

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Мазіна Максима Юрійовича  
на тему «Методи стиснення зображень в системах Інтернету речей на  
мікроконтролерах»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»  
за спеціальністю 171 «Електроніка»

### **Актуальність теми дисертації.**

Алгоритми стиснення зображень на мікроконтролерах знаходять широке застосування в сучасних системах Інтернету речей, що використовуються для моніторингу, безпеки, автоматизації та передачі візуальних даних у промисловості, сільському господарстві чи побуті. Однією з основних проблем у таких системах є необхідність мінімізувати обсяг переданих та збережених даних, не втрачаючи при цьому важливих деталей, що критично для подальшої обробки або розпізнавання зображень.

Відомо, що класичні методи компресії зображень, особливо у випадку багаторівневого стиснення, часто призводять до значних втрат якості й деталізації, що може унеможливити виконання цільових завдань.

Особливої актуальності набувають питання передачі зображень через енергозберігаючі бездротові канали, де важливо не тільки досягти високого ступеня стиснення, але й забезпечити стійкість до появи артефактів та зберегти інформативність даних при нестабільних мережевих умовах. Важливим напрямом сучасних досліджень є також розвиток методів кількісної оцінки якості реконструйованих зображень (наприклад, із застосуванням евклідової відстані), а також удосконалення процедур автоматичного виявлення та виправлення артефактів, що можуть виникати при багатоетапній компресії.

Розв'язання цих питань має істотне значення для створення надійних і ефективних IoT-рішень, здатних працювати в умовах обмежених апаратних та комунікаційних ресурсів.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Здобувачем проведено детальний теоретичний аналіз алгоритмів стиснення зображень з адаптацією вейвлет-перетворень до умов обмежених обчислювальних ресурсів мікроконтролерів, а також числовими експериментами, що охоплюють різні конфігурації системи.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- запропоновано комбінований метод обробки зображень, що інтегрує вейвлет-перетворення з алгоритмом JPEG, що дозволяє досягти високого ступеня стиснення без істотної втрати візуальної якості.

- оцінено ефективність використання комбінованого підходу для обробки зображень, що інтегрує вейвлет-перетворення з безвтратними методами кодування (RLE та Хаффмана), в умовах обмежених обчислювальних ресурсів мікроконтролерів.

- вперше запропоновано використовувати евклідову відстань як метрику для оцінки локальних похибок і артефактів поряд з загальноприйнятими кількісними метриками якості зображення (PSNR, SSIM, MSE). Отримані числові результати демонструють повторюваність та узгодженість між експериментальними даними й теоретичними припущеннями.

- адаптовано вейвлети Haar, Daubechies та Coiflet до задач обробки в реальному часі мікроконтролерами з урахуванням затримок, обсягів пам'яті та рівнів ітерації. Запропоновано й експериментально перевірено метод виявлення та виправлення артефактів, спричинених накопиченням математичних похибок, що забезпечує істотне покращення структури зображень після декомпресії.

Дослідження виконувались у межах науково-дослідної теми кафедри Акустичних та мультимедійних електронних систем КПП ім. Ігоря Сікорського – «Автоматизована система суб'єктивного та об'єктивного оцінювання якості мовлення» (№ держреєстрації 0116U008959), що додатково підтверджує наукову валідність, відповідність тематики державним пріоритетам, а також практичну цінність одержаних результатів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Мазіна М.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі 171 «Електроніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям проектування електронних засобів Інтернету речей з оброблення кольорових зображень.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна

робота Мазіна Максима Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Виклад матеріалу є послідовним, логічним і доступним, із чітким дотриманням наукового стилю. Термінологія використовується коректно й уніфіковано відповідно до загальноприйнятих стандартів. Робота відповідає вимогам до дисертацій технічного профілю за структурою та мовленням.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Робота містить 28 рисунків та 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації 144 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також окреслено наукову новизну й практичну цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячено аналізу застосування алгоритмів обробки зображень у бездротових сенсорних мережах. Розглянуто обмеження таких систем і обґрунтовано доцільність використання технології LoRa спільно з мікроконтролером ESP32-CAM для їх подолання.

У другому розділі розкрито теоретичні основи вейвлет-перетворень (Хаара, Добеші, Коіфлет) та обґрунтовано вибір апаратного забезпечення. Детально описано алгоритм експерименту та порівняльно оцінено ефективність зазначених перетворень.

Третій розділ висвітлює застосування методів стиснення зображень у сенсорних системах. Проведено експеримент із використанням алгоритмів RLE, Хаффмана та JPEG, результати якого підтвердили перевагу JPEG у ступені стиснення.

У четвертому розділі представлено процедуру відновлення зображень після обробки комбінованим методом JPEG + вейвлет-перетворення із реалізацією на платформі ESP32-CAM.

П'ятий розділ описує реалізацію алгоритму виявлення й виправлення артефактів, що виникають унаслідок перетворення. Наведено приклади програмного коду та математичні моделі для точного визначення проблемних областей у зображенні.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

## **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України. Також результати дисертації були апробовані на 1 науковій фаховій конференції. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

## **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У тексті роботи зустрічається дублювання та стилістично некоректні посилання на таблиці (наприклад, сторінка 56: «У Таблиці Таблица 1»), що потребує редакційного уточнення.

2. У підрозділах 3.1 - 3.3 та 4.1 - 4.2 варто було б чіткіше розмежувати теоретичну частину та практичні результати дослідження. Перенесення частини теоретичного обґрунтування до другого розділу сприяло б структурній ясності.

3. У пункті 5.2 роботи подано результати порівняння впливу медіанного фільтра на якість зображень, однак не конкретизовано ефект для різних рівнів декомпозиції (наприклад, для третього рівня), що обмежує повноту аналізу.

4. У деяких місцях (зокрема в розділі 2) спостерігається надмірна деталізація опису відомих алгоритмів без подальшої аналітичної інтерпретації їх доцільності саме для мікроконтролерних систем з обмеженим об'ємом пам'яті і невисокою продуктивністю.

5. У висновках роботи чітко не представлено аналіз або результати, що стосуються використання евклідової відстані як додаткової метрики оцінки якості перетвореного зображення.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Мазіна Максима Юрійовича на тему «Методи стиснення зображень в системах Інтернету речей на мікроконтролерах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Електроніка та телекомунікації». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам

чинного законодавства України, що передбачені в п. 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 р. № 44.

Здобувач Мазін Максим Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 171 «Електроніка».

**Офіційний опонент:**

Доцент кафедри електроніки та  
телекомунікацій Луцького національного  
технічного університету

к.т.н., доцент

/ \_\_\_\_\_ /  
(підпис)

Сергій МОРОЗ

М.П. «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року