

ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТЫРЕХУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЯЮЩЕГО АВТОМАТА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ

Баркалов А.А., Зеленёва И.Я., Калязин Д.А.

Кафедра ЭВМ, ДГТУ
irina@cs.datu.dorietsk.ua

Abstract

Barcalov A.A., Zeleneva I.J., Kalyazin D.A. Application of the three-level structure of a control automaton for the hardware cost minimization. The method of solving the basic problems concerning the synthesis of automaton with the three-level model is proposed. Such a model assumes the mixed utilization of different structure reduction methods and as results is the optimization of hardware costs. The example of the automaton synthesis in mixed element basis is given.

Введение

Устройство управления является одним из важнейших блоков цифровых систем и часто реализуется на практике в виде автомата с "жёсткой" логикой. В современных устройствах для реализации логической схемы используются программируемые БИС с регулярной структурой [1]. В целях уменьшения аппаратных затрат необходимо синтезировать схемы, в которых число БИС было бы минимальным. Для достижения оптимального решения предлагается совместно использовать несколько методов [2]: структурную редукцию, применение смешанного элементного базиса, оптимальное кодирование промежуточных переменных автомата.

В настоящей работе в качестве одного из вариантов такого совместного использования предложен метод синтеза управляющего автомата Мили с трёхуровневой структурой.

1. Трёхуровневая МПУ-структура автомата Мили

Предлагаемая МПУ - структура управляющего автомата Мили разработана на основе методов структурной редукции и предусматривает сочетание различных типов микросхем в схеме автомата. Это позволяет существенно снизить общую стоимость схемы. Новизна данного метода в сравнении с ранее предложенными в [3] и [5] заключается в использовании способов кодирования внутренних переменных, ведущих к уменьшению числа уровней схемы в сравнении с [5] и к уменьшению числа корпусов БИС в сравнении с [3].

Рассмотрим задачу синтеза автомата Мили с трёхуровневой структурой по заданной граф-схеме алгоритма (ГСА), изображённой на рисунке 1. Данная ГСА содержит $L = 4$ логических условий, составляющих в общем случае множество $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ и $N = 7$ микроопераций, составляющих в общем случае множество $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$. В заданном автомате Мили имеется $M = 5$ состояний, принадлежащих множеству $A = \{a_0, \dots, a_M\}$. Разрядность кода, необходимого для кодирования состояний автомата, определяется, как $R = \lceil \log_2 M \rceil$ и равна 3.

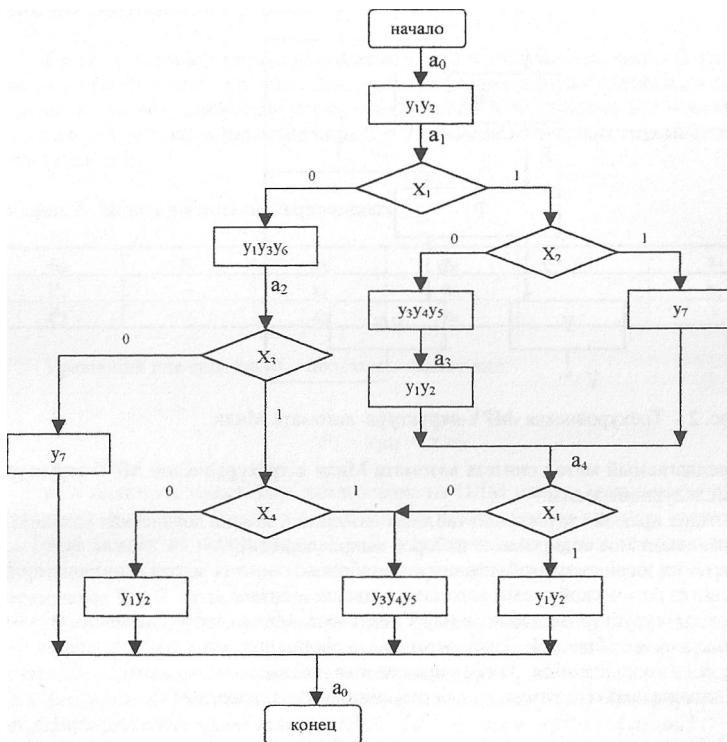


Рис. 1 - Граф-схема алгоритма

Основная идея алгоритма синтеза автомата с трёхуровневой МРУ - структурой заключается в замене множества логических условий X множеством переменных P меньшей мощности, а также в максимальном кодировании наборов микроопераций.

Структура логической схемы управляющего автомата Мили в результате применения данного метода включает следующие элементы (рис. 2):

- М-подсхема для замены множества логических условий X множеством P , где $P = P(X, T)$, а $T = \{t_i, \dots, t_j\}$ - это внутренние переменные, соответствующие коду состояний a_m ;
- Р- подсхема для реализации функций возбуждения памяти автомата $\Phi = \Phi(P, T_j)$, а также для получения множества переменных, кодирующих выходные сигналы $Z = Z(P, T_j)$;
- Y-подсхема для преобразования множества Z в наборы микроопераций $Y = \{y_i, \dots, y_s\}$, при этом $Y = Y@;$;
- RG - регистр для отображения кодов состояний автомата.

