

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Борецького Тараса Романовича

"Розробка та реалізація методів обчислення елементарних функцій на основі програмних та апаратних засобів", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації

На сьогоднішній день при розв'язку значної частини задач обробки даних широко використовуються методи реалізації елементарних функцій, які дозволяють здійснювати обчислення тригонометричних, гіперболічних, показникових та логарифмічних функцій, операцій піднесення до степеня, операцій обчислення кореня квадратного, операцій повороту вектору, перетворення координат з декартової системи в полярну та інші. Розроблені методи та алгоритми обчислення таких функцій широко застосовуються як в універсальних комп'ютерних системах так і в спеціалізованих комп'ютерних системах для обчислення операцій різних алгоритмів обробки сигналів і зображень, лінійної алгебри, перетворення Фур'є, розкладу матриць по сингулярним значенням, цифрової фільтрації та інших.

Велику увагу приділено проектуванню спеціалізованих цифрових пристроїв на сучасній елементній базі (ПЛІС, НВІС, мікропроцесори) із застосуванням нових та вдосконалених методів обчислення елементарних функцій, зокрема різних модифікацій алгоритму CORDIC, що в свою чергу дозволяє досягти оптимального співвідношення показників ефективності та ресурсозатратності при вирішенні тих чи інших задач.

Основним механізмом реалізації та дослідження вдосконалених методів обчислення елементарних функцій є їх виконання як на програмному так і на апаратному рівнях.

Тому перспективним напрямком вирішення даної наукової задачі та її подальшого розвитку є створення нових методів і способів їх реалізації на структурному і програмному рівнях, що дозволить підвищити продуктивність та ефективність функціонування програмних і апаратних комплексів і підвищить якість обчислювального процесу.

Таким чином, задача створення нових та вдосконалення відомих способів обчислення елементарних функцій, в основу яких покладена їх ефективна програмна та апаратна реалізація на сучасній елементній базі, що дозволяє підвищити швидкодію та якість обчислювального процесу є **актуальною**.

Робота виконувалась у відповідності з тематичними планами проведення НДР у національному університеті "Львівська політехніка", які повністю узгоджені Міністерством освіти і науки України і відповідають базовим вимогам щодо напрямку розвитку науки і техніки в Україні.

Зв'язок роботи із науковими програмами, темами

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри безпеки інформаційних технологій Національного університету “Львівська політехніка” на теми: “Розробка та вдосконалення ітераційних методів обчислення елементарних функцій для систем захисту інформації” (номер державної реєстрації 0110U004687) та “Використання ітераційного методу CORDIC у системах розпізнавання відбитків пальців” (номер державної реєстрації 0114U001234).

Ступінь обґрунтованості наукових положень і рекомендацій, які сформульовані у дисертації та їх достовірність

Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується поданим теоретичним та експериментальним матеріалом, його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях і семінарах.

У роботі коректно застосовано основні положення теорії ймовірності, математичної статистики, лінійної алгебри та методи наближення функцій, цифрового опрацювання сигналів, чисельні методи, методи імітаційного моделювання і методи обробки даних.

Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена результатами розробки і моделювання методу CORDIC, апробацій результатів та впроваджень.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи Борецького Т.Р. полягає у вирішенні важливої і актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності програмних та апаратних засобів та компонентів комп'ютерних систем, що реалізують обчислення елементарних функцій. Основними науковими результатами є:

1. Вперше запропоновано метод інверсного повороту (вектора), який функціонує паралельно з алгоритмом одностороннього повороту і за рахунок повороту вектора лише в сторону зменшення кута дає змогу вдвічі скоротити кількість ітерацій методу при будь-якому вхідному значенні аргумента.

2. Вперше запропоновано спосіб паралельної поліноміальної інтерполяції, який за рахунок оптимізації вибору коефіцієнтів та паралельного використання помножувачів дає змогу скоротити кількість ітерацій та час обчислення широкого спектру функцій.

3. Удосконалено метод перекодування кута, який дає змогу скоротити кількість необхідних для обчислень ресурсів шляхом зміни вхідного значення аргумента з наступним представленням та оперуванням лише додатними величинами, що забезпечує коректну роботу алгоритму для беззнакової логіки та спрощує проектування та апаратні затрати при описі схем мовами високого рівня.

4. Удосконалено метод кусково-нелінійної апроксимації, в якому збільшення розрядності та відповідно точності обчислень відбувається за рахунок використання квадрата торів, де розрахунок вищих порядків залишкового кута відбувається без використання додаткових коефіцієнтів та зміни розрядності аргументів у діапазоні обчислень.

