

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

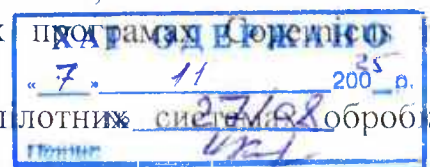
Актуальність теми дисертаційного дослідження Кривенка С.С. обумовлена стрімким розвитком цифрових технологій, які генерують величезні обсяги даних у таких галузях, як дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та медична діагностика. Ці дані відіграють критичну роль у прийнятті рішень, що впливають на суспільне здоров'я, екологічну безпеку та управління ресурсами. Однак ефективне використання цих даних ускладнюється обмеженнями в швидкості передачі інформації, ємності сховищ та необхідністю забезпечення високої якості обробки зображень.

Для ефективного використання даних ДЗЗ необхідні методи автоматичної обробки мультиспектральних, гіперспектральних та багатоканальних радіолокаційних зображень, адаптації алгоритмів до шумів і спотворень, а також швидкої передачі великих обсягів даних. Дисертаційна робота Кривенка С.С. вирішує ці завдання шляхом розробки методів інтелектуальної фільтрації та стиснення зображень із втратами, що враховують візуальну якість і обмежені обчислювальні ресурси. Автор фокусується на сигнально-залежних та просторово-корельованих завадах, які є типовими для радіолокаційних і оптичних систем ДЗЗ, пропонуючи прогнози ефективності обробки для оптимізації параметрів.

У медичній діагностиці розвиток телемедичних технологій вимагає забезпечення збереження діагностичної якості медичних зображень при їх компресії, розробки алгоритмів для автоматичного виявлення патологій та стандартизації процесів фільтрації для зменшення впливу шумів. Робота автора фокусується на ефективному обробленні зображень, спотворених шумами різної природи, що є актуальним для сучасних медичних систем реєстрації зображень, таких як магнітно-резонансна томографія (МРТ) та ультразвукова діагностика (УЗД). Зокрема, розглядаються особливості стиснення рентгенівських зображень зубів та інших модальностей, де шум є досить інтенсивним.

В дисертаційній роботі автор обґрунтовує актуальність теми, вказуючи на стрімке зростання обсягів даних і необхідність їх ефективної обробки. Він зазначає, що в ДЗЗ необхідні методи автоматичної обробки для адаптації до шумів і швидкої передачі даних, а в медичній діагностиці – для збереження діагностичної якості при компресії. Автор підкреслює, що реалізація підходів потребує оптимізації алгоритмів для роботи на пристроях з обмеженими ресурсами, забезпечення узгодженості між якістю та об'ємом даних, а також створення універсальних моделей, адаптованих до різних типів сигналів і зображень. Це повністю відповідає сучасним викликам, таким як обмежена пропускна здатність каналів зв'язку в космічних програмах та необхідність персоналізованих підходів у медицині.

Автор підкреслює, що і в військових безпечних системах обробка



зображень відіграє ключову роль для систем комп'ютерного зору, де фільтрація зменшує шум від датчиків, атмосферних умов або інших завад, а стиснення оптимізує обсяг даних для обмеженої пропускної здатності. Це забезпечує перевагу в бойових умовах, де ефективність аналізу візуальної інформації має вирішальне значення. Таким чином, тема дисертації є **актуальною**, оскільки вирішує проблеми, спільні для ДЗЗ, медицини та військових застосувань, сприяючи сталому розвитку, цифровізації та інноваціям.

Також тема дисертаційного дослідження є актуальною, оскільки адресує ключові виклики сучасності в обробці даних ДЗЗ та медичної діагностики, сприяючи розвитку технологій, що впливають на здоров'я, екологію та безпеку. Автор обґрунтовує актуальність, посилаючись на державні та міжнародні програми, і пропонує рішення, що мають практичне значення. Це робить роботу своєчасною та необхідною для подальшого розвитку спеціальності 05.12.17.

Дисертація Кривенка С.С. вирішує важливу науково-практичну проблему ефективного інтелектуального оброблення зображень в умовах завад, що робить її актуальною для сучасної науки і практики.

