

## Математическая модель иерархических систем управления на БИС и СБИС

Баркалов А. А.

Донецкий Государственный Технический  
Университет, кафедра ЭВМ

тел: 91-07-35

e-mail: mold@dstu.donetsk.ua

### Abstract

*Barkalov A. The mathematical model of hieracial systems of control on LSI and VLSI. The mathematical model of multilevel control systems is proposed. The model is named compositional automaton and it is the resulting automaton of the heterogenable network of the component automaton. The examples of the real systems which could be represented as compositional automaton is discussed. The main problems which permit to obtain the control systems with minimal number of chips are analysed.*

### Введение

Прогресс в области микроэлектроники привел к появлению широкой номенклатуры больших и сверхбольших интегральных схем, таких как микропроцессоры, базовые матричные кристаллы, программируемые логические матрицы (ПЛМ), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) [1]. Появление СБИС выдвигает на первый план проблему получения бездефектных проектных спецификаций, оперативное решение которой возможно только при применении автоматизированных методов проектирования цифровых систем [2]. При этом возникает необходимость разработки адекватных математических моделей и формальных методов структурного синтеза, ориентированных на применение в САПР и кремниевых компиляторах.

Одним из базовых блоков цифровой системы является управляющий автомат, эффективность схемы которого существенно влияет на общую производительность системы. В настоящее время постоянно растущая сложность алгоритмов управления, ярко выраженная тенденция микропрограммной реализации программных функций (вертикальная миграция), прогресс в развитии элементарной базы требуют развития методов структурного синтеза автоматов. При этом одной из важных проблем является проблема оптимизации аппаратных затрат в логической схеме автомата. Возможный путь решения этой проблемы – модификация структуры логической схемы автомата, максимально соответствующая характеристикам реализуемого алгоритма и параметрам элементного базиса.

Процессы развития элементного базиса и архитектурно-структурных принципов построения цифровых систем взаимно стимулируют друг друга. В настоящее время появление БИС с регулярной структурой стимулирует новые принципы организации управляющих автоматов, что вызывает необходимость в новых методах структурного синтеза [3].

### Математическая модель систем управления

Анализ систем с распределенным управлением, мультимикропрограммных систем, систем с параллельной обработкой информации позволяет сделать вывод, что в современных цифровых системах все более доминирует тенденция многоуровневого иерархического управления. Это вызывает необходимость в адекватной математической модели, позволяющей формализовать процесс синтеза подобных систем.

Назовем такую модель композиционным автоматом (КА), под которым будем понимать результирующий автомат сети, содержащей комбинационные схемы, автоматы с "жесткой" и "программируемой" логикой (рис. 1).