5. Удосконалено метод паралельної поліноміальної інтерполяції із використан-

ням таблиці попередньої вибірки, що дає змогу зменшувати кількість поліномів та множень за рахунок використання ПЗП без обмежень на мінімальний об'єм таблиці, а при невеликих роз рядностях аргументів використовувати лише поліноми першого порядку.

Практичне значення отриманих результатів

Отримані в дисертаційній роботі результати мають як наукове, так і практичне значення. Практичну цінність отриманих наукових результатів підтверджують акти використання практичних і теоретичних результатів дисертаційної роботи. Практична цінність роботи полягає в наступному.

1. На основі проведеного аналізу способів реалізації методів обчислення елементарних функцій визначено, що вони можуть бути вдосконалені та використані для проведення оптимізації обчислень у складі програмно-апаратних засобів цифрової обробки сигналів та зображень.

2. Використання запропонованого методу інверсного повороту (вектора) дало змогу вдвічі скоротити кількість ітерацій методу не залежно від вхідного значення аргумента.

3. Використання способу паралельної поліноміальної інтерполяції, для вдосконалення алгоритму CORDIC, дозволив скоротити кількість ітерацій та час обчислення широкого спектру функцій.

4. Реалізація удосконаленого методу перекодування кута дала змогу скоротити апаратні затрати на його реалізацію та відповідно зменшити час на його проектування.

5. Розроблено генератор псевдовипадкових чисел на мові асемблера із застосуванням мікроконтролера AVR, що дало змогу розподілити виконання певних завдань між процесором та даним генератором, який використовується як зовнішній периферійний пристрій.

6. Окремі положення дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри безпеки інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка" у таких дисциплінах як: "Комп'ютерні методи високорівневого проектування систем захисту", та "Комп'ютерні методи аналізу та проектування електронних засобів".

Повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях, апробація роботи

Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 9 наукових працях, зокрема: 6 статей у фахових наукових виданнях (5 статей у фахових видання України та 1 стаття у науковому періодичному іноземному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus). Результати досліджень апробовано на 3 міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях та семінарах, що зафіксовано в опублікованих доповідях.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Аналіз внеску автора в публікаціях по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Борецького Т.Р. є *вирішальним*.

Відповідність автореферату змісту дисертації

Основні положення автореферату: предмет, об'єкт та методи дослідження; мета і завдання дослідження; наукова новизна отриманих результатів; практичне значення отриманих результатів; зміст розділів; основні результати і висновки роботи; список праць за темою дисертації; характеристика особистого внеску здобувача наукового ступеня повністю відповідають аналогічним позиціям дисертаційної роботи.

Оцінка мови, змісту та оформлення дисертації і автореферату

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного з розділів, загальних висновків по роботі в цілому, списку використаних літературних джерел зі 136 найменувань. Загальний обсяг дисертації – 232 сторінки, з них 216 сторінок – основна частина, 36 рисунків та 42 таблиці.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, наведено інформацію відносно зв'язку роботи з науковими програмами, планами і темами, особистого внеску здобувача, апробації отриманих результатів і публікацій.

У першому розділі дисертації розглянуто класичні способи обчислення поширених функцій – експоненціальних, логарифмічних, тригонометричних, гіперболічних та показникових. Проаналізовані прийоми які використовуються для наближення функцій, таких як розклад в степеневий ряд, поліноміальна апроксимація, дробово-раціональна апроксимація, наближення ланцюговим дробом, ітераційні методи. Здійснено огляд середовищ розробки, які застосовувались у дослідженні, а також опис програмних та апаратних засобів, використовуючи які буде здійснюватись подальша реалізація пропонованих методів.

У другому розділі представлені пропоновані методи та способи їх одержання у вигляді схем та графіків. Показано переваги та слабкі місця методів, що виникають чи можуть виникнути в тій чи іншій конфігурації кінцевого обладнання чи готового продукту. Наведено блок-схеми алгоритмів, гісторграми розподілу результатів. Запропоновані нові підходи та шляхи обчислення функцій, здійснено співставлення точності обчислень в залежності від складності реалізації вибраного методу. Значну увагу приділено методу CORDIC, за допомогою якого можна обчислювати такі функції як синус, косинус, тангенс, експоненту, квадратний корінь, гіперболічні та обернені тригонометричні функції. Враховуючи, що найбільший інтерес з представлених функцій становить обчислення синуса та косинуса під час практичної реалізації методів в залежності від контексту поставленої задачі для демонстрації роботи використовуються саме ці функції.

