

В І Д Г У К
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
про дисертаційну роботу
Бабакова Романа Марковича
**«Структури і методи синтезу мікропрограмних автоматів
з операційним перетворенням кодів станів»,**
подану на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю
05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дослідження

Мікропрограмні автомати або автомати з «жорсткою» логікою знаходять широке використання в якості пристроїв керування сучасних цифрових систем різного призначення. Серед інших класів пристроїв керування мікропрограмний автомат відзначається максимально можливою швидкістю завдяки здатності виконувати мікропрограмні переходи, що залежать від декількох вхідних сигналів, за один такт своєї роботи. Це дозволяє використовувати даний клас керуючих автоматів там, де швидкість є визначальним критерієм ефективності пристрою керування і цифрової системи в цілому.

Схемна імплементація алгоритму керування, властива мікропрограмним автоматом, призводить до значних апаратних витрат в схемі пристрою. Практичне використання мікропрограмних автоматів вимагає розв'язання проблеми оптимізації апаратних витрат відповідно до умов проектування та експлуатації проектованої системи. Оцінюючи існуючі методи оптимізації апаратних витрат в мікропрограмних автоматах, варто відзначити, що більшість з них має жорстку прив'язку до певного елементного базису та не передбачає адаптацію схеми автомата до заданого алгоритму керування, обмежуючись збільшенням етапів проміжної обробки внутрішніх сигналів на основі систем булевих рівнянь.



У зв'язку з цим важливою науковою проблемою як з теоретичної, так і з практичної точки зору є розробка нових структур мікропрограмних автоматів та відповідних методів структурного синтезу, оснований на адаптації логічної схеми автомата до алгоритму керування і спрямованих на зменшення витрат апаратури та кінцевої вартості проєктованого пристрою. Недостатність теоретичної і практичної розробленості цих питань і відсутність сучасних засобів розробки та проєктування подібних систем обумовлюють актуальність обраного автором напряму досліджень представленої дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Наукові дослідження, які провів та відобразив у дисертаційній роботі здобувач, виконані відповідно до планів держбюджетних тем «Методологічні аспекти синтезу мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів» (0217U007465) та «Дослідження ефективності мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів» (0217U007466), затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконувалися в Донецькому національному університеті імені Василя Стуса. Здобувач був науковим керівником за даними темами.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується коректним застосуванням теоретичних положень та математичного апарату із різних напрямків розвитку сучасної науки: теорія цифрових автоматів, теорія універсальних алгебр, теорія графів, теорія множин, теорія ймовірностей, лінійна та булева алгебри, а також результатами обчислювальних експериментів, логічним поданням, прозорістю та доказовістю результатів, отриманих в роботі, їх практичним застосуванням, що підтверджується актами впровадження. Все зазначене надало можливість автору дослідження одержати нові коректні наукові результати і висновки, які відповідають високому сучасному науковому рівню. Теоретичне і методологічне

обґрунтування вихідних положень, використання комплексу взаємодоповнюючих методів дослідження, аналіз експериментального матеріалу забезпечили достовірність результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку теорії цифрових автоматів, що забезпечує вирішення проблеми оптимізації апаратних витрат в логічній схемі мікропрограмного автомата. До найбільш важливих наукових результатів, отриманих вперше, можна віднести наступні:

1. Запропоновано новий підхід, що полягає у скалярній інтерпретації векторного представлення двійкового коду стану автомата, завдяки чому перетворення кодів станів в процесі мікропрограмних переходів стає можливим за допомогою набору арифметичних та логічних операцій.

2. Сформульовано перелік узагальнень, зроблених для відомої структури мікропрограмного автомата на лічильнику, що знімають обмеження на кількість і тип використовуваних операцій для реалізації мікропрограмних переходів та надають теоретичне обґрунтування принципу операційного перетворення кодів станів.

3. Розроблено базову структуру мікропрограмного автомата, в якій перетворення кодів станів здійснюється за допомогою спеціального операційного автомата переходів. Зменшення апаратних витрат в даній структурі досягається за рахунок багаторазового використання функцій операційного автомата переходів.

