

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Коваленко Богдана Віталійовича* на тему «Багатоетапна обробка та стиснення зображень VRG кодером з прогнозуванням параметрів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

На засіданні кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського за участі: голови засідання – канд. техн. наук, доцент Єремеева О.І., д-р техн. наук, професор, зав. кафедри Лукін В.В., канд. техн. наук, доцент Васильєва І.К., канд. техн. наук, доцент Зряхов М.С., канд. техн. наук, доцент Хуторненко С.В., канд. техн. наук, доцент Воробйов А.В., д-р техн. наук, професор Тоцький О.В., канд. техн. наук, доцент Абрамова В.В., канд. техн. наук, доцент Абрамов С.К., канд. техн. наук, доцент Рубель О.С., канд. техн. наук, доцент Проскура Г.А., канд. техн. наук, доцент Науменко В.В., канд. техн. наук, ст. викладач Кожемякіна Н.В., д-р філос. наук, ст. викладач Рубель А.С., асистент Коваленко Б.В., аспірант Ребров В.С., аспірант Цехмістро Р.В., а також запрошених фахівців: доктора технічних наук, професора кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Бутенко О. С.; доктора технічних наук, професора кафедри аерокосмічних радіоелектронних систем, Попов А. В., відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Коваленко Богдана Віталійовича* на тему «Багатоетапна обробка та стиснення зображень VRG кодером з прогнозуванням параметрів».

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Стрімкий розвиток сенсорів для фотозйомки вплинув на найрізноманітніші галузі, такі як дистанційне зондування, медицина і соціальні мережі, а поширення смартфонів і постійна конкуренція виробників у сфері якості фотозйомки надала нові можливості пересічним користувачам. Як результат, це призвело до значного збільшення кількості одержуваних зображень і підвищення роздільної здатності відповідних систем формування зображень (СФЗ).

Наразі використовується безліч систем і комплексів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і реалізується безліч проектів. Основна причина полягає в тому, що системи і комплекси ДЗЗ дозволяють оперативно надавати цінні дані для екологічного моніторингу, сільського і лісового господарства та інших галузей. Очевидною перевагою ДЗЗ є можливість моніторингу територій великої площі, своєчасного оцінювання та контролю їхніх параметрів. Краща просторова роздільна здатність, а також більш часте спостереження за територіями є позитивними характеристиками ДЗЗ, що

роблять його привабливим і корисним для сучасних застосувань. Багатоканальна зйомка є основним режимом роботи датчиків ДЗЗ на сьогоднішній день. Термін "багатоканальний" охоплює багатоспектральне фіксування, спільні оптичні та радіолокаційні спостереження, повнополяризаційне і гіперспектральне фіксування. Триканальні зображення є найпростішим прикладом таких даних ДЗЗ. Тенденції та спостереження, отримані для цих зображень, можуть бути згодом узагальнені на зображення з більшим числом компонент. Слід зазначити, що багатоканальне спостереження відкриває нові можливості для дистанційного зондування та підвищує точність оцінки параметрів, класифікації та виявлення об'єктів.

Не залишилася осторонь і медична галузь. Зі зростанням використання технологій цифрової візуалізації в медичній діагностиці та лікуванні збільшився і розмір наборів даних медичних зображень, що призвело до проблем зберігання, передавання й оброблення цих зображень.

Висока деталізація або ж більша роздільна здатність зображення допомагає краще зрозуміти контекст, що стоїть за цим зображенням, незалежно від того, чи то зображення із соцмережі, чи то зображення дистанційного зондування, однак, як згадувалося раніше, для кожної галузі тією чи іншою мірою постає питання зберігання й передавання цього масиву даних.

Вирішенням цих завдань може бути використання методів стиснення зображень. Як відомо, алгоритми стиснення зображень можна розділити на дві групи: стиснення з втратами і стиснення без втрат. Стиснення з втратами призводить до втрати частини чи якості даних у процесі стиснення, а в разі стиснення без втрат декомпресовані дані повністю збігаються з відповідними вихідними даними. Іншими словами: стиснення без втрат зберігає всю інформацію, що міститься в даних, але коефіцієнт стиснення (КС), що досягається для використовуваних методів, зазвичай є невеликим і може бути непридатним на практиці. Тоді стиснення з втратами виявляється більш розумним або єдиним можливим рішенням, оскільки КС можна варіювати і контролювати. Втім, збільшення КС зазвичай призводить до погіршення якості стисненого зображення, і в кожному конкретному випадку необхідно знайти розумний компроміс, де пріоритет вимог залежить від конкретного застосування.

