

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Сторожика Дениса Володимировича
на тему «Удосконалення автоматизованої системи діагностування
дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації.

Якість дорожнього покриття є важливою економічною складовою для інфраструктури будь-якої держави, оскільки господарсько-економічні відносини відбуваються за рахунок товарообігу через транспортні перевезення. Під час експлуатації, транспортне покриття зношується і його потрібно відновлювати. В Україні створено «дорожній фонд» для розвитку і ремонту доріг України. Діагностика та ремонт дорожнього покриття потребує значних фінансових витрат. Сьогодні для збору та аналізу інформації про стан мережі транспортних доріг необхідно витратити значні ресурси, що роблять цей процес досить затратним.

Сучасний підхід скорочення витрат на діагностику дорожнього покриття полягає у автоматизації процесу аналізу даних стану транспортних доріг із використанням інструментарію машинного зору та застосування інформаційних систем підтримки прийняття рішень щодо необхідності проведення ремонтних робіт. Такий підхід зменшує використання людських ресурсів та часу на обробку інформації. За даним напрямком досліджень працюють науковці багатьох розвинутих країн, оскільки від якості дорожнього покриття залежить кількість транспортних перевезень, що безпосередньо впливає на валовий внутрішній продукт держави. За неведеним вище, актуальність теми дисертації Сторожика Д.В. не викликає сумнівів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- 1) удосконалено систему автоматизованого діагностування стану дорожнього покриття із комплексуванням зображень шляхом впровадження підсистеми обробки зображень, застосування методу аугментації теплових зображень та класифікації дефектів дорожнього покриття;

- 2) вперше запропоновано та розроблено метод мультиспектрального злиття зображень з адаптивним визначенням вагових коефіцієнтів на основі вейвлет перетворення; метод мультиспектрального злиття зображень полягає в розкладанні початкових зображень на вейвлет коефіцієнти та визначені згортковою нейронною мережею вагових коефіцієнтів у результуючому зображенні, такий підхід дозволяє збільшити інформативність результуючого зображення при проведенні діагностування дорожнього покриття;
- 3) вперше розроблено метод аугментації теплових зображень на базі злиття зображень для задач класифікації; метод аугментації полягає в поєднанні вейвлет коефіцієнтів отриманих із початкових зображень одного об'єкту та зворотному перетворенню для отримання аугментованого зображення, що дозволяє підвищити ймовірність коректної класифікації дефектів при проведенні діагностування дорожнього покриття.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі автоматизації та систем неруйнівного контролю КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках ініціативного проєкту «Автоматизація процедур теплового неруйнівного контролю з використанням технологій штучного інтелекту (державний реєстраційний номер: 0123U103688, 2023 р.) під керівництвом професора кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, д.п.н., професора Протасова Анатолія Георгійовича.

В дисертаційній роботі поставлене наукове завдання **підвищення якості та зменшення трудомісткості діагностування стану дорожнього покриття шляхом автоматизації процесу обробки даних із використанням інструментарію штучного інтелекту** 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 Сторожика Д.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям: «Автоматизовані системи управління».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сторожика Д.В. 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. Зміст роботи відзначається чіткою та логічною послідовністю. Основний матеріал роботи доступно написано, що робить його легким для сприйняття. Стиль написання дозволяє без зусиль розібратися у науковій проблемі. При написанні роботи здобувач використав загальноприйняту термінологію зі спеціальності.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 136 сторінок.

У вступі дисертаційної роботи: обґрунтовано актуальність наукового дослідження; визначено мету, завдання та зроблено перелік методів дослідження; обґрунтовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів; зроблено перелік наукових публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого вкладу здобувача.

У першому розділі проведено літературний аналіз діагностики дорожнього покриття, включаючи методи оцінки його стану, такі як георадари, лазерні сканери, світлове та інфрачервоне випромінювання. Також розглянуто інформаційні системи автоматизованого моніторингу діагностики якості стану доріг із використанням нейронних мереж. Описано класифікацію дефектів дорожнього покриття, їх характеристики та способи виявлення.

