ВІДГУК

на дисертацію **Луц Василя Костянтиновича** «Методи і алгоритми для адаптивного кодування зображень» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика», галузь знань 11 – «Математика та статистика»

офіційного опонента, доктора фіз.-мат. наук

Нечуйвітер Олесі Петрівни

1. Актуальність теми дисертації. В роботі розглядаються питання розробки оптимальних за швидкодією кодеків різного рівня обчислювальної складності на основі сучасних наукових результатів і досягнень в галузі цифрової обробки і стиснення зображень. Значне збільшення кількості пристроїв інтернету речей, в тому числі фото-відео фіксації і телемедицини обумовлює актуальність збільшення енергоефективності кодування і стиснення зображень/кадрів. Пристрої мобільних мереж, зокрема смартфони, також генерують постійно зростаючу кількість зображень і відео, в тому числі – в режимі реального часу відеоконференцій. Зменшення обчислювальних вимог дозволить використовувати менш потужні пристрої і збільшити час автономної роботи. Ще одним напрямком застосувань є космічні, зокрема супутникові технології зв'язку, де енергоефективність не менш важлива. Для широкого розповсюдження технологій доповненої і віртуальної реальності також важливо підвищення енергоефективності, що зменшує вимоги до обчислювальних потужностей обладнання. Тому тема дисертаційної роботи Луц Василя Костянтиновича «Методи і алгоритми для адаптивного кодування зображень», яка присвячена оптимізації алгоритмів за швидкодією, є актуальною і важливою.

2. Зв'язок роботи з науковими темами.

Здобувач приймав участь у проєктах відділу оптимізації чисельних методів №140 Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, в наступних фундаментальних та прикладних темах: ВФ 140.18 «Розробити

теоретичні основи побудови базисних систем нового класу мультивейвлетів для оброблення сигналів і зображень», № держреєстрації 0119U002275; ВКМ 140.24.21 «Розробити методи і алгоритми розподіленого моделювання та визначення станів віддалених об'єктів тривалого моніторингу на основі суперкомп'ютерних технологій», № держреєстрації 0121U110720; ВП. 140.19 «Розробити адаптивні методи і алгоритми оброблення та кодування моніторингових даних в безпровідних мережах», № держреєстрації 0119U002273; ВП.140.21 «Розробити ефективні методи та алгоритми оброблення, кодування і аналізу сигналів для дистанційного моніторингу функціональних станів осіб», № держреєстрації 0122U000830.

3. Загальна оцінка змісту дисертації, її довершення і оформлення.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку використаних джерел. В першому розділі традиційно зроблено огляд відомих підходів, методів і алгоритмів кодування і стиснення зображень з втратами і без втрат. В другому розділі запропоновано та розглянуто нову архітектуру адаптивних кодеків різного рівня обчислювальної складності: швидкодіючого, збалансованого, ресурсоємного та універсального. Запропоновано математичну модель кодування і стиснення зображень з втратами та ряд алгоритмів на її основі, зокрема два нових алгоритми вибору типу й порядку перетворень. Нова архітектура включає додатковий рівень кодека, де відбувається порівняння та вибір адаптивних режимів різної складності. Обґрунтовано збільшення кількості адаптивних режимів за рахунок нових адаптивних режимів низької та наднизької складності. В третьому розділі описано блочні цілочисельні перетворення різних порядків, зокрема просте косинусне перетворення порядку 16, однонормове модифіковане синус-косинусне типу VII порядку 8 і синусне типу VII порядку 4 та їх швидкі алгоритми низької обчислювальної складності. В четвертому розділі представлено ряд нових підходів, методів і алгоритмів адаптивного кодування і стиснення зображень з втратами. Запропоновано додатковий режим роздільного адаптивного кодування з використанням трьох перетворень: косинусного, синус-косинусного і синусного, який може

обиратись як альтернатива відомому режиму з двох перетворень. Представлено алгоритми вибору порядку і типу перетворень в залежності від коефіцієнта стиснення і характеристик вхідних даних для різних адаптивних режимів, зокрема, запропоновано алгоритм вибору фіксованих параметрів кодування, включаючи тип та порядок перетворення. Запропоновано модифікацію MSE, яка враховує тільки відхилення, що більші за певне порогове значення X. Запропоновано векторну міру для обчислення відстані та похибки в просторі кольорів, яка враховує зміни відтінків кольорів. Запропоновано нові перспективні простори кольорів: на основі індексованих палітр підвищеної ємності та простір, що визначається співвідношенням кольорів.

4. Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше отримано ряд результатів, що представляють практичну та теоретичну цінність. Запропоновано математичну модель кодування і стиснення зображень з втратами, на підставі якої отримано два нових алгоритми і концепцію кодеків різного рівня обчислювальної складності. Розглянуто нові адаптивні режими кодування, включаючи режими низької та наднизької обчислювальної складності. Запропоновано дві нові міри для оцінки відхилень та нова міра для більш точного обчислення відстані в просторі кольорів. Запропоновано цілочислове просте косинусне перетворення порядку 16 і розроблено його швидкі алгоритми низькой обчислювальної складності без виконання операцій множення, які як мінімум у 2,2 рази швидше порівняно з відомими алгоритмами косинусного перетворення порядку 16 зі стандарту відеокодування H.265. Запропоновано цілочислове однонормове модифіковане синус-косинусне перетворення типу VII порядку 8 і розроблено швидкий алгоритм низької мультиплікативної складності, яка в 7 раз менша порівняно з відомим алгоритмом дискретного синусного перетворення типу VII.

5. Практичне значення результатів дослідження.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в можливості застосування розроблених підходів, методів і алгоритмів для майбутніх кодеків зображень та відео, що може мати суттєве практичне

значення і вплив для наступних галузей: інтернету речей, мобільного зв'язку, носимих пристроїв, супутникового, космічного зв'язку та інш. Запропонована модифікована міра може використовуватись для оцінки похибки апроксимації для будь-яких практичних задач, особливо для підвищення швидкодії обчислень.

6. Ступінь обгрунтованості основних положень та висновків.

Отримані в дисертаційній роботі положення, висновки, підходи, методи та алгоритми мають належне обгрунтування на підставі експериментальних результатів досліджень або теоретичних положень.

7. Повнота викладення наукових положень та результатів в публікаціях.

Основні положення та отримані результати викладено в 11 публікаціях, в тому числі в шести статтях, з яких три статті у наукових виданнях, проіндексованих в базах даних Scopus, та в матеріалах 5 наукових конференцій.

8. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

Основні результати та їх викладення в цілому не викликають суттєвих зауважень, але деякі питання недостатньо розкрито. Також є наступні незначні зауваження:

1. Є повторення опису деяких алгоритмів та положень в різних розділах;
2. Обчислювальна складність для перетворення порядку 16 наведено лише для 1D, бажано додатково вказати 2D;
3. При тестуваннях простого косинусного перетворення порядку 16 не використано запропоновану модифіковану MSE;
4. Використані при побудові простого косинусного перетворення порядку 16 перетворення порядку 8 заслуговують окремого тестування;
5. Для порівняння обчислювальної складності перетворень різних порядків бажано використовувати оцінку кількості операцій на піксель, а не тільки загальну кількість операцій;
6. При порівнянні обчислювальної складності однонормового і неоднонормового перетворень бажано додатково враховувати кількість операцій нормування;

7. Окремі ідеї описано в загальному вигляді, наприклад, ідея простору кольорів на основі пропорцій кольорів має декілька варіантів реалізації.

Незважаючи на зазначені недоліки, загальна оцінка дисертаційної роботи є позитивною.

9. Рекомендації щодо впровадження отриманих результатів.

Отримані результати рекомендуються для поглибленого подальшого дослідження та практичного використання, в тому числі для вивчення у закладах вищої освіти відповідного профілю.

10. Висновок.

Дисертаційна робота Луц Василя Костянтиновича «Методи і алгоритми для адаптивного кодування зображень» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика» є самостійною науково-дослідною роботою, в якій отримано суттєві результати, що включають нові підходи, методи, алгоритми, а також нову векторну міру для обчислення відстані та похибки і модифікацію mse.

Дисертація Луц В.К. за актуальністю, обсягом і рівнем проведених досліджень, науковою новизною і практичним значенням відповідає всім вимогам «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 № 44 від 12 січня 2022 р. Здобувач заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний опонент, Олеся НЕЧУЙВІТЕР

доктор фіз.-мат. наук,

професор, завідувачка кафедри інформаційних

комп'ютерних технологій і математики

Української інженерно-педагогічної академії