

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Обрізана Володимира Ігоровича  
«Мультиверсний паралельний синтез цифрових структур на основі  
SystemC специфікації», подану на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні  
системи та компоненти

### Актуальність роботи.

Проектування та тестування цифрових систем на кристалах дозволяє створювати надскладні рішення з високою точністю та за досить короткий час. Скорочення часу виходу продукту на ринок досягається за рахунок використання САПР мікроелектроніки на кожному кроці проектування (введення, моделювання, верифікація, синтез, тестування); застосування високорівневої мови проектування SystemC з широкими можливостями C++; повторне використання готових і протестованих логічних блоків при проектуванні моделі пристрою; високої швидкості і точності методів, реалізованих в програмному забезпеченні. Подальший розвиток моделей і методів комп’ютингу визначається вирішенням таких актуальних проблем, як відсутність синтезованих моделей системного рівня; складність логічного синтезу з високорівневого опису на мовах C++ / SystemC в модель рівня регістрових передач; витрати великих обсягів часу на ручному перекодуванні з C++ / SystemC в VHDL / Verilog моделі; відсутність засобів аналізу проектних рішень для програмно-апаратної реалізації пристрою.

В дисертації, що розглядається, розв’язується науково-практична задача мультиверсного проектування архітектури цифрового виробу на основі заданої специфікації в середовищі SystemC (C++) і автоматичного вибору синтезованих функціональних структур з метою істотного зменшення часу створення проекту і підвищення виходу придатної продукції за рахунок паралельного синтезу та верифікації архітектурних рішень системного рівня відповідно до запропонованої метрики.



Метою дослідження є істотне зменшення часу проектування обчислювальних архітектур і підвищення якості цифрових виробів шляхом мультиверсного синтезу структури цифрового виробу на основі заданої специфікації в середовищі SystemC (C++) і автоматичному підборі функціональних компонентів за рахунок паралельного синтезу і верифікації архітектурних рішень системного рівня відповідно із запропонованою метрикою.

Для досягнення поставленої мети автором вирішено такі задачі, пов'язані з розробкою: 1) методу синтезу інтерфейсних структур і протоколів виконання транзакцій RT-рівня на основі аналізу специфікації SoC-архітектури системного рівня; 2) методу синтезу RTL-моделей функціональностей, який характеризується однозначним перетворенням C++ і SystemC-описів цифрових блоків системного рівня в алгоритми і структури даних автоматної моделі Мура, заданої синтезованою підмножиною мовних конструкцій VHDL;

**удосконаленням:** 3) структури даних для опису функціональних примітивів системного рівня для паралельного синтезу і верифікації архітектурних рішень; 4) методу мультиверсного синтезу керуючих і операційних автоматів для збільшення ефективності засобів автоматизованого проектування цифрових виробів;

а також здійсненням тестування і верифікації програмних модулів мультиверсної розробки операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на десяти прикладах реалізації промисловово-орієнтованих функціональних блоків.

В роботі зазначено, що розробка основних положень дисертації здійснювалась відповідно до планів НДР та договорів, що виконуються на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки: 1) Договір про дружбу і співробітництво між ХНУРЕ та корпорацією «Aldec Inc.» (USA) № 04 від 01.11.2011; 2) Держбюджетна фундаментальна НДР «Теорія й проектування енергозберігаючих цифрових обчислювальних систем на кристалах, що моделюють і підсилюють функціональні можливості людини, № 232 (2009-2011), № ДР 0109U001646; 3) Держбюджетна фундаментальна НДР «Мультипроцесорна система пошуку, розпізнавання та прийняття рішень для інформа-

