots, B; B = \prod_{i=1}^{M_k} J_i \right\}, \quad (2)$$

где ξ_{β_k} – вариант сочетания алфавитов на k -м агрегате; K – число агрегатов на k -м агрегате; K – число агрегатов на k -м агрегате.

Вариант сочетания алфавитов на l -м агрегате:

$$\xi_{\beta_l} = \{b_{111}, \dots, b_{11J_1}\} \times \dots \times \{b_{1M_1 1}, \dots, b_{1M_1 J_{M_1}}\} =$$

$$= \left\{ \xi_{\beta_l}, \beta_l = 1, \dots, B_l; B_l = \prod_{i=1}^{M_l} J_i \right\}. \quad (3)$$

Вариант сочетания алфавитов на k -м агрегате:

$$\xi_{\beta_k} = \{b_{k11}, \dots, b_{k1J_1}\} \times \dots \times \{b_{kM_k 1}, \dots, b_{kM_k J_{M_k}}\} =$$

$$= \left\{ \xi_{\beta_k}, \beta_k = 1, \dots, B_k; B_k = \prod_{i=1}^{M_k} J_i \right\}. \quad (4)$$

Вариант сочетания алфавитов на последнем агрегате:

$$\xi_{\beta_K} = \{b_{K11}, \dots, b_{K1J_1}\} \times \dots \times \{b_{KM_K 1}, \dots, b_{KM_K J_{M_K}}\} =$$

$$= \left\{ \xi_{\beta_K}, \beta_K = 1, \dots, B_K; B_K = \prod_{i=1}^{M_K} J_i \right\}, \quad (5)$$

где σ_α – вариант сочетания алфавитов $V[t]$ на всех агрегатах:

$$\sigma_\alpha, \alpha = 1, \dots, A; A = \prod_{i=1}^K A_i, \quad (6)$$

где ξ_β – вариант сочетания алфавитов $x[t]$ на всех агрегатах:

$$\xi_\beta, \beta = 1, \dots, B; B = \prod_{i=1}^K B_i. \quad (7)$$

Конечный выходной алфавит:

$$Y = \{c_{11}, \dots, c_{1J_1}\} \times \dots \times \{c_{R1}, \dots, c_{RJ_R}\} = \left\{ \tau_\gamma, \gamma = 1, \dots, \Gamma; \Gamma = \prod_{i=1}^R J_i \right\}, \quad (8)$$

где τ_γ – вариант сочетания алфавитов входов $y[t]$.

Автоматы, 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.

Функция выходов имеет вид:

$$\tau_{\gamma(k)} = \varphi(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{\beta(k)}). \quad (9)$$

Сочетание алфавитов состояний на входе k -й клетки цепи, описывающей много-

$$(\xi_{i(k)}) \approx_k (\xi_{j(k)}) \Rightarrow \varphi_i(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{i(k)}) \approx_k \varphi_j(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{j(k)}).$$

Доказательство от противного. Если функции выходов $\varphi_i(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{i(k)})$ и $\varphi_j(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{j(k)})$ различны и $\tau_{i(k)} = \varphi_i(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{i(k)})$ и

$$\varphi_i(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{i(k)}) \approx_k \varphi_j(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{j(k)}) \Rightarrow (\xi_{i(k)}) \approx_k (\xi_{j(k)}).$$

Если для варианта сочетаний алфавитов входов $\sigma_{\alpha(k)}$, $\tau_{i(k)} = \tau_{j(k)}$, то $\varphi_i(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{i(k)}) \approx_k \varphi_j(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{j(k)})$. Следовательно, $(\xi_{i(k)}) \approx_k (\xi_{j(k)})$.

Теорема 2. Если итеративная цепь, соответствующая многостадийной пространственно-распределенной системе, состоит из конечной конфигурации автоматов с заданным конечным набором сочетаний алфавитов состояний, функции переходов которых описываются в табличной форме, то для любого автомата может быть сформирована последовательная декомпозиция элементарных автоматов.

Доказательство.

Поскольку задана таблица переходов, содержащая конечное множество возможных сочетаний алфавитов состояний, то соответствующие сочетания k -й клетки цепи

стадийную пространственно-распределенную систему, $\xi_{\beta_{k-1}}, \beta_{k-1} = 1, \dots, B_{k-1}; B_{k-1} = \prod_{i=1}^{M_k} J_i$,

представленное в таблице переходов, в результате операции перехода всегда будет попадать в один и тот же блок сочетания алфавитов состояний на выходе k -й клетки

$$\text{цепи } \xi_{\beta_k}, \beta_k = 1, \dots, B_k; B_k = \prod_{i=1}^{M_k} J_i$$

Теорема 1. Для того, чтобы два варианта сочетания алфавитов состояний k -й клетки цепи, описывающей многостадийную пространственно-распределенную систему, $(\xi_{i(k)})$ и $(\xi_{j(k)})$ были эквивалентны и итеративная цепь не различала их, необходимо и достаточно, чтобы под воздействием варианта сочетаний алфавитов входов σ_{α_k} цепь переходила в одинаковое сочетание алфавитов выходов $(\tau_{\gamma(k)})$.

Доказательство.

