

**ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

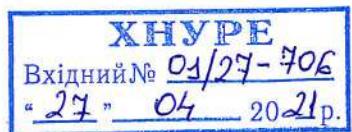
на дисертаційну роботу Ларченко Богдана Дмитровича на тему
«Моделі та методи проектування апаратних біт-потокових online-обчислювачів
елементарних математичних функцій», подану на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність роботи.

В теперішній час мають суттєвий розвиток системи реального часу, такі як сенсорні, робототехнічні, біонічні системи, а також системи управління і контролю, де актуальні збір та перетворення інформації від великої кількості різномірних джерел. При цьому необхідно здійснення неперервного прийому та обробки потоку інформаційних даних у міру їх надходження і неперервне формування результату в процесі обробки.

Апаратні біт-потокові online-обчислювачі елементарних математичних функцій знаходять широке застосування в системах управління реального часу при функціональному перетворенні бітових (імпульсних) потоків даних, отриманих з сенсорів з частотним та час-імпульсним виходом і дозволяють здійснити істотне спрощення їх технічної реалізації за рахунок інформаційних даних, представлених бітовими потоками, що ефективно застосовуються як в сенсорних інтерфейсах, так і при формуванні керуючих сигналів.

Сьогодні є актуальними питання розробки моделей та методів проектування апаратних біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій для створення певного універсального підходу до їх проектування, який дозволяє розширити функціональні можливості online-обчислювачів елементарних функцій визначеного класу, зменшити апаратні витрати, підвищити точність запропонованих пристройів та підвищити ефективність їх автоматизованого проектування.



У дисертаційній роботі досліджуються питання, пов'язані з підвищеннем точності обчислень та швидкодії отриманих результатів в апаратних біт-потокових online-обчислювачах елементарних математичних функцій визначеного класу за рахунок розробки математичних моделей обчислювачів. Розширення функціональних можливостей біт-потокових обчислювачів досягається за рахунок побудови реконфігуркованих конвеєрних архітектур, що синтезовані на основі базових архітектурних компонентів і дозволяють розробити єдиний підхід до їх автоматизованого синтезу з використанням мов опису апаратури. Підвищення наглядності та інваріантності реалізації формальними мовами програмування та опису апаратури досягається за рахунок чіткості та коректності алгоритмів реалізації функцій запропонованими графовими моделями при розробці апаратних моделей біт-потокових обчислювачів на основі кінцевих автоматів. Проектування запропонованих обчислювачів здійснюється з використанням інструментальних засобів систем автоматизованого проектування на основі мов опису апаратури для подальшого синтезу та імплементації в ПЛІС.

Метою дослідження є розробка математичних, архітектурних моделей апаратних біт-потокових обчислювачів елементарних математичних функцій для підвищення точності обчислень і швидкодії пристройв за рахунок застосування методу формування приростів висхідних ступінчастих функцій і швидкодіючих конвеєрних структур та створення апаратних моделей online-обчислювачів на основі кінцевих автоматів.

В роботі зазначено, що розробка основних положень дисертації здійснювалась відповідно до планів НДР та договорів, що виконуються на кафедрі автоматизації проектування обчислювальної техніки (АПОТ) Харківського національного університету радіоелектроніки – 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 від 04.03.2015; фундаментальна НДР № 316 "Cyber Physical System – Smart Cyber University"

(2017-2019), № ДР 0117U0002524; 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 рр. Здобувач брав участь у проведенні зазначених робіт як виконавець і розробив моделі, методи проектування біт-потокових online-обчислювачів.

Характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, 19 підрозділів, висновків, списку використаних джерел зі 106 назв, 4 додатків.

У **вступній частині** описано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано науково-практичну задачу, що розв'язується, мету, об'єкт та задачі дослідження; визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; наведено відомості про їх реалізацію та апробацію, характеристику публікацій.

У **першому розділі** дисертації викладено аналіз особливостей функціонального перетворення інформаційних сигналів, представленими бітовими потоками даних, в цифрових перетворювачах і online-обчислювачах, що є компонентами розподілених систем реального часу. Показано роль і місце апаратних біт-потокових функціональних online-обчислювачів в системах управління реального часу.

Зазначено, що потокові способи передачі та обробки інформації характеризуються можливістю реалізації перетворення за рахунок використання методів формування приростів і послідовної обробки потоків у міру їх надходження. Здійснено огляд методів відтворення елементарних функцій в пристроях функціонального перетворення.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету й завдання дослідження, які орієнтовано на розробку теоретичних основ і практичних

засобів проектування апаратних біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій.