Дослідження, результати яких представлені у дисертаційній роботі Кривенка С.С., проводились у рамках наукових напрямів кафедр інформаційно-комунікаційних технологій імені О.О. Зеленського та конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету «ХАІ», пов'язаних із цифровою обробкою сигналів та зображень. Робота була відображена у звітах з НДР, зокрема:

- українсько-польська НДР «Методи інтелектуальної обробки зображень та відео на основі метрик візуальної якості для перспективних застосувань» (2021, № держреєстрації 0121U113841);
- держбюджетна НДР «Формування технологій створення адаптивних систем керування ГТД пасажирських і транспортних літаків» (2019-2020, № держреєстрації 0119U100942);
- держбюджетна НДР «Методи інтелектуальної комп'ютерної обробки великих даних в системах дистанційного зондування, мультимедіа та телекомунікацій» (2018-2020, № держреєстрації 0118U003020);
- українсько-французька НДР «"Розумна" обробка великих об'ємів даних у застосуванні до багатоканальних зображень дистанційного зондування» (2017-2018, № держреєстрації 0117U005010);
- держбюджетна НДР «Методи обробки багатоканальних зображень у мобільних системах на основі прогнозування та машинного навчання» (2021-2023, № держреєстрації 0121U112176);
- держбюджетна НДР «Інтелектуальні методи обробки багатоканальних зображень на основі карт візуальної уваги та баз зображень із спотвореннями» (2024-2026, № держреєстрації 0124U001094).

Зв'язок з науковими програмами підкреслює практичну орієнтацію роботи, оскільки дослідження проводилися в рамках держбюджетних і міжнародних проектів, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України та партнерами. Це забезпечує інтеграцію результатів у реальні системи, такі як телемедицина та моніторинг довкілля.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень дисертаційної роботи Кривенка С.С. забезпечується великим обсягом експериментального матеріалу, багатостороннім аналізом літературних джерел та використанням адекватних методів дослідження. Автор аналізує сучасні методи фільтрації та стиснення, критерії якості, візуальну якість та шуми на зображеннях ДЗЗ і медичної діагностики. Літературний огляд охоплює роботи від класичних (наприклад, стандарт JPEG) до сучасних (нейронні мережі для фільтрації, метрики PSNR-HVS-M та HaarPSI).

Для вирішення завдань використано **теоретичні методи**: теорію ймовірностей для моделювання шумів, математичну статистику для прогнозування MSE, нелінійну фільтрацію сигналів, числове моделювання в Matlab/Simulink та машинне навчання (SVM, CNN). Обґрунтованість результатів підтверджується систематизованим підходом до досягнення мети та вирішення завдань, включаючи двоетапні процедури стиснення та адаптивну фільтрацію.

Наукові положення, висновки та рекомендації достовірні, оскільки узгоджуються з висновками інших дослідників і теоретичними основами. Результати апробовано на міжнародних конференціях і опубліковано в авторитетних виданнях. Автор використовує метрики якості (PSNR, PSNR-HVS-M, MSSIM), деякі з них враховують візуальну якість, і демонструє їх ефективність на тестових зображеннях з баз TID2013, LIVE тощо. **Достовірність** підтверджується експериментами з реальними даними ДЗЗ (наприклад, зображення FR01-FR04 з радарними синтезованою апертурою) і медичними зображеннями (рентгенівські знімки зубів, КТ, МРТ). Автор проводить статистичний аналіз, показуючи, що прогнози MSE точні з коефіцієнтом детермінації до 0,98 для DCT-кодерів. Висновки про оптимальний крок квантування при стисненні зашумлених зображень обґрунтовано графіками залежностей метрик від ПКС, з прикладами для шумів з середньоквадратичним відхиленням від 5 до 20. **Обґрунтованість** також забезпечується використанням SVM-класифікаторів для детектування текстур (точність до 90%), Level Set для сегментації та CNN для фільтрації корельованого шуму. Автор порівнює запропоновані методи з базовими (BM3D, NLM), показуючи перевагу в PSNR на 1-3 dB.

