

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Ізмайлова Артема Вікторовича**

**«Методи та засоби трійкових симетричних перетворень  
для цифрової обробки інформації»,**

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Сучасний стан розвитку науки і техніки обумовлює застосування комп'ютеризованих технічних систем у різних галузях виробництва, управління, сфери послуг і зв'язку. Враховуючи, що компонентами таких систем часто є мобільні та близькі до них за характеристиками пристрої, то актуальним завданням їх проектування та впровадження є зменшення обсягів пам'яті, необхідних для зберігання даних. Один із підходів до вирішення цього завдання полягає у застосуванні методів і засобів цифрової обробки інформації на основі ортогональних і вейвлет-перетворень. При такому підході зберігаються не самі дані, а коефіцієнти їх перетворення. Значення частини коефіцієнтів близькі до нуля, тому такі коефіцієнти вилучаються, а при відновленні даних – замінюються нулями. Недоліком застосування існуючих ортогональних і вейвлет-перетворень є залежність коефіцієнту зменшення обсягів пам'яті від подібності послідовностей даних функціям, які лежать в основі перетворення. У той же час відомо, що кодування інформації на основі трійкової симетричної системи числення в комп'ютерних системах зменшує обсяг пам'яті, необхідної для зберігання даних. **Тому, безумовно, актуальною є тема дисертаційної роботи, яка присвячена розробці методів і засобів трійкових симетричних ортогональних і вейвлет-перетворень, а також створенню на їх основі апаратно-програмного забезпечення процесів обробки та зберігання даних у комп'ютерних системах.**

**Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.** Актуальність роботи підтверджена її зв'язками з державними програмами, держбюджетними та науково-дослідними роботами. Дисертацію виконано

відповідно до Постанови Верховної Ради України «Реформи галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвиток інформаційного простору України», постанови Президії НАН України від 20.12.2013 № 179 «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2014-2018 роки» підпункт 1.2.9.7. Розробка перспективних засобів обчислювальної техніки та постанови Президії НАН України від 30.01.2019 № 30 «Про Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019-2023 роки» підпункт 1.2.9.7. Розроблення перспективних засобів обчислювальної техніки.

Дисертаційне дослідження виконувалося відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника при виконанні науково-дослідних робіт за темою «Теоретичні та методичні основи побудови комп'ютерних компонентів та систем на базі біторієнтованої вертикальної інфотехнології» (ДР № 0111U004751).

**Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

**Обґрунтованість** наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено аргументованою постановкою мети та задач дослідження, застосуванням основних положень теорії інформації та кодування, методів функціонального аналізу, теорії ортогональних і вейвлет-перетворень, теорії імовірності та статистичного аналізу, теорії проектування апаратних засобів цифрової обробки даних. За результатами дослідження сформульовано висновки та рекомендації щодо перспективи подальших досліджень.

**Достовірність** результатів і висновків дисертаційного дослідження підтверджена результатами комп'ютерного моделювання на основі розроблених засобів трійкових симетричних перетворень, а також результатами практичного застосування у системах контролю параметрів транспортування газу та контролю процесу буріння нафтових і газових свердловин, що засвідчено відповідними актами впровадження.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основні результати, отримані автором дисертаційної роботи, мають таку наукову новизну:

1. Уперше запропоновано метод ортогонального перетворення інформації, який передбачає застосування системи ортогоналізованих добутків трійкових симетричних функцій, що забезпечує ущільнення послідовностей даних за рахунок зменшення взаємної кореляції їх елементів.

2. Уперше запропоновано метод неперервного вейвлет-перетворення, який передбачає використання неперервних трійкових симетричних функцій, що забезпечує підвищення ефективності від 50% до 100% виявлення короткотермінових особливостей послідовностей даних, накладених на довготермінові.

3. Уперше запропоновано метод дискретного вейвлет-перетворення, який передбачає використання дискретних трійкових симетричних функцій і трьох банків фільтрів довжиною 3 та забезпечує пришвидшення процесу обчислення вейвлет-коефіцієнтів від 11% до 50%, а також зменшення обсягу пам'яті, необхідного для зберігання результатів перетворення, до 57%.