ційної комп'ютерної екосистеми», № 269 (2011-2013), № ДР 0111U002956; 4) Держбюджетна фундаментальна НДР №268 «Персональний віртуальний кібер-комп'ютер та інфраструктура аналізу кіберпростору» 01.01.2012-31.12.2014, № ДР 0112U000209; 5) Держбюджетна науково-дослідна фундаментальна робота №297 "Кіберфізична система «Розумне хмарне управління транспортом» (Cyber Physical System – Smart Cloud Traffic Control)" 01.01.2015-31.12.2017, № 0115U-000712; 6) Проект 530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR Curricula Development for New Specialization: Master of Engineering in Microsystems Design (MastMEMS)» сумісно з університетом «Львівська політехніка», Київським національним університетом, Технічним університетом м. Лодзь (Польща), Ліонським університетом (Франція), Університетом м. Ільменау (Німеччина), Університетом м. Павія (Італія) на 2012 – 2016 pp.; 7) Educating the Next generation experts in Cyber Security: the new EU-recognized Master's program (ENGENSEC) 544455-TEMPUS-1-2013-1-SE-TEMPUS-JPCR (01 Dec 2013 - 30 Nov 2016).

#### Характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, 24 підрозділів, висновків, списку використаних джерел з 136 назв, 2 додатків.

У вступній частині описано мотивацію виконання дослідження, актуальність науково-практичної задачі, що розв'язується; сформульовано мету, об'єкт і задачі дослідження; сукупність наукових результатів, що виносяться на захист; визначено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів; наведено відомості про їх апробацію та реалізацію, характеристику публікацій.

У першому розділі дисертації викладено аналітичний огляд засобів автоматизованого проектування, показано розвиток моделей, методів, алгоритмів і програмних засобів створення цифрових систем на кристалах в часі і просторі, визначено вузькі місця і переваги найцікавіших моделей і методів, опублікованих в спеціальній літературі.

Сформульовано сутність дослідження як мультиверсне проектування архітектури цифрового виробу на основі заданої специфікації в середовищі SystemC (C++) і автоматичному виборі синтезованих функціональних структур

з метою істотного зменшення часу створення проекту і підвищенні виходу придатної продукції за рахунок паралельного синтезу та верифікації архітектурних рішень системного рівня відповідно до запропонованої метрики. Викладено основну інноваційну ідею дослідження як паралельний автоматичний синтез квазіоптимальної архітектури відповідно до запропонованої специфікації і метрики на основі підбору синтезованих функціональних структур.

У другому розділі пропонуються методи системного і архітектурного синтезу компонентів цифрових систем на кристалах і інтерфейсних блоків, програмно-апаратної декомпозиції, представлені результати синтезу типових структур мовних конструкцій в моделі RT-рівня і подальша їх оцінка з позиції швидкодії та апаратних витрат, які використовуються як бібліотечні описи для вибору оптимальних рішень в процесі створення обчислювальних пристройів. Виконано тестування і верифікацію конструктивних рішень примітивів, використовуваних для проектування цифрових систем на кристалах на основі промислових систем моделювання Aldec Active-HDL, Riviera, Xilinx Web Pack.

Третій розділ присвячено створенню квазіоптимальних синтезованих моделей функціональних модулів і їх подальшій імплементації в RTL-код для синтезу функціонально-складних IP-core цифрових систем на кристалах. Розроблено і апробовано структури даних для опису функціональних примітивів системного рівня, орієнтованих на використання семантичних і синтаксичних конструкцій мови C++ і SystemC з метою забезпечення паралельного синтезу і верифікації архітектурних рішень. Розроблено і протестовано програмні модулі, що реалізують векторні і спискові моделі опису функціональних примітивів, а також інфраструктура для реалізації методів мультиверсної розробки операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на основі використання продуктів верифікації та синтезу компаній Aldec і Xilinx. Проведено верифікацію програмно-структурних рішень.

У четвертому розділі вирішено задачі розробки і тестування інфраструктури проектування цифрових систем на кристалах, яка характеризується паралельним виконанням мультиверсного синтезу функціональності. Виконано про-

грамно-апаратну реалізацію моделей, методів і структур даних для проектування цифрових систем на кристалах, яке включає процедури створення специфікації, синтезу, тестування, моделювання та верифікації на основі запропонованої інфраструктури, що містить промислові засоби компаній Aldec і Xilinx. Розглянуті питання тестування програмних продуктів на реальних цифрових проектах створення IP-Core як примітивів для реалізації цифрових систем на кристалах.