Результат стиснення багато в чому залежить від ряду факторів, наприклад кодеру, що використовується. Зазвичай використовувані кодери можуть надати або кращу якість, або ж більший коефіцієнт стиснення. Різні зображення можуть по-різному «поводитися» при використанні одного і того ж значення параметра, що контролює стиснення (ПКС). Присутність шуму на зображенні відіграє не останню роль під час стиснення, адже він може істотно вплинути на результат стиснення з втратами. Зі свого боку, шум на зображенні може проявлятися по-різному: він може бути адитивним, залежним від сигналу або являти собою деяку комбінацію цих компонентів.

На додаток, обрана метрика для оцінки якості стиснення також має свій вплив на оцінку ефективності стиснення.

Дані обставини зумовили актуальність досліджень, проведених Коваленком Богданом Віталійовичем. У зв'язку з цим, актуальне науково-прикладне завдання, яке вирішується, полягає у розробці ефективного методу стиснення з втратами, що здатний не тільки забезпечити високий коефіцієнт стиснення, а й прийнятну якість стиснення головним чином для зображень, що спотворені завадами.

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

Отримані автором результати дисертації використовувались при виконанні науково-дослідних робіт на кафедрі інформаційно-комунікаційних технологій ім. О. О. Зеленського Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» і були відображені в таких звітах: НДР Д504-1/2019-М (№ ДР 0119U100940) «Розробка системи обробки мультимедійних даних, її впровадження в існуючі та перспективні системи та комплекси», 2021 р.; НДР Д504-2/2021-Ф (№ ДР 0121U112176) "Методи багатоканального оброблення зображень у мобільних системах на основі прогнозування та машинного навчання", 2021-2023 роки; НДР Д504-3/2023-М (№ ДР 0123U101143) "Розробка методів попереднього аналізу фотоплетизмографічних сигналів з метою визначення інформативних ознак, що характеризують зміни артеріального тиску", 2023 р.

3. Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше досліджено характеристики BPG (betterportablegraphics)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 рекомендації щодо стиснення зображень з втратами з використанням модифікацій BPG кодера.

2. Отримало подальший розвиток використання оптимальної робочої точки (ОРТ) для різних кодерів, а саме вперше продемонстровано можливість присутності такої точки для стиснення BPG-кодером напівтонових та кольорових зображень у випадках ураження цих зображень як адитивним, так і сигнально-залежними шумами. Це дало змогу розрахувати параметр, що керує стисненням (ПКС), для досягнення максимального ефекту фільтрації (максимальної якості стисненого зображення у відповідності до різних метрик).

3. Вдосконалено метод прогнозування існування ОРТ в застосуванні до BPG-кодера для півтонових і кольорових зображень, спотворених шумом; основною різницею з попередніми методами є те, що запропонований метод вперше використовуються до BPG-кодера і бере до уваги особливості стиснення для цього кодера; це дало змогу надати обґрунтовані рекомендації з вибору параметра (ПКС) 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 нейронних мереж), що дало можливість підвищити точність прогнозування без використання декількох ітерацій стиснення.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

1. Підтверджено існування OPT для VPG кодера як для напівтонових, так і для кольорових зображень, у разі їхнього ураження адитивними або сигнально-залежними типами завад. Це дозволяє підвищити якість стисненого зображення у порівнянні з первинним до кількох дБ (згідно PSNR) і при цьому отримати задовільний коефіцієнт стиснення, якщо стиснення буде проводитися в околі OPT.

2. Надано інформацію про поведінку спотворень, які вносить VPG кодер під час стиснення з втратами, а також, як ці спотворення ведуть себе в ситуації, коли на зображенні присутній шум. Завдяки цьому отримана можливість враховувати особливості завад у подальших процедурах фільтрації або детектування об'єктів, що призводить до покращення ефективності цих процедур.