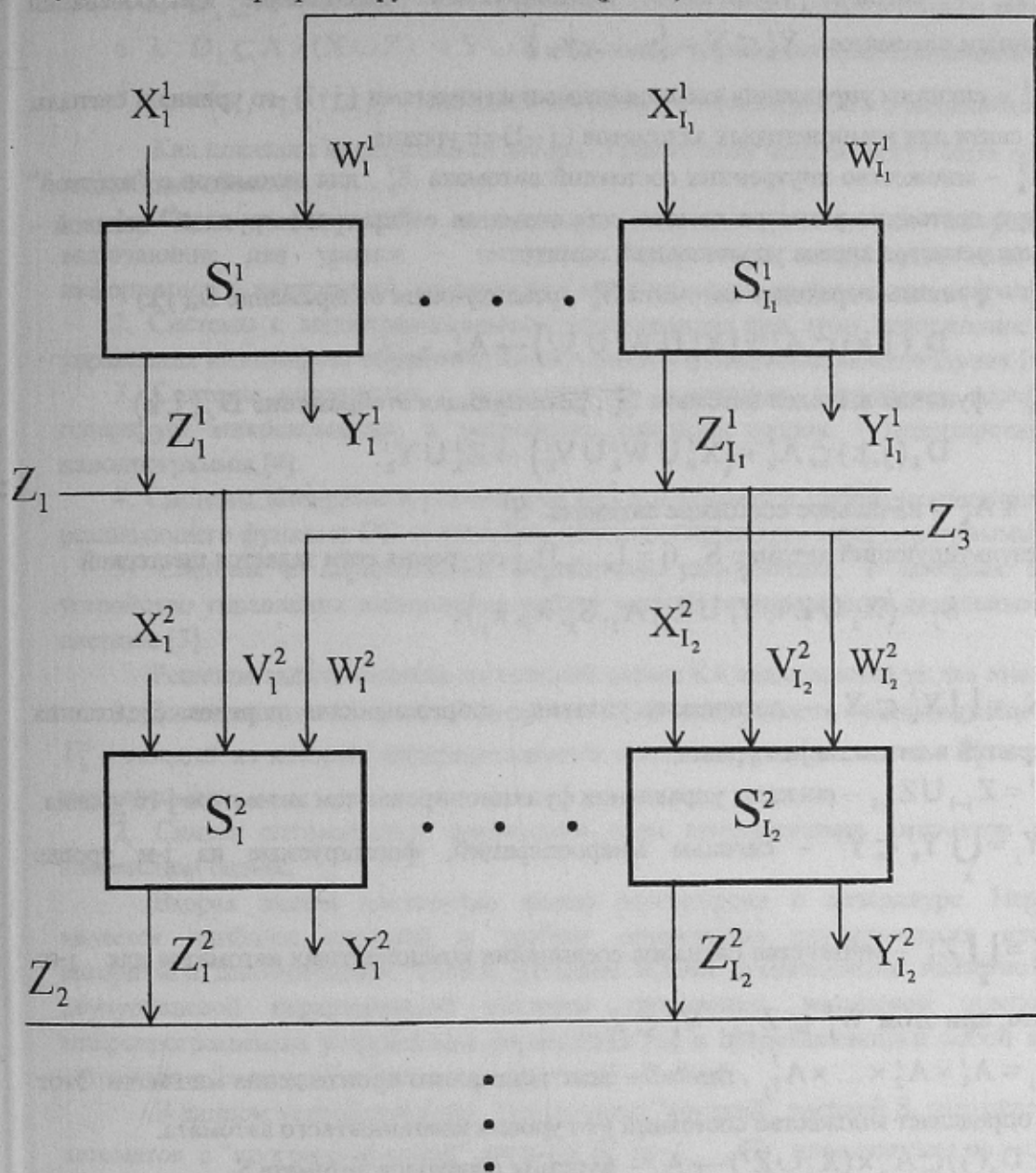


Рис. 1. Структурная схема композиционного автомата

Композиционный автомат  $S$  – это результирующий автомат сети, включающей  $J$  уровней ( $J=1, 2, \dots$ ), на каждом уровне находится  $I_j$  ( $j=1, \dots, J$ ) автоматов различных типов.

Компонентный автомат  $S_k^j$   $j$ -го уровня КА ( $k=1, \dots, I_j$ ) задается шестеркой

$$S = \langle X_k^j \cup W_k^j \cup V_k^j; Z_k^j \cup Y_k^j; A_k^j; S_k^j; \lambda_k^j; a_k^j \rangle$$

где:

1.  $X_k^j$  – сигналы логических условий, поступающие из операционного автомата,  $X_k^j \subseteq X = \{x_1, \dots, x_L\}$ .
2.  $W_k^j$  – сигналы обратной связи, поступающие от компонентных автоматов  $(j+1)$ -го уровня и представляющие собой запрос на продолжение работы.

3.  $V_k^j$  – сигналы управления, поступающие от компонентных автоматов  $(j-1)$ -го уровня для инициации работы на  $j$ -м уровне.

4.  $Y_k^j$  – сигналы управления, иницирующие выполнение микроопераций операционным автоматом,  $Y_k^j \subseteq Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ .

5.  $Z_k^j$  – сигналы управления компонентными автоматами  $(j+1)$ -го уровня и сигналы обратной связи для компонентных автоматов  $(j-1)$ -го уровня.

6.  $A_k^j$  – множество внутренних состояний автомата  $S_k^j$ , для автоматов с “жесткой” логикой это состояние регистра памяти, для автоматов с “программируемой” логикой – содержимое регистра адреса управляющей памяти.

7.  $S_k^j$  – функция переходов автомата  $S_k^j$ , реализующая отображение  $D_s(j, k)$

$$D_s(j, k) \subseteq A_k^j \times (X_k^j \cup W_k^j \cup V_k^j) \rightarrow A_k^j.$$

8.  $\lambda_k^j$  – функция выходов автомата  $S_k^j$ , реализующая отображение  $D_\lambda(j, k)$

$$D_\lambda(j, k) \subseteq A_k^j \times (X_k^j \cup W_k^j \cup V_k^j) \rightarrow Z_k^j \cup Y_k^j.$$

9.  $a_k^j \in A_k^j$  – начальное состояние автомата  $S_k^j$ .

Результирующий автомат  $S_j$  ( $j = 1, \dots, J$ )  $j$ -го уровня сети задается шестеркой

$$S_j = \langle X_j \cup Z^j, Y_j \cup Z_j, A_j, S_j, \lambda_j, a_j \rangle,$$

где:

1.  $X_j = \bigcup_k X_k^j \subseteq X$  – логические условия, определяющие порядок следования микроопераций в автомате  $j$ -го уровня.

