

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЯЮЩЕГО АВТОМАТА НА БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

А. А. Баркалов, И. Я. Зеленёва, М.А. Атрощенко
Донецкий национальный технический университет,
Кафедра электронных вычислительных машин

Надаються результати досліджень ефективності застосування трьохрівневої структури керуючого автомата стосовно зменшення апаратних витрат в логічній схемі пристрою. Також надається обґрунтування вибору області ефективного застосування досліджуваної структури.

Введение

Управляющий автомат (УА) является одним из важнейших блоков любой цифровой системы, и часто реализуется на практике в элементном базисе, включающем БИС с регулярной структурой (ПЛМ, ПЗУ, ПЛИС) [1]. Схемы УА могут быть реализованы на заказных, или стандартных БИС. Целью исследований, приведенных в данной работе, является определение области эффективного применения трёхуровневой структуры управляющего автомата при заданных характеристиках ГСА и элементного базиса. В случае реализации УА на заказных БИС аппаратные затраты оцениваются суммарной площадью кристаллов в схеме устройства. Если же схема реализуется на стандартных БИС, то показателем эффективности является количество корпусов микросхем, необходимых для реализации схемы УА при заданном быстродействии. Таким образом, для уменьшения общей стоимости схемы необходимо стремиться к уменьшению площади заказных БИС, либо к сокращению числа стандартных БИС, используемых в схеме устройства. Удешевления схемы можно достичь, применяя методы замены входных переменных [2], а также многоуровневую реализацию.

Общая методика исследований

Исследования проведены на основе метода вероятностного подхода к оценке характеристик ГСА. Главная идея метода вероятностной оценки заключается в классификации ГСА по двум характерным параметрам: доля операторных вершин в ГСА (параметр p_1) и доля условных вершин в ГСА (параметр p_2). При этом параметры p_1 и p_2 интерпретируются, как вероятностные оценки операторных и условных вершин соответственно. С

учетом того, что в любой ГСА обязательно имеются начальная и конечная вершины, сумма вероятностей

$$p_1 + p_2 \approx 1 \quad (1)$$

Площадь заказной матрицы, как и число микросхем при реализации автомата на стандартных ПЛУ, зависит от большого числа параметров, что затрудняет исследования. Для уменьшения числа переменных в формулах определения площади, требуемой для реализации схем автоматов, используются оценки, полученные в работе [14], при помощи которых определяются параметры автомата:

- число строк прямой структурной таблицы

$$H = 10,6 + (p_1 * P) / p_3; \quad (2)$$

- число состояний автомата Мура, отмеченных на заданной граф-схеме алгоритма

$$M = p_1 * P; \quad (3)$$

- число логических условий в ГСА

$$L = ((1 - p_1) * P) / p_4 \quad (4)$$

- число наборов микроопераций (микрокоманд)

$$N_{\text{МК}} = (p_1 * P) / p_3 \quad (5)$$

Здесь P – число вершин в ГСА, коэффициент p_3 – отношение числа операторных вершин к числу наборов микроопераций (микрокоманд) в данной ГСА; p_4 – отношение числа условных вершин к числу логических условий. Принимая во внимание результаты работы [14], наиболее часто $p_3, p_4 \in [1; 1,2]$.

Для определения оптимальной области применения трехуровневой структуры УА в данной работе используется оценка по относительной сложности реализации схемы. Это связано с тем, что, как показано в работе [14], относительные затраты, определяемые по числу стандартных микросхем или по площади заказных БИС совпадают с точностью 85%-90%. Это обстоятельство позволяет упростить расчеты, тогда как получение абсолютных оценок усложняет этот процесс, т.к. требует учета конкретных параметров микросхем различных серий.

Методика исследований, используемая в данной работе, заключается в следующем:

- 1) нахождение формул для получения аналитических оценок площади БИС трёхуровневой структуры УА;
- 2) определение и исследование относительной сложности реализации данной структуры.

Исследование области эффективного применения управляющего автомата с трёхуровневой структурой.

В данной работе рассматривается структура управляющего автомата Мили с заменой логических условий и максимальным кодированием наборов микроопераций [], называемая МРУ-структурой. Полагаем, что схема УА реализована на заказных матрицах (рис. 1). Для определения относительной эффективности реализации МРУ-автомата в качестве базовой структуры рассматривается УА Мили, тривиально реализованный на заказных матрицах ПЛМ (рис. 2) и называемый далее Р-автомат.

