

Р. М. Бабаков, к.т.н., доц.

УРАХУВАННЯ ІМОВІРНОСТІ СТАНІВ У МІКРОПРОГРАМНОМУ АВТОМАТІ З ОПЕРАЦІЙНИМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДІВ

Запропоновано підхід до визначення порівняльної ефективності варіантів синтезу мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Підхід полягає у визначенні середньої кількості переходів до кожного стану автомата з подальшим обчисленням імовірності станів і середньої кількості тактів в одному циклі роботи автомата. Цей підхід доцільний за використання транзитних станів і дозволяє обрати один із декількох варіантів синтезу, за якого середнє число тактів роботи автомата є найменшим.

Ключові слова: мікропрограмний автомат, операційний автомат переходів, транзитні стани, імовірності станів.

Вступ

Важливим елементом сучасних обчислювальних систем є пристрій керування (ПК), що координує роботу всіх вузлів системи й багато в чому визначає її характеристики [1]. Одним зі способів реалізації ПК є мікропрограмний автомат (МПА), у якому відносно висока швидкодія сполучається зі значними апаратними витратами [2]. Із метою зменшення апаратних витрат на реалізацію логічної схеми автомата МПА може бути реалізований у вигляді МПА з операційним автоматом переходів (МПА з ОАП) [3].

У роботі [4] показано, що зменшенню апаратних витрат у логічній схемі МПА з ОАП сприяє також використання додаткових (транзитних) станів. Це призводить до збільшення середнього числа автоматних переходів, які відбуваються за одне виконання алгоритму, що імплементується МПА. Оскільки для того самого автомата може бути отримана в загальному випадку множина рішень, що використовують транзитні стани, актуалізується задача вибору рішення, за якого збільшення середнього числа автоматних переходів є мінімальним. У цій роботі запропоновано оцінювати збільшення середньої кількості тактів роботи автомата на основі відомих імовірностей значень сигналів логічних умов, які аналізують у процесі роботи автомата.

Метою досліджень є зменшення середнього часу одного циклу роботи мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Задачею, що розв'язують у цій роботі, є дослідження впливу ймовірності станів МПА з ОАП на середню кількість тактів в одному циклі роботи автомата.

Аналіз досліджень і публікацій

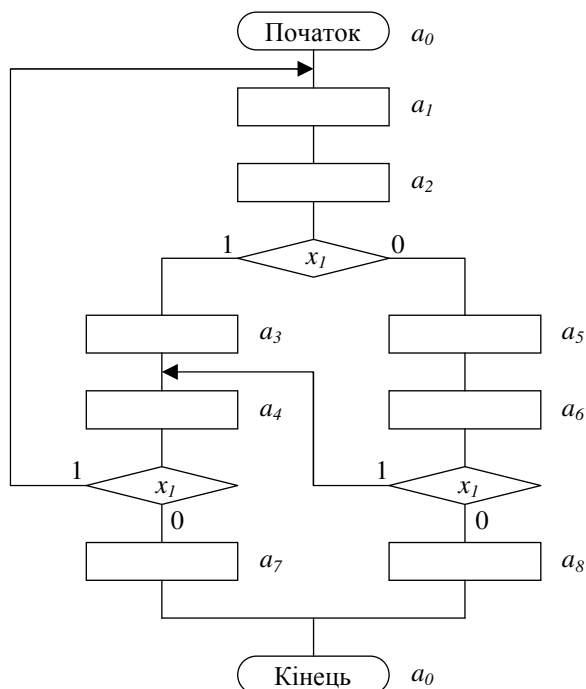
У якості вихідних даних для синтезу МПА з ОАП може бути використана граф-схема алгоритму (ГСА) [5]. Сьогодні відома низка методів оптимізації схеми МПА, заснованих на перетворенні вхідної ГСА, результатом яких є збільшення числа станів автомата [2, 5]. У випадку МПА з ОАП одним із таких методів є використання транзитних станів, що дозволяє в деяких випадках зменшити число автоматних переходів, реалізованих канонічним способом за системою рівнянь [4].

Нехай у процесі синтезу МПА з ОАП за ГСА G , що позначена станами автомата Мура (рис. 1), використані операції переходів (ОП) O_1-O_3 , які визначають вирази (1) – (3), де $K(a^t)$ – код поточного стану, $K(a^{t+1})$ – код стану переходу, «mod 16» – операція одержання залишку від ділення націло на 16.

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

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

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

Рис. 1. Граф-схема алгоритму Γ

Оскільки функція виходів автомата не має безпосереднього впливу на функцію переходів, на рис. 1 мікрооперації в операторних вершинах не вказані.

