

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу Сальнікова Дмитра Валентиновича «Апаратні і програмні засоби адаптивної нелінійної цифрової фільтрації на основі детекторів шуму», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Сучасні інформаційні технології, засоби комп'ютерної техніки, автоматичної обробки зображень та комп'ютерного зору широко впроваджуються в різноманітні системи контролю та спостереження, що покликані підвищити надійність роботи критичних систем та підвищити безпеку людини. Основними вимогами, що висувають до таких систем, є забезпечення якості вхідних даних, які можуть передаватися каналами зв'язку та пошкоджуватися різноманітними зашумлюючими впливами. Додатковим ускладнюючим фактором є те, що засоби фото та відео фіксації повинні працювати у різноманітних атмосферних умовах, що може негативно впливати на якість даних. Таким чином, виникає необхідність у швидкісних алгоритмах видалення шумів та апаратних і програмних засобах для їх ефективної побудови.

Дисертація, що розглядається, передбачає створення засобів адаптивної нелінійної цифрової фільтрації зображень на основі детекторів шуму для побудови систем фільтрації на базі сучасних мікросхем програмованих інтегральних логічних схем та спеціалізованих процесорних архітектур.

Тема досліджень відповідає Концепції Національної програми інформатизації, схваленої Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4.12.1998р. №75/98-ВР, Закону України «Про телекомунікації» від 18.11.2993р. №1280-IV, концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 р., планам наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», а також згідно плану держбюджетної науково-

дослідницької роботи Міністерства освіти і науки України «Розробка програмно-алгоритмічних засобів аналізу та перетворення динамічних об'єктів» (ДР №0111U002272), та міжнародних проєктів: угода між установами програми (Aston University) та країн партнерів (НТУ «ХПІ») за програмою ERASMUS+; У рамках виконання проєкту НТУ «ХПІ» «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за програмою ERASMUS+

Таким чином, все сказане обумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Сальнікова Д.В. і наукову новизну поставлених в ній задач.

2. Наукова новизна результатів роботи

У результаті виконання дисертаційної роботи набув подальшого розвитку науковий напрям, пов'язаний з розробкою апаратних та програмних засобів адаптивної нелінійної фільтрації зображень цифровими фільтрами що мають детектори шуму.

Основними науковими результатами дисертації є:

– Удосконалена програмна модель адаптивного зваженого медіанного цифрового фільтра зображень з обчисленнями з фіксованою точкою мовою Python, яка відрізняється від відомих можливістю конфігурувати кількість біт у дрібній та цілій частинах числа, що дозволяє проаналізувати необхідну розрядність математичних операцій.

– Удосконалений алгоритм адаптивного зваженого медіанного цифрового фільтра зображень, фільтр удосконалено шляхом реалізації блоків оцінки вагових коефіцієнтів та механізму байпасування розрахунків, що дає змогу знизити апаратні витрати на його реалізацію на базі ПЛІС.

– Вперше запропонований алгоритм цифрової фільтрації з пост-фільтраційним прийняттям рішення, який не має архітектурних недоліків виявлених в результаті дослідження найбільш продуктивних адаптивних фільтрів, зокрема адаптивного зваженого медіанного фільтру що перемикається, що дозволяє реалізувати фільтрацію імпульсних шумів на сучасних апаратних платформах оптимальним шляхом.

- Удосконалений метод реалізації фільтру з пост-фільтраційним прийняттям рішення на базі ПЛІС, та процесорних архітектурах з векторним набором команд, зокрема ARM NEON та Intel SSE/AVX, що дозволяє виконувати фільтрацію імпульсних шумів за допомогою процесорного модуля в режимі реального часу.

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

Наукові положення, викладені в дисертаційній роботі, достатньо обґрунтовані за рахунок використання апробованих методів, а саме: теоретичні положення базуються на основах теорії цифрової обробки сигналів; математичної моделі адаптивного зваженого медіанного фільтру побудовано із використанням методів теорії графів та дослідження операцій; при дослідженні VHDL-моделей використовувалися теорія цифрових автоматів і булева алгебра; оцінка достовірності теоретичних та практичних результатів здійснена з використанням положень теорії ймовірностей та математичної статистики.