Експериментальна перевірка включає моделювання різних типів шумів (адитивний, мультиплікативний, Пуассонівський) і оцінку візуальної якості за HVS-моделями. Висновки про двоетапне стиснення (спочатку прогноз, потім налаштування) підтверджено на гіперспектральних даних AVIRIS, де ступінь стиснення перевищує 10:1 без візуально помітних втрат. Обґрунтованість наукових положень також впливає з використання розрахунків у Matlab для виведення формул прогнозування MSE_{HVS-M} , де враховано локальний вміст зображення (блоки 8x8). Автор демонструє, що прогноз точний для 80-90% блоків, з помилкою <5%. Висновки про адаптивне стиснення багатоканальних зображень обґрунтовано аналізом кореляції каналів, з рекомендаціями щодо групування компонент для підвищення ефективності на 15-20%.

Рекомендації щодо прискорення обробки (використання GPU для CNN) достовірні, оскільки перевірені на мобільних пристроях, де час обробки зменшується в 3-5 разів. Загалом, наукові положення обґрунтовані експериментальними даними, математичними моделями, статистичним аналізом

та порівнянням з літературою, що робить висновки достовірними та надійними для практичного застосування.

Структура дисертації Кривенка С.С. повністю узгоджується з її назвою, метою і завданнями дослідження. Робота складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та 13 додатків. Обсяг – 465 сторінок, з них 296 основного тексту, 84 рисунки, 54 таблиці, список літератури з 317 джерел на 40 сторінках, додатки на 102 сторінках, що відповідає вимогам до докторських дисертацій.

У вступі (стор. 26-36) обґрунтовано актуальність, сформульовано мету (розробка методів прогнозування та інтелектуальної обробки зображень для ДЗЗ та медицини), завдання (аналіз шумів, розробка фільтрів, прогнозування якості, стиснення, прискорення), об'єкт (зображення ДЗЗ та медичні) і предмет (методи фільтрації та стиснення), методи (машинне навчання, статистика, моделювання), наукову новизну та практичне значення, наведено апробацію і публікації.

У першому розділі (стор. 37-77) проведено аналіз задач фільтрації та стиснення, критеріїв якості (MSE, PSNR, SSIM), візуальної якості (HVS-моделі), шумів (адитивний, мультиплікативний, Пуассонівський) і методів фільтрації/стиснення (DCT, wavelet, CNN). Автор визначає цілі дослідження, аналізує обмеження існуючих підходів, як низька адаптивність до сигнально-залежних завад.

У другому розділі (стор. 78-143) розглянуто інтелектуальну фільтрацію: детектування текстур за допомогою SVM і НМ з комбінацією локальних параметрів (градієнт, ентропія), адаптивну фільтрацію сигнально-залежних і корельованих завад за допомогою CNN, прогнозування ефективності фільтрації для метрик PSNR-HVS-M. Автор наводить алгоритми, формули та графіки, показуючи покращення на 2-4 dB порівняно з базовими методами.

У третьому розділі (стор. 144-211) розроблено двоетапні процедури забезпечення якості (прогноз та налаштування), стиснення з непомітними спотвореннями (поріг візуальної видимості), адаптивне стиснення багатоканальних зображень ДЗЗ (групування каналів за кореляцією), аналіз дивних зображень (аномалії в монотонності кривих швідкості-спотворення). Включено математичні моделі та експерименти на даних Landsat, Sentinel.

У четвертому розділі (стор. 212-249) проаналізовано стиснення зашумлених зображень для DCT-кодерів, характеристики спотворень (залежність від фактора якості), прогнозування MSE і візуальної якості (MSE_{HVS-M} в блоках 8×8). Автор виводить формули прогнозу, демонструє точність на тестових базах, рекомендує фактор якості для різних шумів.

У п'ятому розділі (стор. 250-281) розглянуто стиснення медичних зображень, незашумлених і зашумлених (рентген, КТ, МРТ), удосконалення методів для шумів різної природи (Пуассонівський в КТ), рекомендації щодо візуальної якості. Включено приклади з клінічних даних.

У шостому розділі (стор. 282-319) описано програмно-алгоритмічні реалізації, прискорення стиснення і фільтрації (паралелізація), автоматичне стиснення при детектуванні цілей, НМ для фільтрації корельованого шуму. Автор наводить часові оцінки.