4. Побудовано математичну модель базової структури мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Дана модель втілює запропонований принцип операційного перетворення кодів станів автомата у вигляді відповідностей між алгебраїчними рівнями, що описують процеси перетворення інформації в схемі автомата.

5. Проведене удосконалення базової структури мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів, в рамках якого запропоновані нові структури

автоматів з покращеними характеристиками, що поєднують в собі принцип операційного перетворення кодів станів та відомі методи оптимізації витрат апаратури.

6. Розроблено сукупність методів та підходів, що є складовими процесу синтезу мікропрограмного автомата з операційним перетворенням кодів станів. Найбільш важливими серед них можна вважати метод використання транзитних станів, метод збільшення розрядності коду стану та метод врахування імовірностей істинності логічних умов. Дані методи позиціонуються як складові процесу алгебраїчного синтезу запропонованих структур і спрощують пошук множини рішень задачі алгебраїчного синтезу автомата з операційним автоматом переходів.

7. Запропоновано методикау визначення ефективності запропонованих структур мікропрограмних автоматів з операційним автоматом переходів, в основі якої лежить ототожнення окремих блоків структури зі стандартними функціональними вузлами цифрових систем та дослідження апаратурних витрат в окремих блоках на основі дослідження відповідних функціональних вузлів.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблені структури та методи синтезу мікропрограмних автоматів з оптимізованими витратами апаратури, які впроваджено на таких підприємствах і організаціях:

– в науково-технічному спеціальному конструкторському бюро «Полісвіт» (державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання "Коммунар"») при розробленні бортових авіаційних обчислювальних систем та пристроїв;

– на підприємстві ТОВ «С-інжиніринг» при проектуванні спеціалізованих пристроїв керування;

– в освітньому європейському проекті ERASMUS+ «ALLIOT – Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications» при розробці

модуля «Development and hardware optimization of control units for IoT devices» в рамках курсу «Internet of Things for industrial systems»;

– у навчальному процесі кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж Одеського національного політехнічного університету при викладанні дисциплін «Технології проектування комп'ютерних систем» та «Проектування і діагностика систем критичного застосування».

Повнота викладу наукових результатів

Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані у 30 друкованих роботах, з них 1 монографія, 7 наукових статей у журналах, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web Of Science. Основні наукові результати опубліковані у 22 статтях у фахових виданнях, що входять у Перелік наукових видань ДАК МОН України, та охоплюють усі положення, що виносяться на захист. Основні результати дисертаційної роботи апробовані на 7 міжнародних наукових конференціях (з них 4 включені до наукометричної бази Scopus).

Аналіз внеску автора в публікаціях по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Р.М. Бабакова є вирішальним.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому та оформлення

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел та додатків, загальний обсяг роботи – 399 сторінок, з яких основний зміст викладено на 315 сторінках, містить 79 рисунків і 57 таблиць. Список використаних джерел складається з 289 найменувань. Структура дисертації є чіткою та логічною, оформлення роботи відповідає встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України.

Основні дослідження дисертаційної роботи спрямовані на розробку, теоретичне та експериментальне обґрунтування нових структур і методів синтезу мікропрограмних автоматів, що дозволяють зменшити апаратні витрати в схемі автомата за рахунок нового принципу реалізації функції переходів автомата.

У першому розділі дисертаційного дослідження проаналізовано існуючі методи та підходи оптимізації апаратних витрат в цифрових пристроях керування. Відзначено, що традиційні методи використовують векторне представлення кодів станів автомата, що припускає їх перетворення на основі систем булевих рівнянь. Це обмежує ефективність зменшення апаратних витрат та не припускає адаптації схеми автомата до заданого алгоритму керування.

Автором пропонується підхід, що полягає у скалярному представленні кодів станів автомата та їх перетворенні як за допомогою систем булевих рівнянь, так і за допомогою множини арифметико-логічних операцій, яким в схемі автомата відповідають окремі функціональні вузли. При цьому для кожного алгоритму керування можливо обрати такий набір функціональних вузлів, при якому витрати апаратури в схемі формування переходів автомата будуть меншими, ніж у випадку канонічної імплементації функції переходів на основі системи логічних рівнянь. Відсутність досліджень в даному напрямку приводить до формулювання наукової проблеми дисертаційної роботи, що полягає у розробці нових теоретичних засад, структур, моделей та методів, спрямованих на оптимізацію апаратних витрат в схемах мікропрограмних автоматів за рахунок адаптації схеми автомата до параметрів імplementованого алгоритму керування.

