

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення

дисертації Берчанова Анатолія Андрійовича

«Метод кодування інфрачервоних зображень з використанням моделей штучного інтелекту в інформаційних системах», яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи. У процесі роботи над дисертаційним дослідженням аспірант Берчанов А.А. дотримувався індивідуального плану наукової роботи та успішно виконав індивідуальний навчальний план, показав себе як сумлінний виконавець. За час навчання в аспірантурі Берчанов А.А. оволодів такими компетентностями: виявляти глибокі й системні теоретичні та емпіричні закономірності в сучасних інформаційних процесах та комп'ютерних системах; поглиблене розуміння архітектури інформаційних систем, алгоритмів машинного навчання та технологій штучного інтелекту; кваліфіковано здійснювати наукові дослідження у сфері комп'ютерних наук; здійснювати наукові дослідження проблем цифрової обробки, аналізу та кодування даних, визначати наукові проблеми, не розроблені або недостатньо розроблені у відповідних наукових дослідженнях галузі інформаційних технологій; готувати наукові тексти про проміжні та кінцеві результати досліджень, готувати та здійснювати публічну апробацію результатів досліджень.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження. Сучасні інфокомунікаційні технології демонструють сталу тенденцію до розвитку та розповсюдження. Це зумовлено актуальними викликами та задачами у сферах безпеки та оборони.

Зокрема, підвищуються вимоги до ефективності роботи систем дистанційного моніторингу та роботизованих систем спостереження. Одними із ключових вимог є достовірність та оперативність передачі інформації.

Системи спостереження із високим рівнем достовірності дозволяють виявляти об'єкти інтересу у візуально-складних умовах:

- обмежена видимість через погодні умови чи нічний час;
- маскуванню об'єктів інтересу.

Для практичної реалізації таких систем часто застосовують додаткові джерела видової інформації, окрім оптичних. Інфрачервоний інформаційний канал є одним з таких найбільш розповсюджених додаткових джерел.

Інфрачервоні камери дозволяють фіксувати інфрачервоне випромінювання середовища, що корелює із його тепловими показниками. Об'єкти, що мають підвищені

теплові показники вирізняються на фоні середовища. Це дозволяє виявляти такі об'єкти у візуально-складних умовах.

Так як інфрачервоний інформаційний канал є додатковим до оптичного, це збільшує об'єм інформації, що необхідно передати та обробити у інфокомунікаційній системі. Через обмеження бітової швидкості каналів передачі інформації, збільшення бітового об'єму призводить до затримок під час передачі та обробки даних у реальному часі.

Отже, актуальною є науково-прикладна задача, що полягає у покращенні ефективності роботи систем дистанційного спостереження із застосуванням ІЧ інформаційних каналів.

Для вирішення цієї проблеми застосовують методи кодування даних, що дозволяють зменшити бітовий об'єм та водночас відновити дані до початкового стану на приймаючій стороні.

Існують спеціалізовані алгоритми для кодування ІЧ кадрів. Серед них —внутрішньо створені рішення, які пропонують виробники тепловізійних сенсорів, зокрема такі відомі компанії як Flir, Fluke та Optris. Ці методи кодування зазвичай адаптовані до унікальних теплових властивостей ІЧ-зображень, що дає змогу ефективніше представляти інформацію, залежну від температури. Втім, попри свою функціональність, такі підходи мають низку істотних недоліків і обмежень:

- архітектура та внутрішній принцип роботи зазначених алгоритмів не є загальнодоступними, оскільки вони охороняються як об'єкти інтелектуальної власності й залишаються закритими;

- для доступу, декодування або обробки даних, що були стиснуті або закодовані з використанням цих пропріетарних рішень, користувач змушений застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення від конкретного виробника, що обмежує сумісність та підсилює залежність від певної екосистеми.

