

**Голові разової спеціалізованої вченої ради
в Національному університеті «Одеська політехніка»,
доктору технічних наук, професору,
директорці інституту комп'ютерних систем
Національного університету
«Одеська політехніка»
Світлані АНТОЩУК**

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента кафедри
інформаційних систем інституту комп'ютерних систем
Національного університету «Одеська політехніка»,
Годовиченка Миколи Анатолійовича,
на дисертаційну роботу здобувача Ситнікова Тихона Валерійовича
«Моделі та методи підвищення ефективності частотно-залежних програмно-
алгоритмічних компонент обробки даних високого порядку»,
подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету
«Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України
на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
122 – Комп'ютерні науки галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Загальна характеристика та актуальність теми

Дисертаційна робота Ситнікова Т. В. спрямована на розв'язання актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент обробки даних у мобільних робототехнічних та інших вбудованих системах реального часу. Автор формулює завдання алгоритмічного спрощення реалізації таких компонент і зменшення обчислювальних витрат під час обробки даних. До відповідних систем належать,

зокрема, безпілотні літальні апарати із програмними засобами оцінювання безпечної висоти під час посадки, наземні мобільні платформи з підсистемами визначення відстані до перешкод, інклінометричні обчислювальні комплекси для контролю просторової орієнтації об'єктів у геофізичних дослідженнях, а також обчислювальні системи сучасних автомобілів, у яких алгоритмічний аналіз даних використовується для розпізнавання режимів детонації двигуна внутрішнього згоряння.

Водночас наявні підходи до програмного перерахунку параметрів таких компонент у системах реального часу характеризуються значними обчислювальними та часовими витратами, що знижує ефективність програмної реалізації й оперативність обробки даних у вбудованих обчислювальних системах. У зв'язку з цим виникає суперечність між потребою зменшення алгоритмічної складності реалізації частотно-залежних компонент високого порядку та необхідністю їх оперативного застосування в умовах реального часу із забезпеченням гарантованого часу відгуку.

Основною причиною зазначеної суперечності є використання ресурсоемних процедур програмної реалізації математичних моделей таких компонент, що потребують значної кількості операцій.

У дисертаційній роботі запропоновано підхід до зменшення обсягу обчислень під час перерахунку та переналаштування параметрів, який ґрунтується на послідовному програмному з'єднанні однотипних алгоритмічних компонент низького порядку. Запропонований підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку програмно-алгоритмічних методів обробки даних у мобільних і вбудованих системах. Дисертаційне дослідження є актуальним та відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

2. Структура й зміст дисертації

Дисертація складається зі вступу, трьох взаємопов'язаних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі сформовано аналітичне підґрунтя дослідження. Проведено комплексний аналіз математичних моделей частотно-залежних компонент, що застосовуються для обробки даних в обчислювальних системах, зокрема в автономних мобільних платформах, з метою визначення шляхів підвищення обчислювальної ефективності їх програмної реалізації за обмежених апаратних ресурсів. Розділ присвячено формуванню теоретичних та алгоритмічно-архітектурних передумов створення таких компонент, орієнтованих на програмну реалізацію та інтеграцію в сучасні кіберфізичні системи.

Крім того, обґрунтовано доцільність послідовного з'єднання однотипних компонент низького порядку для обробки даних на борту автономних мобільних платформ, що дає змогу підвищувати еквівалентний порядок системи.

У другому розділі розроблено та теоретично обґрунтовано метод підвищення обчислювальної ефективності математичних моделей цифрових частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент високого порядку на основі послідовного з'єднання однотипних алгоритмічних компонент низького порядку та використання всепропускних програмно-алгоритмічних компонент. Основну увагу зосереджено на аналітичному визначенні частот зрізу, дослідженні закономірностей зміни амплітудно-частотних характеристик і формуванні програмних підходів до керованого налаштування параметрів частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент.

Обґрунтовано доцільність використання частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент першого порядку як базових елементів для створення компонент високого порядку завдяки малій кількості коефіцієнтів передавальної функції, простоті алгоритмічної реалізації та обчислювальній стійкості під час обробки даних у реальному часі. Показано, що при послідовному з'єднанні однотипних алгоритмічних компонент їх передавальні функції еквівалентні піднесенню до степеня, що дає змогу суттєво збільшувати крутизну АЧХ без

безпосереднього створення одного компонента високого порядку i , відповідно, без надмірного зростання обсягу обчислень. Також проведено класифікацію програмно-алгоритмічних компонент.

Третій розділ присвячено практичній програмній реалізації запропонованого підходу, оцінюванню обсягу обчислень та апаратно-програмній апробації алгоритмів.

У розділі встановлено, що запропоновані реалізації послідовного з'єднання однотипних частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент підвищеного порядку забезпечують зменшення обсягу обчислень порівняно з традиційними підходами до створення компонент високого порядку. Отримані результати підтверджують придатність розробленого програмного підходу для застосування у вбудованих обчислювальних системах, автономних мобільних платформах і системах реального часу.

Висновки системно узагальнюють одержані результати та засвідчують виконання поставлених завдань.

3. Науковий рівень, новизна та теоретичне значення

Здобувач обґрунтовано виокремлює низку результатів, що мають наукову новизну. Серед них:

- удосконалено модель послідовного з'єднання однотипних частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент низького порядку, що дало змогу сформувати частотно-залежні програмно-алгоритмічні компоненти високого порядку з мінімальним обсягом обчислень і більш лінійною фазочастотною характеристикою;

- уперше запропоновано метод розрахунку частот зрізу при послідовному з'єднанні однотипних компонент низького порядку, що дає змогу отримати амплітудно-частотну характеристику, аналогічну характеристиці відповідного компонента високого порядку, за мінімального обсягу обчислень;

– удосконалено метод створення частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент з урахуванням особливостей всепропускових компонент, що дало змогу одержати нові амплітудно-частотні характеристики з поліпшеними параметрами.