У другому розділі розвитку теоретичні основи принципу операційного перетворення кодів станів, викладено алгебраїчну інтерпретацію представлення функцій переходів і виходів у вигляді множини часткових функцій, розглянуто представлення функції переходів автомата на лічильнику у вигляді двох часткових функцій переходів, сформульоване і розвинуте поняття проміжної алгебри переходів як способу опису процесу перетворення кодів станів у випадку їх скалярно-векторної інтерпретації.

У третьому розділі дисертації розроблені нові високоефективні структури мікропрограмних автоматів з операційним автоматом переходів, в яких перетворення кодів станів здійснюється за допомогою множини арифметико-логічних операцій. Запропоновано модифікації даних структур, що поєднують в собі принцип операційного перетворення кодів станів та деякі відомі методи

оптимізації апаратних витрат. Побудовано математичну модель мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Показані особливості застосування операційного принципу до функції виходів мікропрограмного автомата.

У четвертому розділі запропоновано методологічні основи синтезу мікропрограмних автоматів з операційним автоматом переходів. Розроблено метод структурного представлення процесу алгебраїчного синтезу, метод урахування імовірностей істинності логічних умов, метод перетворення граф-схеми алгоритму із використанням транзитних станів, метод штучного збільшення розрядності кодів станів. На основі даних методів створено метод алгебраїчного синтезу мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Розроблений метод синтезу логічної схеми автомата.

У п'ятому розділі проведено дослідження та визначено область ефективного використання запропонованих структур мікропрограмних автоматів з операційним автоматом переходів. Виконане експериментальне дослідження апаратних витрат в окремих структурних блоках автомата. Отримані аналітичні залежності апаратних витрат в схемі автомата від параметрів імplementованого алгоритму керування. Визначено сукупності діапазонів значень параметрів автомата та алгоритму керування, за яких запропоновані структури автоматів мають переваги перед структурою мікропрограмного автомата канонічного типу за показником апаратних витрат.

Загальні висновки дисертаційної роботи структуровані, відповідають завданням і у концентрованому вигляді коректно відображають основні досягнення дисертанта, чим доводиться, що мета роботи досягнута і всі поставлені завдання виконано. Робота має важливе практичне значення, її основні ідеї можуть бути використані в подальшому при вдосконаленні проєктованих пристроїв керування цифрових обчислювальних систем на основі мікропрограмних автоматів, а також в системах автоматизованого проєктування цифрових пристроїв керування.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації за структурою та змістом відповідає вимогам, що ставляться МОН України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Дисертаційна робота написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно та логічно. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень та висновків забезпечує доступність їх сприйняття.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, які встановлені відповідними нормативними документами до авторефератів.

Дисертація за змістом та отриманими науковими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, зокрема п.1 «Теоретичні основи створення і вдосконалення вискоефективних технічних і програмних компонентів комп'ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення, розподілених систем та їх компонентів відповідно до різних ієрархічних рівнів їх організації та умов експлуатації», п.4 «Дослідження та розробки нових вискоефективних архітектур комп'ютерних систем і мереж загального і спеціального призначення, топологічної організації розподілених систем та комунікаційних технологій в них», п.7 «Розроблення та дослідження методів і технологій автоматизованого проектування технічних і програмних засобів комп'ютерних систем і мереж, мов опису, моделей і структурно-алгоритмічної організації систем і мереж для різних ієрархічних рівнів їх подання, створення інтелектуалізованих систем аналізу і синтезу апаратних і програмних засобів комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, комп'ютерних мереж та їх компонентів».