Серед відкритих методів кодування інфрачервоних кадрів є дві групи методів. Методи що дозволяють кодувати дані без втрат, за рахунок зменшення статистичної надмірності. Серед них: PNG, TIFF, JPEG-LS. Однак вони мають низьку ефективність зменшення бітового об'єму. Тому інша група методів дозволяє закодувати дані більш компактно за рахунок зменшення психовізуальної надмірності. Однак у наслідок цього зображення зазнають спотворень. Серед таких методів: JPEG 2000, HEVC. Основні підходи, що застосовуються у цих методах:

- 1) виявлення зон з однорідною просторовою структурою в межах зображення;
- 2) трансформація просторового представлення кадру у спектрально-хвильове, що дозволяє відокремити деталізуючу інформаційну складову;
- 3) інтерполяція міжблокових та фонових областей кадру.

Разом з тим, зазначені підходи мають низку істотних недоліків:

- 1) суттєва обчислювальна складність;

2) недостатня ефективність у ситуаціях з невизначеною структурою сцени, зокрема при аналізі просторово переважаних ділянок із високою щільністю дрібних і нетипових елементів;

3) можливе спотворення критично важливої семантичної інформації, що робить неможливим її відтворення після декодування.

Отже, існує потреба у методі кодування ІЧЗ, що дозволить зберегти критично важливу семантичну інформацію та при цьому забезпечити низьку обчислювальну складність для ефективного виконання на дистанційному та роботизованому обладнанні.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка методу кодування інфрачервоних зображень (ІЧ-зображень) для зниження бітрейту без втрат термальної цілісності на основі семантико-орієнтовної обробки з використанням моделей штучного інтелекту (ШІ).

Реалізація мети зумовила необхідність вирішення наступних дослідницьких завдань:

1. Розробити метод формування двошарової інформативної карти ІЧ-зображень для забезпечення умов щодо зменшення бітрейту з визначеною термальною цілісністю на основі використання моделей ШІ.

2. Створити метод спектрально-групового стиснення сегментів бітових пластів ІЧ-зображень для зменшення бітового об'єму без втрат термальної цілісності

3. Розробити метод семантико-орієнтованого кодування ІЧ-зображень для передачі в інформаційних системах.

4. Створити метод для підвищення термальної цілісності об'єктно-інформативних сегментів ІЧ-зображень без втрат бітрейту в інформаційних системах.

5. Здійснити порівняльну оцінку методів кодування ІЧ-зображень за абляційною методикою.

Об'єктом дослідження є процеси зменшення бітового об'єму ІЧ-кадрів в інформаційно-інтелектуальних системах.

Предметом дослідження є методи кодування інфрачервоних зображень для зменшення бітового навантаження каналів даних у інформаційно-інтелектуальних системах.

Методи дослідження. Методи теорії інформації та кодування. Методи штучного інтелекту та машинного навчання. Методи цифрової обробки зображень. Методи штучного інтелекту та машинного навчання. Методи глибокого навчання. Методи згорткових нейронних мереж (CNN) та архітектури YOLO. Методи генеративно-змагальних мереж (GAN) та автокодувальників. Методи математичного моделювання та статистичного аналізу. Експериментальні методи та абляційний аналіз.

Методологія дослідження. **Методологічну базу** дослідження складають праці, в яких обґрунтовуються фундаментальні принципи теорії інформації, цифрової обробки сигналів, а також досліджується проблема оптимізації, стиснення та передачі відеоданих у сучасних інформаційних системах: праці К. Шеннона, Д. Хаффмана, Н. Вінера, Р. Гонсалеса, Р. Вудса,

а також низка ґрунтовних досліджень вітчизняних науковців у галузі кодування зображень: Бараннік В.В., Жураковський Б.Ю., Корольов А.В., Лукін В.В., Рубан І.В., Русин Б.П..

Засновники та провідні дослідники математичного апарату просторово-частотної декомпозиції та методів машинного навчання — А. Хаар, І. Добеші, Я. Лекун, Дж. Редмон, А. Бочковський використовують для вирішення завдань аналізу візуальної інформації інтелектуальні алгоритми та спектрально-хвильові перетворення. Наукові праці цих дослідників складатимуть **теоретичну базу дослідження**.

