

ВІДГУК

Офіційного рецензента доктора технічних наук, професора Коляденко Юлії Юріївни на дисертаційну роботу Ревви Кирила Віталійовича «Методи кодування відеопотоку з компенсацією руху динамічних об'єктів для підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж» подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

1. Актуальність теми дослідження.

Зростання інтенсивності відеопотоку, що передається інфокомунікаційними мережами, зумовлене підвищенням вимог до якості відеоінформаційних послуг, зокрема використанням штучного інтелекту в системах аналізу та прийняття рішень, а також розвитком робототехніки й технологій комп'ютерного зору. Пропускна здатність бездротових каналів зв'язку при цьому залишається порівняно сталою й не забезпечує передавання відеопотоку зростаючої інтенсивності в реальному часі. Додатковим ускладненням є висока інформативність відеоконтенту, оскільки збереження його цілісності та розподільної здатності становить неодмінну умову застосування. Найгостріше зазначені обставини постають для відео надвисокої чіткості формату 4K, якому властива найвища інтенсивність потоку. Таким чином, зростання інтенсивності відеопотоку за відносно сталої пропускної здатності каналів створює дисбаланс. А тому, актуальною є науково-прикладна задача з зниження інтенсивності відеопотоку для забезпечення балансу та підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж.

Провідним засобом ентропійного стиснення в системах з компенсацією руху є цілочисельне арифметичне кодування САВАС. Такий тип кодування підтвердив свою ефективність у стандартизованих платформах. Проте його результативність визначається статистичною впорядкованістю даних. Однак, потік прогнозно-залишкових блоків не вичерпується статистичною надлишковістю. Для усунення інших її видів доцільно застосувати альтернативні підходи до кодування спектрального простору цих блоків. Таке опрацювання спрямоване насамперед на виявлення стійких структурних патернів квантованих трансформант за умовою неоднорідності першого

порядку. Якщо розглянути високоінформативні зображення оброблені HEVC, то навіть після ланцюга перетворень (прогнозування, трансформування та квантування) у структурі трансформант прогнозно залишкових блоків зберігається надлишковість. Для її вилучення в роботі побудовано опрацювання транс-діагональних послідовностей. Таке перетворення враховує взаємну зумовленість їхніх значень та усуває надлишковість, яка залишається при обробці стандартним підходом.

Запропонований у дисертації підхід поєднує:

- структурування спектрального простору прогнозно-залишкових блоків
- математичне оцінювання рівня їхньої інформативності та
- структурно-зумовлене позиційне кодування транс-діагональних послідовностей

підвищує потенціал систем стиснення з компенсацією руху щодо зниження інтенсивності відеопотоку за збереження цілісності відеоданих. З огляду на викладене, дисертаційну роботу Ревви Кирила Віталійовича на тему «Методи кодування відеопотоку з компенсацією руху динамічних об'єктів для підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж» слід визнати актуальною.

2. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків і рекомендацій.

Дисертаційна робота Ревви К.В. являє собою закінчене наукове дослідження.

Обґрунтованість одержаних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується:

— коректним визначенням мети та науково-прикладної задачі, що ґрунтуються на аналізі сучасних систем стиснення з компенсацією руху динамічних об'єктів та методів ентропійного кодування;

— використанням методів дослідження, які відповідають поставленій задачі, а саме теорії інформації та кодування, цифрового опрацювання сигналів і спектрального аналізу, статистичного та інтелектуального аналізу, а також теоретичних засад усіченого позиційного кодування;

- застосуванням апробованих засобів комп'ютерного моделювання та проведенням експериментальних досліджень на розробленій програмній моделі створених методів;

- збігом результатів теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень щодо впливу розробленого методу на рівень стиснення відео блоків, цілісність відновлених відеокадрів та інтенсивність відеопотоку;

- несуперечливістю одержаних результатів відомим положенням теорії цифрового опрацювання та кодування.

Дисертація складається з анотації, чотирьох розділів, висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі сформульовані мета і науково-прикладна задача дисертації, обґрунтована її актуальність, наукова та практична цінність, наведені дані щодо апробації її результатів та зазначені публікації здобувача.