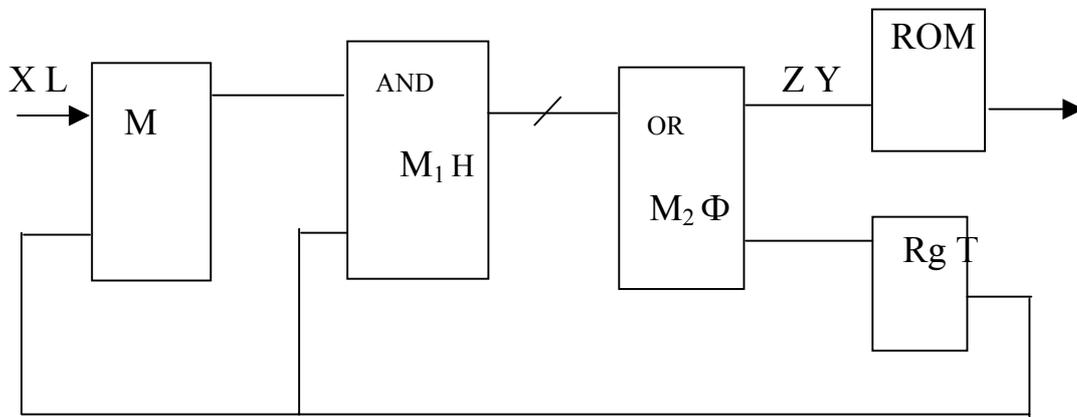


Рисунок 1 – Структурная схема МРУ-автомата на заказных матрицах

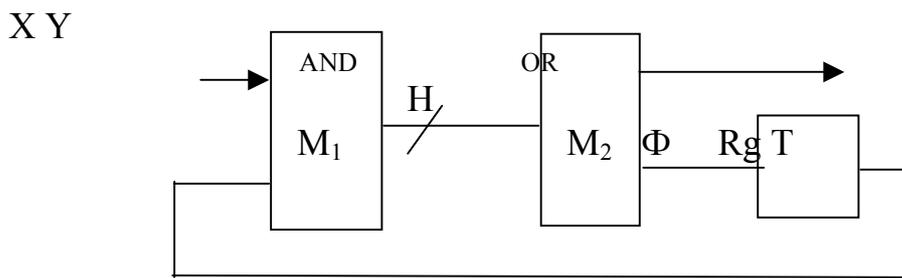


Рисунок 2 – Структурная схема базового Р-автомата

Сложность реализации базового Р-автомата определяется площадью кристалла ПЛМ в Р-подсхеме:

$$S_{MP}=(2(L+R)+(R+N))*H=(2L+3R+N)*H \quad (6)$$

Подставив в выражение (6) соответствующие коэффициенты, можно получить формулу зависимости S_{MP} только от параметров P и N (т.е. только от числа вершин и микроопераций в данной ГСА):

$$S_{MP} = (2 * (((1 - p_1) * P) / p_4) + 3) \log_2(p_1 * P) [+ N] * (10.6 + (p_1 * P) / p_3) \quad (7)$$

Относительная сложность F_{MPY} реализации МРУ-автомата определяется через отношение

$$F_{MPY} = S_{MPY} / S_{MP} \quad (8)$$

Определим формулу сложности реализации S_{MPY} в уточненном виде, используя формулы (2.ххх.), при этом для учета относительной стоимости микросхемы PROM по сравнению с PLA, введем коэффициент стоимости k_s , причем для PROM $k_s \ll 1$.

$$S_{MPY} = S_{PLA} + k_s * S_{PROM}, \quad (9)$$

где

$$S_{PLA} = (2G + 3R + Q) * H = (2k_g * (1 - p_1) * P + 3) \log_2(k_a * p_1 * P) [+ \log_2((p_1 * P) / p_3)] (10.6 + p_1 * P / p_3 - k_r * (1 - p_1) * P / p_4), \quad (10)$$

$$S_{PROM} = 2^Q * N = 2^{\lceil \log_2(p_1 * P / p_3) \rceil} * N \quad (11)$$

В формулах (9), (10) введены следующие переменные и коэффициенты:

G – мощность множества переменных P , заменивших ЛУ X ;

k_g – коэффициент группировки, определяемый как отношение мощности множества переменных P к мощности множества логических условий : $k_g = G/L$;

k_a – коэффициент формирования состояний для автомата Мили, определяемый как отношение числа состояний M к числу ОВ: $k_a = M / p_1 * P$;

k_r – коэффициент разветвленности алгоритма; определяется, как отношение числа состояний с условными переходами M_x к числу состояний с безусловными переходами M_0 : $k_r = M_x / M_0$.

В формуле (11) для автомата Мили число строк ПСТ определяется с учетом разветвленности ГСА следующим образом:

$$H = 10.6 + p_1 * P / p_3 - k_r * p_2 * P / p_4 \quad (12)$$

Все дальнейшие исследования проводились для ГСА с числом вершин $P \in [100, 200, \dots, 1100]$.