Зарубіжна та вітчизняна науково-технічна література акцентує увагу переважно на проблемі семантичного аналізу візуальних даних, подоланні архітектурних обмежень існуючих стандартів компресії (таких як JPEG 2000, HEVC) та моделюванні нових підходів до кодування за допомогою моделей штучного інтелекту. Технології впровадження нейромережових детекторів (зокрема архітектур сімейства YOLO) у процеси стиснення суттєво підвищують метричну достовірність збереження цілісності теплових сигнатур, що впливає на ефективність систем автоматизованого моніторингу та комп'ютерного зору. Питання, пов'язані з розробкою семантико-орієнтованих методів для обробки 16-бітних тепловізійних даних інфрачервоного діапазону та просторовим прорідженням на основі бігармонічних функцій, також є в центрі уваги сучасних фахівців галузі комп'ютерних наук.

3. Особистий внесок дисертантки в отриманні наукових результатів та їх новизна. Дисертаційне дослідження виконано здобувачем самостійно, усі сформульовані в ньому положення та висновки з рекомендаціями обґрунтовані на основі особистих досліджень автора. Для аргументації окремих положень використані праці інших науковців, на які зроблені посилання. В індивідуальних наукових працях застосовано авторські ідеї та розробки.

Наукова новизна одержаних результатів розкривається у таких положеннях:

1. **Удосконалено** метод побудови двопластової інформативної карти на основі порогових вирішальних правил. Відмінності методу полягають у визначенні адаптивних асоціативних залежностей в порогово-метричному просторі на основі агрегації та нормування інформації високочастотної області перетворення Хаара для сегментованих бітових пластів ІЧ-зображень. Це дозволяє створити умови для збільшення рівня стиснення при встановлених вимогах щодо термальної цілісності ІЧ-зображень.

2. **Отримано подальший розвиток** методу виявлення областей об'єктів інтересу на основі застосування моделі штучного інтелекту. Відмінності методу полягають у виявленні об'єктно-інформативних сегментів за рахунок кон'юнкції результату нейронної мережі із сформованою інформативною картою. Це дозволяє зберегти термальну цілісність об'єктів інтересу за умов обмеженого бітрейту.

3. **Вперше розроблено** метод спектрально-групового стиснення на основі структурних перетворень у хвильовому просторі Хаара. Відмінності методу полягають у: диференційованому структурному кодуванні хвильового простору сегментів за частотними областями в умовах квадродекомпозиції та встановленням нижньої межі високочастотної

області. Це дозволяє зменшити бітовий об'єм пластових сегментів ІЧ-зображень без втрат термальної цілісності.

4. Отримано подальший розвиток методу кодування ІЧ-зображень на основі семантико-орієнтовної обробки. Відмінності методу полягають у спектрально-груповому кодуванні з врахуванням наявності об'єктно-інформативних сегментів ІЧ-зображень в біфуркаційно-хвильовому просторі Хаара. Це дозволяє знизити бітрейт інфрачервоного потоку даних з визначеним рівнем термальної цілісності в процесі обробки та передачі в інформаційних системах.

5. Удосконалено метод відновлення стиснутих ІЧ-зображень на основі використання бігармонічних функцій. Відмінності методу полягають у просторовому прорідженні низькоінформативних областей бітових пластів ІЧ-зображень з їх регенерацією за регулярно-просторовим шаблоном в процесі відновлення з використанням бігармонічних функцій. Це дозволяє підвищити рівень термальної цілісності інформативних сегментів ІЧ-зображень без втрат бітрейту.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації забезпечена використанням апробованого математичного апарату, широкого кола фундаментальних наукових концепцій та актуальних фахових літературних першоджерел. При обґрунтуванні теоретичних висновків та розробці практичних рішень дисертації здобувач керувався положеннями теорії інформації та кодування, цифрової обробки сигналів, теорії штучних нейронних мереж, методів комп'ютерного зору, а також спектрального та вейвлет-аналізу. Застосування сукупності цих наукових методів разом із принципами побудови інтелектуальних інформаційних систем, а також сучасними підходами до семантико-орієнтованої обробки даних надало змогу виконати поставлені в дисертації завдання і досягти мети дослідження. Наукова достовірність та чіткість одержаних результатів забезпечується коректністю математичних викладок і додатково підтверджується результатами обчислювальних експериментів із застосуванням об'єктивних метрик якості (зокрема SSIM та RMSD), що в кінцевому підсумку сприяло всебічності, повноті та об'єктивності одержаних наукових висновків.

5. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації. Отримані в дисертаційній роботі результати дослідження можуть бути використані у сфері комп'ютерних наук, а також у галузі цифрової обробки сигналів, теорії кодування візуальних даних та систем комп'ютерного зору. Вони можуть стати основою розробки нових семантико-орієнтованих підходів до компресії даних, оптимізації алгоритмів стиснення тепловізійних (інфрачервоних) зображень, а також міждисциплінарних досліджень, пов'язаних із проєктуванням інтелектуальних інформаційних систем моніторингу. Крім того, матеріали дослідження доцільно використовувати у навчальному процесі для загальної та фахової підготовки студентів до лекційних і практичних (лабораторних) занять з таких дисциплін, як «Машинне навчання», «Обробка зображень та комп'ютерний зір», «Теорія

інформації та кодування», а також «Інтелектуальні інформаційні системи».

6. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.

Публікації. Результати дослідження відображені у 14 наукових працях, 6 статей з них опубліковані у наукових фахових виданнях: у випуску міжнародного наукового журналу «Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska» (2026); у 99 та 102 випусках «Вісника НТУУ "КПІ"» (серії «Радіотехніка, Радіоапаратобудування» та «Радіоапаратобудування») (2025); у випусках наукових журналів «Наукоємні технології» (2025), «Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія» (2025) та у «Вчених записках Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки» (2025). Апробація результатів дисертації додатково відображена у 8 тезах доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних і науково-практичних конференціях.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувачки, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено та обговорено на науково-технічних семінарах Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, а також у доповідях на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних і науково-практичних конференціях, зокрема на: 2026 IEEE 18th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) (Lviv, Ukraine, 2026); International Workshop Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMIGIN'25) (Kyiv, Ukraine, 2025); III Міжнародній науково-практичній конференції «Кіберборотьба: розвідка, захист та протидія» (Київ, 2025); 2024 IEEE 5th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT) (Lviv, Ukraine, 2024); 10-й Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях (КМНТ-2024)» (Харків, 2024); 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) (Lviv, Ukraine, 2023); Міжнародній науково-практичній конференції «Наукоємні технології в інфокомунікаціях (НІСТ'2023)» (Кам'янець-Подільський, 2023) та 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT) (Kyiv, Ukraine, 2022).

9. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Дисертація написана чіткою мовою, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступний для сприйняття. Зміст, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. у №40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН №759 від 31.05.2019 р.), і

вимогам Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Берчанова А.А. відповідає спеціальності 122 - Комп'ютерні науки.

11. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.

Здобувачем було представлено основні результати дисертаційної роботи на засіданні кафедри математичного моделювання та аналізу даних ННІ комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації у формі презентації і наукової дискусії після її завершення. За підсумком обговорення, дисертаційне дослідження було оцінено позитивно. Дисертаційна робота Берчанова Анатолія Андрійовича виконана на високому науковому рівні та є цілісним науковим дослідженням, яке відповідає встановленим вимогам чинного законодавства України.

Враховуючи високий рівень дослідження, актуальність, новизну, практичну цінність отриманих результатів та відповідність роботи спеціальності 122 - «Комп'ютерні науки» дисертація Берчанова А.А. «Метод кодування інфрачервоних зображень з використанням моделей штучного інтелекту в інформаційних системах» рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки з галузі знань 12 - Інформаційні технології.

Головуючий, кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри математичного моделювання та аналізу даних
ННІ комп'ютерних наук та штучного інтелекту
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

Володимир СТРУКОВ