

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Коваленко Богдана Віталійовича
на тему «**Багатоетапна обробка та стиснення зображень BPG кодером з
прогнозуванням параметрів**»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дослідження

Різноманітні системи та сенсори візуалізації отримують сьогодні величезну кількість зображень, які досліджуються в різних сферах, включаючи дистанційне зондування, медичну діагностику тощо, окрім цього розмір зображень також збільшується завдяки кращій роздільній здатності сенсорів. Результатом цих тенденцій є стрімке збільшення обсягу отриманих даних. Це, в свою чергу, призводить до проблем, коли отримані зображення необхідно передавати лініями зв'язку, зберігати та/або розповсюджувати.

Стиснення зображень є традиційним способом вирішення вищезгаданих проблем. Відомі методи стиснення зображень можна поділити на методи стиснення без втрат та з втратами. Перша група методів дає можливість зберегти всю інформацію на зображеннях, але досягнутий коефіцієнт стиснення не може бути достатньо великим, що обмежує практичне застосування відповідних методів. Крім того, коефіцієнт стиснення не можна варіювати і він залежить від використовуваного кодера та складності зображення. Це пояснює широке застосування методів стиснення з втратами. Одним із пріоритетних завдань при цьому є забезпечення компромісу між високим коефіцієнтом стиснення та збереженням достатньої якості зображень для їх подальшого аналізу й використання.

Оскільки при стисненні з втратами існує певна різниця між оригінальним і декомпресованим зображеннями, виникає задача забезпечення відповідного компромісу між характеристиками спотворень, що вносяться стисненням з втратами, та досягнутою якістю. Наявність шуму ще один аспект, який потрібно враховувати оскільки він може суттєво вплинути на результат стиснення. У цьому контексті визначальне значення має точний вибір параметрів стиснення, зокрема параметра, що контролює ступінь стиснення (ПКС), для досягнення так званої оптимальної робочої точки, яка дозволяє отримати найкраще співвідношення між коефіцієнтом стиснення та якістю.

Актуальність дослідження також зумовлена зростаючим інтересом до новітніх методів кодування, зокрема до BPG (Better Portable Graphics) кодера, який демонструє переваги над традиційними форматами, такими як JPEG, завдяки здатності забезпечити вищу якість за того самого або меншого розміру файлу. Водночас, відсутність ефективних методів прогнозування якості стисненого зображення, оптимального значення ПКС, а також оцінки

середньоквадратичної похибки ускладнює широке практичне впровадження таких технологій.

Отже, розробка нових методів прогнозування параметрів стиснення з втратами, зокрема для VPG кодера, з урахуванням типу зображення, рівня шуму та особливостей попередньої обробки, є актуальним науковим завданням, що має вагоме практичне значення.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові положення, викладені в дисертаційній роботі Коваленка Богдана Віталійовича, є обґрунтованими. Проведені теоретичні, експериментальні та прикладні дослідження дозволили успішно вирішити актуальну науково-технічну задачу, що полягає в розробці ефективних методів обробки та стиснення зображень з втратами, а також у забезпеченні можливості прогнозування параметрів їх якості. Отримані результати становлять вагому теоретичну та практичну базу для створення методів стиснення з втратами із заданими характеристиками якості та ступеня стиснення.

Достовірність основних положень, викладених у роботі, підтверджується наступним:

- висновками, отриманими автором при аналізі теоретичних робіт та практичних напрацювань за обраною тематикою;
- застосування у дослідженні загальних та спеціальних наукових методів: математичного та чисельного моделювання, теорії ймовірностей і математичної статистики, методів машинного навчання, інших;
- результати дисертаційної роботи використано в Інституті радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". Для вказаних вище фактів, наявні відповідні акти-впровадження.

Отже, наведені аргументи свідчать про те, що основні положення дисертації достовірні й науково обґрунтовані.

Новизна основних наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Вагомість наукової новизни підтверджують наступні одержані результати:

1. Вперше досліджено характеристики VPG кодера під час його роботи в різних умовах, таких як робота з напівтоновими та кольоровими зображеннями у випадках наявності шуму на зображенні. Це дозволило сформулювати та надати поради щодо стиснення зображень з втратами з використанням модифікацій VPG кодера.

2. Отримало подальший розвиток використання оптимальної робочої точки (ОРТ) для різних кодерів, а саме вперше продемонстровано можливість присутності такої точки для стиснення VPG-кодером напівтонових та

кольорових зображень у випадках ураження цих зображень як адитивним, так і сигнально-залежними шумами. Це дало змогу розрахувати ПКС для досягнення максимального ефекту фільтрації (максимальної якості стисненого зображення у відповідності до різних метрик).