На рис. 2 показано дві ГСА Γ_1 і Γ_2 , отримані шляхом перетворення вхідної ГСА Γ , які саме і є різними варіантами синтезу МПА з ОАП за ГСА Γ . У початковій, кінцевій та операторних вершинах вказані двійкові коди станів і їх еквівалентні десяткові значення. Кожну гілку позначено однією із заданих ОП: «+13» відповідає ОП O_1 , «÷4» – O_2 , «not» – O_3 . ГСА Γ_1 (рис. 2, а) містить один транзитний стан a_9 , ГСА Γ_2 (рис. 2, б) – два транзитні стани a_9 та a_{10} . При цьому в зазначених ГСА транзитні стани, розташовані в різних гілках, мають різні коди, а для реалізації переходів із транзитних станів використовують різні ОП.

Якщо в цьому випадку варіант синтезу, представлений ГСА Γ_2 , містить на один стан більше, ніж варіант, представлений Γ_1 , у загальному випадку різниця в кількості станів може бути більшою. Оскільки збільшення кількості станів призводить до збільшення часу роботи автомата, постає питання: чи перевищує час роботи автомата, синтезованого за ГСА з більшим числом станів, час роботи автомата, синтезованого за ГСА з меншим числом станів. Відповідь на це питання дозволила б обрати варіант синтезу МПА з ОАП, що призведе до найменшого програшу в часі виконання алгоритму, який імплементується автоматом.

Урахування ймовірності істинності логічних умов

У деяких випадках для кожного вхідного сигналу відомі ймовірності появи цього сигналу на вході автомата в довільний момент часу. Під час задання автомата граф-схемою алгоритму вхідні сигнали кодуються векторами, утвореними значеннями структурних

(двійкових) змінних логічних умов (ЛУ) x_1, \dots, x_L [1, 2]. У цьому випадку ймовірності появи вхідних сигналів можна визначити, виходячи з імовірностей істинності $p(x_i)$ ЛУ в кожний момент часу.

