

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Коваленка Богдана Віталійовича
на тему «Багатоетапна обробка та стиснення зображень BPG кодером з прогнозуванням параметрів», яку представлено на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 17 - Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації

Розвиток аерокосмічних засобів дистанційного зондування привів до суттєвого підвищення роздільної здатності отримуваних зображень, яка сьогодні досягає вже долей метрів як у оптичному, так і у радіолокаційному діапазонах радіохвиль. Висока оглядовість сучасних засобів дистанційного зондування забезпечує отримання зображень ділянок поверхні землі площею до сотен квадратних кілометрів. У поєднанні з багатоканальністю отримуваної інформації це приводить до величезного об'єму пам'яті, необхідної для зберігання аерокосмічних знімків, та необхідністю постійного підвищення швидкості каналів передачі даних дистанційного зондування. Усі ці фактори привели до створення цілої низки методів та алгоритмів стиснення інформації. Розроблені для оброблення нескладних зображень алгоритми JPEG і JPEG2000 вже не задовольняють сучасним вимогам (за ступенем компресії та рівнем втрат інформації). Розвиток стандарту стиснення відео HEVC призвів до створення трьох стандартів стиснення відеокадрів або зображень – BPG, HEIF та AVIF. Але внаслідок певної закритості інформації щодо BPG, HEIF і AVIF їх властивості залишаються не до кінця зрозумілими, особливо для вирішення задач передачі даних аерокосмічного дистанційного зондування по лініям зв'язку, їх зберігання, архівування тощо. Аналогічні задачі виникають також у медичній діагностиці та телемедицині. Тому дисертаційна робота, яка присвячена дослідженню властивостей сучасних кодерів, зокрема BPG та визначенню можливості прогнозування ефективності їх застосування є безсумнівно актуальною.

Обґрунтованість наукових результатів дисертації, їх достовірність та новизна

В роботі Коваленка Богдана Віталійовича проведено ретельний аналіз властивостей кодера BPG у застосуванні до зображень, що мають один чи три канали. Автор широко використовує методи чисельного моделювання, теорії ймовірності та математичної статистики. Фактично вирішена складна науково-технічна задача розробки ефективного стиснення з втратами зображень, на яких шум може бути як візуально помітним, так і непомітним. При цьому автор завжди використовує не одне чи два, а групу тестових зображень (а при вирішенні задач регресійними способами і більшу кількість тестових зображень) для того, щоб бути впевненим у працездатності розроблених методів та алгоритмів, їх придатності для різних практичних ситуацій. Привертає увагу концепція вибору оптимальної робочої точки (ОРТ) та її всебічний аналіз, який дозволяє дати обґрунтовані рекомендації щодо вибору (автоматичного встановлення) параметру, що керує стисненням (ПКС). Можливість існування ОРТ була відома і до початку досліджень Коваленка Б.В., але проблема полягає в тому, що способи її розрахунку для різних кодерів є дуже різними. Наприклад, навіть для JPEG, що існує більше 30 років, на даний час не запропоновані прості та швидкі алгоритми стиснення в ОРТ.

На мій погляд, новизна отриманих у роботі результатів полягає у наступному:

1. Автором вперше ретельно досліджено характеристики BPG кодера для різних умов його роботи, включаючи стиснення напівтонових та кольорових зображень, для яких шум на зображенні може бути як візуально помітним, так і невидимим. Проведене дослідження дозволило надати обґрунтовані рекомендації щодо встановлення ПКС для різних модифікацій BPG-кодера, включаючи алгоритми автоматичного встановлення ПКС.

2. Отримало подальший розвиток використання концепції ОРТ, продемонстровано можливість присутності такої точки для випадків застосування BPG-кодеру до напівтонових та кольорових зображень для випадків їх ураження адитивним чи сигнально-залежним шумом з апіорно відомими чи достатньо точно оціненими характеристиками. Доведено, що за умови стиснення в ОРТ досягається максимальний ефекту фільтрації у відповідності до традиційних метрик та метрик візуальної якості.

3. Вдосконалено метод прогнозування існування ОРТ для різних умов застосування BPG-кодеру; доведено, що відповідний вибір ПКС дозволяє досягти компроміс між якістю стиснутих зображень і коефіцієнтом стиснення (КС).

4. Нарешті, автором вдосконалено метод прогнозування середньоквадратичної похибки (СКП); показано, що існує декілька параметрів, здатних характеризувати складність зображення і завдяки цьому коригувати прогноз, покращуючи таким чином його точність. Перевагою цього методу є те, що завдяки прогнозуванню немає необхідності виконувати стиснення та декомпресії декілька разів.

Отримані автором результати мають і безумовну **практичну цінність**, адже випадки, коли зображення спотворено завадами, є досить типовими як для звичайних зображень, знятих в поганих умовах, так і для багатьох типів даних дистанційного зондування та медичної діагностики.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Напрямок досліджень у дисертаційній роботі Коваленка Богдана Віталійовича відповідає стандарту вищої освіти за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, що містить результати комплексу досліджень. Автор зробив вагомий внесок у розробку методів стиснення зображень для телекомунікаційних та радіотехнічних застосувань.

