

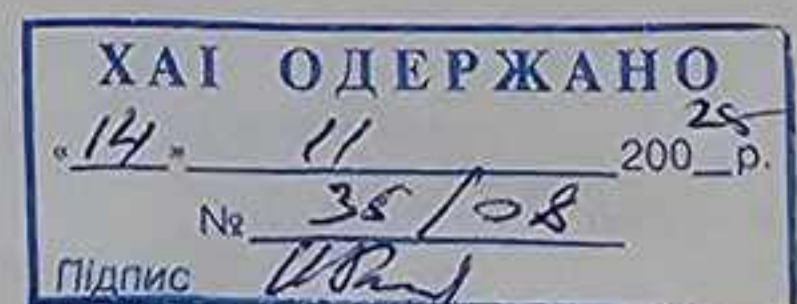
ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кривенка Сергія Станіславовича «Методи прогнозування та інтелектуальної обробки зображень у системах дистанційного зондування та медичної діагностики», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота Сергія Станіславовича Кривенка присвячена розробці, теоретичному обґрунтуванню та експериментальному дослідженню нових методів інтелектуальної обробки та прогнозування зображень. Ці методи спрямовані на підвищення ефективності систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та медичної діагностики (МД). Актуальність обраної теми не викликає жодних сумнівів і є винятково високою, що обумовлено кількома взаємопов'язаними глобальними тенденціями у сфері інформаційних технологій та радіотехнічних систем.

По-перше, це інформаційний вибух у сфері даних ДЗЗ та МД. Сучасні сенсорні системи ДЗЗ (мультиспектральні та гіперспектральні супутники, БПЛА) генерують величезні потоки даних (терабайти на добу). Аналогічна ситуація спостерігається і в медичній діагностиці, де постійно зростає роздільна здатність, швидкість та кількість обстежень (МРТ, КТ, ПЕТ, цифрова рентгенографія). Цей вибуховий ріст даних створює критичні проблеми, пов'язані з їхньою передачею (особливо в умовах обмеженої пропускної здатності каналів супутникового зв'язку), зберіганням та оперативною обробкою. Тому є необхідність розробки ефективних алгоритмів стиснення, придушення шуму та сегментації, здатних працювати з високою точністю в умовах реального часу та обмежених обчислювальних ресурсів.



По-друге, вимоги до якості та достовірності інформації. У системах ДЗЗ та МД якість зображення є прямо пропорційною точності прийняття рішень. Апаратурні обмеження, атмосферні впливи, а також фізіологічні рухи пацієнтів ускладнюють отримання "чистих" зображень, що вимагає впровадження високоточних методів шумозаглушення (денойзингу) та відновлення. Використання інтелектуальних методів, зокрема машинного навчання (МН) та глибокого навчання (ГН), для адаптивного управління процесами обробки є ключовим напрямком для вирішення цих завдань. Тому є потреба у інноваційних підходах до прогнозування характеристик зображень та їх інтелектуальної обробки, що дозволяти б значно підвищити якість кінцевих результатів.

По-третє, інтелектуалізація систем підтримки прийняття рішень. Перехід від традиційних алгоритмів обробки, які потребують значної кількості а пріорі встановлених параметрів, до інтелектуальних, що здатні адаптуватися до локальних властивостей зображення (текстура, краї, однорідні області), є ознакою розвитку галузі. Необхідно зосередитися на розробці методів, які враховують контекст зображення (наприклад, типи текстур у ДЗЗ чи специфічні анатомічні структури у МД) для оптимізації як процесу стиснення, так і шумозаглушення. Зокрема, ідея застосування МН для ідентифікації областей зображення з метою адаптивної обробки є передовою та має вагоме наукове та практичне значення.

По-четверте, міждисциплінарний характер дослідження. Об'єднання проблематики радіотехнічних та телевізійних систем (якою є спеціальність 05.12.17) із прикладними завданнями ДЗЗ та МД повинно продемонструвати глибоке розуміння сучасних вимог до інженерних рішень. Розроблені методи мають бути не просто математичними моделями, а алгоритмічними рішеннями, які можуть бути інтегровані в апаратну базу сенсорних систем або програмне забезпечення для пост-обробки, що робить їх безпосередньо корисними для радіотехнічної галузі.

