

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

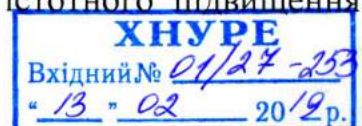
на дисертаційну роботу Любарського Михайла Михайловича
«Квантові моделі та методи аналізу логічних Х-функцій», подану на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність роботи.

Розробка квантових моделей і методів є практично затребуваною та актуальною для моделювання та верифікації цифрових систем на кубітних структурах даних з метою істотного зменшення часу виходу виробу на ринок. Особливий інтерес складає використання кубітних покриттів примітивних функціональностей для мінімізації, синтезу, аналізу і діагностування цифрових виробів. В роботі розглядаються логічні (xor, notxor) Х-функції, що задаються симетричними кубітними покриттями, для вирішення задач побудови тестів і дедуктивного моделювання несправностей. Особливі властивості Х-функцій роблять їх привабливими для використання при проектуванні тестопридатності цифрових систем.

У дисертаційній роботі досліджуються питання, пов'язані зі створенням теорії і методів квантового memory-driven проектування і тестування цифрових систем, орієнтованих на паралельні алгоритми синтезу та аналізу кубітних структур даних, що імплементовані у emerging memory-driven quantum computing. Зокрема, квантовий паралельний комп'ютинг і кубітні структури даних дозволяють спростити алгоритми в області SoC Design and Test і підвищити швидкодію програмних продуктів на класичних комп'ютерах, що укладається у всесвітні тенденції розвитку квантових технологій протягом останніх п'яти років.

Метою дослідження є зменшення часу верифікації цифрових систем на кристалах шляхом використання memory-driven архітектур і кубітних структур даних для компактного опису логічних Х-функцій та істотного підвищення



продуктивності методів тестування і дедуктивного моделювання несправностей за рахунок паралельного комп'ютингу алгоритмів.

Для досягнення поставленої мети автором вирішено такі задачі, пов'язані з **розробкою**: memory-driven архітектур та алгоритмів для паралельного виконання логічних операцій над кубітними структурами даних у ході реалізації методів тестування та верифікації цифрових систем на кристалах; структурної моделі метричних властивостей Х-функцій, орієнтованої на виконання паралельних операцій, з метою отримання лінійного часу генерації тестів і моделювання цифрових систем; аналітичної моделі для отримання кубітних покриттів Х-функцій від кінцевого числа змінних з метою створення логічних схем, які не вимагають експоненційних витрат на синтез і аналіз тестів; паралельного методу генерації тестів для несправностей Х-функцій від кінцевого числа змінних на основі взяття похідних за кубітним покриттям, які формують тести мінімальної довжини; паралельного методу синтезу дедуктивних кубітних покриттів для моделювання Х-функцій на основі отримання одиначної матриці похідних з метою створення секвенсора моделювання дефектів;

удосконаленням квантового методу генерації тестів і дедуктивного моделювання несправностей логічних функцій шляхом синтезу матриць булевих похідних за їхнім кубітним покриттям;

а також здійсненням **практичної реалізації** окремих сервісів синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів реалізованих у вигляді програмних додатків.

В роботі зазначено, що розробка основних положень дисертації здійснювалась відповідно до планів НДР та договорів, що виконувалися на кафедрі АПОТ Харківського національного університету радіоелектроніки: Договір про дружбу та співробітництво між ХНУРЕ та компанією «Aldec Inc.» (USA) № 04 від 01.11.2011; Curricula Development for New Specialization: Master of Engineering in Microsystems Design 530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR MastMST (2012-2016); Фундаментальна держбюджетна НДР №297 "Cyber

Physical System – Smart Cloud Traffic Control" (2015-2017), № ДР 0115U-000712; фундаментальна держбюджетна НДР № 316 "Cyber Physical System – Smart Cyber University" (2017-2019), № ДР 0117U-0002524.

Характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, 22 підрозділів, висновків, списку використаних джерел зі 102 назв, 4 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 аналіз існуючих публікацій в області створення моделей, методів, алгоритмів і архітектур квантового комп'ютингу для тестування і моделювання цифрових систем з метою створення теорії і практики квантового проектування цифрових систем. Ставляться науково-практичні завдання дослідження в рамках технологій синтезу тестів і моделювання несправностей для спеціалізованих логічних схем, включаючи Х-функції. Сформульовано сутність дослідження як створення квантових моделей і методів синтезу тестів та аналізу несправностей логічних Х-функцій на основі використання кубітних структур даних і memory-driven архітектур для паралельного комп'ютингу алгоритмів з метою істотного підвищення продуктивності тестування і дедуктивного моделювання цифрових систем на кристалах.