4. Уперше запропоновано структурні моделі спеціалізованих процесорів для реалізації швидких трійкових симетричних ортогонального та дискретного вейвлет-перетворень, які передбачають використання запропонованих триоперандових операційних блоків та банків цифрових фільтрів довжиною 3 і забезпечують зменшення обсягів пам'яті, необхідних для зберігання даних.

**Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь впровадження.**  
**Практичне значення** результатів дисертаційного дослідження полягає в такому:

1. Розроблено спеціалізований процесор для ортогонального перетворення на основі системи ортогоналізованих добутків трійкових симетричних функцій, який застосовано як компонент пристроїв комплектації вузлів обліку та контролю параметрів транспортування газу, що дозволило зменшити обсяг пам'яті, необхідний для зберігання даних, забезпечити збільшення часу автономного функціонування пристроїв, а також дозволило зменшити обсяги інфообміну в мережі.

2. Розроблено структуру спеціалізованого процесора та прикладне програмне забезпечення для дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій, які застосовано як компонент комплексу засобів наземного контролю та керування процесом буріння нафтових і газових свердловин СКУБ-М2, що дозволило зменшити обсяг пам'яті, необхідний для зберігання даних, та забезпечити підвищення точності контролю процесів видобутку нафти та газу.

Результати роботи впроваджено в Івано-Франківському спеціальному конструкторському бюро засобів автоматизації та в навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника.

### **Рекомендації щодо використання наукових результатів**

Запропонований у дисертаційній роботі метод ортогонального перетворення на основі системи ортогоналізованих добутків трійкових симетричних функцій рекомендовано застосовувати в комп'ютеризованих системах, призначених для контролю й аналізу часових залежностей у режимі реального часу.

Запропонований у роботі метод на базі дискретного вейвлет-перетворення з використанням трійкових симетричних функцій можна застосувати в мобільних комп'ютерних і комп'ютеризованих системах з метою зменшення обсягів пам'яті, необхідних для зберігання даних. Використання розробленого методу є доцільним у системах, в яких допускається стиснення даних з втратами.

**Повнота викладення в публікаціях та апробація роботи.** Наукові положення та отримані результати достатньо повно представлено в опублікованих автором наукових працях, а також апробовано на науково-технічних конференціях. За темою дисертації опубліковано 34 наукові праці, включаючи 4 статті в фахових виданнях, 1 статтю в зарубіжному виданні, 1 розділ колективної монографії, 28 доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Автореферат дисертації за своїм змістом повністю відповідає дисертаційній роботі.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено предмет і об'єкт дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію результатів роботи та публікації за темою дослідження.

У першому розділі автором проаналізовано методи та засоби ортогональних і вейвлет-перетворень, які найчастіше застосовуються для вирішення прикладних задач цифрової обробки інформації. Розглянуто, зокрема, особливості вейвлетів Хаара та Добеші. Проаналізовано основні критерії, за якими здійснюється порівняння ефективності застосування методів та апаратно-програмних засобів ортогональних і вейвлет-перетворень при розв'язанні прикладних задач. На основі здійсненого аналізу сформульовано напрям і задачі наукового дослідження.

У другому розділі автором запропоновано метод трійкового симетричного ортогонального перетворення для цифрової обробки інформації. Запропоновано метод швидкого трійкового симетричного ортогонального перетворення, який побудовано за принципом divide-and-conquer на основі системи допоміжних матриць, що забезпечує спрощення його апаратної реалізації. Властивості запропонованого перетворення обґрунтовано аналізом властивостей базису ортогоналізованих добутків трійкових симетричних функцій, який запропоновано автором на початку розділу та використано як основу для запропонованого трійкового симетричного ортогонального перетворення.

У третьому розділі автором запропоновано методи неперервного та дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення, основою яких є розроблена система трійкових симетричних вейвлет-функцій. Властивості неперервного трійкового симетричного вейвлет-перетворення проаналізовано на основі моделей тестових сигналів, які використано з метою оцінки точності виявлення запропонованим перетворенням короткотермінових особливостей інформаційних сигналів. Для запропонованого дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення розроблено фільтрову форму реалізації, що забезпечило зниження апаратної складності відповідного засобу.