Достовірність основних нових наукових результатів дисертаційної роботи підтверджена результатами практичного впровадження апаратних та програмних засобів, що реалізують запропонований швидкісний алгоритм адаптивної нелінійної цифрової фільтрації зображень, збіжністю теоретичних та експериментальних результатів досліджень, отриманих під час програмної реалізації.

4. Цінність дисертаційної роботи для науки

Цінність дисертації полягає в тому, що в ній запропоновано нові рішення важливої науково-технічної задачі побудови систем адаптивної нелінійної цифрової фільтрації шумів присутніх на зображеннях та відео даних. Вперше запропоновано адаптивний нелінійний цифровий фільтр з пост-фільтраційним прийняттям рішення, що має високі показники продуктивності та архітектуру що сприяє оптимальній реалізації на поширених в даний час апаратних платформах.

5. Практична корисність роботи

Практична цінність роботи полягає в тому, що використання запропонованих методів зменшення апаратних витрат на реалізацію на базі ПЛІС адаптивного нелінійного медіанного фільтру та алгоритм фільтрації імпульсних шумів з пост-фільтраційним прийняттям рішення дозволяють створити більш досконалі в порівнянні з відомими системи видалення шуму з цифрових зображень, системи обробки зображень та комп'ютерного зору.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено при модернізації модуля фільтрації шумів системи виводу відеозображень мультимедійного пристрою програвання контенту користувача (STB) на підприємстві ТОВ «Зетсофт».

Теоретичні та практичні результати роботи знайшли застосування в навчальному процесі Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет» при викладанні навчальних дисциплін «Методи моделювання систем» та «Математичні основи телекомунікацій» на кафедрі автоматики і управління в технічних системах за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.

Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження вимогам. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** розкрито актуальність теми роботи, показано зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету та задачі досліджень, наведено методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення результатів, зазначено особистий внесок здобувача та наведено відомості про структуру роботи, апробації, впровадження.

У **першому** розділі розглянуто структуру систем комп'ютерного зору в цілому. Визначено сучасні тенденції розвитку та існуючі потреби швидкості та якості роботи систем такого роду. Розглянуто типи світлочутливих датчиків. Різновиди зашумлюючих впливів та їх математичні моделі.

Проаналізовано наявні методи видалення шумів, зокрема лінійні та нелінійні, адаптивні, фільтри з детекторами шуму. Виявлено недоліки що ускладнюють реалізацію алгоритмів фільтрації на сучасних апаратних платформах.

У **другому** розділі розглянуто методи апаратної реалізації адаптивного нелінійного зваженого фільтру. Проведено аналіз фільтру, виділено складові під-модулі алгоритму. Виконано дослідження програмної моделі адаптивного зваженого фільтру у розрахунках з фіксованою комою. Виходячи з результатів аналізу запропоновано метод реалізації алгоритму на ПЛІС, що дозволяє синтезувати повністю конвеєрний фільтр на сучасних мікросхемах. Надано оцінку апаратних ресурсів ПЛІС необхідних для реалізації.

Третій розділ присвячено дослідженню роботи детектору шуму адаптивного зваженого фільтру. Проведено дослідження статистичних характеристик адаптивного зваженого фільтру за допомогою програмної моделі. Виявлені випадки вірного, хибного, та хибно-позитивного детектування. Запропоновано алгоритм адаптивного нелінійного фільтра зображень з пост-фільтраційним прийняттям рішення про зашумлення, який дозволяє зменшити втрати різкості внаслідок фільтрації пікселів, що не були піддані впливу шуму, та має структуру придатну до реалізації на більшості сучасних апаратних платформ.

Четвертий розділ присвячено моделюванню модифікованого адаптивного нелінійного зваженого фільтру та фільтру з пост-фільтраційним прийняттям рішення. Коротко розглянуто переваги використання мов проектування цифрових схем високого рівня у порівнянні з мовами VHDL та Verilog. Розглянуто реалізацію програмного продукту мовою Python, що дозволяє згенерувати VHDL чи Verilog опис досліджуваних фільтрів. Проаналізовано часові діаграми роботи кожного з блоків фільтрів та метрики якості фільтрації PSNR та SSIM. Представлено метод реалізації запропонованого фільтру на ПЛІС та процесорній архітектурі з векторним розширенням ARM NEON.

У **висновках** стисло викладено основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках наведено список публікацій здобувача, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, та коди програмних моделей реалізованих в роботі.