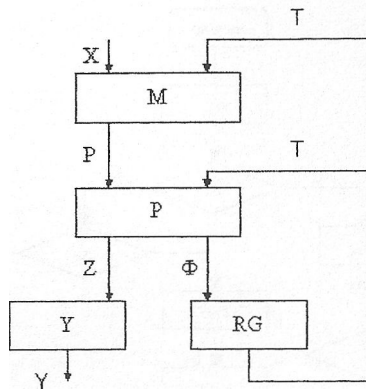


Рис. 2 - Трёхуровневая МРУ-структура автомата Мили

Предлагаемый метод синтеза автомата Мили с трёхуровневой МРУ-структурой включает следующие этапы:

- анализ прямой структурной таблицы автомата и замена логических условий;
- максимальное кодирование наборов микроопераций;
- преобразование прямой структурной таблицы;
- синтез логической схемы автомата в заданном базисе.

Прямая структурная таблица (ПСТ) автомата Мили, построенная по заданной ГСА, приведена в таблице 1. Здесь исходная информация записана в столбцах 1-8 . Столбцы 9,10 дополняются после применения описываемого метода. Состояния автомата закодированы оптимально для реализации М - подсхемы [4] .

Таблица 1. Прямая структурная таблица автомата Мили

$a_{..}$	$K(a_m)$	a_{\leq}	KCa_{\leq}	Xh	Yh	Φ_b	H	Ph	Zh
1	2	3	4	3	6	7	8	9	10
a_p	000	a_i	001	1	y_1y_2	D_3	1	1	$1Z_{ii}z_2$
a_1	001	a_2	011	IX_i	$y_1y_3y_6$	D_2D_3	2	iP_1	IZ_1Z_2
		a_3	010	X_iIX_2	$y_3y_4y_5$	D_2	3	P_nP_2	ZIZ_2
		a_i	101	X_iX_2	y_7	D_1D_3	4	P_iP_2	$Ziiz_2$
a_2	011	a_o	000	IX_3	y_7	-	5	P_1	$ZilZ_2$
		a_o	000	X_3IX_4	y_1y_2	-	6	P_nP_2	-
		a_p	000	X_3X_4	$y_3y_4y_5$	-	7	P_1P_2	III_2
a_3	010	a_4	101	1	y_1y_2	D_iD_3	8	1	-
a_4	101	a_o	000	IX_i	$y_3y_4y_5$	-	9	iP_1	Z_iZ_2
		a_{to}	000	X_i	y_1y_2	-	10	P_1	-

Рассмотрим этапы синтеза трёхуровневой структуры автомата Мили по заданной ГСА.

2. Замена логических условий

По ПСТ автомата (табл.1) определяем, что максимальное число G логических условий в одной строке, т.е. на одном переходе автомата из состояния a_m в состояние a^* , равно 2. Значит, множество логических условий X мощностью $L = 4$ можно заменить множеством P меньшей мощности $G = 2$. Замена логических переменных приведена в таблице 2.

Таблица 2. Замена логических переменных

a_m	a_p	a_i	a_2	a_3	a_4
P_1	\bar{a}_1	X_1	X_3	-	X_4
P_2	-	X_2	X_4	-	-

Уравнения для синтеза M -подсхемы имеют вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= x_1 a_1 + x_3 a_2 + x_4 a_4, \\ P_2 &= x_2 a_1 + x_4 a_2. \end{aligned} \quad (1)$$

M -подсхема может быть реализована на ПЛИМ или на мультиплексорах. Для уменьшения стоимости общей схемы автомата целесообразно выбрать мультиплексоры. Тогда каждая из переменных P_1 и P_2 реализуется на одном мультиплексоре, на информационные входы которого поступают логические условия $x_i \in X$, а на адресные - переменные $T_i \in T$ кода состояния.

Для уменьшения необходимого числа адресных входов мультиплексоров нужно оптимально закодировать состояния автомата по методу, предложенному в работе [4]. Состояния a_i , a_j , входящие в одно и то же уравнение P_g , должны быть закодированы соседними кодами. В данном случае, соседними кодами (табл. 3) кодируются состояния, принадлежащие множествам $A(P_1) = \{a_1, a_2, a_3\}$ и $A(P_2) = \{a_1, a_2\}$.