Таким чином, дисертаційне дослідження містить компоненти у вигляді моделей, методів і алгоритмів: 1) визначення специфікації системи; 2) парсинг опису з мови SystemC у мову VHDL; 3) паралельний опис проекту мовами VHDL, Verilog; 4) диверсифікація проектування цифрової системи на кристалі; 5) тестування та верифікація HDL-коду; 6) розміщення, трасування та виробництво SoC; 7) бібліотеки IP-cores для паралельного та послідовностного проектування; 8) імплементація архітектури та методів у хмарний сервіс.

Практична значущість отриманих результатів полягає в розробці програмних засобів для реалізації моделей і методів мультиверсного створення операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на основі використання продуктів верифікації та синтезу компаній Aldec і Xilinx; проведенні тестування і верифікації програмних модулів мультиверсної розробки операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на десяти прикладах реалізації промислово-орієнтованих функціональних блоків.

Розроблено локальні і серверні програми, розміщені на хмарних сервісах Amazon Web Services. Система виконана за мікросервісною архітектурою, яка має властивості масштабованості, надійності, можливість розробляти та оновлювати модулі системи незалежно один від одного.

На основі викладеного вище можна зробити такі висновки.

1. Наукову новизну роботи визначають:

- вперше запропоновано метод синтезу інтерфейсних структур і протоколів виконання транзакцій RT-рівня на основі аналізу специфікації SoC-архітектури системного рівня, який характеризується використанням двобічної

стандартної шини Wishbone обміну даними між функціональними модулями, що дозволяє здійснювати мультиверсне створення компонентів цифрових систем на кристалах;

- **вперше** запропоновано метод синтезу RTL-моделей функціональностей, який характеризується однозначним перетворенням C++ і SystemC-описів цифрових блоків системного рівня в алгоритми і структури даних автоматної моделі Мура, заданої синтезованою підмножиною мовних конструкцій VHDL, що дає можливість істотно зменшити час виконання процесів проектування, тестування і верифікації;

- **удосконалено** структури даних для опису функціональних примітивів системного рівня, які відрізняються орієнтацією на використання семантичних і синтаксичних конструкцій мови C ++ і SystemC, що дозволяє здійснювати паралельний синтез і верифікацію архітектурних рішень;

- **удосконалено** метод мультиверсного синтезу керуючих і операційних автоматів, орієнтованих на архітектурні рішення в метриці, яка відрізняється мінімальним часом виконання функціональності за рахунок розпаралелювання операцій при обмеженні на апаратні витрати, що дозволило збільшити ефективність засобів автоматизованого проектування цифрових виробів.

## 2. Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено програмні засоби для реалізації моделей і методів мультиверсного створення операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на основі використання продуктів верифікації та синтезу компаній Aldec і Xilinx;

- проведено тестування і верифікацію програмних модулів мультиверсної розробки операційних пристройів в рамках інтегрованої системи проектування функціональних і архітектурних рішень SoC на десяти прикладах реалізації промислово-орієнтованих функціональних блоків;

- розроблено локальні і серверні програми, розміщені на хмарних сервісах Amazon Web Services, клієнтську програму реалізовано на мові C++, вона має графічний інтерфейс користувача з підсвічуванням синтаксису. Результатом експерименту отримано, що в разі адитивної оцінці автоматичний метод

краще в 1,3 раз. При мультиплікативній оцінці автоматичний метод краще в 133,2 рази. Показано, що значення ручного методу практично наближаються до нуля, в той час як в автоматичному методі значення наближаються до 1, що доводить ефективність мультиверсний метод;

– економічний ефект від реалізації дисертаційного дослідження полягає в підвищенні швидкодії програмних і апаратних засобів синтезу і верифікації цифрових пристройів за рахунок мультиверсності або опосередкованого збільшення програмно-апаратної надмірності, використовуваної в процесі проектування обчислювальних виробів.