Таким чином в дисертації відображені результати розв'язання сформульованих задач дослідження. Дисертаційна робота написана науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів.

7. Рекомендації щодо використання результатів дисертації.

Запропоновані в дисертаційній роботі моделі, методи та алгоритми можуть бути використані для побудови високошвидкісних систем видалення шумів з фото та відеозображень для інтелектуальних систем автоматизованого контролю якості продукції на виробництві, класифікації, сегментації, підвищення якості зображень тощо.

8. Повнота викладення основних результатів дисертації.

Основні результати дисертації відображено в 12 наукових працях, з яких 4 статі у наукових виданнях, що входять до переліку фахових видань України з технічних наук та індексуються в міжнародних науково-метричних базах, і пройшли апробацію на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

9. Автореферат дисертації

Автореферат дисертації за змістом повністю відповідає дисертаційній роботі.

10. Зауваження щодо змісту й оформлення дисертації

1. В розділі 1 не зрозуміло як передаються дані з матриці (яка відстань, яким протоколом, шляхом), щоб виникали значні помилки під цей час, такі що не можливо виправити на наступному кадрі відеозображення.

2. В розділі 2, розглядаючи необхідність використання розрахунків із фіксованою комою, не зрозуміло як обчислення в форматі чисел з рухомою комою дозволяє підвищити точність роботи алгоритму. За рівних

розрядностей чисел, обчислення з плаваючою точкою завжди менш точне, так як частина розрядів використовується для кодування ступеня числа, а не для представлення цифр числа.

2. Алгоритм на рис.2.1 - не має нумерації блоків.

3. В розділі 2, описується «цикл оцінки вагових коефіцієнтів» як один із найбільших недоліків адаптивного нелінійного зваженого фільтру. Доцільно було б навести порівняння в сенсі швидкодії (використання блоків ПЛС) з цим циклом та без нього.

4. У підрозділі 2.5.4 «Оптимізація циклу оцінки ваг по швидкості» наведено дані, що для якісної фільтрації необхідно не менше 20 блоків. З тексту розділу не зрозуміло яким чином отримано таке значення.

5. У розділі 2 в ході дослідження методів реалізації модуля поділу зазначено, що було обрано метод, який використовує таблиці 32-х розрядних результатів поділу. Автором зазначено, що результати роботи алгоритму із 8-ми бітною таблицею не задовільні. У той же час, не зазначено чи були розглянуті таблиці 16 або 24 біта, і чому вони не використовуються.

6. У висновках до другого розділу зазначено, що запропонована поліпшена структура фільтру дозволяє домогтися фільтрації 48 кадрів монохромного зображення формату FullHD за секунду. Доцільно розглянути швидкість роботи фільтру з кольоровими даними та навести відомості щодо продуктивності фільтру з ними.

7. У розділі 3 не визначено для яких розмірів вікна фільтру проводилося дослідження відхилення шуму (рис.3.1 та рис.3.2). Мабуть доцільніше було б побудувати графік залежності кількості знайдених (змінених на медіану) пікселів від розміру вікна або щільності шуму. Та навести дисперсію відповідно до кожної щільності.

8. Рисунки 3.1 та 3.2 не мають підписів розмірностей на графіках.

9. У підрозділі 4.4 «Моделювання запропонованого фільтру» автор зазначає, що з синтезованої структури фільтру видно, що запропонований алгоритм є істотно більш простим з точки зору витрачених ресурсів. Не зрозуміло як це виникає з наведеної схеми. Доцільно було б навести схему без

знижених витрат, або якесь числове порівняння апаратних елементів ПЛІС для наведеної схеми та для тієї що не є оптимізованою.

11. Загальна оцінка дисертації

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що в дисертації отримано нове вирішення важливої науково-технічної задачі, яка полягає в підвищенні продуктивності адаптивної нелінійної цифрової фільтрації зображень та зниженні апаратних ресурсів необхідних для реалізації таких алгоритмів.

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою. Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, достовірністю й обґрунтованістю висновків, новизною досліджень, значенням отриманих результатів для науки, рівнем апробації та публікацій дисертаційна робота задовольняє вимогам п.п. 9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор, Сальніков Дмитро Валентинович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент
професор кафедри інформаційних
технологій та кібербезпеки
Харківського національного
університету внутрішніх справ
д.т.н. професор



Олександр МОЖАЄВ