

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ КЕРУЮЧОГО АВТОМАТА НА ЛІЧІЛЬНИКУ

Баркалов О.О., Зеленцова І.Я., Ковальов С.О.

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

кафедра електронних обчислювальних машин

E-mail: irina@cs.dgtu.donetsk.ua

The algorithm for choice of optimal structure of control unit is proposed. The algorithm of choice is based on analysis of characteristics and configuration of initial flow-chart. The methods laying in base of the choice algorithm are bound for decreasing the hardware amount of programmable logic devices in the circuit of control unit. The algorithm can be used for developing of corresponding automatization system for design of control unit.

Вступ

Сучасні цифрові системи функціонують на основі принципу мікропрограмного керування, відповідно до якого координування взаємодії всіх блоків системи виконує керуючий автомат (КА). На практиці широко застосовується реалізація КА у виді автомата з «жорсткою» логікою (автомати Мілі і Мура) [1]. Вихідними даними для синтезу схеми КА служать алгоритми керування операційним пристроєм, задані, як правило, у вигляді граф-схем, що відрізняються великою різноманітністю характеристик і конфігурацій. В даний час для реалізації логічних схем автоматів широко використовуються програмувальні логічні пристрої (ПЛП), що дозволяє значно підвищити швидкодію, надійність, компактність - PLA, PAL, PROM, CPLD, FPGA, і схеми середнього ступеню інтеграції – дешифратори та мультиплексори [3,5]. Однією з важливих задач, що виникають при синтезі КА, є оптимізація апаратних витрат в логічній схемі.

Однак характерною рисою сучасних ПЛП є їхня висока складність і вартість. Таким чином, існує необхідність розробки нових структур КА, які враховували б особливості реалізованих алгоритмів керування й елементного базису та були б орієнтовані на зменшення апаратних витрат у схемі при заданій швидкодії. Також актуальною є задача алгоритмізації процесу вибору структури керуючого автомата, оптимальної за апаратними витратами, в залежності від складності заданого алгоритму керування.

Основні задачі досліджень

В даній роботі розглянуто питання розробки алгоритму вибору структури керуючого автомата Мура із лічильником на підставі аналізу характеристик та конфігурації алгоритму керування, заданого для реалізації. Критерієм вибору в даному випадку є зменшення апаратних витрат при реалізації обраної структури керуючого автомата. В основу розробки алгоритму вибору покладено відповідний метод, який було розроблено в результаті проведених досліджень [4]. Алгоритм вибору розроблено із метою використання у системах автоматизованого синтезу пристроїв керування.

Для розробки методу вибору оптимальної за апаратними витратами структури керуючого автомата на лічильнику було проведено детальний аналіз існуючих методів синтезу ті оптимізації відповідних структур [2,4,6]. Проаналізовано методи оптимізації логічної схеми КА Мура на лічильниках, при яких коди станів, що входять в одну лінійну послідовність (ЛПС), формуються шляхом збільшення на одиницю коду попереднього стану. В якості базової структури розглянуто РУС-автомат (рис. 1).

Аналіз способів оптимізації апаратурних витрат в логічній схемі керуючого автомата Мура

Для оптимізації схеми по апаратурних витратах застосовується *метод розділення кодів станів*, при котрому код кожного стану автомата формується як конкатенація коду відповідної ЛПС та коду самого стану в межах цієї ЛПС [2]. Такий підхід до кодування станів дозволяє здійснити наступний крок оптимізації – сформуванати класи псевдоеквівалентних ЛПС і в такий спосіб скоротити кількість рядків таблиці переходів автомата, що істотно зменшує число внутрішніх шин Р-підсхеми.

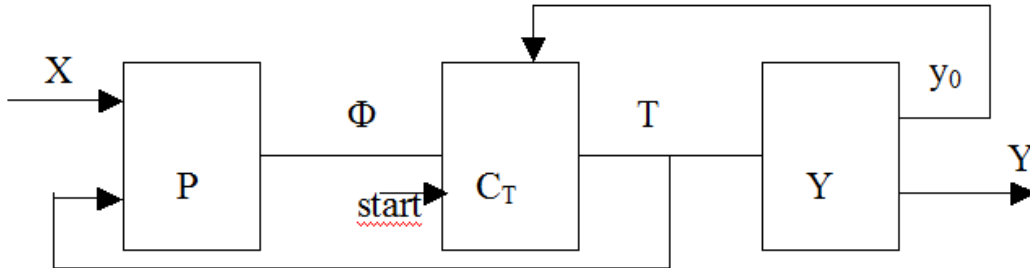


Рис. 1. Структура автомата Мура на лічильнику (PUS-автомат)

