

ВІДЗИВ ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Ємельянова Ігоря Валерійовича «Моделі та методи кубітного тестування цифрових пристроїв на основі memory-driven структур даних», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Інтеграція хмарних технологій, квантових обчислень і технологій проектування кіберфізичних об'єктів дозволяє зменшити час синтезу тестів, моделювання справної поведінки і несправностей функціональних компонентів цифрових систем.

Хмарні сервіси являють собою спеціалізовані розосереджені в просторі віртуальні комп'ютерні системи, інваріантні до реалізації в апаратурі або в програмному продукті. Поєднання квантового комп'ютингу з його хмарним виконанням є вдалим технологічним рішенням для розв'язання задач кіберфізичного формату, орієнтованих на проектування і тестування цифрових систем і програмно-апаратних компонентів.

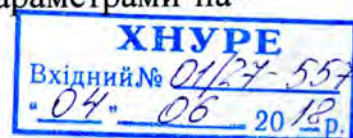
Найявні обчислювальні потужності світу не здатні вирішити проблему створення цифрового світу через низьку продуктивність глобального комп'ютингу і високу енерговитратність існуючих класичних і квантових комп'ютерів. Тому, розробка альтернативних технологій реалізації квантового memory-driven і logic-free комп'ютингу, що виключає дорогі, енерговитратні, логіко-подібні (or, not) операції суперпозиції і переплутування, є актуальною задачею.

Тема дисертаційної роботи націлена на хмарну реалізацію інноваційної технології проектування і тестування цифрових систем і компонентів на основі використання кубітних структур даних, орієнтованих на паралельне виконання процедур синтезу та аналізу.

В роботі вирішено науково-практичну задачу квантового проектування, моделювання і тестування цифрових пристроїв і компонентів на основі використання memory-driven кубітних структур даних, вільних від застосування логіки.

Сутність дослідження полягає в розробці хмарних сервісів, моделей і методів квантового синтезу та аналізу memory-driven кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів для істотного підвищення швидкодії засобів проектування, тестування, моделювання та діагностування несправностей.

Автором поставлено та вирішено такі задачі: 1) визначення моделі метричної взаємодії класичного та квантового комп'ютингу за параметрами па-



ралелізму, суперпозиційності та переплутування для реалізації квантового комп'ютингу в класичному виконанні за рахунок збільшення пам'яті; 2) удосконалення методу невизначених коефіцієнтів для мінімізації булевих функцій шляхом паралельного виконання логічних операцій в цілях отримання двох векторів, відповідних мінімальній диз'юнктивній і кон'юнктивній нормальним формам; 3) удосконалення кубітного методу пошуку дефектів для паралельного виконання операцій над групами векторів таблиці несправностей цифрового пристрою; 4) подальший розвиток квантового методу синтезу тестів для логічних функціональностей на основі використання булевих похідних за кубітними структурами даних; 5) подальший розвиток квантового методу моделювання справної поведінки на основі memory-driven кубітних структур даних; 6) розробка хмарних сервісів синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів та їх верифікація на прикладах цифрових схем.

Розробка теми дисертації здійснювалася відповідно до планів держбюджетних НДР та договорів, виконуваних на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки в період з 2011 року: 1) Договір про дружбу і співробітництво між ХНУРЕ та корпорацією «Aldec Inc.» (USA) №04 від 01.11.2011. 2) Фундаментальна НДР «Персональний віртуальний кіберкомп'ютер та інфраструктура аналізу кіберпростору», №258 (2012-2014). 3) Держбюджетна НДР «Кіберфізична система – «Розумне хмарне управління транспортом», № 0115U-000712 (2015-2017); 4) «Розумний кібер університет – Cloud-Mobile сервіси управління науково-освітніми процесами», № 0117U-002524 (2017-2019).

Характеристика основних розділів роботи:

Вступна частина містить обґрунтування актуальності дослідження, опис аксіом інноваційного комп'ютингу, зв'язку дисертаційної роботи з науковими програмами та держбюджетними темами, об'єкту, предмету, мети та задач дослідження, наукової новизни та практичної значущості, а також інформацію про особистий внесок здобувача в наукових роботах, опублікованих зі співавторами, та апробацію отриманих результатів.

Перший розділ містить аналітичний огляд технологій проектування, тестування, моделювання справної поведінки і несправностей цифрових систем і схем, аналіз публікацій в області квантового та хмарного комп'ютингу, на основі якого робиться висновок про можливість використання хмарних технологій та квантових обчислень для проектування і тестування кіберфізичних об'єктів. Визначаються науково-практичні задачі дослідження, присвяченого хмарній реалізації квантового комп'ютингу для синтезу тестів, моделювання справної поведінки і несправностей функціональних компонентів систем на кристалах.

Визначено модель метричної взаємодії квантового та класичного комп'ютингу на основі аналізу їх взаємно-однозначної відповідності, яка базується на дев'яти метричних компонентах: 1) пам'ять; 2) структури адресованих даних; 3) операції; 4) алгоритми; 5) технології; 6) енерговитрати; 7) швидкість; 8) температурні умови; 9) клас розв'язуваних задач.

