

## **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.**

Актуальність теми дослідження зумовлена стрімким розвитком систем Інтернету речей (IoT), в яких мікроконтролери дедалі частіше використовуються для збору, обробки та передачі візуальної інформації в режимі реального часу. Такі системи активно впроваджуються у сфери моніторингу довкілля, безпеки, промислової автоматизації та розумного житла. В умовах обмеженої обчислювальної потужності, обмеженого обсягу пам'яті та низької пропускної здатності каналів зв'язку виникає потреба у високоефективних методах стиснення зображень, які дозволяють мінімізувати обсяг переданих даних без істотної втрати їх інформативності.

Класичні алгоритми компресії, зокрема при багаторівневому стисканні, часто призводять до зниження якості реконструйованого зображення, що унеможливорює його подальший аналіз або розпізнавання. Особливо актуальними стають дослідження, спрямовані на розробку комбінованих методів стиснення, які поєднують вейвлет-перетворення з ентропійним та безвтратним кодуванням, а також здатні забезпечити стійкість до спотворень, пов'язаних із артефактами компресії.

Крім того, актуальним є вдосконалення методів кількісної оцінки якості відновлених зображень, зокрема використання евклідової відстані як метрики виявлення локальних похибок. Не менш важливим напрямом є розроблення алгоритмів автоматичного виявлення та корекції артефактів, що виникають унаслідок багатоступеневої компресії.

Таким чином, дослідження методів ефективного стискання зображень з урахуванням особливостей мікроконтролерних платформ та обмежених енергетичних і комунікаційних ресурсів є науково та практично обґрунтованим і має важливе значення для розвитку надійних IoT-рішень нового покоління.



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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше запропоновано в контексті обробки зображень мікроконтролерами використовувати евклідову відстань як допоміжний критерій для оцінювання якості реконструйованих зображень, що дозволяє більш точно виявляти локальні спотворення, не враховані традиційними метриками PSNR, SSIM та MSE. Застосування такого підходу продемонструвало високу кореляцію між об'єктивними і візуальними характеристиками якості;

- розроблено метод комбінованого стиснення зображень, у якому зображення спершу обробляється методом дискретного вейвлет-перетворення, а потім виконується JPEG стиснення. Така інтеграція дозволяє суттєво знизити обсяг переданої інформації без істотного погіршення візуальної якості та забезпечує сумісність із поширеними стандартами стиснення.

- здійснено програмне моделювання на мікроконтролерах та експериментальна перевірка алгоритмів стиснення зображень на основі методів Run-Length Encoding (RLE) та ентропійного кодування Хаффмана. Проведено порівняльний аналіз із JPEG-компресією.

- здійснено програмне моделювання та тестування алгоритмів стискання зображень на основі вейвлет-перетворень Daubechies, Haar і Coiflet з урахуванням архітектурних обмежень мікроконтролерів. Надана кількісна порівняльна оцінка їх ефективності.

- запропоновано нову процедуру виявлення і виправлення артефактів, що виникають унаслідок багаторівневої декомпозиції зображення при вейвлет-перетворенні. Алгоритм дозволяє зменшити негативний вплив накопичених похибок і суттєво покращити чіткість зображення після його відновлення.

Дослідження виконувались у межах науково-дослідної теми кафедри Акустичних та мультимедійних електронних систем КПІ 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. В цілому термінологія використовується коректно й уніфіковано відповідно до загальноприйнятих стандартів. Робота відповідає вимогам до дисертацій технічного профілю за структурою та мовленням.

У вступній частині дисертації обґрунтовано вибір тематики дослідження з урахуванням її наукової й прикладної значущості. Визначено мету дослідження, сформульовано основні завдання, уточнено об'єкт і предмет дослідження. Також висвітлено положення, що відображають наукову новизну та практичну корисність отриманих результатів.

Перший розділ містить огляд використання алгоритмів цифрової обробки візуальної інформації в складі бездротових сенсорних мереж. Проаналізовано технічні обмеження таких систем, а також обґрунтовано доцільність впровадження низькопотужної радіотехнології LoRa у поєднанні з апаратною платформою ESP32-CAM для побудови ефективного вузла збору та передавання зображень.

Другий розділ присвячено теоретичним аспектам вейвлет-перетворення різних типів (Хаара, Добеші, Коїфлет), які застосовуються для багаторівневої декомпозиції зображень. Представлено логіку вибору технічної платформи для реалізації експерименту, описано послідовність дій під час проведення вимірювань, а також здійснено порівняльну оцінку ефективності розглянутих перетворень.



У третьому розділі досліджено ефективність методів стиснення зображень у контексті використання на пристроях IoT. Експериментально перевірено застосування RLE, Хаффмана й JPEG-компресії, в результаті чого встановлено, що JPEG-алгоритм демонструє найвищий рівень стискання, зберігаючи при цьому прийнятну якість зображення.

Четвертий розділ присвячено поетапному відновленню зображень, які були попередньо оброблені комбінованим методом, що поєднує JPEG і вейвлет-перетворення. Наведено особливості реалізації такого підходу на базі мікроконтролера ESP32-CAM з урахуванням апаратних обмежень.

У п'ятому розділі наведено запропонований алгоритм виявлення й корекції артефактів, що з'являються внаслідок похибок обчислень при стисненні. Описано математичні підходи та використані програмні засоби для локалізації дефектних ділянок 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 розділі 2 місцями спостерігається надлишкова кількість графіків і таблиць, що ілюструють очевидні закономірності (наприклад, вплив рівня декомпозиції на час обробки), без достатнього узагальнення або висновків, що ускладнює сприйняття аналітичної частини матеріалу.

2. В описі експериментальної методики (розділ 3.2) не деталізовано параметри середовища, у якому проводилися тести (наприклад, частота процесора, наявність кешу, енергоспоживання), що важливо для повторюваності дослідження в умовах мікроконтролерів.

3. У підрозділі 4.3 наведено результати відновлення зображення після комбінованого перетворення, однак не уточнено, які саме типи зображень (реальні сцени, синтетичні шаблони тощо) використовувались у тестуванні, що знижує узагальнюваність висновків.

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.



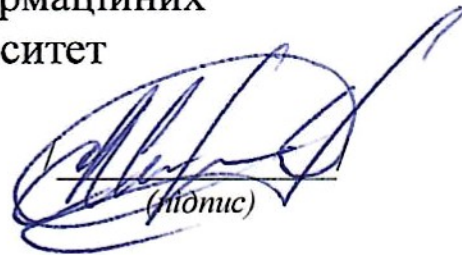
### Висновок про дисертаційну роботу

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 комп'ютерних інформаційних технологій ДНП "Державний університет "Київський авіаційний інститут"  
к.т.н., доцент

  
(підпис)

Мирослав РЯБИЙ

М.П. «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