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи Кривенка С.С. визначається гострою потребою у високопродуктивних та інтелектуальних методах обробки зображень, здатних ефективно функціонувати в умовах експоненціального зростання обсягів даних, обмежень каналів передачі та високих вимог до достовірності інформації в критично важливих сферах, таких як дистанційне зондування та медична діагностика. Тема повністю відповідає сучасним пріоритетам розвитку науки і техніки у галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Кривенка С.С. виконана в рамках наукових напрямів кафедр інформаційно-комунікаційних технологій імені О.О. Зеленського та конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут». Дослідження тісно пов'язані з цифровою обробкою сигналів і зображень, що є ключовими темами для аерокосмічної галузі. Автор зазначає, що робота проводилася в рамках кількох науково-дослідних проектів (НДР), профінансованих Міністерством освіти і науки України та іншими установами.

Зокрема, дослідження інтегровано в українсько-польську НДР «Методи інтелектуальної обробки зображень та відео на основі метрик візуальної якості для перспективних застосувань» (2021, № держреєстрації 0121U113841). Інша НДР – «Формування технологій створення адаптивних систем керування ГТД пасажирських і транспортних літаків» (2019-2020, № держреєстрації 0119U100942) – включала аспекти фільтрації зображень для аерокосмічних систем. Робота також пов'язана з держбюджетною НДР «Методи інтелектуальної комп'ютерної обробки великих даних в системах дистанційного зондування, мультимедіа та телекомунікацій» (2018-2020, № держреєстрації 0118U003020), де розглядалися алгоритми стиснення гіперспектральних даних. Українсько-французька НДР «"Розумна" обробка великих об'ємів даних у застосуванні до багатоканальних зображень

дистанційного зондування» (2017-2018, № держреєстрації 0117U005010) включала методи прогнозування ефективності фільтрації.

Держбюджетна НДР «Методи підвищення якості сервісу засобами цифрової обробки багатоканальних даних в системах мультимедіа, дистанційного зондування та телемедицини» (2015-2016, № держреєстрації 0115U000827) охоплювала аспекти візуальної якості в медичній діагностиці. Крім того, дисертаційна робота пов'язана з НДР «Методи машинного навчання для обробки великих даних в системах дистанційного зондування» (2021-2023, № держреєстрації 0121U112176) та «Інтелектуальні методи обробки багатоканальних зображень на основі карт візуальної уваги та баз зображень із спотвореннями» (2024-2026, № держреєстрації 0124U001094).

Це свідчить про тісний зв'язок роботи з державними науковими програмами, спрямованими на підвищення ефективності систем обробки зображень. Дослідження відповідають пріоритетам Міністерства освіти і науки України в галузі електроніки та телекомунікацій, сприяючи розвитку національної науки та практичним впровадженням. Загалом, робота інтегрована в понад 10 наукових проектів, що підкреслює її системність і практичну цінність.

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

Дисертаційна робота Кривенка С.С. містить наукові положення, висновки та рекомендації, які відзначаються високим рівнем обґрунтованості та достовірності. Обґрунтованість результатів забезпечується використанням широкого комплексу перевірених наукових методів, а достовірність підтверджується порівняльним аналізом із відомими підходами та експериментальною перевіркою на реальних даних.

Методи дослідження. У роботі застосовано комплексний підхід, що поєднує методи теорії ймовірностей, математичної статистики, нелінійної фільтрації сигналів, числового моделювання та машинного навчання. Така

методологія дала змогу всебічно проаналізувати складні завдання обробки зображень. Зокрема, математична статистика та теорія ймовірностей використовувалися для аналізу шумових характеристик зображень (адитивного, мультиплікативного, просторово-корельованого шуму) та для оцінювання ефективності алгоритмів фільтрації й стиснення. Методи нелінійної фільтрації сигналів стали основою розробки нових адаптивних алгоритмів, зокрема для зменшення спекл-шуму, із використанням підходів Level Set та перетворення Хаара. Машинне навчання та нейронні мережі застосовувалися для виявлення текстурних ділянок, адаптивної фільтрації та прогнозування ефективності обробки. Це дозволило створити інтелектуальні алгоритми, здатні враховувати складні взаємозв'язки між параметрами зображень і результатами їх оброблення.

