

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

кандидата технічних наук, доцента Костромицького Андрія Івановича на дисертаційну роботу Ревви Кирила Віталійовича «Методи кодування відеопотоку з компенсацію 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.

Ефективність інфокомунікаційної мережі визначається спроможністю доставити відеоповідомлення в реальному часі з урахуванням заданої цілісності та розподільної здатності. Ця спроможність зберігається до моменту, коли інтенсивність відеопотоку перевищує можливості каналу передачі даних. Зростання інтенсивності відео потоку є наслідком підвищення вимог до розподільної здатності та частоти кадрів. Ці вимоги висувають багато користувацькі платформи, а також системи ідентифікації, класифікації та визначення стану об'єктів інтересу. При цьому швидкість передавання даних у бездротових каналах залишається обмеженою, а за воєнного стану та надзвичайних ситуацій є ризик додаткового зниження швидкості. Таке може відбутись через руйнування інфраструктури, дефіцит енергоживлення та засоби радіоелектронної боротьби. Наслідком стає дисбаланс між інтенсивністю відеопотоку та швидкістю його передавання, який навіть для сучасних систем стиснення сягає від 30 до 90 %. Розв'язання цієї суперечності становить актуальну науково-прикладну задачу зниження інтенсивності відеопотоку для забезпечення балансу та підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж.

Зниження інтенсивності відеопотоку забезпечують системи стиснення з компенсацією руху динамічних об'єктів. Серед яких була обрана одна з найпоширеніших систем HEVC/H.265. Завершує ланцюг перетворень у цій платформі ентропійне кодування прогнозно-залишкових блоків методом двійкового цілочисельного арифметичного кодування CABAC. Дієвість такого

кодування зумовлена наявністю статистичних закономірностей у двійковому описі квантованих трансформант. Для прогнозно-залишкових блоків підвищеної інформативності ці закономірності послаблюються. В ситуація коли: велика насиченість сцени об'єктами інтересу, неточність прогнозування та компенсації руху, зміну масштабу об'єктів і ресурсні обмеження обчислювачів. Водночас у квантованому спектральному просторі таких блоків зберігається надмірність структурно-комбінаторного походження. Така надмірність засобами арифметичного кодування не вилучається. А тому, можливості подальшого зниження інтенсивності відеопотоку знайдено в опрацюванні структурних, а не статистичних властивостей спектрального простору прогнозно-залишкових блоків.

Опрацювання структурних надмірностей становить зміст дисертаційного дослідження Ревви К. В. Структурування спектрального простору здобувач виконує на етапі квантування за умовою неоднорідності першого порядку. Квантовані трансформанти подаються транс-діагональними послідовностями нерівномірно-діагонального формату. Рівень інформативності прогнозно-залишкових блоків автор оцінює побудованою математичною моделлю. Формування їх компактного опису відбувається методом структурно-зумовленого позиційного кодування в класі усічено-позиційних кодових систем. Реконструкцію відновлених блоків узгоджено з етапами стандартизованої системи відновлення відеокадрів, що унеможливорює додаткові втрати цілісності. Тим самим досягається скорочення надмірності саме для тих блоків, на яких результативність методу CABAC є найнижчою.

Викладене дає підстави визнати тему дисертаційної роботи Ревви Кирила Віталійовича «Методи кодування відеопотоку з компенсацію руху динамічних об'єктів для підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж» актуальною та своєчасною.

2. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків і рекомендацій.

Дисертаційна робота Ревви К. В. є самостійним дослідженням, у якому поставлену науково-прикладну задачу розв'язано в повному обсязі. Ступінь

обґрунтованості викладених у ній наукових положень, висновків і рекомендацій слід визнати достатнім. Коло питань, окреслене темою, розкрито послідовно та без істотних прогалин.