3. Запропоновано метод прогнозування робочої точки та параметрів у ній для VPG кодера, точність прогнозування становить 0,84-0,97 для різних метрик якості за критерієм R^2 . Метод також може працювати з кольоровими зображеннями та кількома типами шуму (адитивний і сигнально-залежний). Таке прогнозування дає змогу надати рекомендації щодо вставлення ПКС, і, як результат, отримати краще співвідношення між якістю стисненого зображення та отриманим КС.

4. Запропоновано метод прогнозування середньоквадратичної похибки спотворень для стиснення з втратами за допомогою VPG кодера, що враховує складність зображень. Це дає змогу виставити необхідний параметр стиснення без необхідності проводити кілька ітерацій на стиснення з метою пошуку оптимального значення параметра та в разі прискорити стиснення з бажаною якістю.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на:

1. міжнародній конференції «IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)» (2021 Київ, Україна),

2. міжнародній конференції «IEEE 3rd KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)» (2022, Харків, Україна),

3. міжнародній конференції «IEEE 4th KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)» (2023, Харків, Україна),

4. міжнародній конференції «13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)» (2023, Афіни, Греція),

5. міжнародній конференції «IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)» (2024, Київ, Україна),

6. міжнародній конференції «IEEE 5th KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)» (2024, Харків, Україна).

Розроблені методи стиснення з втратами і прогнозування ефективності обробки та стиснення зображень були використані при виконанні науково-дослідної роботи у Інституті радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, а також впроваджені у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація Б. В. Коваленко є оригінальною роботою, виконана здобувачкою самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи на містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 19 наукових публікацій, у тому числі:

1) 2 статті у наукових періодичних виданнях іншої держави (Швейцарія), які індексуються в SCOPUS (Q1) (зі співавторами);

2) 1 стаття у науковому періодичному виданні України категорії А, що індексується у SCOPUS (Q3) (зі співавторами);

3) 4 публікацій в працях міжнародних конференцій, матеріали яких включено у базу даних Scopus (з співавторами);

4) 3 публікацій в працях міжнародних конференцій, матеріали яких не включено до наукометричних баз, але які засвідчують апробацію наукових результатів.

5) 5 публікацій у наукових періодичних виданнях України категорії Б

6) 4 глави в монографіях у наукових періодичних виданнях інших держав.

Статті у наукових періодичних виданнях:

1. Б. Коваленко, В. Лукін, "Використання візуальних метрик для аналізу стиснення з втратами зашумлених зображень," *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, вип. 6, с. 83-91, 2021, doi: 10.32620/aktt.2021.6.09 (фаховий).

В роботі здобувачем розглянута ефективність стиснення зображень з втратами за допомогою BPG-кодера з використанням візуальних метрик як критерію якості.

2. V. Lukin, B. Kovalenko, S. Kryvenko, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola, "Compression of Noisy Images Taking in to Account Visual Quality: A Comprehensive Study," *Research Developments in Science and Technology*, vol. 8, pp. 89–109, 2022, doi: 10.9734/bpi/rdst/v8/2722B (розділ у монографії, що видано за кордоном, англійською мовою).

В роботі здобувачем перевірено наявність робочої точки для напівтонових зображень, використовуючи метрики візуальної якості зображення такі як пікове відношення сигналу до шуму або $\text{peak signal-to-noise ratio}$ (PSNR) та її модифікація що враховує оцінки якості зображення людською зоровою системою та ефект маскування PSNR-HVS-M.

3. B. Kovalenko, V. Lukin, "Usage of different Chroma Subsampling Modes in Image Compression by BPG Coder," *Ukrainian journal of remote sensing*, vol. 9, no. 3, pp. 11-16, 2022, doi: 10.36023/ujrs.2022.9.3.216 (фаховий).

У роботі здобувачем були розглянуті випадки роботи з кольоровими зображеннями. Розглянуто роботу кодера з різною субдискретизацією кольоровості (4:2:0, 4:2:2, 4:4:4), а також випадки різної інтенсивності шуму, що присутній на зображеннях.

4. V. Makarichev, B. Kovalenko, V. Lukin, "Preliminary analysis of noisy image lossy compression by discrete atomic transform-based coder," *Aerospace technology and technology*, vol. 186, no. 2, pp. 67-74, 2023, doi: 10.32620/akt.2023.2.07 (фаховий).

У роботі здобувачем показано можливість існування ОПТ для кодерів, заснованих на дискретному атомарному перетворенні.

5. V. Naumenko, B. Kovalenko, V. Lukin, "BPG-based compression analysis of poisson-noisy medical images," *Radioelectronic and computer systems*, no. 3, pp. 91-100, 2023, doi: 10.32620/reks.2023.3.08 (Scopus).

У роботі оптимальна робоча точка знайдена здобувачем для випадків ураження медичних зображення сигнально-залежним шумом.

6. B. Kovalenko, V. Lukin, S. Kryvenko, V. Naumenko, B. Vozel, "Prediction of Parameters in Optimal Operation Point for BPG-based Lossy Compression of Noisy Images," *Ukrainian journal of remote sensing*, vol. 9, no. 2, pp. 4-12, 2022, doi: 10.36023/ujrs.2022.9.2.212 (фаховий).

У роботі здобувач запропонував модифікований метод прогнозування існування ОПТ за допомогою двох статистичних параметрів, розрахованих у блоках розміром 8x8 пікселів, що не перекриваються.

7. B. Kovalenko, V. Lukin, S. Kryvenko, V. Naumenko, B. Vozel, "BPG-Based Automatic Lossy Compression of Noisy Images with the Prediction of an Optimal Operation Existence and Its Parameters," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 15: 7555, 2022, doi: 10.3390/app12157555 (Scopus, Q2).

У роботі здобувач запропонував модифікований метод прогнозування існування ОПТ для кольорових зображень.

8. V. Lukin, B. Kovalenko, S. Kryvenko, V. Naumenko, B. Vozel, “Prediction of Optimal Operation Point Existence and Its Parameters in BPG-Based Automatic Lossy Compression of Noisy Images,” *Current Overview on Science and Technology Research*, vol. 9, pp. 1–36, 2022, doi: 10.9734/bpi/costr/v9/4316A (розділ у монографії, що видано за кордоном, англійською мовою).

У роботі здобувач розширив метод прогнозування існування ОПТ для роботи з іншими метриками оцінки якості зображень зображень.

9. B. Kovalenko, V. Lukin, B. Vozel, “BPG-Based Lossy Compression of Three-channel Noisy Images with Prediction of Optimal Operation Existence and Its Parameters,” *Remote Sensing*, vol. 15, no. 6: 1669, 2023, doi: 10.3390/rs15061669 (Scopus, Q1).

У роботі цей метод прогнозування було адаптовано здобувачем для роботи з кольоровими зображеннями.

10. V. Lukin, B. Kovalenko, B. Vozel, “A Fast and Accurate Prediction of BPG Compression Parameters in Optimal Operation Point Neighbourhood for Three-channel Noisy Images,” *Fundamental Research and Application of Physical Science*, vol. 8, pp. 129–160, 2023, doi: 10.9734/bpi/fraps/v8/7110A (розділ у монографії, що видано за кордоном, англійською мовою).

У роботі метод прогнозування для кольорових зображень було розширено здобувачем з використанням додаткових параметрів.

11. B. Kovalenko, V. Lukin, “Analysis of distortions due to bpg-based lossy compression of noise-free and noisy images,” *Herald of Khmelnytskyi National University Technical Sciences*, vol. 325, no. 5, pp. 128–135, 2023, doi: 10.31891/2307-5732-2023-325-5 (фаховий).

У роботі здобувачем був проведений аналіз спотворень, що вносяться стисненням із втратами BPG кодером, як у випадку незашумлених, так і зашумлених зображень.

12. V. Lukin, B. Kovalenko, S. Kryvenko, V. Naumenko, B. Vozel, “Peculiarities of BPG-Based Automatic Lossy Compression of Noisy Images,” *Computational Techniques for Smart Manufacturing in Industry 5.0 Methods and Applications*, 1st Edition, ISBN 9781032506203 386 Pages 10 Color & 115 B/W Illustrations January 27, 2025 by CRC Press (розділ у монографії, що видано за кордоном, англійською мовою, Scopus).

У роботі здобувачем були розглянуті особливості автоматичного стиснення з втратами на основі BPG зашумлених зображень.

Статті у працях міжнародних конференцій, які проіндексовано у Scopus:

13. B. Kovalenko, V. Naumenko, S. Krivenko, V. Lukin, "Analysis of noisy image lossy compression by BPG using visual quality metrics," *Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kiev, Ukraine, 2021, doi: 10.1109/ATIT54053.2021.9678575 (Scopus).

У роботі здобувачем розглянуто можливість використання метрик, відмінних від тих, що засновані на PSNR, а саме багато масштабна версія метрики індексів структурної подібності (structural similarity index measure - SSIM) або ж MS-SSIM (ця метрика, на відміну від PSNR, має межі варіювання від 0 до 1, а також, як PSNR, більші значення характеризують кращу якість зображення).

14. B. Kovalenko, V. Lukin, "Analysis of color image compression by BPG coder," *2022 IEEE 3rd KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, October 2022, 6 p., doi: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916387 (Scopus).

У роботі здобувачем проведено порівняльний аналіз для кольорних компонент (у системі RGB) для різних методів субдискретизації.

15. B. Kovalenko, V. Lukin, "BPG-based compression of Poisson noisy images," *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416544 (Scopus).

У роботі оптимальна робоча точка знайдена здобувачем для випадків ураження сигнально-залежним шумом зображень з різних областей.

16. B. Kovalenko, V. Lukin, "Prediction of optimal operating point for BPG-based lossy compression of images corrupted by Poisson noise," *2023 IEEE 4th KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312954 (Scopus).

У роботі метод прогнозування ОПТ для кольорових зображень був адаптований здобувачем для роботи з сигнально-залежним типом шуму.

17. B. Kovalenko, V. Lukin, "Pre-requisites for Mean Square Error Prediction in Better Portable Graphics based Lossy Compression of Grayscale Images," *2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2024, pp. 488-492, doi: 10.1109/ELNANO63394.2024.10756949.

У роботі здобувачем було проаналізовано зв'язок між складністю зображення та ентропією для подальшого використання в методах прогнозування характеристик спотворень.

18. B. Kovalenko, V. Lukin, B. Vozel, "MSE Prediction in BPG-based Lossy Compression of Grayscale Images," *2024 IEEE 5th KhPIWeek on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2024, doi: 10.1109/KhPIWeek61434.2024.10877996.

У роботі метод прогнозування ОПТ для на півтонових зображень було модифіковано здобувачем для підвищення точності прогнозування за

рахунок використання більшої кількості вхідних параметрів, що характеризують особливості зображення.

Статті у працях міжнародних конференцій

19. Б. Коваленко, “Знаходження оптимального параметра для прогнозування оптимальної робочої точки BPG кодера,” *Матеріали XXII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів*. Одеса, 21-22 квітня 2022 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2022 р. – 175-177 с.

В роботі здобувачем було порівняно декілька вхідних параметрів для прогнозування ОРТ з метою виявлення того що може забезпечити кращі показники точності прогнозування.

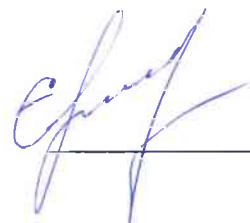
8. Висновок наукового керівника

З урахуванням успішного виконання Коваленком Б.В. індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною освітньо-науковою програмою та написання дисертації, яка є результатом самостійного дослідження, є завершеною науковою працею, містить наукову новизну, виконана на належному науковому рівні, відповідає встановленим вимогам до дисертацій докторів філософії, дисертація на тему «Багатоетапна обробка та стиснення зображень BPG кодером з прогнозуванням параметрів» може бути рекомендована до захисту, а її автор Коваленко Богдан Віталійович - до присвоєння ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

9. Загальний висновок

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Коваленко Богдана Віталійовича на тему «Багатоетапна обробка та стиснення зображень BPG кодером з прогнозуванням параметрів», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Головуючий на засіданні кафедри
інформаційно-комунікаційних технологій ім. О. О. Зеленського
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
канд. техн. наук, доцент



Олег ЄРЕМЕЄВ