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

1. У першому розділі в п. 1.4 концепція операційного перетворення кодів станів у мікропрограмному автоматі представлена як альтернатива перетворенню кодів станів за допомогою канонічної системи булевих рівнянь. Оскільки ця концепція є новою і базовою для формулювання пропонованого у другому розділі принципу операційного перетворення кодів станів, зазначений п. 1.4, можливо, було б доцільно включити в розділ 2 замість розділу 1.

2. У другому розділі на стор. 11 наведене узагальнення 3, яке наголошує, що для кодів станів мікропрограмного автомата припустимі різні скалярні інтерпретації (цілі числа, дійсні числа, двійково-десяткові тощо). Однак в подальших розділах дисертаційної роботи зустрічається лише інтерпретація кодів станів як цілих чисел без знака. Залишається незрозумілим, чи можливі на практиці інші інтерпретації кодів станів, за яких умов, та які переваги вони надають.

3. В розділі 3 на стор. 142 наводиться математична модель автомата, яка відповідає структурі на рис. 3.4. Однак для інших структур мікропрограмних автоматів математичні моделі не наводяться. Незрозуміло, чи відповідає дана модель усім розробленим структурам автоматів, або ж потребує відповідних модифікацій.

4. В пункті 3.2 згадується відомий підхід зменшення апаратних витрат в операційному автоматі, оснований на пошуку еквівалентних мікрооперацій. Однак даний підхід в подальшому ніяк не використовується при синтезі мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів. Виникає питання, чому автор не обрав цей підхід як частину методу синтезу запропонованих структур МПА.

5. В розділі 4, п. 4.2.3, наведені різні способи структурного представлення методу алгебраїчного синтезу запропонованих автоматів. Деякі з цих структур передбачають можливість формування множини операцій переходів в процесі алгебраїчного синтезу. При цьому не надано жодних рекомендацій, в який спосіб

слід обирати операції переходів у загальному випадку. Також немає обґрунтування доречності такого підходу.

6. На стор. 265 наводиться формула (5.18), що апроксимує вміст таблиці 5.13 із відхиленням, зазначеним в табл. 5.14. При цьому зазначено, що умовою настільки точної апроксимації є використання програмної опції «Mux Extraction», що присутня у САПР Xilinx ISE. Оскільки САПР інших виробників FPGA можуть не мати подібної опції, її використання прив'язує ці і подальші отримані результати до конкретної САПР. Можливо, було б доцільно взяти за основу вираз (5.16), який має меншу точність, але не ґрунтується на зазначеній програмній опції.

7. В розділі 5 пункт 5.2 присвячений дослідженню апаратних витрат у типових функціональних блоках цифрових пристроїв. Хоча таке дослідження є необхідною передумовою для дослідження апаратних витрат в схемах автоматів, даний матеріал безпосередньо не стосується саме структур мікропрограмних автоматів і міг би бути винесений у додаток. Натомість вивільнений обсяг сторінок міг би бути присвячений дослідженню інших структур автоматів, запропонованих в роботі.

8. В п'ятому розділі роботи порівняльні дослідження проводяться окремо для автоматів Мілі і Мура. Однак відомо, що один і той самий алгоритм керування може бути імплементований як за допомогою автомата Мілі, так і за допомогою автомата Мура. Оскільки вибір одного з даних типів автоматів є частиною процесу проектування пристрою керування, доцільно було б навести порівняння ефективності еквівалентних автоматів Мілі і Мура за критерієм кількості апаратних витрат.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Зроблені зауваження не впливають на наукову цінність та практичну значимість виконаної дисертаційної роботи. Дисертація Бабакова Р.М. є завершеною науковою роботою, має наукову новизну та практичну цінність і спрямована на розв'язання важливої наукової проблеми зменшення апаратних витрат в схемах пристроїв керування цифрових систем.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, а також вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ № 567 від 24 липня 2013 р. Вважаю, що автор дисертаційної роботи «Структури і методи синтезу мікропрограмних автоматів з операційним перетворенням кодів станів» Бабаков Роман Маркович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент,

професор кафедри спеціалізованих

комп'ютерних систем

Українського державного університету

залізничного транспорту,

доктор технічних наук

М.А. Мірошник



Особистий підпис
засвідчую _____ 20 __ р.
завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Мірошник М.А.