2.  $Z^j = Z_{j-1} \cup Z_{j+1}$  – сигналы управления функционированием автоматов  $j$ -го уровня.

3.  $Y_j = \bigcup_k Y_k^j \subseteq Y$  – сигналы микроопераций, формируемые на  $j$ -м уровне иерархии.

4.  $Z_j = \bigcup_k Z_k^j$  – множество сигналов соединения компонентных автоматов для  $j$ -го уровня сети, при этом  $W_j^k \subseteq Z_{j-1}$ ,  $V_j^k \subseteq Z_{j+1}$ .

5.  $A_j = A_1^j \times A_2^j \times \dots \times A_{I_j}^j$ , где “ $\times$ ” – знак векторного произведения множеств. Этот параметр определяет множество состояний  $j$ -го уровня компонентного автомата.

6.  $S_j: D_s(j) \subseteq A_j \times (X_j \cup Z^j) \rightarrow A_j$  – функция переходов автомата  $S_j$ .

7.  $\lambda_j: D_\lambda(j) \subseteq A_j \times (X_j \cup Z^j) \rightarrow Y_j \cup Z_j$  – функция выходов автомата  $S_j$ .

8.  $a_j = \langle a_1^j, a_2^j, \dots, a_{I_j}^j \rangle$  – начальное состояние автомата  $S_j$ .

Результирующий композиционный автомат задается шестеркой

$$S = \langle X \cup Z, Y \cup Z, A, S, \lambda, a_0 \rangle,$$

где:

1.  $Z = \bigcup_j Z_j = \bigcup_j Z^j$  – множество сигналов соединения компонентных автоматов сети.

2.  $X = \{x_1, \dots, x_L\}$  – множество логических условий, определяемое реализуемым алгоритмом управления.

3.  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$  – множество микроопераций, определяемое структурными элементами операционного автомата.



4.  $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_j = \{a_0, a_1, \dots, a_M\}$  – множество состояний композиционного автомата.
5.  $S : D_s \subseteq A \times (X \cup Z) \rightarrow A$  – функция переходов композиционного автомата.
6.  $\lambda : D_\lambda \subseteq A \times (X \cup Z) \rightarrow Y \cup Z$  – функция переходов композиционного автомата.
7.  $a_0 = \langle a_1, a_2, \dots, a_j \rangle$  – исходное состояние композиционного автомата.

Как показали исследования автора, в рамке этой модели могут быть представлены следующие объекты:

1. Системы управления в эмулирующих однокристальных микропроцессорах, включающие два уровня – внешний, содержащий микропрограммы обработки информации, и внутренний, содержащий микропрограммы отдельных операций [2].
2. Системы с децентрализованным управлением, при этом центральное устройство управления инициирует обработку информации в функциональных модулях [4].
3. Системы управления с нанопамью, в которых устройство верхнего уровня генерирует микрокоманды, а устройство нижнего уровня – интерпретирующие их нанопрограммы [4].
4. Системы аппаратной реализации ОС представляют собой композицию автомата, реализующего функции ОС, и автомата интерпретирующего микропрограммы [5].
5. Системы с параллельной обработкой информации, в которых центральное устройство управления инициирует работу устройств управления отдельных компонент системы [3].

Решение задачи синтеза логической схемы КА выполняется за два этапа:

1. Декомпозиция исходного алгоритма  $\Gamma$  на совокупность компонентных алгоритмов  $\Gamma_k^j$ , каждый из которых интерпретируется компонентным автоматом  $S_k^j$  и определение типа автомата.
2. Синтез оптимальных логических схем компонентных автоматов в заданном элементном базисе.

Вторая задача достаточно полно рассмотрена в литературе. Первая задача является наиболее сложной и требует применения эвристических итерационных алгоритмов декомпозиции. Точное решение задачи декомпозиции известно только для двухуровневой иерархической системы управления, названной композиционным микропрограммным устройством управления [6] и представляющей собой композицию автоматов с “жесткой” и “программируемой” логикой.

В данном устройстве (рис. 2) автомат с “жесткой” логикой  $S_1$  запускает один из  $G$  автоматов с “программируемой” логикой  $S_2^g$  ( $g=1, \dots, G$ ), находящихся на втором уровне иерархии. Каждый из автоматов второго уровня интерпретирует одну из  $G$  операторных линейных цепей (ОЛЦ). Под ОЛЦ понимается последовательность микрокоманд, выполняющихся в естественном порядке. Признаком окончания  $g$ -й цепи является сигнал  $y_0^g$ , поступающий через цепь обратной связи  $y_0$  в автомат первого уровня.