Исследование влияния различных коэффициентов на изменение площади S_{PLA}

Исследование влияния коэффициента разветвленности проводилось на множестве значений $\{0,6; 0,8; 1; 1,5; 1,8\}$, т.е. для типов ГСА, наиболее часто встречающихся на практике.

Таблица 1 – Влияние коэффициента разветвленности ГСА k_R

k_R	min S_{PLA}	max S_{PLA}	Комментарий
0,6	2 908	168 180	$k_R < 1, M_x < M_0$
0,8	3 148	184 600	
1	3 388	201 180	$M_x = M_0$
1,5	3 988	242 430	$k_R > 1, M_x > M_0$
1,8	4 348	267 180	

Как видно из таблицы 1, площадь кристалла S_{PLA} значительно увеличивается по мере роста числа разветвлений в ГСА. Это объясняется тем, что при большой разветвленности алгоритма снижается эффект уменьшения числа входов PLA, получаемый за счет замены логических переменных.

Влияние коэффициента группировки $X \rightarrow P$ k_g исследовалось на множестве значений $[0,3; 0,4; 0,6; 0,8]$ (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние коэффициента группировки k_g

k_g	0,3	0,4	0,6	0,8
min S_{PLA}	2 755	3 148	3 542	4 723
max S_{PLA}	144 090	185 620	225 100	347 580

Коэффициент группировки оказывает прямопропорциональное влияние на S_{PLA} . При $k_g \rightarrow 1$ площадь кристалла значительно увеличивается. Когда же $k_g = 1$, это означает, что $G=L$ и замена переменных становится нецелесообразной.

При средних значениях коэффициентов k_g и k_r исследовано влияние доли операторных вершин p_1 на значение S_{PLA} (табл. 3).

Таблица 3 - Влияние доли ОВ p_1 при $k_r=0,8$ $k_g=0,4$

p_1	0,8	0,7	0,6	0,5
min S_{PLA}	2 557	3 148	3 497	3 498
max S_{PLA}	126 010	185 108	251 253	251 430

С увеличением доли ОБ в ГСА площадь S_{PLA} уменьшается, т.к. уменьшается, соответственно (1), доля логических условий. Этот эффект также заметен при сравнении графиков на рисунках 3а и 3б.

Таблица 4 – Влияние коэффициента соотношения числа условных вершин и логических условий (p_4)

p_4	1	1,2	2	2,5
$\min S_{PLA}$	3 340	3 148	2 764	2 649
$\max S_{PLA}$	20 1125	185 421	161 115	161 108

Из таблицы 4 видно существенное различие величин S_{PLA} при значениях p_4 , близких к 1, и значениях p_4 , близких к 2. Это поясняется тем, что при $p_4 \approx 1$ в ГСА мало повторяющихся ЛУ, т.е. достаточно велико их разнообразие. Если же $p_4 \geq 2$, это означает, что в ГСА много повторяющихся ЛУ и $L \ll N_{ув}$, что повышает эффективность замены переменных.

Исследование относительной сложности реализации МРУ-автомата

Исследование проводилось для некоторой "усредненной" ГСА, т.е. при средних значениях коэффициентов: $k_a=0,7$; $k_s=0,2$; $k_g=0,6$; $k_r=0,8$, $P \in [100, 200, \dots, 1000, 1100]$. Исследовано влияние числа микроопераций N и доли ОБ в ГСА p_1 . Полученные графики микроопераций F_{MPY} приведены на рисунках 3, 4 и 5. Как показывают полученные графики, стабильный относительный выигрыш получается при достаточно большой доле ОБ (при $p_1 \geq 0,7$). При этом выигрыш уменьшается с ростом числа вершин в ГСА, но лучший эффект достигается при $N=200$ и уменьшается вместе с уменьшением числа микроопераций. Таким образом, при большом числе микроопераций применение МРУ структуры более эффективно. При малой доле ОБ (т.е. для сильноразветвленных ГСА) положительный эффект возможен только для алгоритмов, имеющих до 200 вершин.

Некоторая ступенчатость графиков F_{MPY} обусловлена ступенчатостью изменения величины S_{PROM} , как составляющей функции F_{MPY} .

