

Р. М. Бабаков, к. т. н., доц.

УЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ СОСТОЯНИЙ В МИКРОПРОГРАММНОМ АВТОМАТЕ С ОПЕРАЦИОННЫМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДОВ

Предложен подход к определению сравнительной эффективности вариантов синтеза микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Подход заключается в определении среднего количества переходов в каждое состояние автомата с последующим вычислением вероятности состояний и среднего количества тактов в одном цикле работы автомата. Данный подход полезен при использовании транзитных состояний и позволяет выбрать один из нескольких вариантов синтеза, при котором среднее число тактов работы автомата является наименьшим.

Ключевые слова: микропрограммный автомат, операционный автомат переходов, транзитные состояния, вероятности состояний.

Введение

Важным элементом современных вычислительных систем является устройство управления (УУ), координирующее работу всех узлов системы и во многом определяющее ее характеристики [1]. Одним из способов реализации УУ является микропрограммный автомат (МПА), в котором относительно высокое быстродействие сочетается со значительными аппаратными затратами [2]. С целью уменьшения аппаратных затрат на реализацию логической схемы автомата МПА может быть реализован в виде МПА с операционным автоматом переходов (МПА с ОАП) [3].

В работе [4] показано, что уменьшению аппаратных затрат в логической схеме МПА с ОАП способствует, в том числе, использование дополнительных (транзитных) состояний. Это приводит к увеличению среднего числа автоматных переходов, осуществляемых за одно выполнение алгоритма, имплементируемого МПА. Поскольку для одного и того же автомата может быть получено в общем случае множество решений, использующих транзитные состояния, актуализируется задача выбора решения, при котором увеличение среднего числа автоматных переходов минимально. В данной работе предлагаем оценивать прирост среднего количества тактов работы автомата на основании известных вероятностей значений сигналов логических условий, анализируемых в процессе работы автомата.

Целью исследований является уменьшение среднего времени одного цикла работы микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Задачей, решаемой в данной работе, является исследование влияния вероятности состояний МПА с ОАП на среднее количество тактов в одном цикле работы автомата.

Анализ исследований и публикаций

В качестве исходных данных для синтеза МПА с ОАП может быть использована граф-схема алгоритма (ГСА) [5]. Сегодня известен ряд методов оптимизации схемы МПА, основанных на преобразовании исходной ГСА, результатом которых является увеличение числа состояний автомата [2, 5]. В случае МПА с ОАП одним из таких методов является использование транзитных состояний, позволяющее в некоторых случаях уменьшить число автоматных переходов, реализуемых каноническим способом по системе уравнений [4].

Пусть в процессе синтеза МПА с ОАП по ГСА G , отмеченной состояниями автомата Мура (рис. 1), использованы операции переходов (ОП) O_1-O_3 , определяемые выражениями (1) – (3), в которых $K(a^t)$ – код текущего состояния, $K(a^{t+1})$ – код состояния перехода, «mod

16» – операция получения остатка от целочисленного деления на 16.

$$O_1: K(a^{t+1}) = (K(a^t) + 13) \bmod 16, \tag{1}$$

$$O_2: K(a^{t+1}) = K(a^t) \div 4, \tag{2}$$

$$O_3: K(a^{t+1}) = \overline{K(a^t)}. \tag{3}$$

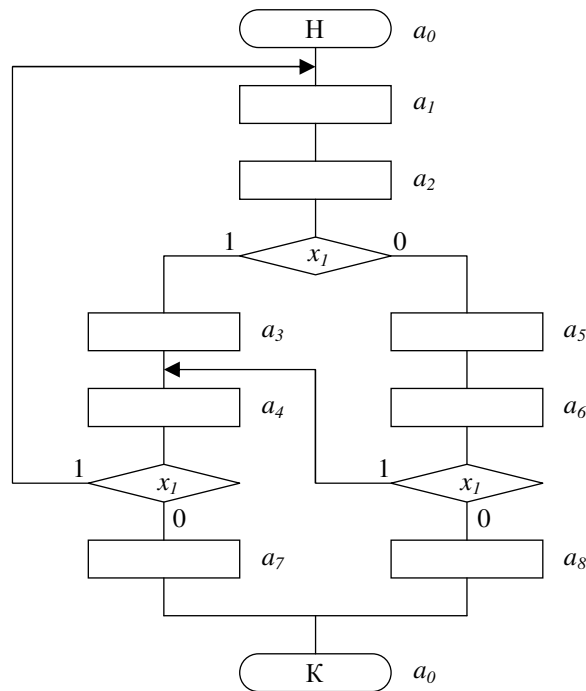


Рис. 1. Граф-схема алгоритма Γ

Поскольку функция выходов автомата не оказывает непосредственного влияния на функцию переходов, на рис. 1 микрооперации в операторных вершинах не указаны.