Достовірність результатів. Надійність наукових висновків підтверджується експериментальною перевіркою на реальних даних. Запропоновані методи випробувано на реальних зображеннях дистанційного зондування Землі (TerraSAR-X, Hyperion, Sentinel-1) та медичних зображеннях (рентгенограми зубів, зображення сітківки ока).

Порівняльний аналіз. Ефективність розроблених підходів зіставлялася з відомими аналогами (фільтри Лі, Фроста, BM3D, кодери JPEG, JPEG2000, SPIHT) з використанням метрик якості (PSNR, MSE, MSSIM, PSNR-HVS-M).

Висока точність прогнозування. Показано, що розроблені моделі прогнозування досягають коефіцієнта детермінації до 0,98 для традиційних і 0,91 для візуальних метрик, що свідчить про високу відповідність між прогнозованими і фактичними результатами.

Практичне впровадження. Отримані результати впроваджено в діяльність наукових і медичних установ (Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова, Обласна дитяча клінічна лікарня), що підтверджує їхню практичну значущість і надійність.

Використані методи відповідають сучасним стандартам наукових досліджень і забезпечують високий рівень наукової новизни та практичної цінності роботи.

4. Структура та зміст дисертації

Дисертація має логічну структуру, складається з вступу, шести розділів, висновків, списку літератури (317 джерел) і 13 додатків (102 сторінки). Обсяг – 465 сторінок (основний текст – 296 сторінки), з 84 рисунками і 54 таблицями. Структура відповідає вимогам до докторських робіт, забезпечуючи послідовне викладення матеріалу.

У вступі обґрунтовано актуальність, визначено мету (розвиток методів інтелектуальної обробки зображень для ДЗЗ і медичної діагностики з урахуванням візуальної якості), задачі (фільтрація, стиснення, прогнозування) та методи (математична статистика, машинне навчання, ортогональні перетворення).

Перший розділ аналізує сучасний стан фільтрації та стиснення, критерії якості (PSNR, MSE, візуальні метрики), шуми (адитивний, спекл) і методи їх придушення.

Другий розділ присвячено фільтрації: детектуванню текстур (SVM, нейромережі), адаптивній фільтрації (Level Set, ДКП) і прогнозуванню ефективності.

Третій розділ розглядає двоетапні процедури стиснення, адаптивне стиснення багатоканальних зображень і «дивні» зображення.

Четвертий розділ фокусується на стисненні зашумлених зображень (ДКП-кодери), прогнозуванні MSE і OPT.

П'ятий розділ – стиснення медичних зображень, з аналізом шумів (Morita) і рекомендаціями.

Шостий розділ – програмні реалізації, прискорення (NSPNet+GDNet) і застосування в розпізнаванні цілей.

Висновки узагальнюють результати, додатки містять графіки, додаткові дослідження та акти впровадження.

Наукова новизна:

- Вперше запропоновано метод виділення текстурних ділянок на зображеннях, спотворених шумом, з використанням методів машинного навчання, що використовує локальні характеристики, визначені в межах ковзного вікна, завдяки чому вдалося покращити надійність детектування текстурних фрагментів.
- Вперше показано можливість прогнозування ефективності фільтрації у випадку сигнально-залежних завад на зображеннях при використанні традиційних та візуальних метрик якості, який забезпечує високу точність: коефіцієнт детермінації сягає 0,98 для традиційних метрик та 0,91 для метрик, що враховують візуальну якість.
- Удосконалено двоетапний метод забезпечення необхідної візуальної якості при стисканні зображень із втратами, який забезпечує досягнення необхідного рівня якості відповідно до класичних метрик та метрик, що враховують візуальну якість, і дозволяє знизити середньоквадратичну похибку залишкових завад майже на порядок порівняно з одноетапними підходами.
- Отримали подальший розвиток методи прогнозування ефективності стиснення із втратами зображень, спотворених шумом, що передбачає поканальний аналіз мультиспектральних даних з подальшим вибором найкращих параметрів стиснення для кожного каналу, що дозволяє покращити результати класифікації шляхом придушення шумових і високочастотних компонент.
- Удосконалено методи обробки зашумлених медичних зображень шляхом аналізу просторово-спектральних характеристик шумів, що дозволило

забезпечити сліпе придушення шуму з досягнення приросту PSNR до 2,7 дБ відносно існуючих підходів.

- Удосконалено методи контролю якості обробки медичних зображень та зображень дистанційного зондування, що дозволило гарантувати високий ступінь стиснення (у 10–40 разів), зокрема, для медичних зображень при збереженні усієї діагностично цінної інформації.

Практичне значення:

- розроблено метод виявлення текстур на базі методів машинного навчання, що використовує локальні параметри, розраховані у ковзному вікні, в якості вхідних даних, що дозволило підвищити надійність детектування текстурних ділянок;
- запропоновано використовувати метод Level Set для локалізації неоднорідностей зображень, який дозволяє адаптивно застосовувати частотно-залежну фільтрацію до однорідних ділянок, забезпечуючи збереження важливих деталей;
- розроблено модифікацію вейвлет-фільтра Хаара та інтегрально-диференціального методу, які показали найкращі результати як за кількісними метриками (MSE, MS-SIM), так і за якістю збереження меж;
- розроблено метод прогнозування якості фільтрації зображень, спотворених шумами різної природи. Запропонований підхід забезпечує високе значення коефіцієнту детермінації (до 0,98 для класичних метрик та 0,91 для метрик візуальної якості) при прогнозуванні значень приросту якості зображень;
- запропоновано двоетапну процедуру стиснення зображень, яка дозволяє забезпечити бажаний рівень якості зображень згідно з метриками PSNR-HVS-M і PSNR, що дозволяє зменшити рівень залишкових завад приблизно на порядок в порівнянні із одноетапними методами;

- проаналізовано просторово-спектральний склад шумів у медичних зображеннях; запропоновані алгоритми для сліпого придушення шуму забезпечують покращення PSNR до 2,7 дБ у порівнянні з існуючими методами;

- визначено підхід для стиснення зображень зубів із використанням кодера ADCT, що дозволяє досягти високих значень коефіцієнта стиснення (10-40 разів) без втрат діагностично важливої інформації;

- запропоновано методику поканального аналізу мультиспектральних даних, що дозволяє визначити оптимальні параметри стиснення для кожного спектрального каналу, забезпечивши покращення результатів класифікації завдяки придушенню шумів і високочастотних варіацій.

Методи впроваджено в Інституті радіофізики НАН (підвищення якості РЛ-зображень), Обласній дитячій лікарні (стиснення рентгенівських зображень без втрати діагностики), ТОВ «Біопромінь» (обробка медичних датчиків) і ТОВ НК «Колібрі» (автоматичне стиснення для розпізнавання). Це підтверджено актами, що свідчить про реальну користь. Рекомендації дозволяють оптимізувати ресурси в телемедицині та ДЗЗ.

5. Повнота викладення результатів роботи у наукових працях

Результати дисертаційної роботи викладено у 71 науковій публікації, що свідчить про високу повноту та широку апробацію отриманих результатів. Серед публікацій:

- 4 монографії;

- 15 статей у наукових виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України категорій А та Б;

- 14 статей в наукових періодичних виданнях інших держав (США, Швейцарія), які індексуються в Scopus, з яких 7 статей належать до журналів першого та другого квартилів;

- 38 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій, 27 з яких проіндексовано у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus.

Ці публікації повністю висвітлюють основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертації, демонструють вагомий внесок здобувача у розвиток обраної наукової галузі та підтверджують його високий рівень наукової кваліфікації.

6. Мова та стиль дисертації

Дисертаційна робота написана якісною українською мовою з дотриманням наукового стилю. Виклад матеріалу є логічним, послідовним і легко читабельним. Використана термінологія відповідає сучасним стандартам у галузі радіотехніки, телекомунікацій та обробки зображень.

Здобувач ефективно використовує наукові та математичні позначення, чітко розмежовує теоретичні засади від експериментальних результатів та їх обговорення. Використання ілюстрацій, таблиць та діаграм значно полегшує сприйняття складних технічних концепцій.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи

Незважаючи на високий рівень виконання та вагомість отриманих результатів, дисертаційна робота містить деякі дискусійні положення та до неї є певні зауваження:

- Неоднозначність термінології: У деяких розділах використовуються терміни без чіткого визначення в контексті, що може ускладнити розуміння. Наприклад, в розділі 3, коли йдеться про "дивні зображення", здобувач використовує цей термін, а потім дає його формальне визначення. Хоча це і пояснено, було б доцільніше вводити термінологію з самого початку.
- Опис застосування нейромережевих детекторів: У розділі 2.1.2 описано виявлення текстурних ділянок нейронною мережею, але не наведено детальної архітектури мережі, що робить цей розділ недостатньо інформативним для тих, хто бажає відтворити дослідження.

- Обмеженість моделювання шуму: Хоча здобувач аналізує просторово-корельовані шуми, він визнає, що їх характеристики можуть бути численними. Однак у дослідженні розглядається лише окремий випадок фільтрації двовимірного АБГШ лінійно-усереднюючим фільтром. Було б цікаво побачити результати для інших типів кореляції та спектрів шуму.

- Вплив на візуальне сприйняття: Хоча здобувач часто посиляється на візуальну якість та ледь помітні відмінності (ЛПР), у роботі мало наведено результатів суб'єктивних тестів з більшою кількістю спостерігачів, окрім прикладу з групою стоматологів. Детальніший аналіз сприйняття спотворень людиною, можливо, дозволив би більш ґрунтовно обґрунтувати вибір візуальних метрик.

Ці зауваження не применшують цінності дисертаційної роботи, а лише вказують на можливість подальших досліджень у цій галузі та підкреслюють багатогранність і складність поставлених задач.

Дисертація є оригінальною, ідеї інших дослідників мають відповідні посилання, III-частини перевірені. Відсутність плагіату, етичність досліджень підтверджено. Робота відповідає принципам академічної доброчесності та не містить плагіат, фабрикації та фальсифікації.

8. Відповідність реферату змісту дисертаційної роботи

Реферат дисертації точно та повною мірою відображає основні положення дисертації. У ньому чітко сформульовано мету, завдання, наукову новизну, практичне значення, а також висновки та рекомендації. Зміст реферату відповідає структурі дисертаційної роботи. Публікації, в яких викладено основні результати, також наведено в рефераті.

9. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.

Представлена дисертація Кривенка Сергія Станіславовича «Методи прогнозування та інтелектуальної обробки зображень у системах

дистанційного зондування та медичної діагностики» є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані теоретичні, експериментальні та практичні результати.

Дисертаційна робота вирішує актуальну науково-практичну проблему підвищення ефективності інтелектуальної обробки зображень в умовах присутності складних завад і обмежених обчислювальних ресурсів з урахуванням візуальної якості. Отримані результати мають вагомe значення для подальшого розвитку теорії обробки сигналів та зображень, а також для створення високотехнологічних рішень у системах дистанційного зондування та медичної діагностики.

За змістом, актуальністю, науковою новизною та практичним значенням, дисертаційна робота Кривенка С.С. відповідає вимогам, встановленим «Порядком присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197.

Тож Кривенко Сергій Станіславович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент:

професор кафедри

аеронавігаційних систем

Державного університету

«Київський авіаційний інститут»

доктор технічних наук, професор

Юлія АВЕР'ЯНОВА

12.11.2025

