

ВІДГУК
офіційного опонента
кандидата технічних наук, доцента
Золотухіна Олега Вікторовича
на дисертаційну роботу Кравченка Олександра Сергійовича
«Розробка методів діагностики дефектів поверхонь
методами машинного навчання»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
12 Інформаційні технології

Актуальність теми

Дисертаційна робота Кравченка О.С. вирізняється високою міждисциплінарною актуальністю, поєднуючи оптико-фізичне моделювання, методи цифрової обробки зображень і сучасні підходи машинного навчання. Успішна інтеграція цих напрямів дозволяє розв'язати складну науково-прикладну задачу - автоматизоване виявлення та класифікація мікродефектів плоских дзеркальних поверхонь за інтерференційними зображеннями, що є надзвичайно важливою для передових технологій.

Особливої актуальності ця тематика набуває у зв'язку з розвитком високочутливих оптичних систем для космічної техніки, лазерної медицини, квантових комунікацій та термоядерних реакторів. У всіх цих сферах навіть мікроскопічні дефекти поверхні можуть звести нанівець ефективність системи або створити небезпеку для її функціонування. Традиційні методи контролю не здатні забезпечити ані необхідну точність, ані масштабованість у виробництві. Саме тому розробка, запропонована в дисертації, є вкрай затребуваною.

Інноваційність підходу полягає не лише в поєднанні глибокого навчання зі знаннями про фізичні принципи формування інтерференційної картини, а й у використанні синтетичних навчальних вибірок, що моделюють реальні умови з урахуванням шумів, оптичних нелінійностей та характеристик мікроінтерферометра Лінніка. Завдяки цьому стало можливим подолати дефіцит емпіричних даних, що зазвичай гальмує впровадження штучного інтелекту в оптику.

Таким чином, робота не лише відповідає сучасним науковим викликам, а й формує новий підхід до діагностики якості поверхонь, здатний суттєво підвищити ефективність контролю в багатьох галузях. Її актуальність є беззаперечною як з точки зору наукової новизни, так і практичної значущості.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Наукові положення та висновки дисертації Кравченка О. С. базуються на цілісній науковій концепції, де кожен етап дослідження логічно впливає з попереднього, а гіпотези та вибрані методи мають внутрішню узгодженість. Робота демонструє глибоке розуміння предметної області — від фізичних основ інтерференційної оптики до сучасних методів штучного інтелекту.

Обґрунтованість теоретичних моделей, зокрема побудови функції інтенсивності світла для інтерферометра Лінніка, є бездоганною: виведені аналітичні залежності супроводжуються поясненнями, посиланнями на класичні джерела, графічними ілюстраціями та експериментальними прикладами. Так само добре обґрунтовано методи генерації синтетичних даних і побудови навчальних вибірок, які є критично важливими для тренування нейромереж у специфічній предметній області, де реальні дані недоступні або обмежені.

Кожен із висновків, поданих у дисертації, підкріплено результатами розрахунків, візуалізаціями, метричними показниками якості або прикладами з практичного впровадження. Рекомендації щодо використання синтетичних даних для навчання та застосування адаптивних методів (наприклад, fine-tuning та soft voting) мають не лише методологічну обґрунтованість, а й прикладну доцільність. Таким чином, наукова логіка та структурна узгодженість дослідження свідчать про високий рівень обґрунтованості всіх результатів.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів забезпечена відповідністю математичних моделей реальним фізичним процесам формування інтерференційної картини. Обчислення супроводжуються числовими прикладами, графіками, а результати нейромережевого аналізу перевірені як на синтетичних, так і на реальних даних. Це свідчить про належну точність моделювання та підтверджує практичну цінність отриманих результатів.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести:

1. Метод синтезу монохромних інтерференційних картин із урахуванням фізичних і геометричних особливостей мікроінтерферометра Лінніка для створення реалістичної синтетичної навчальної вибірки;
2. Адаптацію архітектури MobileNetV2 для класифікації чотирьох класів дефектів поверхонь (без дефектів, одна подряпина, кілька подряпин, вм'ятина) із застосуванням fine-tuning, аугментації й soft voting;
3. Метод вдосконалення синтетичної вибірки шляхом додавання реальних артефактів (шум детектора, пилові частинки, нерівномірна контрастність) для підвищення переносимості моделей на реальні умови;
4. Вдосконалену інформаційну технологію для автоматизованого виявлення й класифікації субмікронних дефектів за інтерференційними зображеннями, що забезпечує високу швидкість та точність обробки реальних інтерференційних зображень.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