У висновках (стор. 320-322) підсумовано результати, підтверджено наукову новизну і практичне значення. Додатки містять таблиці даних, графіки

та додаткову інформацію.

Структура є логічною - від аналізу проблеми до реалізації, з поступовим ускладненням від теорії до практики. Зміст повний, з детальними формулами, алгоритмами, експериментами.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження не викликає сумнівів і полягає в наступному:

1. 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.

2. 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 близько 0,91 для деяких метрик, що враховують візуальну якість.

3. 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 дисперсію залишкових помилок майже на порядок порівняно з одноетапними підходами.

4. 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.

5. Удосконалено методи обробки зашумлених медичних зображень шляхом аналізу просторово-спектральних характеристик шумів, що дозволило забезпечити автоматичне придушення шуму з досягнення приросту PSNR до 2,7 дБ відносно існуючих підходів.

6. 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 діагностично цінної інформації.

Практичне значення роботи полягає в наступному:

1) 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;

2) запропоновано використовувати метод Level Set для локалізації неоднорідностей зображень, який дозволяє адаптивно застосовувати частотно-залежну фільтрацію до однорідних ділянок, забезпечуючи збереження важливих деталей;

3) розроблено модифікацію вейвлет-фільтра Хаара та інтегрально-диференціального методу, які показали найкращі результати як за кількісними

метриками (MSE, MSSIM), так і за якістю збереження меж;

4) розроблено метод прогнозування якості фільтрації зображень, спотворених шумами різної природи, що забезпечує високу точність при прогнозуванні значень приросту якості зображень;

5) запропоновано двоетапну процедуру стиснення зображень, яка дозволяє забезпечити бажаний рівень якості зображень згідно з метриками PSNR-HVS-M і PSNR, що дозволяє покращити точність на порядок в порівнянні із одноетапними методами і прискорити обробку в рази у порівнянні з ітераційними процедурами;

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

7) 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;

8) запропоновано методику поканального аналізу мульти та гіперспектральних даних, що дозволяє визначити оптимальні параметри стиснення для кожного спектрального каналу, забезпечивши покращення результатів класифікації завдяки придушенню шумів і високочастотних варіацій.

Основні результати дисертаційної роботи Кривенка С.С. викладено в 71 науковій роботі, у тому числі в 4 монографіях (наприклад, "Environmental Applications of Remote Sensing"), 15 статтях у наукових виданнях категорій А та Б (як "Telecommunications and Radio Engineering"), 14 статтях в іноземних виданнях (Scopus, 7 в журналах квартилів Q1 та Q2, як Remote Sensing та Applied Sciences), 38 тезах конференцій (27 індексовано в Web of Science та Scopus). Це свідчить про повноту викладення результатів, з охопленням всіх завдань.

Результати апробовано на конференціях: CAD systems in Microelectronics (2013, 2021, 2023), Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні (2016-2022), Problems of Infocommunications (2015-2018), Mediterranean Conference on Embedded Computing (2013, 2017-2023), International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (2014-2020), Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (2017) та інші. Публікації детально описують методи, з графіками та таблицями.

Повнота забезпечена, оскільки публікації охоплюють усі розділи дисертації.

Мова дисертації Кривенка С.С. – українська, стиль науковий, чіткий і логічний. Текст добре структуровано, терміни (як MSE, PSNR-HVS-M) використовуються послідовно, ілюстрації та таблиці сприяють розумінню. Немає стилістичних помилок, мова доступна для спеціалістів у радіотехніці та обробці зображень

Академічна доброчесність

В дисертації Кривенка С.С. не виявлено академічного плагіату, фабрикацій, фальсифікацій або інших проявів академічної недоброчесності.

Основні зауваження щодо дисертаційної роботи:

Даючи позитивну оцінку науковим здобуткам автора та їх практичній значущості, вважаю за необхідне вказати на певні зауваження та дискусійні

положення, які потребують додаткових пояснень та уточнень.