3. Отримані наукові висновки та положення дисертації є обґрунтованими і достовірними. Виконано експериментальні дослідження, тестування і моделювання реальних функціональних модулів з бібліотек провідних проектних компаній і конференцій. Достовірність наукових висновків підтверджується інтеграцією розробленої технології аналізу і верифікації з сервісами проектування компанії Aldec. Розроблена методика проведення діагностичного експерименту застосовується на фірмі ООО Aldec-KTC при автоматизованому проектуванні цифрових пристройів з використанням САПР Active-HDL та системи імітаційного моделювання Riviera<sup>TM</sup> компанії Aldec Inc. (USA) та дозволяє на 20-30% скоротити час на пошук помилок проектування.

4. Автором опубліковано 36 друкованих праць: 16 статей, серед яких 13 у наукових журналах, що входять до «Переліків наукових фахових видань України» (з них 12 – у міжнародних наукометричних базах), 3 статті в міжнародних наукових журналах за кордоном (з них 2 – в міжнародній наукометричній базі Scopus); а також 20 публікацій у міжнародних наукових конференціях (з них 8 за кордоном, 11 входять до наукометричної бази Scopus). Здобувач має 15 публікацій, що входять до наукометричної бази Scopus.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи та містить опис основних наукових і практичних результатів, отриманих автором.

Зauważення по дисертаційній роботі Обрізана Володимира Ігоровича:

1. Не досить уваги приділено інфраструктурі, що підтримує синтаксичний та семантичний аналіз мов та конструкцій.

2. Не наведено порівняльних характеристик з продуктами компаній Cadence, Synopsis.

3. Відсутня верифікація алгоритмічних моделей та відповідних їм кодів у програмному забезпеченні, що відповідає компілятору.

4. В тексті автореферату слабко відображені відомості щодо очікуваного економічного ефекту від реалізації дисертаційного дослідження. Проте в дисертації навіть присутня формула його розрахунку (стор. 64-65 дисертації), при цьому в тексті дисертації не наведено розрахованих за нею оцінок показників ефективності.

5. В тексті автореферату не надано посилання на впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження, хоча у тексті самої дисертації воно присутні разом з наведеними у додатку А довідками про впровадження у навчальний процес ХНУРЕ (довідка від 12.05.2016) та у науково-виробничу діяльність компанії ALDEC-KTC (довідка від 15.04.2016).

6. В тексті дисертації, автореферату, анотаціях не наведено структуру дисертаційної роботи (кількість розділів, використаних джерел, тощо).

7. Зустрічаються поодинокі неточності українського перекладу і граматичні помилки, як то: «мультиверсний» замість «мультиверсний», «комп’ютінг» замість «комп’ютинг», «мультіпроцесорна» замість «мультипроцесорна», «кіберфізічна» замість «кіберфізична», «реєстр» замість «регистр».

В цілому, незважаючи на зазначені зауваження, дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому поставлено за мету суттєве зменшення часу проектування обчислювальних архітектур і підвищення якості цифрових виробів шляхом мультиверсного синтезу структури цифрового вироби на основі заданої специфікації в середовищі SystemC (C++) і автоматичному підборі функціональних компонентів за рахунок паралельного синтезу і верифікації архітектурних рішень системного рівня відповідно до запропонованої метрики.

Роботу виконано на високому теоретичному рівні з використанням математичних методів і сучасних засобів обчислювальної техніки. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

Актуальність вибраної теми, достовірність і обґрунтованість висновків, новизна досліджень, значення отриманих результатів для науки і практики свідчать про те, що дисертаційна робота «Мультиверсний паралельний синтез цифрових структур на основі SystemC специфікації» задовільняє вимогам пп. 9, 11-14 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 № 656, а Обрізан Володимир Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри інформаційних технологій  
Українського державного університету  
залізничного транспорту  
доктор технічних наук, професор

Мірошник М.А.

Підпис проф. Мірошник М.А. засвідчує:

Вчений секретар



*Miroshnik M.A.*