У другому розділі розроблено математичні моделі біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій. Запропоновані алгоритми формування апроксимуючих елементарних математичних функцій здійснюють формування вузлів апроксимації в реальному часі при надходженні бітового потоку даних на вхід online-обчислювачів.

Дано теоретичне узагальнення математичного апарату ступінчастої апроксимації неперервних елементарних функцій визначеного класу, що покладений в основу побудови біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій. На підставі методу розроблено удосконалені математичні моделі біт-потокових обчислювачів лінійних, степеневих, дробово-раціональних та ірраціональних функцій з мінімізацією похибки обчислень.

Розроблені математичні моделі біт-потокових обчислювачів ірраціональних функцій представляють собою декомпозицію отриманих математичних моделей online-обчислювачів елементарних функцій в залежності від виду ірраціональної функції. Дано оцінку похибки відтворення неперервних висхідних елементарних функцій. Розглянуто алгоритм конвеєрних обчислень поліномів, що покладений в основу побудови базових конвеєрних архітектур біт-потокових обчислювачів.

Третій розділ присвячено розробці архітектурних моделей біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій на підставі удосконалених математичних моделей online-обчислювачів. Запропоновано узагальнені та деталізовані конвеєрні архітектурні моделі online-обчислювачів елементарних математичних функцій, що розглядаються. Базовою архітектурою пристройів є конвеєрна архітектура біт-потокового обчислювача поліноміальних функцій, побудова якої базується на алгоритмі конвеєрних обчислень поліномів.

Здійснений синтез реконфігуртованих архітектур біт-потокових обчислювачів іrrаціональних функцій. Основним обчислювальним ядром лінійних, степеневих, дробово-раціональних та іrrаціональних функцій є компонент порівняння приростів двох одночасно відтворюваних висхідних ступінчастих функцій, реалізований на паралельному нагромаджуючому суматорі зі зворотним зв'язком. Розроблені архітектурні моделі online-обчислювачів дозволили зменшити апаратурні витрати та розширити функціональні можливості запропонованих пристроїв.

У четвертому розділі запропонований підхід до проектування апаратних моделей біт-потокових online-обчислювачів на основі кінцевих автоматів. Розроблено нові автоматні моделі online-обчислювачів, графові моделі яких дозволили забезпечити чіткість та несуперечливість алгоритмів реалізації функцій. Розроблено HDL-моделі у формі автоматних шаблонів, в яких описані алгоритми реалізації конкретних видів елементарних функцій. Розроблені VHDL-описи моделюються та синтезуються інструментальними засобами САПР цифрових пристроїв XILINX на технологічній платформі ПЛІС. Проведено апробацію шляхом апаратної реалізації й оцінку розроблених моделей та методів проектування на прикладі біт-потокового online-обчислювача степеневих функцій. Автоматні моделі пристрою побудовані на мові опису апаратури VHDL на основі автоматного програмування. Здійснена верифікація, синтез та імплементація розробленого пристрою в платформу ПЛІС Xilinx. Виконана оцінка апаратурних витрат у порівнянні з аналогічним пристроєм. В результаті отримано мінімізацію апаратних витрат при побудові степеневого обчислювача за рахунок удосконаленої математичної моделі, що підтверджено оцінками синтезованих моделей по Квайну.

При автоматизованому синтезу використані інструментальні засоби САПР XILINX ISE на технологічній платформі ПЛІС Spartan 3E.

На основі викладеного вище можна зробити такі висновки.

1. Наукову новизну роботи визначають:

- вперше запропоновано апаратні моделі біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій на основі кінцевих автоматів, що характеризуються графовими моделями, які дозволили забезпечити чіткість і несуперечливість алгоритмів реалізації функцій для підвищення наочності та інваріантності реалізації формальними мовами програмування та опису апаратури;
- удосконалено математичні моделі біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій, які на відміну від існуючих, здійснюють формування приrostів висхідних ступінчастих функцій з мінімізацією похибки обчислень, що дозволило підвищити точність та швидкодію отримання результатів;
- удосконалено математичні моделі біт-потокових online-обчислювачів іrrаціональних функцій, які на відміну від існуючих представлені декомпозицією математичних моделей обчислювачів елементарних математичних функцій, що дозволило розширити функціональні можливості обчислювачів відтворюваних функцій при цифровій обробці бітових потоків даних;
- отримали подальший розвиток методи побудови архітектурних моделей апаратних біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій шляхом використання швидкодіючих конвеєрних структур, що дозволило підвищити швидкодію запропонованих пристройів і застосувати єдиний підхід до їх автоматизованого синтезу з використанням мов опису апаратури.

2. Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає у розробці апаратних моделей біт-потокових функціональних обчислювачів, які сформовані на основі кінцевого автомatu моделі Мура, що дали можливість створити однотипні графові моделі i HDL-моделі у формі автоматного шаблону для реалізації алгоритмів відтворюваних функцій запропонованих біт-

потокових обчислювачів інструментальними засобами САПР ПЛІС. Розроблено апаратну реалізацію біт-потокового обчислювача степеневих функцій, що виконаний шляхом удосконалення математичної моделі, побудови архітектурної моделі мовою опису апаратури VHDL на основі автоматного шаблону та імплементації в ПЛІС Xilinx.

3. Отримані наукові висновки та положення дисертації є обґрунтованими і достовірними. Достовірність наукових висновків підтверджується проведеними експериментами, верифікацією, синтезом, імплементацією і моделюванням біт-потокових online-обчислювачів.

Результати дисертації у складі математичних та апаратних моделей біт-потокових обчислювачів елементарних математичних функцій впроваджено у освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки та пройшли апробацію при вивчені курсів «Логічне моделювання», «Проектування спеціалізованих архітектур комп’ютерних систем» (акт про впровадження від 11.02.2021).

Практична значущість наукових досліджень підтверджується впровадженням на підприємстві НПО «Желдоравтоматика» (довідка про впровадження від 02.02.2021) апаратної реалізації біт-потокового степеневого online-обчислювача в проекти, пов’язані з розробкою систем, орієнтованих на наскрізні технології інтелектуальних сенсорів, систем управління, контролю та вимірювань при узгодженні сенсорів з цифровими системами збору і обробки інформації.

4. Автором опубліковано 12 друкованих праць: 4 статті у наукових журналах із Переліку наукових фахових видань України, 1 стаття в міжнародних наукових журналах за кордоном; 7 матеріалів міжнародних наукових конференцій (з них 2 за кордоном і 1 входить до наукометричної бази Scopus). Здобувачеві належить 1 публікація, що входить до наукометричної бази Scopus.

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

Зауваження по дисертаційній роботі Ларченко Богдана Дмитровича:

1. В тексті дисертаційної роботи не конкретизований клас вимірювальних пристройів, де використовується біт-потокове представлення інформації.
2. У 2-му розділі в системі нерівностей (2.59), що описує математичну модель online-обчислювача дробово-раціональних функцій, не дано пояснення позначення різниці Δ_{y-1} , отриманої в результаті порівняння лівої та правої частин нерівностей.
3. У 2-му розділі відсутня проміжна формула для визначення вибіркових значень x_y вхідного бітового потоку, на основі якої отримано формулу (2.92).
4. У 2-му розділі незрозуміло перехід від іrrаціональної функції виду (2.97) до нерівності (2.98), що реалізується на першому етапі обчислень блоком online-обчислювача дробово-раціональних функцій.
5. У 3-му розділі доцільно було б навести в якості прикладів архітектурні моделі online-обчислювачів іrrаціональних функцій (2.96) і (2.108), в яких аргумент функції представлений пачками бітових послідовностей, що представляє інтерес с точки зору використання даних архітектур в якості обчислювальних вузлів при вимірюванні середньоквадратичних (діючих) значень.
6. В дисертаційній роботі не обґрунтований вибір типу керуючого автомата для опису online-обчислювачів елементарних математичних функцій.
7. У 4-му розділі дисертаційної роботи та у додатках не наведено протоколів автоматизованого синтезу, які б підтверджували дані оцінок по Квайну у таблиці 4.1.
8. З дисертаційної роботи незрозуміло (підрозділ 4.3.4), чи були спроби автоматизувати процес аналізу результатів.
9. У 4-му розділі не досліджено частотні характеристики всіх запропонованих online-обчислювачів елементарних математичних функцій.

Незважаючи на зазначені зауваження, дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому поставлено за мету розробка математичних, архітектурних моделей апаратних біт-потокових обчислювачів елементарних математичних функцій для підвищення точності обчислень і швидкодії пристройів за рахунок застосування методу формування приростів висхідних ступінчастих функцій і швидкодіючих конвеєрних структур та створення апаратних моделей online-обчислювачів на основі кінцевих автоматів.

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, наукова новизна досліджень, значення отриманих результатів для науки і практики свідчать про те, що дисертаційна робота «Моделі та методи проектування апаратних біт-потокових online-обчислювачів елементарних математичних функцій», задовольняє вимогам пп. 9, 11-14 “Порядку присудження наукових ступенів”, затверженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 № 656, а Ларченко Богдан Дмитрович 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

Підпис проф. Мірошником М.А. за свідчуло: 20 р.



Мірошник М.А.

Мірошник М.А.
20/Оховсько