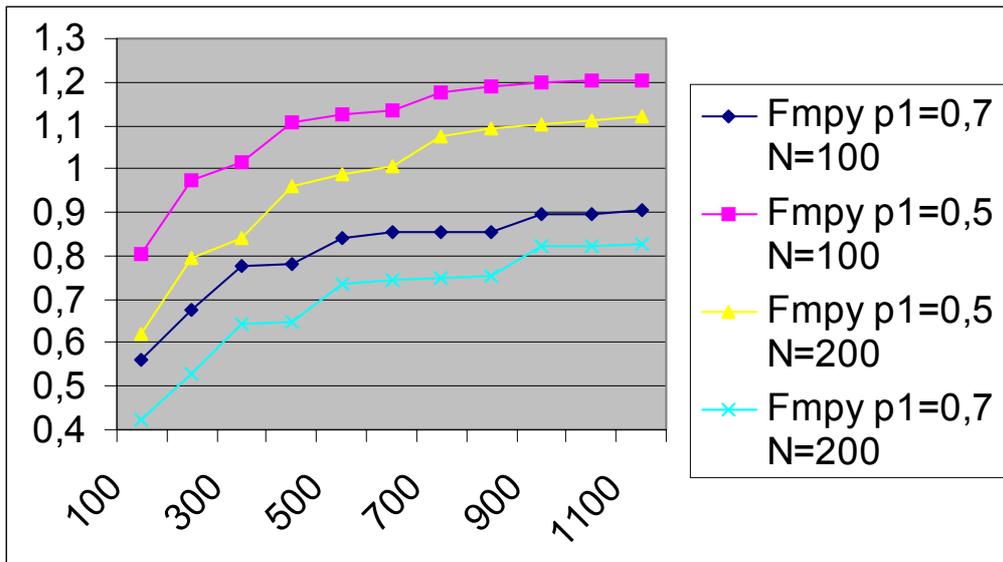


Рисунок 3- Зависимость F_{MPY} для ГСА со средним и большим числом микроопераций

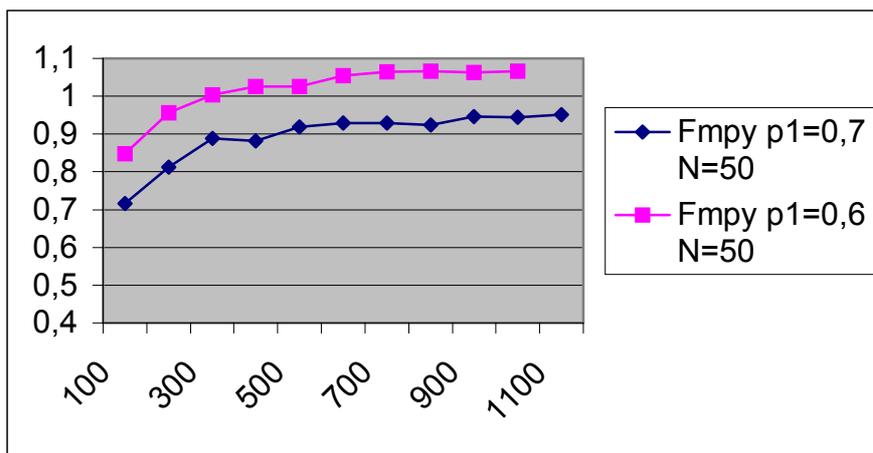


Рисунок 4 - Зависимость F_{MPY} для ГСА с малым числом микроопераций

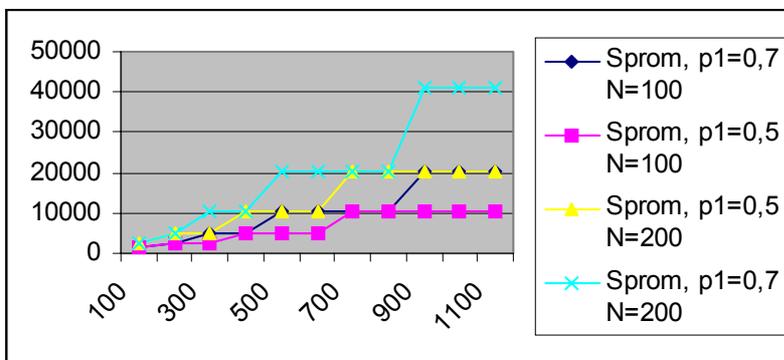


Рисунок 5 - Изменение площадей PROM

Выводы

- 1) Минимальный выигрыш составляет 0,002%, максимальный – 58%.
- 2) Выигрыш уменьшается с ростом числа вершин и разветвленности ГСА.
- 3) Наиболее целесообразно применить автоматы с МРУ-структурой для реализации малоразветвленных алгоритмов с большим числом микроопераций ($N > 100$).

Литература

1. Оптимизация способа замены логических условий автомата с двунаправленными переходами. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я. - Рига, "Автоматика и вычислительная техника", выпуск 5, Рига-2000.- С.58-64.
2. Применение трехуровневой структуры управляющего автомата для минимизации аппаратных затрат. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я., Калязин Д.А. \ Сборник "Наукові праці Донецького Державного Технічного Університету", серія "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем", выпуск 11 , Донецьк - 2000. - С. 158-163.

Поступила в редакцию 12.01.04