У третьому розділі проведена апаратна реалізація розглянутих методів на платформах ПЛІС. Аналізується доступна на сьогодні апаратна база для їх імплементації від виробників Intel (Altera) та Xilinx. Наведені схеми пропонованих алгоритмів на рівні регістрових передач та вентиляльному рівні на етапі їх імплементації в кристал. Розглянуто способи оптимізації алгоритмів в умовах використання конкретної платформи та в залежності від версії та налаштувань середовища розробки. Наведені результати імплементації методів безпосередньо в ПЛІС з оцінкою їх вихідних характеристик (максимальна тактова частота, ресурсоемність та енергозатрати).

У четвертому розділі описано програмну реалізацію алгоритмів як для платформ з обмеженими ресурсами, так і для універсальних процесорних архітектур зі складною системою команд. Програма реалізація класичних та пропонованих алгоритмів здійснюється мовою асемблера (Intel, AT&T) для платформ x86 та мікроконтролерів Atmel AVR. Значна увага приділяється визначенню ефективності функціонування алгоритмів, а також точності обчислень. Отримані експериментальні результати співставлені з класичними способами реалізації приведених функцій. Здійснена інтеграція розроблених алгоритмів у вигляді окремого пристрою, яким виступає мікроконтролер з власним протоколом передачі даних.

У висновках сформульовані основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

В додатках наведено акти, які підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

До недоліків та зауважень дисертаційної роботи можна віднести:

1. У вступі дисертаційної роботи доцільно було б навести інформацію про вчених, які зробили значний внесок при вирішенні подібних задач.

2. У розділі 1 практично відсутні посилання на літературні джерела на основі яких проводився огляд та аналіз способів обчислення значень елементарних функцій та не розкрито їхніх переваг і недоліків відносно поставленої мети і завдань дисертаційного дослідження.

3. У розділі 2 не наведена класифікація відомих на сьогоднішній день модифікацій алгоритму CORDIC та недостатньо обґрунтовано використання класичного алгоритму CORDIC у програмовних інтегральних схемах провідних фірм виробників.

4. У п. 2.3. розділу 2 незрозуміло яким чином вказані в таблиці 2.3 діапазони розрядів можна додатково зменшити за рахунок помножувачів та які способи використані для зменшення об'ємів LUT?

5. У розділі 3 при реалізації описаних методів варто було б навести їх апаратні структури та аналітичні формули розрахунку системних характеристик. При практичній реалізації описаних методів на різних апаратних платформах наведено багато таблиць з різними параметрами, але конкретного порівняння з точки зору ефективності з відомими методами не наведено.

6. У розділі 4 при програмній реалізації розроблених методів на базі x86 комп'ютерів та мікроконтролерів не приділена увага їх реалізації на сучасних мовах високого рівня та більш нових версіях мікроконтролерів, що не дає можливості зробити більш повний аналіз по дослідженню їх швидкодії та точності представлення.

7. У висновках до розділу 4 написано, що розроблено цифровий синусоїдальний генератор, про те у самому розділі розробку синусоїдального генератора не описано.

8. Матеріали дисертаційної роботи і автореферату містять деякі помилки комп'ютерного набору, граматичні описки та стилістичні помилки, наприклад на ст. 60, 61 замість слова "копроцесор" потрібно писати слово сопроцесор, розшифровка першого слова абрєвіатури "ПЛІС" в переліку скорочень повинна писатися - програмовні а не "програмовані").

Незважаючи на вказані недоліки та зауваження, загалом оцінка дисертації позитивна.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

1. Дисертаційна робота Борецького Тараса Романовича “Розробка та реалізація методів обчислення елементарних функцій на основі програмних та апаратних засобів” є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практичні результати, що вирішують важливу науково-прикладну задачу створення нових ефективних способів обчислення елементарних функцій та їх подальшому впровадженні у складі високо-технологічних програмно-апаратних засобів.

2. Основні результати дисертаційної роботи достатньо опубліковані, пройшли належну апробацію на наукових конференціях та семінарах. Автореферат відповідає змісту дисертації та повністю його відображає.

3. Вважаю, що дисертаційну роботу виконано на достатньому науковому рівні, актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладу в опублікованих працях відповідають вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а її автор – Борецький Тарас Романович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

**Офіційний опонент,
доцент кафедри комп’ютерної
інженерії та електроніки
ДВНЗ “Прикарпатський національний
університет ім. В. Стефаника”,
к.т.н.**



В.М. Грига

Грига В.М.
15 03 19