На рис. 2 показаны две ГСА Γ_1 и Γ_2 , полученные путем преобразования исходной ГСА Γ и являющиеся различными вариантами синтеза МПА с ОАП по ГСА Γ . В начальной, конечной и операторных вершинах указаны двоичные коды состояний и их эквивалентные десятичные значения. Каждая ветвь отмечена одной из заданных ОП: «+13» соответствует ОП O_1 , «÷4» – O_2 , «not» – O_3 . ГСА Γ_1 (рис. 2, а) содержит одно транзитное состояние a_9 , ГСА Γ_2 (рис. 2, б) – два транзитных состояния a_9 и a_{10} . При этом в данных ГСА транзитные состояния расположены в разных ветвях, имеют разные коды, а для реализации переходов из транзитных состояний используют различные ОП.

Если в данном случае вариант синтеза, представленный ГСА Γ_2 , содержит на одно состояние больше, чем вариант, представленный Γ_1 , в общем случае разница в количестве состояний может быть больше. Поскольку увеличение количества состояний приводит к увеличению времени работы автомата, возникает вопрос: превышает ли время работы автомата, синтезированного по ГСА с большим числом состояний, время работы автомата, синтезированного по ГСА с меньшим числом состояний. Ответ на данный вопрос позволил бы выбрать вариант синтеза МПА с ОАП, приводящий к наименьшему проигрышу во времени выполнения алгоритма, имплементируемого автоматом.

Учет вероятности истинности логических условий

В некоторых случаях для каждого входного сигнала известны вероятности появления этого сигнала на входе автомата в произвольный момент времени. При задании автомата граф-схемой алгоритма входные сигналы кодируются векторами, образованными значениями структурных (двоичных) переменных логических условий (ЛУ) x_1, \dots, x_L [1, 2]. В этом случае вероятности появления входных сигналов можно определить, исходя из вероятностей истинности $p(x_i)$ ЛУ в каждый момент времени.