Перший розділ присвячений обґрунтуванню напряду підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж на основі систем стиснення з компенсацією руху динамічних об'єктів. Проводиться обґрунтування чинників, які призводять до зниження ефективності таких мереж, зокрема в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуацій. Виявлено протиріччя, яке полягає у потребі збільшення інформаційної інтенсивності відеопотоку за обмеженої пропускної здатності бездротових каналів зв'язку. Визначаються вимоги до перспективних методів, здатних знизити інтенсивність відеопотоку за збереження цілісності відеоданих. Отже, мета дослідження полягає в розробці методу кодування прогнозно-залишкових блоків в системах стиснення з компенсацією руху об'єктів для зниження інтенсивності відеопотоку та для підвищення ефективності інфокомунікаційних мереж на основі врахування структурно-спектральних патернів.

У другому розділі виявлено та обґрунтовано, що наявні системи стиснення на основі HEVC не забезпечують повною мірою вимог щодо зниження інтенсивності відеопотоку за збереження заданого рівня цілісності. Обґрунтовано переваги врахування структурних патернів спектрального простору прогнозно-залишкових блоків для підвищення рівня стиснення.

Розроблено метод встановлення стійких структурно-спектральних патернів транс-діагональних послідовностей у процесі квантування за умовою неоднорідності першого порядку. Створено математичну модель, яка дозволяє оцінити кількість інформації в послідовностях нерівномірно-діагонального формату структурованого спектрального простору. Побудовано метод структурно-зумовленого позиційного кодування, що реалізує базовий етап функціональних перетворень для формування компактного опису прогнозно-залишкового блоку.

У третьому розділі розробляється метод реконструкції послідовностей у нерівномірно-діагональному структурованому спектральному просторі прогнозно-залишкових блоків. Основним його етапом є розроблення теоретичних засад декодування кодових значень структурно-зумовлених позиційних чисел. Додатково запропоновано аналітичне співвідношення, яке дозволяє безпосередньо визначати поточне кодове значення за початковим кодом та вагою старшого елемента. Проводиться обґрунтування методу незалежного відновлення елементів за їх довільною позицією в структурно-зумовленому позиційному числі. Розробляється спосіб узгодження процесу відновлення прогнозно-залишкових блоків з етапами стандартизованої системи реконструкції відеокадрів.

Четвертий розділ присвячений порівняльному оцінюванню ефективності систем стиснення для передавання відеоданих інфокомунікаційними мережами. Розроблено інформаційну модель, яка дозволяє оцінити об'єм бітового опису компактного синтаксису розробленого методу. Експериментально доведено перевагу розробленого методу структурно-зумовленого позиційного кодування над цілочисельним арифметичним кодуванням CABAC для відео блоків і відеокадрів різного рівня інформативності. Перевага встановлена за критеріями рівня стиснення та зниження інтенсивності відеопотоку за заданого рівня цілісності відеоданих.

Висновки дисертації виходять з матеріалів наукового дослідження, демонструють наукову новизну та відображають результати дисертаційної роботи.

Додатки містять список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів, приклади відновлених відеокадрів у складі відеогрупи, а також акт реалізації результатів науково-прикладних досліджень.

Аналіз змісту анотації засвідчує її відповідність основним положенням, які викладено у тексті дисертації. Анотація не містить положень чи ідей, які не зазначені в основному тексті дисертації.

3. Достовірність та новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, не викликає сумнівів. Її забезпечено насамперед адекватністю оцінок коефіцієнта стиснення та інтенсивності відеопотоку за допустимого рівня цілісності. Ці величини одержано двома незалежними шляхами. Перший - аналітично, з використанням розробленої математичної моделі. Другий - експериментально, шляхом оброблення реалістичних відеопотоків на програмній реалізації створених методів кодування. Додатковим підтвердженням є узгодженість процесу відновлення прогнозно-залишкових блоків із подальшими етапами стандартизованої системи реконструкції відеокадрів. Також про коректність одержаних результатів свідчить аналіз відновлених кадрів у складі групи, який не виявив значимих артефактів та візуальних спотворень у режимах допустимого рівня цілісності. Методи кодування й відновлення трансформант виконано на основі коректного застосування математичного апарату усічено-позиційних кодових систем, що виключає внутрішні суперечності в аналітичній частині роботи.