Другий розділ присвячено аналізу методів автоматичного діагностування стану дорожнього покриття в інформаційних системах. Тут розглянуто основні методи злиття зображень (комплексування зображень) для видимого і інфрачервоного діапазону зображення, порівняно переваги та недоліки розглянутих методів, запропоновано використовувати ентропію Шенона як метрику інформативності комплексованих зображень. Зроблено огляд відомих нейронних мереж для класифікації зображень та їх використання в системах діагностики. По суті, перші два розділи є оглядовими, в яких проведено аналіз існуючих безконтактних методів для діагностування якості дорожнього покриття.

У третьому розділі автор розробляє метод тиражування псевдореальних комплексних зображень (метод аугментації) для його подальшого використання у навчанні нейронної мережі, що діагностує якість дорожнього покриття. Тут запропоновано метод аугментації із адаптивним визначенням ваг комплексного зображення. Для автоматизації визначення ваг здобувач запропонував використати нейронну мережу ResNet, що розглянута у другому розділі.

У четвертому розділі запропонована структура автоматизованої системи діагностики та ремонту дорожнього покриття, яка складається із підсистеми обробки зображень, підсистеми підтримки прийняття рішень та підсистеми ремонту дорожнього полотна. Для підсистеми обробки зображень розглянуто: процес попередньої обробки з комплексуванням зображень; підбір та навчання нейронної мережі для класифікації типів дефектів. Також у розділі запропоновано алгоритми для роботи автоматизованої системи діагностики.

У п'ятому розділі розглянуто приклади імітаційного моделювання для автоматизованої системи діагностики та ремонту дорожнього покриття. За результатами наукового дослідження зроблено висновки. Список використаних джерел оформлено для кожного розділу індивідуально.

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 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus. Результати дисертації апробовані на 6 наукових фахових конференціях, серед яких міжнародні та всеукраїнські науково-практичні конференції.

Кількість публікацій та їх зміст охоплює повний зміст дисертаційної роботи. У вступі дисертаційної роботи здобувач зробив перелік наукових публікацій у співавторстві із зазначенням власного вкладу, що засвідчує дотримання принципів академічної доброчесності в наукових публікаціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Вважаю, що у визначенні *об'єкту дослідження* (стор. 18, 3-й абзац) доповнення “... *автоматизованого керування діагностикою поточного стану ...*” є недоцільним, оскільки на пряму вказує на використані методи дослідження, які корелюються із предметом дослідження. На мій погляд, *об'єктом дослідження є процес діагностики стану дорожнього покриття*. Основна відмінність об'єкта від предмета дослідження в тому, що об'єкт – загальне (ціле), а предмет – це частина цілого.
2. У п. 1.1 вводиться поняття *дорожнього одягу* та його основних властивостей. Проте, у першому розділі не розглянуто із якого матеріалу може формуватися *дорожнє покриття*, що зображено на рис. 1.1, а. Від типу дорожнього покриття (асфальт, бетон, бруківка, щебінь та інше) залежить

швидкість зношування, дефекти, методи діагностування та його відновлення (це важливий момент). У роботі здобувач не вказав для якого типу дорожнього покриття розроблено методи автоматизованого діагностування.