Якщо є наявна можливість *оптимального кодування ЛПС у класах*, то використовується структура автомата Мура (рис.2), яка називається $PeYC_3$ – автомат і має у своєму складі PLA (P-підсхема), PROM (Y-підсхема), регістр (RG) і лічильник (CT).

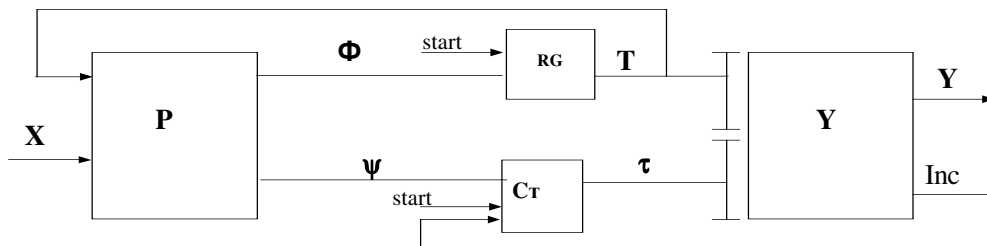


Рис. 2. Структура КА Мура з оптимальним кодуванням ЛПС в класах

Якщо оптимальне кодування ЛПС у класах неможливе, в структурі застосовується *перетворювач кодів ЛПС* (рис. 3), що породжує $PtYC_3$ -автомат.

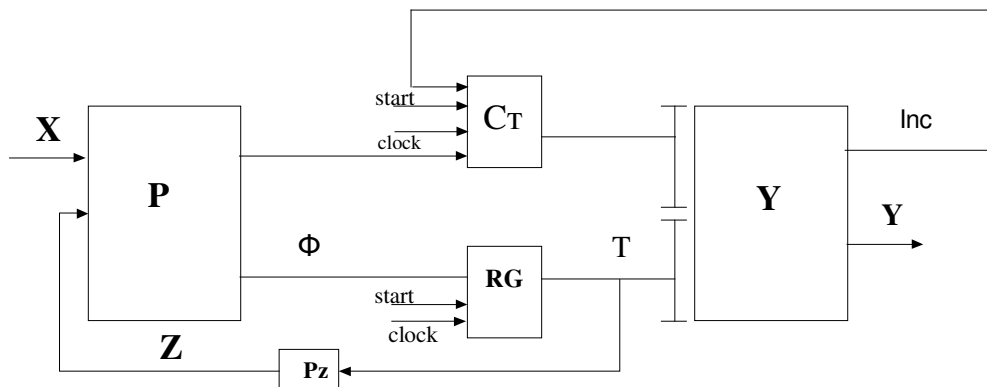


Рис. 3. Структура автомата Мура з перетворювачем кодів ЛПС

Для синтезу $PtYC_3$ -автомата Мура пропонується методика, при якій класи псевдоеквівалентних станів кодуються максимальними двійковими кодами в довільному

порядку. При цьому задається відповідність $T \Rightarrow Z$, де T – множина змінних, що кодують ЛПС $\alpha_g \in B_k$, а $Z = \{Z_1, \dots, Z_{R_b}\}$ – множина змінних, що кодують клас B_k . При цьому пари кодів $\langle K(\alpha_g), K(B_k) \rangle$ належать графу відповідності $T \Rightarrow Z$, якщо $\alpha_g \in B_k$, а $Z = f(\alpha_g)$.

Складність реалізації автомата з перетворювачем кодів, як правило, вище, ніж у автомата з оптимальним кодуванням ЛПС, тому використовувати дану структуру доцільно лише у випадках, коли оптимальне кодування ЛПС неможливе.

Наступним кроком оптимізації логічної схеми автомата Мура на лічильниках є *елементаризація* ЛПС, що дає можливість обійтися без формування адреси стану переходу на виходах P -підсхеми, зменшуючи тим самим їхнє число [4].