Практичну спроможність одержаних результатів засвідчено їх упровадженням – актами реалізації результатів науково-прикладних досліджень на базі: підприємства ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС»; ТОВ «Одеський авіаційний завод», що додатково підтверджують достовірність результатів.

Особисто Реввою Кирилом Віталійовичем отримані наступні нові наукові результати:

1. Створено метод структурування спектрального простору прогнозно-залишкових блоків на основі квантування. Відмінності методу стосуються того,

що процес дискретизації спектрального простору здійснюється шляхом двокомпонентного інформативного на основі додаткового врахування інформації щодо стану попереднього елементу діагоналі та початкового значення поточного елементу з побудовою позиційних послідовностей із неоднорідностями першого порядку.

2. Створено математичну модель щодо визначення рівня інформативності прогнозно-залишкових блоків на основі структурування їх спектрального простору. Відмінності моделі стосуються того, що: визначення кількості допустимих станів транс-діагоналей знаходиться за одночасним обліком неоднорідностей першого порядку та психовізуально-спустошених властивостей в нерівномірно-діагональному форматі структурованого спектрального простору.

3. Створено метод структурно-зумовленого кодування прогнозно-залишкових блоків в спектральному просторі на основі усічено-позиційних кодових систем. Відмінності методу стосуються: використання технології утворення інформативно-позиційної ваги для квант-компонент транс-діагоналі прогнозно-залишкових блоків в структурованому спектральному просторі з врахуванням його нерівномірно-координатного формату в структурно-зумовленому позиційному просторі.

4. Створена система вирішальних правил щодо встановлення потрібної інформативно-позиційної ваги та безпосереднього вилучення довільного елементу структурно-зумовленого позиційного числа. Відмінність полягає у застосуванні співвідношення щодо наближеного оцінювання кодового значення.

5. Створено метод відновлення елементів блокового коду на основі використання властивостей структурно-зумовленого позиційного базису. Відмінності методу стосуються незалежного відновлення елементів за їх довільною позицією в SBP-числі шляхом безпосереднього використання початкового кодового значення.

4. Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Основні наукові результати одержані дисертантом особисто та в повному обсязі відображені в його публікаціях. За темою роботи опубліковано 14 праць, що свідчить про достатню публікаційну активність автора. Ключові положення дослідження викладено у 6 наукових статтях, з яких 1 проіндексована в міжнародній наукометричній базі Web of Science, а решта п'ять розміщені у фахових виданнях України категорії «Б». Апробацію розробок здійснено на міжнародному рівні — у 8 доповідях на наукових конференціях під егідою IEEE.

5. Значущість дослідження для науки і практики та шляхи його використання.

Науково-прикладне значення роботи визначається розробкою методу кодування, який за показниками стиснення перевершує стандартизований, це підтверджено кількісними показниками, одержаними на розробленій програмній моделі, а також актами реалізації: ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» (акт реалізації від 19.11.2025р.); ТОВ «Одеський авіаційний завод» (акт реалізації від 04.10.2025 р.).

Де інтеграція створених методів кодування та декодування до систем стиснення з компенсацією руху забезпечує: перевагу за рівнем стиснення відеоблоків відносно стандартизованого CABAC від 20 до 27 % за рівня цілісності PSNR 42–45 дБ і SSIM 0,98–0,99 та від 25 до 30 % для інформативних відеоблоків за PSNR 32–37 дБ і SSIM 0,91–0,95; перевагу від 20 до 25 % у разі кодування базових та від 15 до 20 % – передбачених відеокадрів; зниження інтенсивності відеопотоку в середньому на 10–17 % залежно від заданого рівня цілісності відеоданих.

Дисертація виконана у рамках: Закону України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 01.01.2022 № 75/98-ВР; Закону України «Про електронні комунікації» від 29.07.2023 № 1089-ІХ; положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджено

Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 р.). Дисертаційні дослідження проводились у відповідності із планами науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки у рамках яких була виконана НДР “Розроблення методів і засобів обробки ансамблю сигналів і розпізнавання радіовипромінюючих джерел та об’єктів в умовах апіорної невизначеності ” ДРН №0119U001406, в якій автор дисертації був виконавцем.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи та наукових публікацій Ревви К.В. показує, що здобувач послідовно розмежовує наявний науковий доробок і власний внесок. Використані з праць попередників положення, супроводжуються посиланнями на першоджерела. В статтях і тезах, підготовлених у співавторстві, особисту участь автора конкретизовано. За рахунок особистого вивчення та внутрішньої перевірки університету можу зазначити: ознак неправомірного використання чужих текстів або результатів не встановлено.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи і її окремих положень.