Таблица 3. Оптимальное кодирование состояний

T_1	T_2	T_3	00	01	11	10
0	0	0	a_0	a_1	a_2	a_3
0	0	1	-	a_4	-	-

Таким образом, уравнения (1) для P_1 и P_2 преобразуются в следующий вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= x_1 \bar{T}_1 \bar{T}_2 T_3 + x_3 T_1 T_2 T_3 + x_4 T_1 \bar{T}_2 T_3, \\ P_2 &= x_2 \bar{T}_1 \bar{T}_2 T_3 + x_4 T_1 T_2 T_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Как видно из уравнений, переменная T_3 всегда постоянна и не влияет на выбор условия X_1, X_2 или X_3 . Переменная P_1 зависит только от T_1 и T_2 , а переменная P_2 - только от T_1 . Реализация M -подсхемы приведена на рисунке 3.

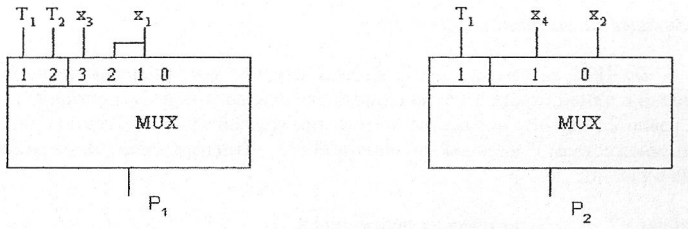


Рис. 3 - Реализация M- подсхемы на мультиплексорах

Применение оптимального способа кодирования состояний даёт уменьшение числа входов MUX более , чем в два раза , а метод замены логических условий ведёт к значительному сокращению числа входов ПЛМ в P - подсхеме, что является верным и для более сложных автоматов .

3. Максимальное кодирование наборов микроопераций

Рассматриваемый автомат Мили формирует множество Y выходных сигналов $y_{i,j}$, мощность которого $N = 7$. Выходные сигналы реализованы на ПЛМ . Для уменьшения числа выходов ПЛМ предлагается применить метод максимального кодирования наборов микроопераций (табл. 4) . При этом на выходах ПЛМ будет сформировано множество выходных сигналов Z меньшей мощности . В данном примере число наборов микроопераций $K = 4$, тогда мощность множества Z двоичных переменных для кодирования этих наборов определяется как :

$$Q = \lceil \log_2 4 \rceil = 2 .$$

Таблица 4 . Максимальное кодирование микроопераций .

Y_k	$z_{i,j}$	Код	$Z_j Z_i$
Y_1	$y_1 y_2$	00	$Z_1 Z_2$
Y_2	$y_3 y_4 y_5 y_6$	01	$Z_1 Z_2$
Y_3	y_7	11	$Z_1 Z_2$
Y_4	$y_8 y_9$	10	$Z_1 Z_2$

Подсхема, выполняющая расшифровку наборов микроопераций (Y - подсхема, рис. 2), реализована на ПЗУ, на адресные входы которого подаются сигналы Z_1 и Z_2 (табл. 4) , а каждое слово ПЗУ содержит соответствующие микрооперации.

Заключение

Применение комбинации методов замены логических условий и максимального кодирования наборов микроопераций ведёт к тому , что P- подсхема (рис.2) имеет

существенно меньшее число входов и выходов, что, в свою очередь, даёт сокращение числа корпусов ПЛМ, которые являются наиболее дорогостоящей частью схемы. Кроме того, применение мультиплексоров вместо ПЛМ в М-подсхеме даёт дополнительное удешевление общей схемы автомата. Наличие в схеме третьего уровня - Y-подсхемы, реализованной на ПЗУ, не ведёт к увеличению аппаратных затрат, т.к. ПЗУ дешевле ПЛМ и стоимость Y-подсхемы компенсируется удешевлением R-подсхемы. Теоретические исследования показали, что применение трёхуровневой структуры автомата ведёт к значительному сокращению числа корпусов БИС в схеме, и следовательно, к значительному, до 25%, снижению её стоимости.

Литература

1. Баранов С.И., Скляров В.А. Цифровые устройства на программируемых БИС с матричной структурой. - М.: Радио и связь, 1986. - 272 с.
2. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я., Бабаков Р.М. Структуры логических схем управляющих автоматов на программируемых БИС. // Научные работы ДГТУ. Серия "Информатика, кибернетика, вычислительная техника." Выпуск 6. - Д: ДГТУ, 1999. с 207-211.
3. Соловьёв В.В. Проектирование функциональных узлов цифровых систем на программируемых логических устройствах. - Минск: Бестпринт, 1996.- 52 с.
4. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я., Саломатин В.А. Методы оптимизации логической схемы автомата с двунаправленными переходами. /Научные работы ДГТУ. Серия "Информатика, кибернетика, вычислительная техника." Выпуск 7.-Д: ДГТУ, 2000. с.
5. Применение четырёхуровневой структуры управляющего автомата для минимизации аппаратных затрат. Саломатин В.А., Белецкий О.В., Зеленёва И.Я. //Сборник трудов ДГТУ. Серия "Информатика, кибернетика, вычислительная техника." Выпуск 1. - Донецк: ДГТУ, 1997. с. 135 - 140.