Оскільки число елементарних ЛПС, як правило, більше числа звичайних ЛПС, то елементаризація *доцільна* тільки за умови, що *розрядність коду елементарної ЛПС не перевищує розрядності коду звичайної ЛПС*.

Застосування елементаризації разом з формуванням класів псевдоеквівалентних ЛПС породжує $PtYC_4$ -автомат з перетворювачем кодів ЛПС (рис. 4) чи $PeYC_4$ -автомат з оптимальним кодуванням ЛПС.

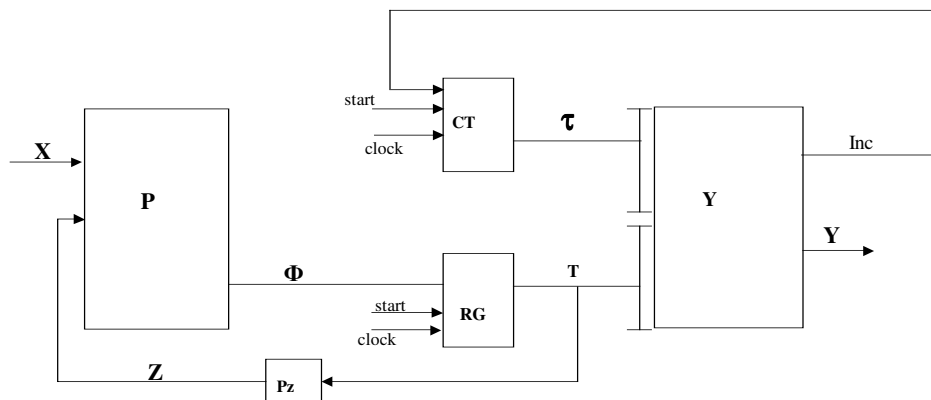


Рис.4. Структура КА Мура з елементаризацією ЛПС та перетворювачем кодів

Застосування методу елементаризації до будь-якої ГСА приводить до формування множини елементарних ЛПС $\pi_{oe} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_{G_e}\}$ і є доцільним тільки у випадках, коли сумарна розрядність коду стану не буде перевищувати розрядності коду стану при тривіальному кодуванні.

Якщо для деяких ГСА можливо оптимально закодувати ЛПС, то апаратні витрати у відповідній схемі будуть меншими за рахунок відсутності перетворювача кодів.

Основні результати досліджень

В процесі досліджень було проаналізовано зміни складності реалізації логічної схеми автомата в залежності від параметрів вихідного алгоритму керування, визначено області ефективної реалізації розроблених структур. Під *областю ефективної реалізації структури КА* розуміється таке сполучення характеристик ГСА, обумовлених її розмірністю і конфігурацією, при якому реалізація автомата з даною структурою забезпечує найменші апаратні витрати в логічній схемі автомата [1,4]. При цьому використано запропонований проф. Г.І. Новіковим метод ймовірнісного підходу до оцінки характеристик ГСА, головна ідея якого полягає в класифікації ГСА за двома характерними параметрами: частка операторних (p_1) і частка умовних (p_2) вершин у ній (загальне число вершин у ГСА позначається літерою P). В дослідженнях використовується

оцінка по відносній складності реалізації схеми. Такий підхід пов'язаний з тим, що відносні витрати, які визначено по числу *стандартних* мікросхем чи по площі *замовлених ВІС*, збігаються з точністю 85%-90%. Ця обставина дозволяє спростити вибір структури, тоді як одержання абсолютних оцінок ускладнює процес вибору, тому що вимагає обліку конкретних параметрів мікросхем різних серій.

Усі запропоновані структури КА на лічильниках мають однакову складність *Y-підсхеми*, тому відносну складність реалізації кожної з цих структур можна оцінити без обліку цієї постійної складової. Як базову модель, обрано реалізацію автомата з РУС-структурою (рис.1), і складність її реалізації оцінюється площею кристала PLA S_{PUC} . Відносна складність реалізації кожної структури визначається як $F_i = S_i / S_{PUC}$; ($i=1, \dots, 4$) [4].