У **другому розділі** розроблено архітектури і методи квантового паралельного аналізу кубітних моделей цифрових систем і компонентів для їх подальшої реалізації в формі сервісів-додатків. Розроблено квантові архітектури memory-driven паралельного комп'ютингу для аналізу кубітних моделей цифрових систем і компонентів, які відрізняються невикористанням традиційної логіки у процесингу алгоритмів design and test. Розроблено метрики

і моделі для класифікації квантового комп'ютингу, які показують фізичні, математичні та архітектурні особливості обчислювальних процесів. Створено інфраструктуру quantum design and test of memory-driven computing, яка дозволяє дослідникам синтезувати нові моделі і методи на кубітних структурах даних. 4) Розроблено архітектури спільного використання квантового та класичного комп'ютингу, які враховують можливості паралелізму квантового комп'ютингу з перевагами класичного при вирішенні послідовних проблем. Запропоновано модель просторово-часової та матеріально енергетичної взаємодії, яка служить методологією для теорії і практики всіх видів комп'ютингу, що пояснює технологічні та енергетичні межі обчислювальних процесів. Запропоновано просторово-часові квантові архітектури для реалізації паралельних, послідовних і гібридних обчислювальних процедур і алгоритмів при вирішенні комбінаторно складних завдань покриття.

Третій розділ присвячено побудові структурної моделі взаємодії Х-функцій і похідних компонентів, орієнтованих на синтез і аналіз цифрових систем з метою зменшення часу проектування і тестування обчислювальних пристроїв. Введено поняття простих Х-функцій від кінцевого числа змінних, які характеризуються відсутністю мінімізації та наявністю властивостей тестопригодності для вирішення завдань синтезу тестів, моделювання і діагностування. Сформульовано метричні властивості Х-функцій від кінцевого числа змінних для оцінки якості перевіряючих тестів шляхом дедуктивного моделювання перевірюваних константних несправностей на кубітних структурах даних. Запропоновано аналітичний вираз для синтезу кубітних покриттів Х-функцій від кінцевого числа змінних з метою подальшого синтезу і аналізу тестів перевірки та діагностування несправностей. Синтезовано дедуктивні формули транспортування вхідних списків несправностей на зовнішні виходи для Х-функцій від кінцевого числа змінних для побудови секвенсора моделювання дефектів, інваріантного до вхідних тестових наборів. Запропоновано метод синтезу дедуктивних кубітних покриттів для моделювання несправностей на основі використання Q-покриттів функціональностей.

У **четвертому розділі** запропоновано аналітичний вираз для синтезу кубітних покриттів X -функцій від кінцевого числа змінних, що дає можливість створювати тестопридатні логічні схеми, які не потребують експоненційних витрат на синтез і аналіз тестів перевірки та діагностування несправностей. Отримано дедуктивні формули транспортування вхідних списків несправностей на зовнішні виходи для X -функцій від кінцевого числа змінних, які характеризуються поодинокими векторами похідних за всіма змінними, що дає можливість побудувати секвенсор моделювання дефектів, інваріантний до вхідних тестових наборів. Запропоновано метод синтезу дедуктивних кубітних покриттів для моделювання несправностей на основі використання Q -покриттів функціональностей, який відрізняється від відомих аналогів оригінальністю математичних рішень, високим рівнем паралелізму і компактністю структур даних, що дає можливість використовувати його програмну (апаратну) реалізацію для синтезу, аналізу, тестування, верифікації та діагностування цифрових систем на кристалах. Виконано імплементацію кубітних моделей, методів і алгоритмів у вигляді програмного серверного додатка QuaSim, що має на меті вирішення завдань синтезу кубітних моделей, генерування перевіряючих тестів і оцінки якості їх покриття для класу одиночних константних несправностей. Наведено експерименти над програмним продуктом в частині створення діагностичного забезпечення для десяти цифрових схем.

Таким чином, дисертаційне дослідження містить компоненти у вигляді моделей, методів і алгоритмів: 1) нова структурна модель метричних властивостей X -функцій; 2) нова аналітична модель синтезу кубітних покриттів X -функцій від кінцевого числа змінних; 3) новий паралельний метод синтезу тестів для несправностей X -функцій від кінцевого числа змінних; 4) новий паралельний метод синтезу дедуктивних кубітних покриттів для моделювання X -функцій; 5) удосконалені memory-driven архітектури та алгоритми для реалізації методів тестування та верифікації цифрових систем на кристалах; 6) удосконалені квантові методи генерації тестів і дедуктивного моделювання несправностей логічних функцій.

Практична значущість отриманих результатів полягає в моделях, структур даних, методів синтезу та аналізу логічних схем, у тому числі Х-функцій, які дають можливість суттєво зменшити час синтезу тестів і моделювання несправностей, завдяки кубітному опису цифрових схем, що дає можливість паралельно виконувати обчислювальні процедури, характерні квантовому комп'ютингу. Окремі сервіси синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів реалізовані у вигляді програмних додатків і пройшли апробацію у навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 23.10.2018), методологічному та технологічному забезпеченні компанії «DIT Delight Limited» (довідка про впровадження від 25.10.2018).

На основі викладеного вище можна зробити такі висновки.