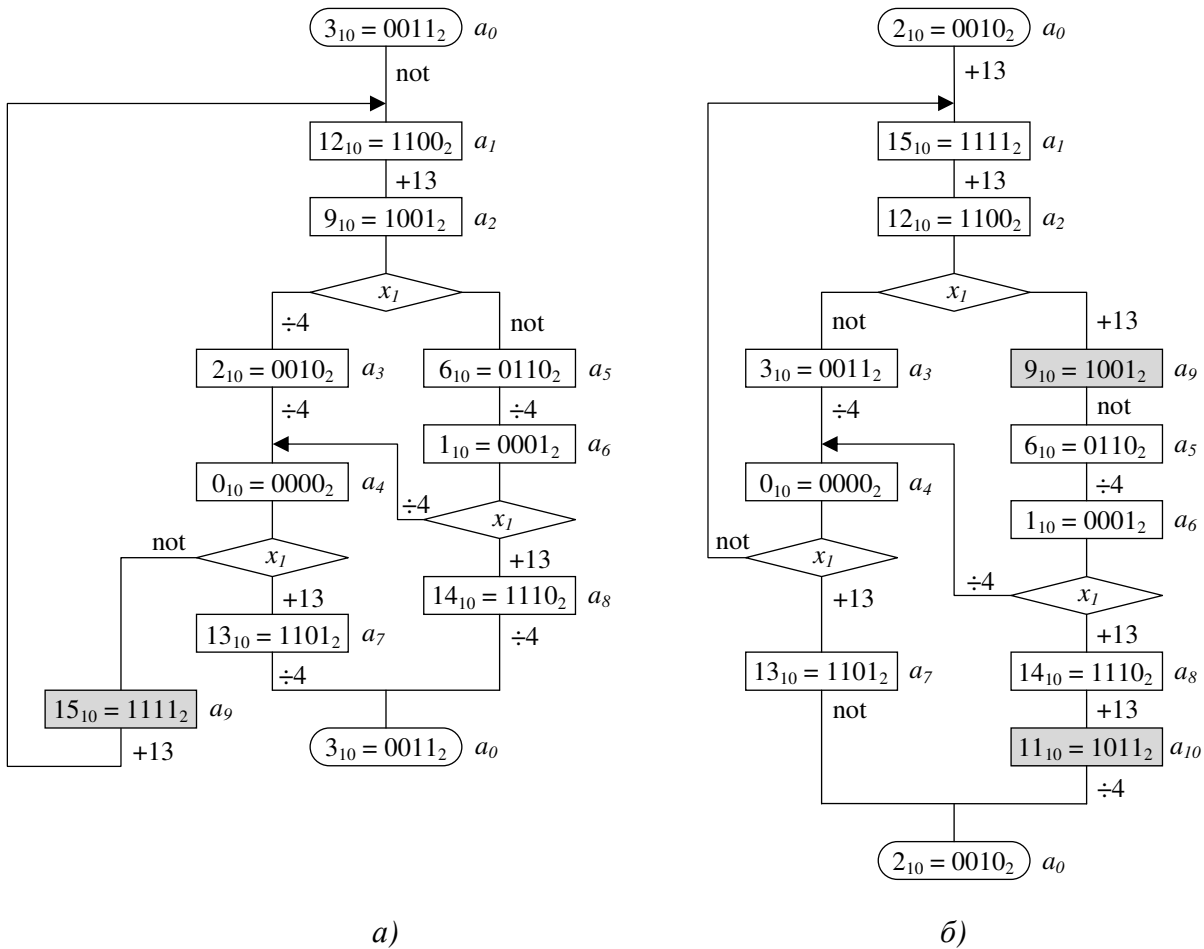


Рис. 2. Перетворені ГСА Γ_1 (а) і Γ_2 (б)

Нехай для всіх логічних умов x_1, \dots, x_L , що містяться в заданій ГСА, відомі ймовірності $p(x_1), \dots, p(x_L)$ істинності відповідних ЛУ в кожний момент часу. Це дозволяє визначити для кожної операторної вершини середню кількість тактів, яку витрачають на її виконання за один прохід ГСА, що відповідає одному циклу роботи автомата. Оскільки в МПА стани пов'язані з операторними вершинами або їх виходами, середня кількість тактів, що витрачається на виконання операторної вершини, буде відповідати середній кількості переходів автомата у відповідний стан за один прохід ГСА.

Позначимо через $q(a_i)$ середню кількість переходів до стану a_i , які виконують за один прохід алгоритму. Тоді середня кількість тактів Q , що витрачають на виконання мікропрограми, визначає сума значень q усіх станів заданої ГСА:

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

Для визначення Q за відомих значень $p(x_1), \dots, p(x_L)$ можна скористатися методикою, наведеною в [6]. Її застосування до ГСА Γ (рис. 1), яка містить єдину ЛУ x_1 , дозволяє визначити значення q для різних значень імовірності $p(x_1)$. Результати розрахунків наведені

в табл. 1.

Розглянемо ГСА Γ_1 (рис. 2, а). У ній транзитний стан a_9 доданий після стану a_4 , причому перехід $a_4 \rightarrow a_9$ є для a_9 єдиним вхідним переходом. Це дозволяє визначити величину $q(a_9)$ таким виразом:

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

Таблиця 1

Значення $q(a_i)$ для різних імовірностей $p(x_1)$

$p(x_1)$	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

Це значення відповідає приросту ΔQ_1 величини Q за використання ГСА Γ_1 замість ГСА Γ . За аналогією з (5) сформуємо вирази (6) і (7) для транзитних станів 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 цьому

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

Порівняємо величини ΔQ_1 і ΔQ_2 за різних значень імовірності $p(x_1)$, для чого складемо табл. 2. Розділивши ΔQ_1 і ΔQ_2 на відповідні значення Q з табл. 1, одержимо відносні значення ΔQ_1 і ΔQ_2 , представлені в табл. 3 у процентному вимірі.

Таблиця 2

Значення ΔQ_1 і ΔQ_2 за різних імовірностей $p(x_1)$

$p(x_1)$		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

Відносні значення ΔQ_1 і 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

Аналіз табл. 1 – 3 дозволяє зробити такі висновки.

1. Уплив імовірностей істинності логічних умов на величину середньої кількості тактів виконання мікропрограми залежить від структури ГСА. Застосування відомих методів дозволяє визначити величину Q до та після додавання транзитних станів, що дозволяє оцінити доцільність додавання транзитних станів із погляду збільшення середнього часу одного циклу роботи автомата.

2. На прикладі ГСА G_1 і G_2 можна бачити, що менша кількість задіяних транзитних станів у випадку G_1 порівняно з G_2 не обов'язково забезпечує більш високу ефективність за часом виконання алгоритму. Структура ГСА G така, що за малих значень $p(x_1)$ величина ΔQ_2 перевищує величину ΔQ_1 , тоді як за $p(x_1) > 0,7$ ситуація змінюється на протилежну.

Висновки

Дослідження показали, що більша кількість станів не обов'язково призводить до більшого часу роботи МПА. Знання ймовірностей істинності логічних умов заданої ГСА дозволяє вибрати ефективніший із погляду середнього часу виконання алгоритму, що імплементується, варіант синтезу МПА з ОАП, а також оцінити збільшення середнього часу одного циклу роботи МПА й доцільність використання транзитних станів у кожному конкретному випадку. Розглянутий у цій роботі підхід може бути врахований під час розробки й алгоритмізації методів синтезу МПА з ОАП у складі спеціалізованих САПР цифрових пристроїв керування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 кафедри прикладної механіки та комп'ютерних технологій, e-mail: r.babakov@donnu.edu.ua.

Донецький національний університет імені В. Стуса, м. Вінниця.