3. Вдосконалено метод прогнозування існування ОРТ в застосуванні до VP8-кодера для півтонових і кольорових зображень, спотворених шумом; основною різницею з попередніми методами є те, що запропонований метод вперше використовуються до VP8-кодера і бере до уваги особливості стиснення для цього кодера; це дало змогу надати обґрунтовані рекомендації з вибору параметра Q для досягнення компромісу між якістю стиснутих зображень і коефіцієнтом стиснення.

4. Вдосконалено метод прогнозування середньоквадратичної похибки (СКП); головною різницею є попередній аналіз вхідних параметрів, результатом цього аналізу став список параметрів, використання яких може забезпечити кращу точність прогнозування (зокрема із застосуванням нейромережі), що дало змогу підвищити точність прогнозування без використання декількох ітерацій стиснення.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Коваленко Богдана Віталійовича повністю відповідає стандарту вищої освіти за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Методи і підходи дослідження, які застосовані здобувачем, не містять суперечностей, відповідають проблемі, що вирішується за допомогою поставлених завдань. Можна зробити висновок, що порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Використання в тексті результатів інших вчених супроводжується відповідними посиланнями, посилання на літературні джерела коректні. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, що опубліковані у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, логічно структурована та доступно викладена. Основний текст підготовлено якісною технічною мовою, з використанням професійної термінології. Наукова робота достатньо забезпечена рисунками та таблицями.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг роботи становить 206 сторінок друкованого тексту, з яких основний текст на 165 сторінок. Дисертація містить 83 рисунків та 28 таблиць.

У вступі дисертаційної роботи автором обґрунтовано актуальність теми запропонованого дослідження. Визначено мету дослідження, що відповідає

обраній темі, і яку розкрито в завданнях дослідження. Предмет дослідження узгоджено з назвою роботи та об'єктом дослідження. Визначено наукову новизну та практичне значення проведеного дослідження. Відображено результати апробації отриманих результатів.

У **першому розділі** автором розглянуто основні підходи до обробки та стиснення зображень. Описано методи стиснення з втратами і без втрат, вимоги до стиснення з втратами, а також вплив шуму на його ефективність. Проаналізовано існуючі типи кодерів, включаючи ті, що базуються на дискретному косинусному перетворенні, вейвлет-перетворенні та машинному навчанні. Проведено порівняльний аналіз їх ефективності та сформульовано основні завдання дослідження.

У **другому розділі** детально досліджено характеристики стиснення з втратами за допомогою VPG кодера. Розглянуто його роботу при стисненні як напівтонових, так і кольорових зображень, зокрема в умовах, коли зображення містять різні типи шуму – адитивний білий гаусовий та пуассонівський. Проведено серію експериментів, які показали, як ці шуми впливають на ефективність стиснення та якість відновлених зображень. Особлива увага приділена поняттю оптимальної робочої точки (OPT), її існуванню для різних метрик якості (PSNR, MS-SSIM, PSNR-HVS-M, PSNR-HA, MDSI) та її залежності від складності зображення і рівня шуму. Також проаналізовано ефективність стиснення кольорових зображень із використанням різних режимів субдискретизації кольоровості. Окремий акцент зроблено на вивченні стиснення зображень із пуассонівським шумом та оцінці ефективності попередньої обробки з використанням перетворення Анскомба порівняно з прямим стисненням. Наведено аналіз спотворення, які вносить VPG кодер у процесі стиснення, як для зображень без шуму, так і з ним.

Третій розділ присвячено розробці та удосконаленню методів прогнозування оптимальної робочої точки при роботі з напівтоновими та кольоровими зображеннями. Запропоновано підхід, що базується на апроксимації емпіричних залежностей між статистичними характеристиками зображення та метриками якості після стиснення. Проаналізовано точність прогнозування для напівтонових зображень із різними типами шуму, а також модифіковано метод для роботи з кольоровими зображеннями з урахуванням особливостей форматів кольоровості. Окрему увагу приділено практичним аспектам прийняття рішень на основі прогнозу. Результати підтверджують придатність методу для практичного застосування.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці методу прогнозування середньоквадратичної помилки (СКП), яка виникає при стисненні зображень за допомогою VPG кодера. Розглядаються передумови та особливості такого прогнозування. Основна увага приділена розробці алгоритмів, що дозволяють передбачати якість стиснення ще до його виконання. Розроблені декілька методів прогнозування заснованих на різних підходах, зокрема на основі локальної активності зображення, ентропії, а також із використанням кількох параметрів складності зображення (зокрема, контрасту, енергії, кореляції тощо). Окрему увагу приділено дослідженню

вплив параметра Q на значення СКП і доведено, що якість стиснення суттєво залежить не лише від цього параметра, а й від характеристик самого зображення. Для підвищення точності прогнозування розглянуто два багатопараметричні підходи – зважену суму характеристик і використання простої нейронної мережі.