На підставі проведених досліджень зроблено відповідні *висновки*:

1) Для реалізації ГСА, у яких частка операторних вершин складає більше 75%, застосування структур КА на лічильниках завжди веде до зменшення апаратних витрат у логічній схемі. Мінімальний вигаиш виходить для малих ГСА з числом вершин $P < 100$ при низькому ступені компонування вершин ГСА в ЛПС. Максимальний вигаиш отриманий для великих ГСА з $P \geq 900$ при високому ступені компонування вершин ГСА в ЛПС.

2) Якщо елементаризація ЛПС можлива, то для середніх і великих ГСА ($P > 300$) вигаиш в апаратних витратах можливий завжди і зростає зі збільшенням загального числа вершин граф-схеми алгоритму.

Алгоритмізація вибору оптимальної структури КА

На підставі результатів проведених досліджень розроблено *алгоритм вибору* структури КА, оптимального по апаратних витратах для реалізації заданого алгоритму керування [4]. Вибір відповідної структури керуючого автомата залежить від характеристик заданої ГСА. Алгоритм має модульну структуру відповідно сучасному підходу до розробки програмних продуктів і може бути використаний як основа для створення відповідної САПР.

Опис граф-схеми вихідного алгоритму керування може бути заданий в текстовому виді (як числові масиви, що містять інформацію про операторні вершини і переходи графа), або у виді логічної схеми алгоритму [1,6].

Алгоритмічний модуль вибору структури автомата на лічильнику (рис.5) передбачає перетворення вихідної ГСА, тобто формування ЛПС, а потім визначається доцільність елементаризації ЛПС. Подальший аналіз співвідношень характеристик ГСА дозволяє обрати відповідну структуру КА. Модуль у результаті виконання передбачає формування VHDL-коду [] для синтезованої структури КА з її наступним тестуванням у середовищі VHDL. Даний алгоритм вибору покладений в основу розробки комплексу програм САПР із метою одержання експериментальних даних для підтвердження результатів теоретичних досліджень. Програмний комплекс виконує наступні функції:

- 1) визначення й аналіз заданого алгоритму керування;
- 2) визначення оптимальної структури КА для даного алгоритму;
- 3) синтез обраної структури КА і визначення параметрів замовлених матриць, необхідних для її реалізації;
- 4) тестування працездатності синтезованої структури і визначення її часових характеристик;
- 5) збір статистичних даних про ефективність реалізації структур КА.