1. Наукову новизну роботи визначають:

- вперше запропоновано структурну модель метричних властивостей Х-функцій, що орієнтована на виконання паралельних операцій на кубітних структурах даних з метою отримання лінійного часу генерації тестів і моделювання цифрових систем;

- вперше запропоновано аналітичну модель синтезу кубітних покриттів Х-функцій від кінцевого числа змінних, яка характеризується можливістю створення логічних схем, що не потребують експоненційних витрат на генерування і аналіз тестів перевірки несправностей;

- вперше запропоновано паралельний метод синтезу тестів для несправностей Х-функцій від кінцевого числа змінних, який характеризується взяттям булевих похідних за кубітним покриттям, що дає можливість отримувати перевіряючі тести мінімальної довжини;

- вперше запропоновано паралельний метод синтезу дедуктивних кубітних покриттів для моделювання Х-функцій, який характеризується отриманням одиначної матриці похідних, що дає можливість створювати секвенсор моделювання дефектів, інваріантний до вхідних тестових наборів;

- удосконалено memory-driven архітектури та алгоритми для реалізації методів тестування та верифікації цифрових систем на кристалах, які

відрізняються паралельним виконанням логічних операцій над кубітними структурами даних;

— удосконалено квантові методи генерації тестів і дедуктивного моделювання несправностей логічних функцій, які відрізняються від аналогів синтезом матриць булевих похідних за їхнім кубітним покриттям.

2. Практичне значення отриманих результатів.

Практична значимість наукових досліджень підтверджується суттєвим зменшенням часу синтезу тестів і моделювання несправностей, завдяки кубітному опису цифрових схем, що дає можливість паралельно виконувати обчислювальні процедури, характерні квантовому комп'ютингу. Запропонована структура секвенсора моделювання та аналітичні вирази для швидкого синтезу Х-функції будь-якої розмірності від n -змінних, що використовують паралельні операції конкатенації і інверсії. Практична значущість отриманих результатів полягає у розробці моделей, структур даних, методів синтезу та аналізу логічних схем, у тому числі, Х-функцій. Окремі сервіси синтезу та аналізу кубітних моделей цифрових пристроїв і компонентів реалізовані у вигляді програмних додатків і пройшли апробацію у навчальному процесі під час викладання спеціалізованих курсів.

3. Отримані наукові висновки та положення дисертації є обґрунтованими і достовірними. Достовірність наукових висновків підтверджується проведеними експериментами, тестуванням і верифікацією моделей логічних схем і синтезованих тестів. Результати дисертації у складі моделей, методів і фрагментів додатків впроваджені у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 23.10.2018); в методологічне та технологічне забезпечення компанії «DIT Delight Limited» (довідка про впровадження від 25.10.2018).

4. Автором опубліковано 22 друкованих праці: 4 розділи у монографії (з них 4 входять до наукометричної бази Scopus), 9 статей (з них 6 – у наукових журналах, включених до «Переліку наукових фахових видань України»; 2 статті в міжнародних наукових журналах за кордоном; 9 статей входять до

міжнародних наукометричних баз), а також 9 міжнародних наукових конференціях (з них 6 за кордоном, 3 входять до наукометричної бази Scopus). Здобувач має 7 публікацій у наукометричній базі Scopus та індекс Хірша $h=2$.

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

Зауваження по дисертаційній роботі Любарського Михайла Михайловича:

1) В тексті дисертації не розкрито, як можна обійтися без логіки і логічних схем, які є основою при синтезі процесорів для обробки, в тому числі, великих даних?

2) Автор пропонує методи синтезу та аналізу цифрових компонентів на основі використання кубітних покриттів. На цю тему існують численні публікації в частині моделювання та генерації тестів. Не достатньо розкрито, чим відрізняються нові методи від опублікованих раніше.

3) У роботі відсутні відомості по обчислювальну складність синтезу кубітних покриттів комбінаційних схем при заданих таблицях істинності логічних елементів.

4) Незрозуміло також, як виконується моделювання комбінаційних або послідовних схем шляхом використання тільки транзакційних операцій зчитування-запису даних в пам'яті комп'ютера.

5) Не розкрито, чи існує зворотний перехід від кубітних покриттів логічних елементів або комбінаційних схем до їхніх таблиць істинності або до аналітичних форм.

6) Не зовсім зрозуміло, для чого використовується матриця чисел для перестановки бітів в процесі синтезу структур даних X-функцій. Чи можна обійтися без неї?

7) Неясно, що нового дають розроблені інтерпретативні моделі і методи для аналізу X-функцій у порівнянні з опублікованими у роботах технологіями генерації тестів на основі кубітних покриттів?

8) Не сказано, де можна використовувати Х-функції на практиці, які неможливо мінімізувати? Чи існують процесори, які строго використовують тільки Х-функції?

Незважаючи на зазначені зауваження, дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому поставлено за мету зменшення часу верифікації цифрових систем на кристалах шляхом використання метогу-driven архітектур і кубітних структур даних для компактного опису логічних Х-функцій та істотного підвищення продуктивності методів тестування і дедуктивного моделювання несправностей за рахунок паралельного комп'ютингу алгоритмів.

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 «Квантові моделі та методи аналізу логічних Х-функцій», задовольняє вимогам пп. 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 № 656, а Любарський Михайло Михайлович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата 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, професор

Мірошник М.А.

Підпис проф. Мірошник М.А. засвідчую:



Особистий підпис
Засвідчую _____ 20 __ р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Мірошник М.А.