У другому розділі запропоновано memory-driven інноваційну архітектуру квантового комп'ютингу без квантових операцій суперпозиції і переплутування на основі використання наведеного в даному розділі єдиного характеристичного рівняння, що задає дві транзакції запису-зчитування.

Розглянуто оптимальне вирішення проблеми покриття шляхом використання цифрової реєстрової структури Quantum Coverage Processor, яка створює всі можливі поєднання вхідних векторів у формі кубітних структур даних, представлених булеаном або множиною всіх підмножин.

Розроблено квантовий метод мінімізації булевих функцій, який базується на квантовому представленні даних і відрізняється від методу невизначених коефіцієнтів паралельним виконанням операції суперпозиції над нульовими і одиничними станами вхідних змінних, представленими унітарними кодами, що дає можливість істотно підвищити швидкість за рахунок надлишкової пам'яті.

Удосконалено кубітний метод пошуку дефектів шляхом теоретико-множинної різниці двох векторів, відповідних одиничному і нульовому значенням станів виходів, як реакцій спостережуваних виходів на вхідний тест перевірки несправностей. Суперпозиція несправностей дає можливість істотно мінімізувати структури даних для зберігання інформації в цілях подальшого пошуку дефектів при виконанні діагностичного експерименту в режимі online.

У третьому розділі представлено метод синтезу квазіоптимального тесту цифрових схем, що базується на використанні реєстрових паралельних операцій над апаратно-орієнтованими структурами даних, які являють собою матрицю кубітних похідних для black-box функціональності.

Розроблено метод синтезу тестів на основі використання кубітних похідних, що дозволяє згенерувати вхідні набори, які перевіряють всі поодинокі константні несправності вхідних і внутрішніх ліній. Показано, що для синтезу мінімального тесту необхідно використовувати структуру цифрового пристрою.

Описано синтез тестів і дедуктивних формул моделювання несправностей на основі булевих похідних за вхідними змінними для схеми Шнейдера, описаної таблицею істинності та Q-покриттям. Показано технологічність і продуктивність методів і алгоритмів, що використовують кубітні покриття функціональних примітивів.

Розглянуто кубітно-дедуктивний метод аналізу несправностей, що базується на аналітичній інтерпретації таблиці кубітних похідних. Запропоновано метод, алгоритм і структуру секвенсора для синтезу і мінімізації тестів black-box функціональностей, що використовують матрицю кубітних похідних для отримання квазіоптимального покриття.

Четвертий розділ містить опис імплементації квантового методу синтезу тестів за кубітними покриттями.

Квантовий комп'ютинг орієнтований на паралельне вирішення задач. Розглядається паралельний метод кубітного моделювання несправностей, який характеризується одночасною обробкою векторів поодиноких константних дефектів в цілях побудови таблиці несправностей. Паралельний метод моделювання несправностей дозволяє використовувати історію обробки дефектів на кубітних покриттях логічних елементів для прискорення процесу аналізу дефектів на тестових наборах.

Описано хмарний сервіс проектування і тестування цифрових пристроїв, який відрізняється від існуючих аналогів ергономічним інтерфейсом швидкого введення структурно-функціонального графічного опису схеми. Запропоноване програмне забезпечення дозволяє здійснювати адресно-орієнтоване кубітно-векторне моделювання справної поведінки і несправностей в цілях підвищення швидкодії інтерпретативного аналізу, синтезу тестів і діагностування.

Проведені експерименти на логічних схемах з бібліотеки ISCAS підтверджують висновок, що поєднання квантового комп'ютингу з його хмарним виконанням є вдалим рішенням, спрямованим на удосконалення методів проектування і тестування цифрових систем і програмно-апаратних компонентів.

Висновок

Наукова новизна роботи визначається такими пунктами:

1. Вперше запропоновано модель метричної взаємодії класичного та квантового комп'ютингу, яка характеризується взаємно-однозначною відповідністю за параметрами паралелізму, суперпозиційності та переплутування в обох видах обчислень, що дає можливість реалізувати квантовий комп'ютинг в класичному виконанні за рахунок збільшення пам'яті.

2. Удосконалено метод невизначених коефіцієнтів для мінімізації булевих функцій, який відрізняється від класичного унітарним кодуванням даних для паралельного виконання логічних операцій в цілях отримання двох векторів, відповідних мінімальній диз'юнктивній і кон'юнктивній нормальним формам.

3. Удосконалено кубітний метод пошуку дефектів, який відрізняється від існуючого унітарним кодуванням таблиці дефектів, що перевіряються, для паралельного виконання операцій; це дає можливість привести обчис-

лення до логічної різниці двох векторів, відповідних одиничному і нульовому значенням станів-реакцій виходів цифрового пристрою при виконанні тест-експерименту.