Наукові положення, винесені на захист, є обґрунтованими. Аналітичні побудови другого й третього розділів виконано в межах єдиного математичного апарату усічено-позиційних кодових систем. Суперечностей, у створених методах кодування й декодування немає. Розроблені методи працюють як ланцюг взаємно-однозначних перетворень, що виключає неконтрольовану втрату інформації. Властивості спектрального простору прогнозно-залишкових блоків досліджено з опорою на класичні положення цифрового опрацювання сигналів та спектрального аналізу. Оцінювання інформативності виконане за рахунок теорії інформації та комбінаторного аналізу. Одержані теоретичні залежності перевірено експериментально. Для цього була розроблена програмна модель. З її застосуванням були оброблені реалістичні відео потоки, де результати розроблених методів кодування та декодування узгоджуються між собою.

Достовірність сформульованих результатів підкріплена сукупністю незалежних чинників. Розрахункові та експериментальні оцінки рівня стиснення й інтенсивності відеопотоку узгоджуються між собою. Одержані результати не суперечать усталеним положенням теорії цифрового опрацювання сигналів і кодування. Цілісність відновлених відеокадрів оцінено за стандартизованими показниками PSNR та SSIM. Практичну придатність результатів засвідчено актами реалізації у ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» від 19.11.2025 р. та ТОВ «Одеський авіаційний завод» від 04.10.2025 р. Основні положення роботи оприлюднені на міжнародних науково-технічних конференціях та в наукових виданнях.

За структурою дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів із висновками до кожного, загальних висновків, списку використаних джерел зі 161 найменування та додатків. Матеріал викладено логічно й послідовно, а завдання дослідження узгоджено з висновками роботи. Назва дисертації відповідає її змісту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та науково-прикладну задачу, визначено об'єкт і предмет дослідження. Тут же окреслено методи дослідження, наведено відомості про наукову новизну, практичне значення, апробацію та публікації здобувача.

Перший розділ присвячено обґрунтуванню напряму дослідження. Здобувач кількісно оцінює дисбаланс між інтенсивністю відеопотоку та швидкістю передавання даних у бездротових мережах. Зокрема за умов воєнного стану та надзвичайних ситуацій. Далі він розглядає будову систем стиснення з компенсацією руху динамічних об'єктів і аргументує вибір платформи HEVC. Окрему увагу приділено ролі етапу ентропійного кодування прогнозно-залишкових блоків та поясненню необхідності покращувати стиснення за рахунок альтернативних підходів. За результатами аналізу сформульовано мету дослідження, яка полягає в розробці методу кодування прогнозно-залишкових блоків в системах стиснення з компенсацією руху об'єктів для зниження інтенсивності відеопотоку та для підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж на основі врахування структурно-спектральних патернів.

Другий розділ становить основу дослідження. У ньому встановлено, що подання квантованих трансформант у нерівномірно-діагональному форматі відкриває доступ до структурно-комбінаторної надмірності. Здобувач пропонує спосіб формування стійких структурних патернів транс-діагональних послідовностей на етапі квантування за умовою неоднорідності першого порядку. На цій основі побудовано математичну модель оцінювання рівня інформативності прогнозно-залишкових блоків. Завершує розділ метод структурно-зумовленого позиційного кодування, який формує компактний опис блоку.

Третій розділ показує зворотні функціональні перетворення. Здобувач розробляє теоретичні засади декодування структурно-зумовлених позиційних чисел. Виведено аналітичне співвідношення для визначення поточного кодового значення за початковим кодом і вагою старшого елемента. На його підставі обґрунтовано метод незалежного відновлення елементів за їх

довільною позицією. Окремо запропоновано спосіб узгодження реконструкції блоків з етапами стандартизованої системи відновлення відеокадрів.

Четвертий розділ відведено оцінюванню ефективності. Побудовано інформаційну модель для визначення бітового обсягу компактного синтаксису. Виконано порівняння розробленого кодування з методом САВАС на відеоблоках і відеокадрах різного рівня інформативності за трьома градаціями цілісності. Достовірність оцінок підкріплено застосуванням стандартизованих показників та візуальним контролем відновлених кадрів. За результатами дослідження підтверджено перевагу запропонованого методу.