Результати аналізу змісту та структури дисертаційної роботи, викладених у ній теоретичних положень, науково-методичних і прикладних розробок дозволяють оцінити її позитивно. За своїм змістом дисертація повною мірою відповідає визначеній меті та поставленим завданням дослідження. Матеріал подано послідовно, науковим стилем, грамотною літературною українською мовою та оформлено згідно з чинними вимогами.

Вважаю за потрібне вказати на низку дискусійних положень і навести такі зауваження:

1. В стандартизованій технології передбачається, що після квантування в контурі застосовуються фільтри Deblocking і SAO (рис. 1.3, стор. 46 дисертації). Вони використовуються для згладжування артефактів між блоками. Однак в дисертації не розглянуто питання щодо впливу формування неоднорідності першого порядку на ефективність функціонування таких фільтрів. Розуміння цього сприяло б більшій узгодженості у роботі стандартизованих алгоритмів з розробленим методом.

2. Експериментальну перевірку виконано на наборі тестового матеріалу, зокрема зображеннях бази TID2013 та сайту [144] у переліку джерел. Водночас в дисертації не використовуються інші бази. Наприклад бази, що використовуються в телемедицині: ендоскопія та телехірургія (SurgToolLoc, Endoscapes2023). Використання таких баз розширило б практичний охопит розроблених в дисертації методів.

3. В дисертаційній роботі розроблені методи кодування прогнозно-залишкових блоків використовуються для обробки реалістичного відеоконтенту після трансформування. При цьому не розглядається можливість кодування штучного контенту. Водночас такі блоки в системі HEVC кодуються без попереднього трансформування до спектрального простору. Тому, на мій погляд, врахування таких особливостей дозволило б створити умови для додатково скорочення часових затримок на обробку.

4. У четвертому розділі дисертації рисунки 4.6 – 4.8б (сторінки 144-146) мають підписи режиму обробки «базовий кадр» та «передбачений кадр». Це створює плутанину, тому що усі оброблені системою HEVC кадри є передбаченими. Використання стандартизованих для HEVC термінів (Intra, inter), полегшило б розуміння про які саме кадри йде мова.

5. У загальних висновках дисертації серед напрямів використання результатів названо системи управління критичною інфраструктурою та центри аналізу й прийняття рішень у кризових ситуаціях. Водночас вимоги до цілісності відеоданих у таких системах можуть відрізнятися від прийнятих у роботі трьох градацій. Співвіднесення запропонованих градацій із вимогами конкретних класів систем зробило б рекомендації щодо застосування предметнішими.

Сформульовані зауваження не применшують наукової та практичної цінності одержаних результатів. Вони свідчать про глибину досліджуваної проблематики та можуть бути враховані здобувачем у подальшій науковій діяльності.

8. Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Ревви Кирила Віталійовича на тему «Методи кодування відеопотоку з компенсацію руху динамічних об'єктів для підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж» становить актуальне, завершене й самостійно виконане наукове дослідження, яке виконане з належним науково-технічним рівнем та логічною послідовністю викладу матеріалу.

У роботі обґрунтовано та розв'язано науково-прикладну задачу, а саме: зниження інтенсивності відеопотоку для забезпечення балансу та підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж.

За сукупністю актуальності, наукової новизни та вагомості одержаних результатів, ступеня їх обґрунтованості й достовірності, а також практичної значущості сформульованих положень і висновків є підстави стверджувати, що представлена дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пунктів 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 № 44 (зі змінами) та вимогам до оформлення дисертації, що затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40.

Таким чином, вважаю, що здобувач, Ревва Кирило Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктор філософії в галузі 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний рецензент:

Професор кафедри
інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського
Харківського національного університету радіоелектроніки

д.т.н., професор



Юлія КОЛЯДЕНКО