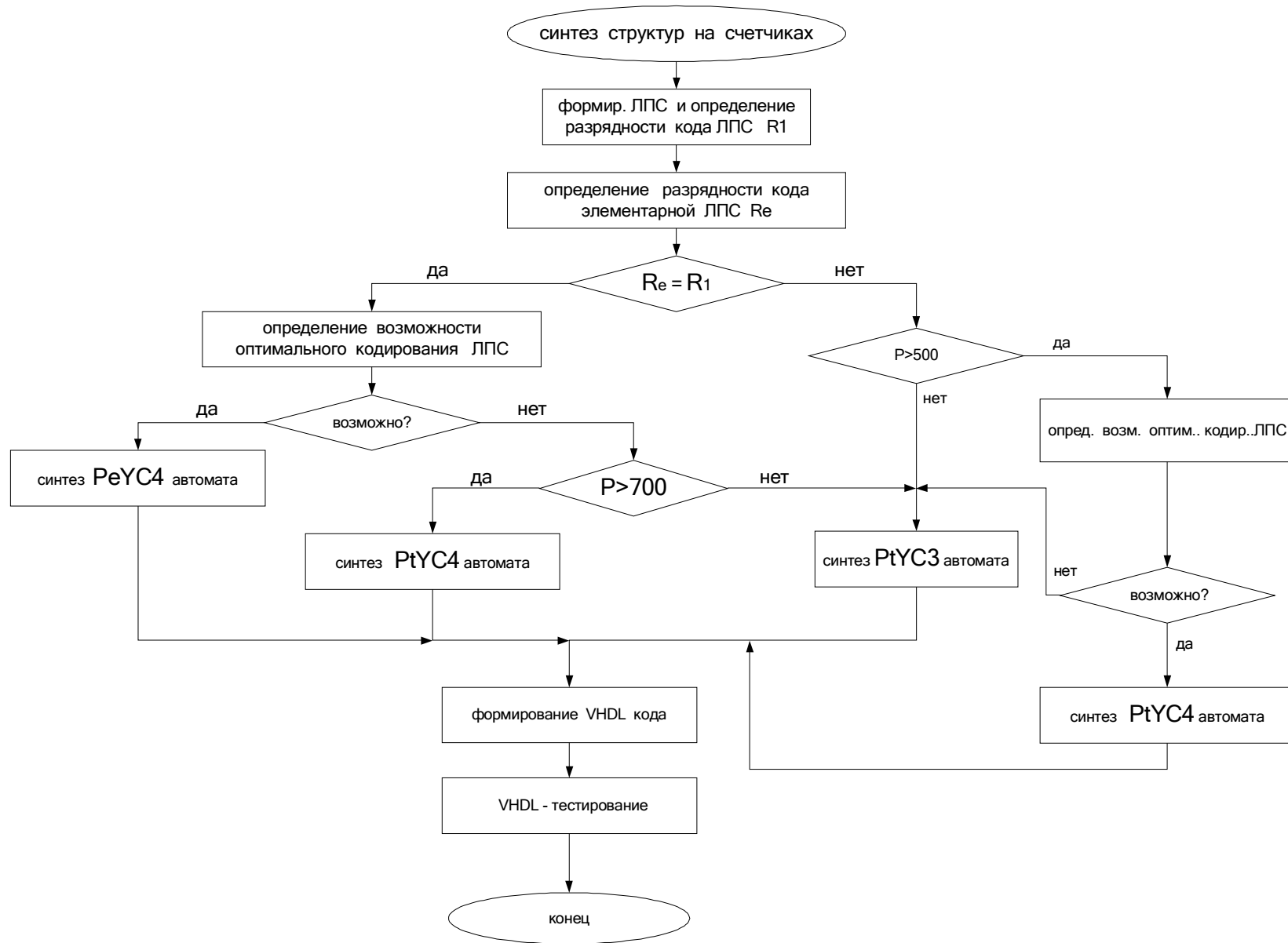


Рис.5. Алгоритмічний модуль вибору структур КА на лічильниках

По статистичним даним про ефективність реалізації розроблених структур керуючих автоматів побудовані криві, що практично збігаються з кривими, отриманими теоретично, максимальна погрішність складає 2,7%.

Таблиця 1

Приклад збору статистичних даних

Змінювані параметри		Теоретичні значення		Експериментальні значення	
P	p ₁	min	max	min	max
		S _{PeYC3}	S _{PeYC3}	S _{PeYC3}	S _{PeYC3}
50	0,4	2 121	85 268	2 215	85 359
	0,6	2 511	98 510	2 585	98 578
	0,8	3 513	84 810	3 624	84 921
100	0,4	2 578	88 225	2 686	88 243
	0,6	2 578	89 667	2 591	89 735
	0,8	2 653	89 667	2 668	89 740
200	0,4	4 248	165 626	4 261	165 638
	0,6	4 845	188 851	4 852	188 862
	0,8	6 798	157 142	6 814	157 155

Висновки

1. Обґрунтовано та розроблено алгоритм вибору оптимальної за апаратурними витратами структури керуючого автомата Мура на лічильнику на підставі аналізу характеристик та конфігурації заданого алгоритму керування.

2. Отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні висновки про ефективність застосування розроблених структур керуючих автоматів. Працездатність отриманих схем перевіряється на VHDL-моделях.

3. Запропонований алгоритм вибору оптимальної за апаратурними витратами структури керуючого автомата рекомендовано до використання при розробках відповідних систем автоматизованого проектування.

Література

1. Баркалов А.А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 262с.
2. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я.. Оптимизация логической схемы автомата Мура на программируемых логических устройствах и счетчиках. // Управляющие системы и машины, №3. – Киев: НАН Украины. Институт кибернетики им. В.М. Глушкова. – 2003. – С 52-55.
3. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – Санкт-Петербург: БХВ, 2002. – 608с.
4. Зеленёва И.Я. Методы синтеза многоуровневых структур управляющих автоматов на программируемых логических устройствах. Дисс. канд. тех. наук... 05.13.13. Донецк, ДонНТУ, 2004. – 150 с.
5. Bostock G. Programmable Logic Handbook.- London : Collins Professional books, 2000.- 244p.
6. Kravets V.N., Sakallah K.A. Resynthesis of multi-level circuits under tight constraints using symbolic optimization // IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, Digest of Technical Papers, 2002, pp. 687-693.