## Заключение

1. Композиционный автомат является математической моделью, позволяющей эффективно задавать многоуровневые иерархические системы управления.
2. Эффективное применение модели предполагает решение сложной проблемы оптимальной декомпозиции исходного алгоритма управления на компонентные алгоритмы.
3. Для решения задачи декомпозиции граф-схем алгоритмов большой размерности необходимо разработать эффективные формальные методы, позволяющие автоматизировать процесс декомпозиции и дающие результаты, сравнимые с известными эвристическими методами.

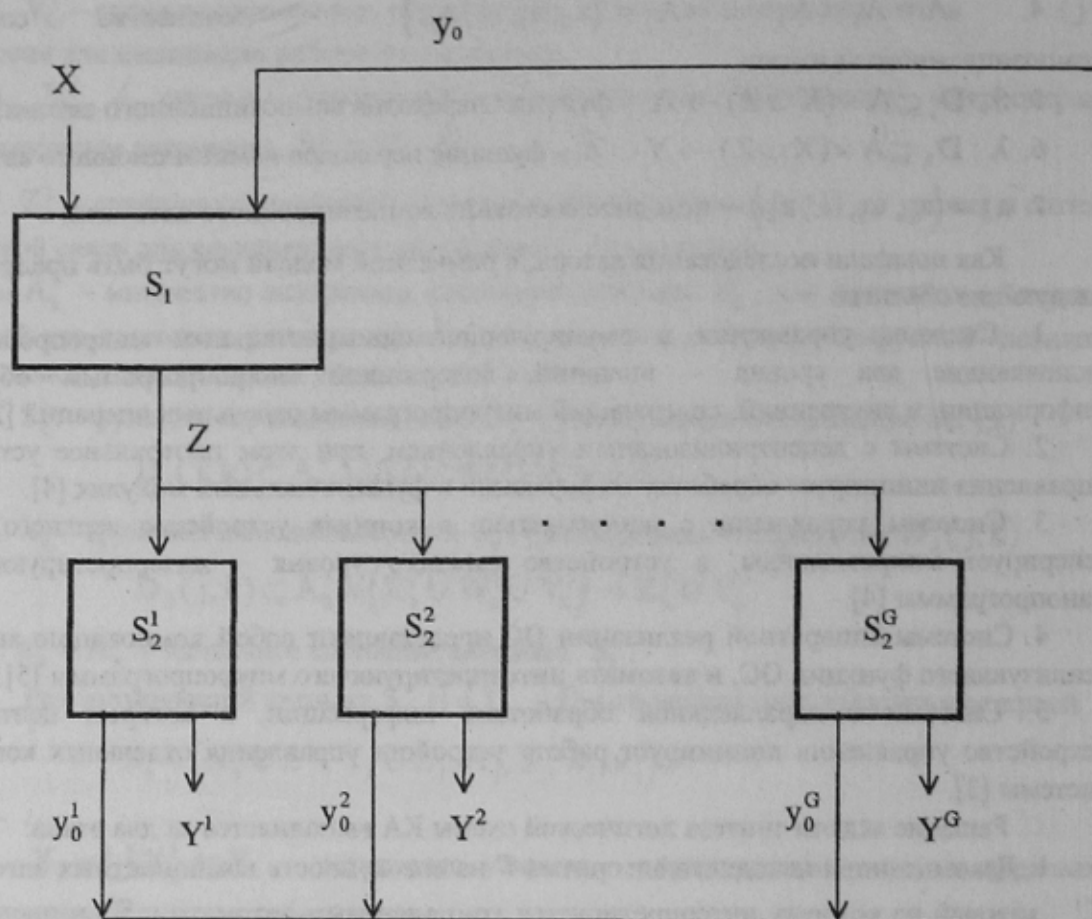


Рис.2. Структура композиционного микропрограммного устройства управления

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bostock G. Programmable Logic Handbook. – London: Collins Professional Books, 1988. – 244p.
2. Палагин А. В., Денисенко Е. П., Белицкий Р. И., Сигалов В. И. Микропроцессорные системы обработки информации. К: Нукова думка, 1993. – 352с.
3. Stallings W. Computer Organization and Architecture. – N.J.: Prentice Hall, 1996. – 682p.
4. Компьютеры на СБИС. Кн.1/ Мотоока Т., Томита С., Танака Х., Сайто Т., Уэхара Т. – М.: Мир, 1988. – 392с.
5. Баранов С. И., Баркалов А. А. Микропрограммирование: принципы, методы, применение. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №1 – с.3–29.
6. Баркалов А. А. Разработка формализованных методов структурного синтеза композиционных автоматов: Дисс. ... докт. техн. наук: 05.13.08. – Донецк: ДГТУ, 1995 – 301с.