Загальні висновки впливають зі змісту виконаних досліджень та відповідають поставленим завданням. Додатки містять перелік публікацій здобувача, відомості про апробацію результатів, приклади відновлених відеокадрів у складі відеогрупи та акти реалізації результатів досліджень.

Викладене засвідчує належний ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Ревви К. В.

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

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації не викликають сумніву щодо їх достовірності. Підставою для такої оцінки є розрахункові й експериментальні дані, які узгоджуються між собою та не суперечать відомим науковим результатам. Повноту опрацювання проблематики підтверджує достатня база джерел, яка містить сучасні дослідження українських і закордонних науковців. Практичну спроможність одержаних результатів засвідчено актами реалізації науково-прикладних досліджень на базі ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» та ТОВ «Одеський авіаційний завод», що підтверджує достовірність висновків роботи.

Особисто Реввою Кирилом Віталійовичем отримані наступні нові наукові результати. Вони стосуються наступного:

1. Створено метод структурування спектрального простору прогнозно-залишкових блоків. Основна відмінність стосується того, що в процесі

квантування одночасно досягається врахування психовізуальної надмірності та побудова позиційних послідовностей із неоднорідностями першого порядку, що забезпечує потенціал для збільшення рівня стиснення без втрат цілісності.

2. Розроблено математичну модель щодо визначення рівня інформативності прогнозно-залишкових блоків. Основна відмінність моделі стосується 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. Це дозволяє здійснювати контроль балансу між рівнем бітового об'єму та рівнем цілісності відновлених відео блоків.

3. Розроблено метод структурно-зумовленого кодування прогнозно-залишкових блоків в спектральному просторі. Основна відмінність методу стосується процесу формування інформативно-позиційної ваги для квант-компонент транс-діагоналі прогнозно-залишкових блоків. Саме відмінність полягає у тому, що процес формування ваги проводиться в структурованому спектральному просторі з врахуванням його нерівномірно-координатного формату в структурно-зумовленому позиційному просторі. Це забезпечує збільшення ефективності систем стиснення відео потоків.

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. Це забезпечує умову для незалежного відновлення елементів структурно-зумовлених позиційних чисел.

5. Розроблено метод відновлення елементів блокового коду на основі використання властивостей структурно-зумовленого позиційного базису. Це дозволяє створити умови для реконструкції структурованих трансформант прогнозно-залишкових блоків в умовах збереження потрібного рівня цілісності інформації.

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

Основні наукові результати здобувач одержав особисто, а в його публікаціях їх відображено з достатньою повнотою. За темою дисертації оприлюднено 14 наукових праць, що свідчить про належну публікаційну активність автора. Провідні положення дослідження викладено в 6 статтях. Одна з них уміщена у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Web of Science, а решта п'ять - у фахових виданнях України категорії «Б». Апробацію результатів здійснено на міжнародному рівні у 8 доповідях на наукових конференціях під егідою IEEE.

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

Теоретичний внесок дисертації полягає в обґрунтуванні напряму підвищення ефективності систем стиснення, альтернативного вдосконаленню статистичного ентропійного кодування: замість пошуку імовірнісних залежностей автор запропонував цілеспрямовано формувати та використовувати стійкі структурні патерни в квантованому спектральному просторі. Цей підхід реалізовано у створених методах квантування з формуванням неоднорідностей першого порядку, позиційного кодування транс-діагоналей та їх незалежного відновлення.

Прикладна цінність результатів підтверджується перевагою за рівнем стиснення відносно стандартизованої технології CABAC. Отримання таких результатів розширює множину режимів передавання, реалізованих у реальному часі за наявної пропускну здатності бездротових каналів. Отримані акти реалізації у ТОВ «ЮНЕЙ ДЕФЕНС» від 19.11.2025 р. та ТОВ «Одеський авіаційний завод» від 04.10.2025 р. підтверджують отримані результати.