(Необходимость). Нужно доказать, что варианты сочетаний алфавитов состояний k -й клетки цепи эквивалентны:

$\tau_{j(k)} = \varphi_j(\sigma_{\alpha(k)}, \xi_{j(k)})$, то $\tau_{i(k)}$ и $\tau_{j(k)}$ могут различаться, а следовательно, итеративная цепь будет различать их и $(\xi_{i(k)})$, $(\xi_{j(k)})$ не эквивалентны.

(Достаточность). Нужно доказать, что

могут быть описаны как функция определенных сочетаний предыдущих клеток, которые могут быть объединены в одну клетку, что и определяет последовательную декомпозицию элементарных автоматов. Данные выводы подтверждаются работами [2–7].

Конечный автомат, описывающий многостадийную пространственно-распределенную систему, моделируется внутренними цепями иерархии клеток, в которых аргумент времени t не является основополагающим и заменяется на пространственный аргумент s .

Любой автомат цепи i -го уровня, соответствующий многостадийной пространственно-распределенной системе, всегда может быть смоделирован в виде итеративной цепи $i + 1$ -го уровня, вход которой является входом автомата $X[s - 1]$, а выход – выходом автомата $X[s1]$.

Заключение

Разработана методология структурного моделирования дискретных клеточно-иерархических систем. Выявлены структурные элементы таких систем, определены их основные характеристики. Доказаны теоремы об использовании внутренних цепей иерархии клеток и автоматных подходов, описывающие правила моделирования дискретных клеточно-иерархических систем.

Список литературы

1. Блюмин С.Л., Корнеев А.М. Дискретное моделирование систем автоматизации и управления: Монография; Липецкий эколого-гуманитарный институт – Липецк: ЛЭГИ, 2005. – 124 с.
2. Корнеев А.М. Структурное клеточно-иерархическое моделирование сложных пространственно-распределенных систем // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – № 1. – С. 62–66.
3. Корнеев А.М., Малыш В.Н., Сметанникова Т.А. Использование итеративных цепей для описания многостадийных пространственно-распределенных производственных систем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2012. – № 2. – С. 78–84.
4. Korneev A.M., Abdullah L.S., Smetannikova T.A. Structural cell-hierarchical identification of complex spatially distributed production systems // Proceedings of the 3rd International Academic Conference. – 2013, St. Louis, Missouri, USA. – P. 75–79.
5. Korneev A.M., Lavrukina T.V., Smetannikova T.A. Description of the technological process with a finite state machine // Proceedings of the Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2013, Vol. 1. – Vienna-Budapest-Bratislava, 2013. – P. 155–159.
6. Korneev A.M., Al-Saedi F.A., Al-Sabry G.M., Smetannikova T.A., Nagi A.M. Discrete modeling of complex manufacturing systems // International Scientific Journal, Theoretical & Applied Science. «Economy, technology, education and prospects for 2014», Malmö, Sweden. – № 2014. – P. 32–35.
7. Korneev A.M., Ziyautdinov V.S., Zolotareva T.A., Smetannikova T.A. The description of a technology with using iterative networks // «Science, Technology and Higher Education» 2nd international scientific conference, Vol. II, Westwood, Canada, 2013, P. 159–163.

Education» 2nd international scientific conference, Vol. II, Westwood, Canada, 2013, P. 159–163.

References

1. Bljumin, S.L., Korneev A.M. Diskretnoe modelirovanie sistem avtomatizacii i upravlenija: Monografija; Lipeckij jekologo-gumanitarnyj institut Lipeck: LJeGI, 2005. 124 p.
2. Korneev, A.M. Strukturnoe kletочно-ierarhicheskoe modelirovanie slozhnyh prostranstvenno-rasprelennyh sistem // Vesti vysshih uchebnyh zavedenij Chernozem'ja. 2011. no. 1. pp. 62–66.
3. Korneev, A.M., Malyshev V.N., Smetannikova T.A. Ispol'zovanie iterativnyh cepej dlja opisanija mnogostadijnyh prostranstvenno-rasprelennyh proizvodstvennyh sistem // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Inženernye issledovanija. 2012. no. 2. pp. 78–84.
4. Korneev A.M., Abdullah L.S., Smetannikova T.A. Structural cell-hierarchical identification of complex spatially distributed production systems // Proceedings of the 3rd International Academic Conference. 2013, St. Louis, Missouri, USA. pp. 75–79.
5. Korneev A.M., Lavrukina T.V., Smetannikova T.A. Description of the technological process with a finite state machine // Proceedings of the Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2013, Vol. 1. Vienna-Budapest-Bratislava, 2013. pp. 155–159.
6. Korneev A.M., Al-Saedi F.A., Al-Sabry G.M., Smetannikova T.A., Nagi A.M. Discrete modeling of complex manufacturing systems // International Scientific Journal, Theoretical & Applied Science. «Economy, technology, education and prospects for 2014», Malmö, Sweden. no. 2014. pp. 32–35.
7. Korneev A.M., Ziyautdinov V.S., Zolotareva T.A., Smetannikova T.A. The description of a technology with using iterative networks // «Science, Technology and Higher Education» 2nd international scientific conference, Vol. II, Westwood, Canada, 2013, pp. 159–163.

Рецензенты:

Володин И.М., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк;

Шмырин А.М., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой высшей математики, ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.