У четвертому розділі розроблено структури засобів запропонованих дискретних трійкових симетричних перетворень у вигляді спеціалізованих процесорів для цифрової обробки інформації. Засіб швидкого дискретного трійкового симетричного ортогонального перетворення, запропонованого в другому розділі, змодельовано за допомогою САД-інструментарію, що забезпечило можливість його імплементації на базі ПЛІС. Засіб запропонованого у третьому розділі дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення отримав апаратно-програмну реалізацію. Апаратну частину засобу реалізовано із використанням мікроконтролера, а програмну – розробленим автором програмним засобом «Symmetric Ternary Wavelet Transform MC Performer», який забезпечує взаємодію апаратної частини з комп'ютером і реалізацію повного циклу цифрової обробки інформації на основі запропонованого методу.

П'ятий розділ вміщує результати експериментальних досліджень ефективності застосування методів і засобів запропонованих трійкових симетричних перетворень. Оцінка зменшення обсягу пам'яті, необхідного для зберігання даних, для розроблених компонентів швидкого трійкового симетричного ортогонального перетворення здійснена на основі експериментальних даних, отриманих у результаті включення пристрою до складу системи обліку та контролю параметрів транспортування газу. Експериментальні дані для оцінки ефективності розроблених компонентів дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення отримані за результатами застосування пристрою в комплексі засобів наземного контролю та керування процесом буріння нафтових і газових свердловин СКУБ-М2. На основі отриманих оцінок зроблено висновки та запропоновано рекомендації щодо застосування запропонованих у роботі методів і засобів трійкових симетричних перетворень для зменшення обсягу пам'яті, необхідного для зберігання корельованих даних у технічних системах.

У додатках наведено графіки тестових сигналів, на основі яких здійснювалась оцінка ефективності запропонованих у роботі методів і компонентів трійкових симетричних перетворень, а також акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

### Зауваження щодо змісту та результатів роботи

1. У роботі здійснено обробку одновимірних сигналів, проте, у вступі та подальших викладках про це не сказано в явному вигляді.
2. У підрозділах 1.2 та 1.3 наведено структурні схеми засобів відомих перетворень, їх основні архітектурні та функціональні особливості й здійснено аналіз властивих їм переваг і недоліків. Проте, варто було б більш детально проаналізувати алгоритми їх роботи з метою виокремлення переваг компонентів, розроблених автором у четвертому розділі.
3. У другому розділі (п. 2.1.1 та 2.1.2) автором приділено надто багато уваги вивченню властивостей піднаборів запропонованих систем функцій з метою обґрунтування запропонованих у підрозділі 2.2 перетворень. Частину цих викладок варто було перенести в додатки.
4. У підрозділі 3.1 автор дослідив ефективність застосування запропонованого неперервного вейвлет-перетворення у задачах виявлення розтягнутих і стиснутих по часовій осі характеристик інформаційних сигналів, але не навів аналітичного виразу для обчислення кількісної оцінки такої ефективності.
5. У четвертому розділі зазначено, що пристрій для запропонованого трійкового симетричного вейвлет-перетворення отримує початкові дані тільки з комп'ютера. Було б доцільно зчитувати початкові дані також з пінів розробленого пристрою (с. 153-154).
6. У п'ятому розділі для однієї або кількох тестових послідовностей значень технологічного параметра механічного лівого моменту (представлених у додатку Г на рисунку Г.1) доцільно було б навести початкову та відновлену послідовності на одному графіку.
7. У тексті дисертації зустрічаються стилістичні та граматичні помилки.

Однак, наведені зауваження не знижують наукової та практичної цінності результатів дисертаційного дослідження та можуть бути потрактовані як рекомендації до подальших наукових досліджень, що не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### Загальна оцінка дисертації

Дисертація є завершеною науковою роботою, яка містить науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати. Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, практичним значенням, особистим внеском автора, обсягом і рівнем повноти викладу в опублікованих працях, апробацією основних положень і достовірністю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор, Ізмайлов Артем Вікторович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

доцент кафедри комп’ютерних систем та мереж

Чернівецького національного університету

імені Юрія Федьковича,

доктор технічних наук, доцент

С.В. Баловсяк