Дисертаційне дослідження виконано в межах чинної нормативно-правової бази у сфері інформатизації та електронних комунікацій. Його правовим підґрунтям слугували Закон України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 01.01.2022 № 75/98-ВР, Закон України «Про електронні

комунікації» від 29.07.2023 № 1089-IX та положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», затвердженої Кабінетом Міністрів України 15 травня 2013 р. Роботу проведено відповідно до планів науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки. У їх межах виконано науково-дослідну роботу «Розроблення методів і засобів обробки ансамблю сигналів і розпізнавання радіовипромінюючих джерел та об'єктів в умовах апіорної невизначеності» (ДРН № 0119U001406), в якій здобувач був виконавцем.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Питання академічної доброчесності щодо поданої дисертації не викликає зауважень. Розмежування між чужими та власними результатами проведено послідовно. За всіма розділами роботи, цитування оформлено відповідно до чинних вимог, а походження наведених у четвертому розділі кількісних оцінок простежується до створеної автором програмної моделі. Це також підтверджує внутрішня університетська перевірка. Отже ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

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

Розгляд дисертації в сукупності її теоретичної, методичної та прикладної складових дозволяє оцінити роботу позитивно. Структура дослідження підпорядкована меті: кожен розділ розв'язує окреме часткове завдання і логічно готує наступний, а одержані результати у повному обсязі покривають заявлені завдання. Виклад витриманий у науковому стилі, оформлення відповідає чинним вимогам.

Водночас потрібно вказати щодо наявності декількох зауважень. Вони стосуються наступного:

1. В першому розділі дисертації автором достатньо ґрунтовна доводиться напрямок подальших досліджень щодо підвищення ефективності систем стиснення відео потоків з компенсацією руху. Водночас в роботі не достатньо висвітлено питання щодо вагомості впливу процесів виявлення об'єктів руху в

послідовності кадрів. Саме такий аналіз дозволяє додатково врахувати наявність надмірності серед кадрів.

2. Систему HEVC обрано як найбільш сумісну з точки зору апаратної підтримки та споживання ресурсів. Однак питання можливості інтеграції розробленого методу до попереднього покоління AVC-кодеків та найновішого кодеку VVC, розширило б розуміння можливостей практичного застосування.

3. У дисертації не надано порівняння розробленого методу кодування до методу кодування CABAC, яке стосувалося б стійкості до каналних помилок. Таке порівняння додало б розуміння стосовно практичного застосування та переваг розроблених дисертації методів.

4. У системі HEVC трансформування виконується для блоків змінного розміру. Проте ефективність розробленого методу в залежності від розміру блоку трансформації у роботі не проаналізовано. Уточнення цього аспекту підвищило б завершеність експериментальної частини.

5. Експериментальні дослідження виконано для єдиного значення частоти у 30 кадрів за секунду. Розширення експерименту на режими 60 і 120 кадрів за секунду не розглянуто, хоча це додало б практичної значущості розробленому методу.

6. В дисертаційній роботі присутні деякі орфографічні помилки. Також для деяких математичних виразів не завжди присутньою є пояснення фізичного смислу окремих складових.

Разом з тим зазначені зауваження, не впливають на обґрунтованість основних наукових положень дисертації та не змінюють оцінки її прикладної значущості.

8. Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Ревви Кирила Віталійовича є актуальним, завершеним і самостійно виконаним науковим дослідженням, якому притаманні належний науково-технічний рівень та логічна послідовність викладу.

У ній поставлено та розв'язано науково-прикладну задачу зниження інтенсивності відеопотоку для забезпечення балансу та підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних мереж..

Ураховуючи сукупність актуальності теми, наукової новизни й вагомості одержаних результатів, ступеня їх обґрунтованості та достовірності, а також практичної значущості сформульованих положень і висновків, є підстави стверджувати таке, 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:

Доцент кафедри інформаційно-мережної інженерії
Харківського національного університету радіоелектроніки

к.т.н., доцент



Андрій КОСТРОМИЦЬКИЙ