3. На стор. 30 посилання [52] дано не в порядку згадування публікації у тексті дисертації. Для розглянутої у [52] системи моніторингу не описано, які типи датчиків застосовано, принцип її роботи, рис. 1.7 має низьку якість.
4. По суті, перший і другий розділи дисертації є оглядовими, в яких проведено аналіз сучасних підходів до розробки автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття. Після аналізу сучасного стану наукової проблеми необхідно обґрунтувати та перелічити основні задачі дослідження. Підрозділ постановки задачі дослідження у роботі відсутній, хоча у введенні є перелік поставлених задач.
5. У третьому розділі посилання на залежності (3.1), (3.2), (3.5) – (3.8) зроблено як на математичні формули, але ці залежності не являються математичними формулами. Так, пряме та зворотне вейвлет-перетворення визначається через математичний оператор інтегралу, а цільова функція (3.7) має містити добуток (відповідні математичні символи відсутні у формулах відсутні). Мабуть, якщо здобувач програмну частину дослідження реалізовував на Пайтоні, то коректніше це назвати функціями Пайтона, які реалізують відповідні математичні операції.
6. У третьому розділі розроблявся метод аугментацій для розмноження комплексних модальних зображень із наявних типових дефектів дорожнього покриття, що зображені на рис. 4.1. Проте, прикладу такого використання даного методу у роботі я не знайшов. Вважаю, це важливим етапом, оскільки ці зображення повинні використовуватися при навчанні нейронної мережі для класифікації типів дефектів – інакше цей підрозділ лишній.
7. На рис. 4.1 кожна пара зображень видимого та теплового спектру повернуті одна відносно одної на 90 градусів. Яка аргументація для такої наочності?
8. У роботі (п. 4.2) відсутні технічні рішення щодо реалізації безконтактного діагностування дорожнього полотна за допомогою ходової лабораторії. На мій погляд, це не тривіальне завдання. Якщо ходова лабораторія має переміщуватися на достатній швидкості, ця характеристика повинна синхронізуватися із витримкою камер для фіксації видимого та теплового зображень, інакше отримаємо розмите зображення, яке непридатне для подальшого використання. Також для роботи ходової лабораторії повинні враховуватися температурні обмеження середовища на використання тепловізора.
9. П. 4.4 Розробка алгоритмів системи має декларативний характер, оскільки алгоритм руху ходової лабораторії та алгоритм підсистеми обробки зображень складається із одної ілюстрації і одного речення опису для

кожного алгоритму. У наведених алгоритмах не враховані властивості безконтактного контролю якості дорожнього покриття (див. зауваження 8).

10. У п'ятому розділі розглядаються результати обчислювальних експериментів. Розділ має описовий характер. Автор стверджує, що для проведення досліджень зібрано 6000 зображень із дефектами. Але не зрозуміло, яким чином із цим набором даних можна ознайомитися, щоб використати їх при продовженні наукових дослідженнях за даним напрямком, або оцінити якість наявних даних. Якщо це результат наукової новизни (2-й пункт загальних висновків, стор. 130), то у науковців повинен бути доступ до цієї інформації. Це зауваження стосується також програмних продуктів автора, що реалізовано на платформі AWS. Звичайно, що не завжди цю інформацію можна якісно відобразити у тексті дисертаційної роботи. Проте, автор повинен заздалегідь потурбуватися про надання доступу до отриманих результатів, наприклад розміщення програмного коду і результатів на наукових або професійних хмарних сховищах (Kaggle, GitHub, AWS, інші) із відповідними лінками у тексті дисертації.
11. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються неточності оформлення щодо вимог ДСТУ 3008:2015 та ДСТУ 1.5:2015. Наприклад: на стор. 2, 18, 40, 50, 54, 66, 67, 68, 69, 88, 120, 122, 123, 124, 125 оформлені із орфографічними помилками; посилання на залежності (2.1), (2.4) – (2.8) в основному тексті дисертації згадуються до визначення самих формул; у тексті роботи відсутнє посилання на рис. 2.12;
12. У тексті дисертації зустрічаються описки (див. стор. 25, 4-й абзац; стор. 50, 1-й абзац; див. стор. 85, 2-й абзац).

Вважаю, що зазначені 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.

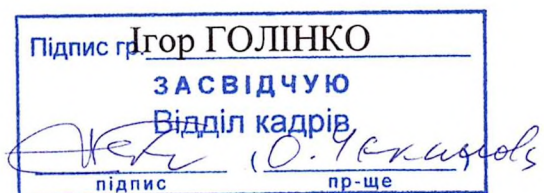
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сторожика Дениса Володимировича на тему «Удосконалення автоматизованої системи діагностування дорожнього покриття з використанням штучного інтелекту» виконана на достатньому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має вагоме значення для галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування. 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 Сторожик Денис Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Рецензент:

доцент кафедри автоматизації
енергетичних процесів
КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доцент



« 10 » березня 2025 року