4. Отримав подальший розвиток квантовий метод синтезу тестів для логічних функціональностей за рахунок використання булевих похідних за змінними на кубітних структурах даних, що дає можливість підвищити швидкодію методу шляхом паралельного виконання логічних операцій.

5. Отримав подальший розвиток квантовий метод моделювання справної поведінки за рахунок memory-driven реалізації кубітних структур даних, що дає можливість використовувати транзакційні адресно-орієнтовані процедури аналізу цифрових пристроїв, які виключають логічні операції.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає у розробці хмарних сервісів синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів, які протестовані на різних прикладах комбінаційних схем і пройшли вичерпну апробацію моделей і методів при вивченні курсів «Квантові обчислення», «Схемотехнічне проектування та моделювання НВІС», «Проектування та тестування цифрових пристроїв на ПЛІС», «Комп'ютерна логіка».

Обґрунтованість теоретичних положень та наукових результатів підтверджується експериментальними дослідженнями, спрямованими на хмарну реалізацію інноваційної технології проектування і тестування цифрових систем і компонентів на основі використання кубітних структур даних, орієнтованих на паралельне виконання процедур синтезу та аналізу. Розроблені моделі, методи та програмне забезпечення впроваджено в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 04.01.2018); в науково-дослідну і виробничу діяльність компанії Aldec, USA (довідка про впровадження від 09.01.2018).

Порівняльний аналіз змісту дисертаційної роботи та опублікованих робіт показав, що результати наукових досліджень, а саме: модель метричної взаємодії класичного та квантового комп'ютингу, удосконалений метод незначених коефіцієнтів для мінімізації булевих функцій, удосконалений кубітний метод пошуку дефектів, розвинений квантовий метод синтезу тестів для логічних функціональностей, розвинений квантовий метод моделювання справної поведінки відображені у 27 друкованих працях. Серед них: 1 монографія, 10 статей у наукових фахових виданнях України (з них 10 статей входять до міжнародних наукометричних баз), 3 статті у міжнародних наукових журналах за кордоном, а також матеріали 13 міжнародних наукових конференцій (з них 10 за кордоном і 9 входять до наукометричної бази Scopus). Автореферат відображає зміст дисертаційної роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі:

1. Переваги квантових моделей та методів, реалізованих в класичному виконанні, забезпечуються за рахунок збільшення пам'яті для унітарного представлення примітивних алфавітів, функцій і структур даних. Тобто, підвищення швидкодії розв'язання практичних задач здійснюється за рахунок збільшення апаратних витрат.

2. Метод кубітно-дедуктивного моделювання несправностей за допомогою кубітних похідних характеризується деяким зменшенням точності, пов'язаної з виявленням несправностей, які є наслідком багатовимірної активізації дефектів на лініях східних розгалужень, що може впливати на результати моделювання.

3. В розділі 2 зазначено, що витрати пам'яті для зберігання структур даних визначаються розмірністю таблиці, необхідної для суперпозиційного отримання двох векторів квантового покриття. Формування квантового покриття потребує використання таблиці істотно більшої розмірності порівняно з вихідною таблицею істинності, тобто підвищення швидкодії здійснюється за рахунок надлишкової пам'яті.

4. Обчислювальна складність процедури мінімізації тесту, зведеної до задачі покриття та описаної у розділі 3, має ступеневу залежність від кількості змінних. Розбиття матриці кубітних похідних і паралельне знаходження квазіоптимальних покриттів для фрагментів матриці дозволить спростити вирішення задачі мінімізації тесту.

5. Метод синтезу тестів на основі використання кубітних похідних дозволяє згенерувати вхідні набори для перевірки всіх поодиноких константних несправностей вхідних і внутрішніх ліній. Не зрозуміло, чи може запропонований метод бути застосований для виявлення кратних несправностей та яким чином використовується структура цифрового пристрою для синтезу мінімального тесту.

Враховуючи викладене вище, можна зробити такий висновок: в дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу квантового проектування, моделювання і тестування цифрових пристроїв і компонентів на основі використання memory-driven кубітних структур даних, вільних від застосування логіки.

Отримано такі важливі наукові результати: модель метричної взаємодії класичного та квантового комп'ютингу, яка характеризується взаємно-однозначною відповідністю за параметрами паралелізму, суперпозиційності та переплутування в обох видах обчислень, що дає можливість реалізувати квантовий комп'ютинг в класичному виконанні за рахунок збільшення пам'яті; удосконалені метод невизначених коефіцієнтів для мінімізації булевих функцій та кубітний метод пошуку дефектів; розвинені квантовий метод син-

тезу тестів для логічних функціональностей та квантовий метод моделювання справної поведінки. Практично реалізовано хмарні сервіси синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, задовольняє вимогам пунктів 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 також вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а Ємельянов Ігор Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

професор кафедри «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» Одеського національного політехнічного університету
доктор технічних наук, професор

О.В. Дрозд

Вчений секретар Одеського національного політехнічного університету



В. І. Шевчук