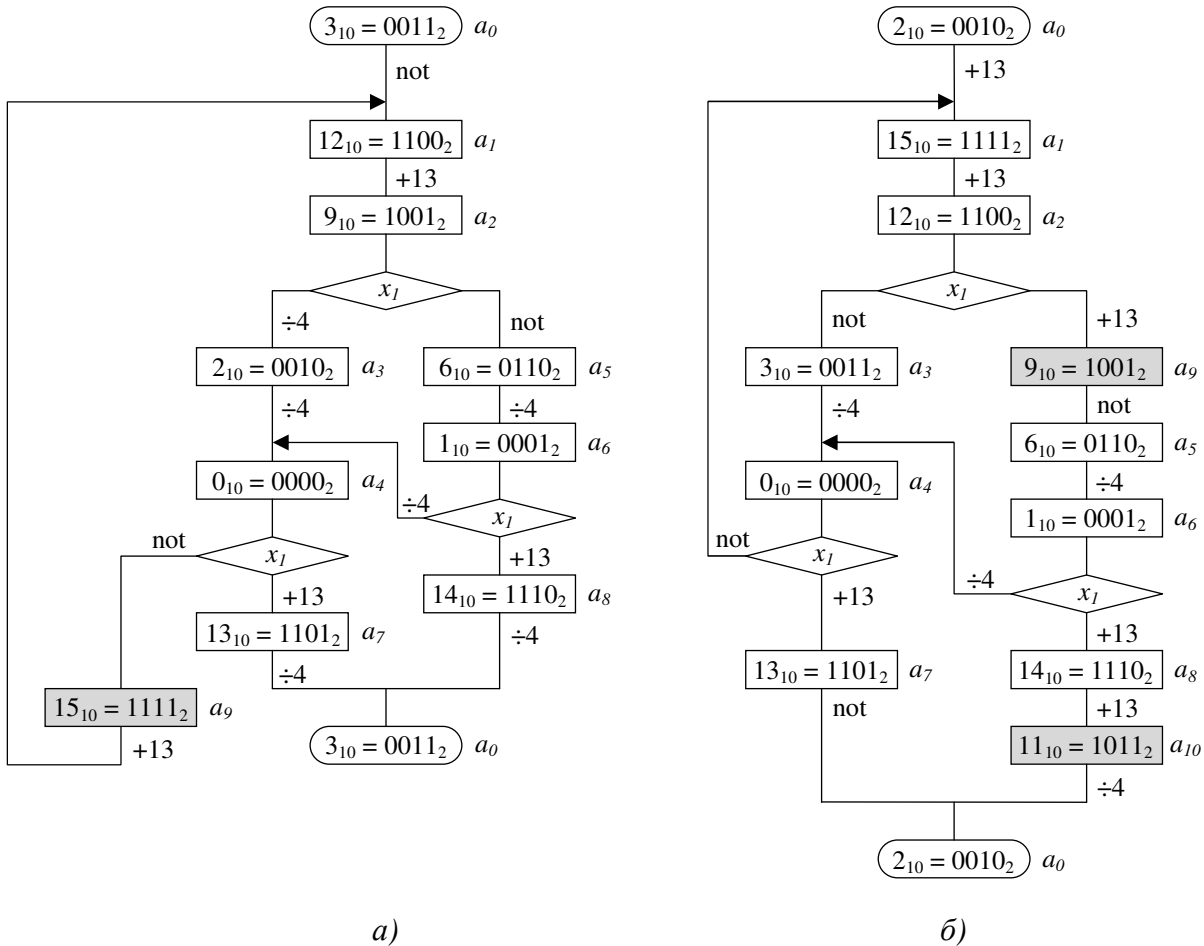


Рис. 2. Преобразованные ГСА Γ_1 (а) и Γ_2 (б)

Пусть для всех логических условий x_1, \dots, x_L , содержащихся в заданной ГСА, известны вероятности $p(x_1), \dots, p(x_L)$ истинности соответствующих ЛУ в каждый момент времени. Это позволяет определить для каждой операторной вершины среднее количество тактов, затрачиваемое на ее выполнение за один проход ГСА, соответствующий одному циклу работы автомата. Поскольку в МПА состояния связаны с операторными вершинами или их выходами, среднее количество тактов, затрачиваемое на выполнение операторной вершины, будет соответствовать среднему количеству переходов автомата в соответствующее состояние за один проход ГСА.

Обозначим через $q(a_i)$ среднее количество переходов в состояние a_i , выполняемых за один проход алгоритма. Тогда среднее количество тактов Q , затрачиваемое на выполнение микропрограммы, определяет сумма значений q всех состояний заданной ГСА:

$$Q = \sum_{i=0}^{M-1} q(a_i). \quad (4)$$

Для определения Q при известных значениях $p(x_1), \dots, p(x_L)$ можно воспользоваться методикой, приведенной в [6]. Ее применение к ГСА Γ (рис. 1), содержащей единственное ЛУ x_1 , позволяет определить величины q для различных значений вероятности $p(x_1)$. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Рассмотрим ГСА Γ_1 (рис. 2, а). В ней транзитное состояние a_9 добавлено после состояния a_4 , причем переход $a_4 \rightarrow a_9$ является для a_9 единственным входящим переходом. Это позволяет определить величину $q(a_9)$ следующим выражением:

$$q(a_9) = q(a_4) \cdot p(x_1). \quad (5)$$

Таблица 1

Значения $q(a_i)$ для различных вероятностей $p(x_1)$

$p(x_1)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$q(a_0)$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$q(a_1)$	1,02	1,08	1,18	1,34	1,60	2,02	2,75	4,31	9,17
$q(a_2)$	1,02	1,08	1,18	1,34	1,60	2,02	2,75	4,31	9,17
$q(a_3)$	0,1	0,22	0,35	0,54	0,80	1,21	1,93	3,45	8,26
$q(a_4)$	0,19	0,39	0,6	0,86	1,20	1,69	2,51	4,14	9,08
$q(a_5)$	0,92	0,86	0,83	0,81	0,80	0,81	0,83	0,86	0,92
$q(a_6)$	0,92	0,86	0,83	0,81	0,80	0,81	0,83	0,86	0,92
$q(a_7)$	0,17	0,31	0,42	0,52	0,60	0,68	0,75	0,83	0,91
$q(a_8)$	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,32	0,25	0,17	0,09
Q	6,17	6,49	6,97	7,7	8,8	10,56	13,6	19,93	39,52

Данное значение соответствует приращению ΔQ_1 величины Q при использовании ГСА Γ_1 вместо ГСА Γ .