4. Практичне значення роботи

Практичне значення роботи підтверджується кількома взаємопов'язаними результатами:

– запропоновані моделі та алгоритмічні методи доведено до практичного застосування в задачах обробки даних в обчислювальних системах реального часу. Вони можуть використовуватися під час проєктування архітектур складних програмних комплексів, модернізації наявних і розроблення нових частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент із керованими частотними характеристиками;

– запропоновані алгоритмічні методи забезпечують зменшення обсягу обчислень завдяки скороченню кількості коефіцієнтів порівняно з реалізацією алгоритмів компонент прямого розрахунку: для математичної моделі фільтра нижніх частот 5-го порядку – у 4 рази, для смугового фільтра 5-го порядку – у 4,3 рази;

– досліджено зміну динамічного діапазону значень коефіцієнтів машинного представлення чисел зі збільшенням порядку алгоритму фільтра прямого розрахунку. Для математичних моделей фільтрів нижніх частот 1-го та 2-го порядків цей діапазон становить 2,7 і 2,1 відповідно, тоді як для фільтра 5-го порядку – 45; для смугового фільтра 1-го порядку – 10, а для 5-го порядку – 1030. Це підтверджує, що розроблений підхід сприяє обчислювальній стійкості та створює передумови для використання типів даних із фіксованою точкою без надмірного накопичення похибки, що є важливим для вбудованих систем;

– результати використано під час розроблення підсистеми контролю детонації двигуна внутрішнього згорання, а також впроваджено в

обчислювальних системах автономних мобільних платформ та в архітектурі інклінометричної системи контролю параметрів вертикального буріння свердловин;

– результати дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка» в межах відповідних навчальних дисциплін, що підтверджує їх актуальність для підготовки фахівців у галузі комп'ютерних систем.

Практичне значення отриманих алгоритмічних та системно-технічних результатів підтверджено відповідними актами й довідками про впровадження.

5. Повнота публікацій та апробація результатів

Основні результати дисертаційної роботи відображено в 29 публікаціях, серед яких статті у фахових виданнях України та закордонних наукових періодичних виданнях, монографія, а також матеріали міжнародних і всеукраїнських конференцій. П'ять публікацій індексуються в наукометричній базі Scopus.

Тематична послідовність публікацій дає змогу простежити логіку формування наукового результату – від аналізу стану проблеми та постановки завдань до розроблення конкретних моделей і методів та їх практичної апробації. Обсяг і якісний рівень публікацій є достатніми для висвітлення основних результатів дисертаційного дослідження.

6. Зауваження та побажання

Наведені нижче зауваження мають переважно дискусійний характер та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи:

1. В дисертації використано значну кількість умовних позначень і скорочень, причому для окремих близьких за змістом понять застосовуються різні позначення. Це певною мірою ускладнює сприйняття матеріалу.

2. Вступ дисертації містить досить розгорнутий опис сфер застосування робототехнічних і кіберфізичних систем реального часу. На мою думку, більш стислий виклад цієї частини дозволив би чіткіше зосередити увагу на обчислювальній проблемі, яка безпосередньо вирішується в дисертації.

3. В першому розділі окрему увагу приділено аналізу послідовного з'єднання аналогових частотно-залежних компонент, тоді як основний предмет дослідження стосується цифрових програмно-алгоритмічних компонент. У зв'язку з цим виникає питання щодо ролі аналізу аналогових компонент у подальшому формуванні запропонованих цифрових моделей і методів.

4. В другому розділі під час визначення нового рівня зрізу використовується операція добування кореня n -го ступеня. З огляду на орієнтацію роботи на обчислювальні пристрої з обмеженими ресурсами, потребує додаткового пояснення, чи виконується ця операція безпосередньо в реальному часі, чи відповідні значення обчислюються попередньо та зберігаються у таблиці.

5. В роботі всепропускні компоненти розглядаються, зокрема, як засіб корекції фазових характеристик. У зв'язку з цим виникає питання – чи передбачається така корекція як окремий етап обробки у складі робототехнічної системи та за яких умов її застосування є необхідним?

6. В третьому розділі оцінювання часу виконання коду та енергоспоживання проведено на мікроконтролері ATmega128. Водночас порівняння отриманих результатів з результатами для іншого сучасного мікроконтролера, що широко використовується в робототехнічних системах, дозволило б повніше оцінити узагальненість одержаних результатів.

7. В тексті дисертації трапляються окремі редакційні та технічні неточності, зокрема неузгодженості у посиланнях на рисунки, формули та окремі елементи опису.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та не знижують наукової і практичної значущості отриманих результатів.

8. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Ситнікова Тихона Валерійовича на тему «Моделі та методи підвищення ефективності частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент обробки даних високого порядку» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано важливе науково-прикладне завдання підвищення ефективності обробки даних у вбудованих і мобільних системах реального часу. Запропоновані моделі та методи поєднують структурний і математичний аналіз, моделювання, оцінювання обчислювальних витрат та практичну апробацію результатів.

Враховуючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота Ситнікова Тихона Валерійовича на тему «Моделі та методи підвищення ефективності частотно-залежних програмно-алгоритмічних компонент обробки даних високого порядку» відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у ЗВО (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами), та вимогам пунктів 5–9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами).

Автор дисертаційної роботи – Ситніков Тихон Валерійович – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, галузь знань 12 – Інформаційні технології.

Доцент кафедри інформаційних систем
інституту комп'ютерних систем
Національного університету
«Одеська політехніка»,
кандидат технічних наук

Микола ГОДОВИЧЕНКО