Аналіз публікацій та самої дисертації довів, що вона є результатом самостійних досліджень автора і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Якщо Коваленко Б.В. використовує ідеї, результати і тексти інших авторів, то вони мають належні посилання на відповідні джерела. Зазначу також, що автором опубліковані роботи в таких журналах (наприклад, швейцарського видавництва MDPI), де статті проходять дуже жорстке рецензування.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Коваленка Б.В. написана українською мовою, що відповідає загальному стилю наукових досліджень із використанням термінології, що є стандартною для даної області. Дисертаційна робота розкриває головні ідеї та здобутки автора. Структура роботи є логічною та типовою для дисертацій з технічних дисциплін - дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Вимоги до об'єму дисертації автором витримані.

Вступ включає обґрунтування актуальності теми дослідження, формулювання мети і задач дослідження, опис наукової новизни та практичного значення результатів. Також наведено дані щодо апробації результатів дисертації та особистого внеску автора.

Перший розділ вміщує аналіз сучасного стану в області обробки зображень загалом та їх стиснення зокрема. Сформульовано основні вимоги, описано відомі методи та їх недоліки, надано критерії, що зазвичай використовуються.

Другий розділ присвячений аналізу основних характеристик BPG-кодеру у застосуванні до зображень в градаціях сірого та кольорових (триканальних) зображень. Головну увагу приділено аналізу залежності показників якості зображення від ПКС для різних зображень та їх властивостей. Проведено дослідження характеристик спотворень, що вносяться кодером за різних умов.

Третій розділ головним чином присвячений розробці методів прогнозування існування ОРТ та параметрів в ній. Послідовно розглянуті методи прогнозування ОРТ для напівтонових та кольорових зображень для різних характеристик завад. Можна вважати, що автором оптимізовано підхід до прогнозування. Привертає увагу, що автору вдається прогнозувати характеристики стиснення не тільки в самій ОРТ, але й в її околі, що важливо для практики.

Четвертий розділ присвячений розробці підходів до прогнозування середньоквадратичної похибки (СКП), що вноситься BPG-кодером. Виявлено залежність між ентропією зображення та СКП внесених спотворень. Показано, що підхід є досить універсальним.

У **висновках** наведено підсумок досліджень як з теоретичної, так і практичної точки зору.

Дисертаційна робота оформлена у повній відповідності до вимог, зазначених у наказі МОН України від 12 січня 2017р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Дисертація базується на достатній кількості публікацій автора - 19 наукових працях, серед яких 3 статті у наукових періодичних виданнях (з них 2 статті у виданнях квартилю Q1); 5 статей у фахових наукових журналах, що видаються в Україні. Автор також має 7 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій, з них 6 англomовні, та чотири розділи у колективних монографіях. Усі ці публікації безпосередньо пов'язані із дисертацією, в них не виявлено порушень принципів академічної доброчесності та плагіату. Тож результати, що наведені в дисертації, належним чином висвітлені у публікаціях здобувача та апробовані.

Недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи

1. У роботі не розглянуто ефективність застосування досліджуваного кодеру до «сирих» даних дистанційного зондування, які власне передаються з аерокосмічних носіїв, зокрема даних квадратурних (I, Q) каналів РСА, на основі котрих в процесі оброблення формуються зображення поверхні Землі, у т.ч. у синтезованих кольорах.

2. Якщо мова йде про дані дистанційного зондування, то доцільно було б проаналізувати випадки двох або більшої кількості каналів, що відповідають багатополаризаційним радіолокаційним та мультиспектральним зображенням. При цьому слід враховувати кореляційні зв'язки між даними у каналах.

3. Крім того, для триканальних даних автором припускається, що характеристики завад ідентичні в усіх компонентах зображення, що не завжди відповідає дійсності, особливо при перетворенні RGB – представлення інформації у YCbCr.

4. Автор розглядає один з типів сигнально-залежних завад (Пуасонівський шум), але не аналізує загальні випадки сигнально-залежних завад, наприклад мультиплікативний шум, що є характерним для радіолокаційних зображень.

5. З результатів роботи незрозуміло, в яких випадках BPG-кодер має суттєві переваги над JPEG, JPEG2000 та іншими сучасними кодерами.

Втім, вказані недоліки та наведені зауваження не зменшують загалом позитивну оцінку дисертації, не ставлять під сумнів її наукову новизну та практичну цінність.

Загальний висновок

На мій погляд, дисертаційна робота Коваленка Богдана Віталійовича на тему "Багатоетапна обробка та стиснення зображень BPG кодером з прогнозуванням параметрів" є завершеним дослідженням, яке виконане на високому науковому рівні, що не порушує принципів академічної доброчесності. Дисертація вміщує нові теоретичні та практичні

результати, що відносяться до галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації. Дисертація присвячена розв'язанню актуальної задачі та відповідає вимогам, що зазначені в пунктах 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.

Тож вважаю, що здобувач Коваленко Богдан Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Рецензент - доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри аерокосмічних
радіоелектронних систем Національного
аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»



Анатолій ПОПОВ

«28» травня 2025 р.