По аналогии с (5) сформируем выражения (6) и (7) для транзитных состояний ГСА Γ_2 .

$$q(a_9) = q(a_2) \cdot (1 - p(x_1)). \quad (6)$$

$$q(a_{10}) = q(a_8) \cdot 1 = q(a_8). \quad (7)$$

При этом

$$\Delta Q_2 = q(a_9) + q(a_{10}). \quad (8)$$

Сравним величины ΔQ_1 и ΔQ_2 при различных значениях вероятности $p(x_1)$, для чего составим табл. 2.

Разделив ΔQ_1 и ΔQ_2 на соответствующие значения Q из табл. 1, получим относительные значения ΔQ_1 и ΔQ_2 , представленные в табл. 3 в процентном измерении.

Таблица 2

Значения ΔQ_1 и ΔQ_2 при различных вероятностях $p(x_1)$

$p(x_1)$		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Γ_1	$q(a_9)$	0,02	0,08	0,18	0,34	0,6	1,01	1,76	3,31	8,17
	ΔQ_1	0,02	0,08	0,18	0,34	0,6	1,01	1,76	3,31	8,17
Γ_2	$q(a_9)$	0,92	0,86	0,83	0,81	0,80	0,81	0,83	0,86	0,92
	$q(a_{10})$	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,32	0,25	0,17	0,09
	ΔQ_2	1,75	1,55	1,41	1,29	1,2	1,13	1,08	1,03	1,01

Таблица 3

Относительные значения ΔQ_1 и ΔQ_2

$p(x_1)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\Delta Q_1, \%$	0,3	1,2	2,6	4,4	6,8	9,6	12,9	16,6	20,7
$\Delta Q_2, \%$	28,3	23,9	20,2	16,8	13,6	10,7	7,9	5,1	2,6

Анализ табл. 1 – 3 позволяет сделать следующие выводы.

1. Влияние вероятностей истинности логических условий на величину среднего количества тактов выполнения микропрограммы зависит от структуры ГСА. Применение известных методов позволяет определить величину Q до и после добавления транзитных состояний, что позволяет оценить целесообразность добавления транзитных состояний с точки зрения увеличения среднего времени одного цикла работы автомата.

2. На примере ГСА Γ_1 и Γ_2 можно видеть, что меньшее количество используемых транзитных состояний в случае Γ_1 по сравнению с Γ_2 не является залогом более высокой эффективности по времени выполнения алгоритма. Структура ГСА Γ такова, что при малых значениях $p(x_1)$ величина ΔQ_2 превышает величину ΔQ_1 , в то время как при $p(x_1) > 0,7$ ситуация меняется на противоположную.

Выводы

Исследования показали, что большее число состояний не обязательно приводит к большему времени работы МПА. Знание вероятностей истинности логических условий заданной ГСА позволяет выбрать более эффективный с точки зрения среднего времени выполнения имплементируемого алгоритма вариант синтеза МПА с ОАП, а также оценить увеличение среднего времени одного цикла работы МПА и целесообразность использования транзитных состояний в каждом конкретном случае. Рассмотренный в данной работе подход может быть учтен при разработке и алгоритмизации методов синтеза МПА с ОАП в составе специализированных САПР цифровых устройств управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов / В. М. Глушков. – М. : Физматгиз, 1962. – 476 с.
2. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов / С. И. Баранов. – Л. : Энергия, 1979. – 232 с.
3. Баркалов А. А. Операционное формирование кодов состояний в микропрограммных автоматах / А. А. Баркалов, Р. М. Бабаков // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 2. – С. 21 – 26.
4. Бабаков Р. М. Использование транзитных состояний в микропрограммном автомате с операционным автоматом переходов / Р. М. Бабаков, И. В. Ярош // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: «Вычислительная техника и автоматизация». – Красноармейск: ДонНТУ, 2016. – Выпуск 1 (29). – С. 56 – 64.
5. Баркалов А. А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах / А. А. Баркалов. – Донецк, ДонНТУ, 2002. – 262 с.

6. Майоров С. А. Структура электронных вычислительных машин / С. А. Майоров, Г. И. Новиков. – Л. : Машиностроение, 1979. – 384 с.

Бабаков Роман Маркович – к. т. н., доцент, доцент кафедры прикладной механики и компьютерных технологий, e-mail: r.babakov@donnu.edu.ua.

Донецкий национальный университет имени В. Стуса, г. Винница.