Загальні висновки дисертаційного дослідження висвітлюють основні отримані наукові результати, зокрема нові підходи до ефективного стиснення зображень з втратами та прогнозування параметрів їхньої якості, а також містять рекомендації щодо їх практичного застосування.

У **додатках** наведено перелік наукових публікацій здобувача за темою дисертації, а також акти впровадження результатів: в Інституті радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Наукові результати дисертації висвітлені у 19 роботах, 2 статті у наукових періодичних виданнях іншої держави (Q1), 6 у наукових журналах України, 1 з яких індексується в SCOPUS; 7 – публікації у матеріалах конференцій, серед яких 6 у матеріалах міжнародних англomовних конференцій, 4 з яких включені до SCOPUS; та 4 колективні монографії.

Публікації Коваленко Богдана Віталійовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувача до поданих наукових публікацій є вагомим. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Якість і кількість публікацій повністю відповідає вимогам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У другому розділі, під час аналізу характеристик стиснення з втратами за допомогою BPG кодера, зокрема при демонстрації існування оптимальної робочої точки (ОРТ), класифікація зображень на прості та складні здійснювалася винятково на основі візуального аналізу. Для підвищення точності та обґрунтованості класифікації доцільно було б використати чисельні метрики складності, такі як ентропія, енергетичний аналіз у частотній області, градієнтна варіативність або інші формалізовані параметри.

Застосування таких підходів, як показано в подальших розділах, дозволяє забезпечити більш об'єктивну оцінку складності зображень і зробити аналіз ефективності стиснення статистично достовірнішим.

2. У другому розділі було розглянуто спотворення, що вносяться ВРГ кодером у процесі стиснення, зокрема в умовах, коли на зображенні вже присутній шум (так звані комбіновані шуми). Проте аналіз був обмежений лише випадком додавання адитивного білого гаусового шуму. Інші типи зашумлення, зокрема сигнально-залежний шум - наприклад, пуасонівський, який також аналізувався в іншому підрозділі цього ж розділу, не були враховані при дослідженні комбінованих спотворень. Такий підхід звужує повноту аналізу, оскільки сигнально-залежні шуми мають інші властивості впливу на якість стиснення, зокрема, можуть змінювати положення оптимальної робочої точки залежно від вмісту зображення.

3. В третьому розділі в параметрах $P_{2\sigma}$ та $P_{2,7\sigma}$ не надано достатнього обґрунтування вибору порогів 2σ та $2,7\sigma$, зокрема, чи вони мають статистичне або емпіричне підґрунтя, чи були підібрані експериментально. Було б доцільно пояснити, чому ці значення виявилися найбільш придатними для оцінки локальної активності зображення, чи проводилось порівняння з іншими можливими порогамі, а також чи були досліджені межі чутливості обраних параметрів до рівня шуму в зображеннях.

4. У четвертому розділі під час порівняння двох підходів до прогнозування (рис. 4.8) доцільно було б більш акцентовано представити чисельні показники точності, такі як R^2 та RMSE, безпосередньо в основному тексті, а не лише у вигляді діаграм розсіювання. Це дозволило б чіткіше продемонструвати переваги одного методу над іншим. Оскільки дані свідчать про значну різницю у точності (наприклад, $R^2 = 0,9526$ проти $0,8672$), варто було би подати ці значення в окремій таблиці або порівняльному огляді, щоб підсилити аргументацію на користь одного з методів.

Незважаючи на окремі дискусійні питання, важливо відмітити, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційне дослідження Коваленко Богдана Віталійовича на тему **«Багатоетапна обробка та стиснення зображень ВРГ кодером з прогнозуванням параметрів»** не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, та повністю відповідає вимогам п. 6-9 «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 р. № 44.

Здобувач **Коваленко Богдан Віталійович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент –

кандидат технічних наук,

старший дослідник,

учений секретар

Державної установи «Науковий центр
аерокосмічних досліджень Землі Інституту
геологічних наук Національної
академії наук України»

Анна ХИЖНЯК

«28» травня 2025 р.

Підпис Анни Василівни ХИЖНЯК засвідчую:
завідувачка відділу кадрів ДУ «Науковий
центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН
НАН України»



Любов БОГОСОВА