1) у першому розділі дисертації (стор. 37-77), де проводиться аналіз задач фільтрації та стиснення зображень, автор фокусується на класичних шумах, таких як адитивний, мультиплікативний та Пуассонівський. Однак, дискусійним є відсутність детального розгляду сучасних типів шумів, характерних для новітніх сенсорів у ДЗЗ, наприклад, шумів від квантування в квантових датчиках або артефактів від компресії в реальному часі на борту супутників. Було б доцільно доповнити аналіз прикладами з даних Sentinel-3 або MODIS, де такі шуми впливають на точність прогнозування. Це могло б посилити актуальність розділу, враховуючи швидкий розвиток нових технологій у зондуванні, і надати рекомендації щодо адаптації запропонованих методів до цих шумів, що підвищило б універсальність моделі;

2) у другому розділі автор пропонує метод детектування текстур за допомогою SVM і нейронних мереж з комбінацією локальних параметрів. Дискусійним положенням є обмежене порівняння з новітніми архітектурами, такими як Transformer-based моделі (наприклад, ViT для сегментації), які демонструють вищу ефективність у обробці просторово-корельованих завад. Автор показує точність 90%, але не наводить статистичну значимість порівнянь з BM3D чи NLM на великих датасетах, як COCO або ImageNet з доданими шумами;

3) третій розділ присвячений розробці двоетапної процедури забезпечення візуальної якості при стисненні, включаючи адаптивне стиснення багатоканальних зображень ДЗЗ. Зауваження стосується недостатньої деталізації групування каналів за кореляцією: автор згадує кореляцію, але не уточнює алгоритми, як PCA чи ICA, для зменшення розмірності в гіперспектральних даних AVIRIS;

4) у четвертому розділі, присвяченому стисненню зашумлених зображень для DCT-кодерів, автор виводить формули прогнозування MSE_{HVSIM} . Дискусійним положенням є фокус на блоках 8x8 без розгляду адаптивного розміру блоків (як у AV1 кодеку), що могло б покращити точність для неоднорідних зображень ДЗЗ. Зауваження: помилка прогнозу <5% демонструється на тестових базах, але не на реальних медичних даних з варіабельним шумом, як у КТ з низькою дозою опромінення;

5) п'ятий розділ розглядає стиснення медичних зображень з урахуванням шумів. Зауваження полягає в обмеженому наборі модальностей: автор фокусується на рентгені, КТ, МРТ, але упускає УЗД та PET;

6) у шостому розділі описано програмно-алгоритмічні реалізації та прискорення. Дискусійним положенням є інтеграція з YOLO для детектування цілей без аналізу впливу стиснення на точність детекції (mAP), особливо в зашумлених ДЗЗ-зображеннях. Також відсутній відкритий репозиторій для відтворюваності, що важливо для наукової спільноти.

Зазначені зауваження не є принциповими та істотно не впливають на високу оцінку дисертаційної роботи, а також не знижують її наукової та практичної цінності. Вони можуть слугувати основою для подальших досліджень автора, наприклад, у розширенні методів на нові модальності чи інтеграції з новітніми ШІ-технологіями. Загалом, дисертація демонструє глибоке розуміння проблеми та пропонує інноваційні рішення, що заслуговують на

схвалення.

Реферат повністю відповідає змісту дисертації, охоплюючи мету, завдання, новизну, практичне значення та висновки з кожного розділу. Він стисло викладає ключові результати, як методи прогнозування та фільтрації, без відхилень.

Загальний висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота Кривенка Сергія Станіславовича на тему «Методи прогнозування та інтелектуальної обробки зображень у системах дистанційного зондування та медичної діагностики» є завершеною науковою працею, що виконана на високому науковому і методичному рівнях, в якій представлено нові наукові результати, спрямовані на вирішення важливої науково-практичної проблеми ефективного інтелектуального оброблення зображень дистанційного зондування Землі та медичної діагностики в умовах присутності складних завдань і обмежених обчислювальних ресурсів з урахуванням візуальної якості. За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, змістом та оформленням дисертаційна робота повністю відповідає п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабміну України № 1197 від 17.11.2021 року, а її автор Кривенко Сергій Станіславович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент:

професор кафедри математичного
моделювання та аналізу даних навчально-наукового
інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту
Харківського національного
університету ім. В.Н. Каразіна
доктор технічних наук, професор



Володимир БАРАНІК

24.10.2025 року

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу