

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Лі Фангфанг на тему «Design and analysis of efficient methods for providing a desired quality in image lossy compression (Розробка та аналіз ефективних методів забезпечення бажаної якості при стисненні зображень з втратами)», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 – електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка

На засіданні кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського за участі: голови засідання – д.т.н., професора Тоцького О.В.; д. т. н., професора Лукіна В. В., к. т. н., доцента Зряхова М. С., к. т. н., доцента Абрамова К. Д., к. т. н., доцента Абрамова С. К., к.т.н., доцента Шевелева В.О, к. т. н., доцента Васильєвой І. К., к. т. н., доцента Науменко В. В., к. т. н., доцента Абрамовой В. В., к. т. н., доцента Єремєєва О. І., к. т. н., доцента Проскури Г. А., к. т. н., доцента Рубеля О. С., к.т.н., доцента Рюєнка О.О, к.т.н., доцента Воробйова А.В., к.т.н., старшого викладача Кожемякіной Н. В., доктора філософії, старшого викладача Рубеля А.С., к.т.н., старшого наукового співробітника Кривенка С.С. м.н.с. Черновой Г.А., асистента Олійника В. О., асистента В'юницького О. Г., аспірантки Лі Фангфанг, аспірантів Цехмістро Р.В., Реброва В.С., Дзюбенка С.І., Брисіна П.В., Аль-Сенайха Р.Ж., зав. лабораторією Волчанського О.О., інженера Міхєєвой Т.В., Інженера Семенова В.П., а також запрошених фахівців завідувача кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, к.т.н., доцента Горелика С.І. та д.т.н., професора кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі Бутенко О.С. (серед присутніх 4 д.т.н. та 14 к.т.н. в галузі 17 Електроніка та телекомунікації), з відділу дистанційного зондування Землі Інститута радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова Національної академії наук України д.т.н., професора, с.н.с. Пашенка Р.Е. відбулася публічна презентація дисертаційної роботи Лі Фангфанг на тему «Design and analysis of efficient methods for providing a desired quality in image lossy compression (Розробка та аналіз ефективних методів забезпечення бажаної якості при стисненні зображень з втратами)».

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

1. Актуальність теми дослідження. На даний час існує багато методів та алгоритмів стиснення зображень з втратами. Втім, суттєва частина з них більше орієнтована на забезпечення бажаного коефіцієнту стиску, ніж бажаної якості. Інша частина має параметри, що здатні варіювати якістю, але при фіксованих

значеннях цих параметрів спостерігається суттєвий розкид якості стиснених зображень в залежності від їх складності та інших чинників. Тож необхідні методи та алгоритми забезпечення бажаної якості стиснених зображень, які були б здатні робити це швидко та з належною точністю. Саме вирішенню цієї актуальної задачі присвячено дисертаційну роботу Лі Фангфанг.

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 наступних звітах про НДР «Методи інтелектуальної комп'ютерної обробки великих даних в системах дистанційного зондування, мультимедіа та телекомунікацій» (2020, № держреєстрації 0118U003020) та «Методи обробки багатоканальних зображень у мобільних системах на основі прогнозування та машинного навчання» (2021, 2022, № держреєстрації 0121U112176), а також українсько-французького проєкту «Обробка багатоканальних даних дистанційного зондування на основі машинного навчання» (2021, 2022, № держреєстрації 0121U113956) і українсько-польського проєкту «Методи інтелектуальної обробки зображень і відео на основі метрик візуальної якості для нових додатків» (2021, № держреєстрації 0120U103595).

3. Наукова новизна отриманих результатів.

- 1) Вперше запропоновано двоетапний метод забезпечення необхідної якості зображення у відтінках сірого з втратами. Осереднена крива швидкість-спотворення, отримана заздалегідь, використовується для розрахунку початкових параметрів, а візуальна якість при першому етапі стиснення коригується за допомогою зворотного зв'язку. Результати показують, що з точки зору метрик візуальної якості точність після другого етапу стиснення зображень є достатньо високою, а залишкова помилка є прийнятною.
- 2) Вдосконалено метод прогнозування візуальної якості стиснених зображень для заданих параметрів та його поширено на кодери стисненням із втратами на основі дискретного малохвильового перетворення.
- 3) Базовий двоетапний метод вдосконалено для підвищення його надійності з використанням двох методів. Перший полягає в тому, щоб виправити обмеження базового методу та зменшити помилки для зображень з високою текстурою; другий базується на попередній класифікації зображень відповідно до їх складності і наступному адаптивному використанні відповідної середньої кривої швидкість-спотворення.
- 4) Двоетапний метод було поширено на кольорові та триканальні зображення, а також обговорено його застосування в дистанційному зондуванні. Результати показують, що точність класифікації стиснутих зображень приблизно така ж, як і для вихідних (нестиснених) даних, якщо немає візуально помітних спотворень. Крім того, є можливість контролювати якість 3D-стиснення. Коефіцієнт стиснення, який він створює, вдвічі перевищує роздільне стиснення компонентів, а ймовірність правильної класифікації трохи вища.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи.

Розроблені ефективні методи стиснення з втратами для забезпечення бажаної якості зображення та проаналізовано точність контролю спотворень, зокрема, метод стиснення з втратами для багатоканального зображення при дистанційному зондуванні, а також проаналізовано вплив якості зображення на точність класифікації.

Дослідження було проведено для сучасних кодерів на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП), включаючи AGU і ADCTC, кодера SPIHT на основі дискретного малошвилювального перетворення і нового кодера BPG, доведена універсальність розробленого методу для різних зображень. Показано, що метод добре працює для різних розглянутих кодерів. Зокрема, результати кодерів на основі ДКП і кодеру BPG трохи кращі, ніж для кодера SPIHT. Хороші результати отримати для різних зображень, включаючи зображення з високою текстурою. Застосування методу має бути обережним для дивних зображень, які мають немонотонну криву швидкості-спотворення.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено дуже швидкий метод прогнозування якості розпакованого зображення шляхом обчислення інформації з певної кількості випадкових блоків зображення під час стиснення, точність якого становить 0,88-0,95 для різних показників якості за критерієм R^2 ;
- запропоновано універсальний двоетапний підхід до стиснення зображення для забезпечення бажаної якості зображення, де криві середньої швидкості-спотворення, отримані заздалегідь, використовуються для розрахунку початкового значення параметру, що керує стисненням, а зворотний зв'язок якості після першого кроку стиснення використовується для ефективної корекції параметри;
- у запропонованому методі стиснення застосовано такі метрики якості, що вони характеризуються найвищими значеннями кореляції рангу Спірмена із середньою думкою людей, що відповідає вимогам реального застосування;
- Доведено, що базова схема корекції параметру, що керує стисненням, дозволила підвищити точність для різних типів зображень у кодерах AGU та BPG (зменшення дисперсії щонайменше в 10 разів порівняно з початковим значенням параметру, що керує стисненням, за метриками візуальної якості), що сприяє забезпеченню бажаної якості без помітних спотворень;
- Для складних зображень (зокрема, високотекстурних зображень або зображень дистанційного зондування) та різних кодерів запропоновано схему оптимізаційної корекції та модель адаптивної кривої, що дозволило вирішити проблему надмірної корекції (зменшити дисперсію в 2-10 разів). порівняно з початковим значенням параметру, що керує стисненням з точки зору PSNR і візуальних метрик якості), що дає змогу гарантувати, що корекція виконується належним чином.
- Доведено, що запропонований метод стиснення з втратами для забезпечення бажаної якості також є придатним до кольорових зображень і триканальних зображень дистанційного зондування, а діапазони якості зображень

наведені в термінах різних метрик, які сприяють установці бажаного зображення якості.

- Аналіз впливу контрольної якості зображення на класифікацію ДЗЗ, де розглядаються різні класифікатори та використовуються два методи стиснення, довів, що точність класифікації зображень, стиснутих без візуально помітних спотворень, приблизно така ж, як і вихідного (порог становить близько 40-42 дБ у термінах PSNR-HVS-M).

Отримані наукові результати можуть бути використані у науково-дослідних та проектних організаціях, конструкторських бюро, організаціях авіабудівної та ракетно-космічної галузі, аерокосмічних університетах та інших організаціях, які спеціалізуються в галузі аерокосмічних досліджень та моніторингу поверхні Землі.

5. Апробація/використання результатів дисертації.

Результати досліджень автора обговорювались на наступних конференціях:

- Всеукраїнській НТК "Integrated Computer Technology in Mechanical Engineering" (2020, Харків, Україна),
- Міжнародній конференції "Dependable Systems, Services and Technologies" (2020, Київ, Україна),
- Міжнародній конференції "Electronics and Nanotechnology" (2020, Київ, Україна),
- Міжнародній конференції "Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering" (2020, Львів-Славське, Україна),
- Міжнародній конференції "Advanced Trends in Information Theory" (2020, 2021, Київ, Україна),
- Міжнародній конференції "Electronic Information Technology and Computer Engineering" (2020, Xiamen, КНР),
- Міжнародній конференції "Radioelektronika" (2020, Братислава, Словаччина),
- Міжнародній конференції "Image and Signal Processing for Remote Sensing" (2021, Іспанія),
- Міжнародній конференції "Mathematical Modeling and Simulation of Systems" (2021, Чернігів, Україна),
- Міжнародній конференції "Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation" (2021, Ухань, КНР),
- - Міжнародній конференції "Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics" (2021, Київ, Україна).

Розроблені автором наукові положення впроваджені в:

- науково-дослідній роботі «Міждисциплінарний підхід в дистанційних аерокосмічних дослідженнях Землі та створення на його основі науково-методологічної бази вирішення тематичних завдань природокористування», що виконувалась у Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі АГН НАН України»;

– науково-методичному процесі Нанчанського аерокосмічного університету (Китайська народна республіка).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Лі Фангфанг визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Зміст основних розділів дисертації перевірено 15.05.2023 р. на наявність текстових запозичень в системі «UNICHECK», в порівнянні з файлами бібліотеки корпоративного облікового запису Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства.

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

За результатами досліджень опубліковано 17 наукових публікацій, у тому числі:

- 3 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, в т.ч. одну одноосібну статтю та одну статтю з співавторами у журналі, проіндексованому у базі Scopus;
- 2 статті у виданні, віднесеному до першого квартилю (Q1) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank (з співавторами)
- 12 доповідей на наукових конференціях.

Статті у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України:

F. Li, S. Krivenko, and V. Lukin, “Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT,” *Radioelectronic and computer systems*, vol. 2, no. 2020, pp. 22-32, 2020, doi: 10.32620/reks.2020.2.02 **(Скопус, Q3)**.

Здобувач використав просту схему модифікації для кодеру SPIHT.

F. Li, “Adaptive two-step method for providing the desired visual quality for SPIHT,” *Radioelectronic and computer systems*, No 1, pp. 195-205, 2022, doi: 10.32620/reks.2022.1.15. **(Скопус, Q3)**

Стаття без співавторів.

F. Li, S. Krivenko, and V. Lukin, “Analysis of two-step approach for compressing texture images with desired quality,” *Aerospace technic and technology*, vol. 1, no. 2020, pp. 50-58, 2020, doi:10.32620/akt.2020.1.08.

Здобувач представив просту модифікацію схеми корекції параметру, що керує стисненням, на другому кроці в кодері AGU для зменшення помилок у термінах PSNR.

Статті у журналах з квартилем Q1.

F. Li, V. Lukin, O. Ieremeiev, and K. Okarma, "Quality control for the BPG lossy compression of three-channel remote sensing images," *Remote Sensing*, vol.14, no. 8, pp.1824, 2022, doi: 10.3390/rs14081824.

Автор оцінив точність забезпечення бажаної якості для триканальних зображень дистанційного зондування.

V. Lukin, I. Vasilyeva, S. Krivenko, F. Li, S. Abramov, O. Rubel, B. Vozel, K. Chehdi, and K. Egiastian, "Lossy Compression of Multichannel Remote Sensing Images with Quality Control," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 22: 3840., 2020, doi: 10.3390/rs12223840.

Здобувач використав метод забезпечення бажаної візуальної якості при стисненні з втратами для триканальних зображень дистанційного зондування, а також застосував автоматичний метод оптимізації для 3D-варіанту кодера AGU для оцінки якості розпакованих зображень.

Статті у працях міжнародних конференцій, більшість з яких проіндексовано у Скопусі.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "A Two-step Procedure for Image Lossy Compression by ADCTC With a Desired Quality," 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 307-312, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125000.

Автор використав просту схему модифікації для кодера ADCT.

S. Krivenko, F. Li, V. Lukin, B. Vozel and O. Krylova, "Prediction of Visual Quality Metrics in Lossy Image Compression," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 478-483, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088819.

Автор запропонував підхід для прогнозування значення візуальної якості розпакованого зображення для кодера AGU на основі дискретного косинусного перетворення з використанням статистичної інформації, отриманої з обмеженої кількості блоків 8×8 пікселів.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "A Fast Method for Visual Quality Prediction and Providing in Image Lossy Compression by SPIHT," In: Nechiporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering- ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 188. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-66717-7_2.

Здобувач використав метод прогнозування для кодера SPIHT на основі дискретного вейвлет-перетворення.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "A Two-step Approach to Providing a Desired Visual Quality in Image Lossy Compression," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, Ukraine, 2020, pp. 502-506, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235483.

Автор запропонував двоетапний метод для забезпечення бажаної візуальної якості при стисненні зображень у градаціях сірого з втратами для кодера AGU.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "An Approach to Better Portable Graphics (BPG) Compression with Providing a Desired Quality," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 13-17, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349289.

Автор запропонував двоетапний метод для забезпечення бажаної візуальної якості при стисненні зображень у градаціях сірого з втратами для кодера BPG.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "Adaptive two-step procedure of providing desired visual quality of compressed image," 2020 4th International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE), Xiamen, China, 2020, pp. 407-414, doi:10.1145/3443467.3443791.

Автор запропонував схему оптимізації для вибору відповідної моделі кривої середньої швидкості спотворення адаптивно відповідно до складності зображення, яка була визначена процедурою прогнозування.

G. Proskura, I. Vasilyeva, F. Li and V. Lukin, "Classification of Compressed Multichannel Images and Its Improvement," 2020 30th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), Bratislava, Slovakia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/RADIOELEKTRONIKA49387.2020.9092371.

Автор розглянув три широко використовувані класифікатори, а саме машину опорних векторів, багатошаровий перцептрон та логістичну регресію, вивчив ефективність багатошарової класифікації на реальному супутниковому зображенні, стисненому з спотвореннями, що характеризуються PSNR-HVS-M, провів аналіз точності класифікації для загальної ймовірності правильного розпізнавання класів на зображеннях.

I. Vasilyeva, F. Li, S. Abramov, V. Lukin, B. Vozel, and K. Chehdi, "Lossy compression of three-channel remote sensing images with controllable quality," Proc. SPIE 11862, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXVII, pp. 118620R, 2021. doi: 10.1117/12.2599902.

Здобувач використав метод забезпечення бажаної візуальної якості при стисненні з втратами для кольорових зображень і триканальних зображень дистанційного зондування, а також застосував 3D-підхід для кодера AGU.

F. Li, V. Lukin, K. Okarma and Y. Fu, "Providing a Desired Quality of BPG Compressed Images for FSIM Metric," 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2021, pp. 10-14, doi: 10.1109/ATIT54053.2021.9678522.

Автор використав метод забезпечення бажаної візуальної якості при стисненні з втратами для кодера BPG для метрики FSIM.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "An Automatic Optimization Method for BPG Compression Based on Visual Perception," 2021 Mathematical Modeling and Simulation of Systems, Selected Papers of 16th International Scientific-practical Conference (MODS). Chernihiv, Ukraine, 2021, pp. 213-225. doi:10.1007/978-3-030-89902-8_17.

Здобувач застосував автоматичний метод оптимізації для кодера BPG для оцінки якості розпакованих кольорових зображень.

F. Li, V. Lukin, K. Okarma, Y. Fu, and Duan J. "Intelligent lossy compression method of providing a desired visual quality for images of different complexity," Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation (AMMCS), Wuhan, China, 2021, pp.500-505. doi:10.3233/ATDE220050.

Здобувач покращив схему оптимізації, застосувавши ентропію для характеристики складності зображення, що допомагає прискорити алгоритм. Крім того, можна знайти «дивні» зображення, які дають найбільші похибки в забезпеченні потрібної якості стиснення.

F. Li, S. Krivenko and V. Lukin, "A Modified Algorithm of Visual Quality Providing in Lossy Compression of Remote Sensing Images," 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Odesa, Ukraine, 2021, pp. 16-21, doi: 10.1109/UkrMiCo52950.2021.9716684.

Здобувач вибрав спеціальні базові зображення для отримання середньої кривої швидкість-спотворення для зображень дистанційного зондування та запропонував схему комбінації похідної та дотичної для зменшення остаточної похибки у двоетапному методі.

8. Висновок наукового керівника – вважаю, що з урахуванням успішного виконання Лі Фангфанг 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 «Design and analysis of efficient methods for providing a desired quality in image lossy compression» може бути рекомендована до захисту, а її автор Лі Фангфанг до присвоєння ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

9. Загальний висновок.

Отже, вважаємо що дисертаційна робота Лі Фангфанг «Design and analysis of efficient methods for providing a desired quality in image lossy compression (Розробка та аналіз ефективних методів забезпечення бажаної якості при стисненні зображень з втратами)», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії

електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка.

Головуючий на засіданні кафедри 504
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Олександр ТОЦЬКИЙ