1. Для промислового контролю якості та безконтактної неруйнівної дефектоскопії дзеркальних поверхонь;
2. Для наукових досліджень з оптики, мікроелектроніки, матеріалознавства тощо;

3. В наукових дослідженнях кафедри Комп'ютерної математики і аналізу даних Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в рамках держбюджетної теми МОН України: «Інтелектуальні моделі та методи автоматизованого визначення якості поверхні за зображенням її інтерференційної картини» (за договором №БФ/5-2025 від 01.03.25)

4. При розробці і впровадженні в навчальний процес НТУ «ХП» – у дисциплінах «Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка», «Математичні методи комп'ютерного зору», «Методи глибокого машинного навчання», «Нейромережеві технології».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

У відкритому друці за темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, у тому числі: 5 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 3 тези доповідей на міжнародних конференціях.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 183 сторінки машинописного тексту. Дисертація містить по тексту 13 таблиць та 43 рисунки. Список використаних джерел містить 185 найменувань на 21 сторінці, 2 додатки – на 2 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації – 165 сторінок.

Метою дисертаційної роботи є створення моделей, методів та програмних засобів для автоматизованого аналізу інтерференційних зображень дзеркальних поверхонь із метою виявлення дефектів. Запропоновано комплексне рішення, що поєднує фізичне моделювання, синтез даних і глибоке навчання.

У першому розділі обґрунтовано актуальність проблеми та проаналізовано джерела. Наведено класифікацію мікродефектів, оцінено їхній вплив на оптичні системи, здійснено огляд методів аналізу інтерференційних картин, розглянуто потенціал цифрової голографії та нейронних мереж.

Другий розділ містить детальний опис побудованої математичної моделі ІК у мікроінтерферометрі Лінніка. Ураховано фізичні характеристики джерела, геометрію інтерференції, нахили, розсіювання, шум камери. Представлено формулу для остаточного синтезу інтенсивності. Реалізовано ефективне програмне рішення.

У третьому розділі розроблено моделі дефектів. Для подряпин — траєкторний підхід із модуляцією, згасанням, інтерполяцією. Для вм'ятин — моделі на основі параболоїдів, гаусівських та косинусних функцій, із додаванням «валіка» для механічних ушкоджень. Додано Perlin-шум для реалізму.

У четвертому розділі описано машинне навчання CNN-моделі на синтетичних ІК. Висвітлено структуру нейромережі, методи покращення (dropout, batch normalization), процедури валідації. Результати свідчать про високу точність і ефективність запропонованої технології в умовах нестабільного експерименту.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 185 найменувань досить повний і включає сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

Дисертаційна робота виконана на високому рівні, однак має певні аспекти, які можуть бути уточнені чи поглиблені:

1. Автор реалізує інтерферометричне моделювання на базі мікроінтерферометра Лінніка, проте інші поширені інтерферометри (типу Фабрі-Перо, Зернике, Вайкоффа) не розглядалися. Це обмежує універсальність запропонованого підходу.

2. Було б доцільно доповнити аналіз загальної архітектури інформаційної технології: які саме компоненти включено, чи передбачено API для зовнішньої інтеграції, чи можлива адаптація під інші виробничі задачі.

3. Автор не наводить обґрунтування вибору функцій втрат, метрик точності або критеріїв оцінки в умовах класового дисбалансу — що є поширеною проблемою в технічному візуальному контролі.

4. Модель працює на зображеннях ІК у певному спектрі довжини хвилі ($\lambda \approx 540$ нм), проте залишилось відкритим питання її адаптації до інших довжин хвиль або багатоспектральних зображень.

5. Частина графіків (наприклад, профілі інтенсивності чи залежності контрастності) є інформативними, проте могли б супроводжуватися статистичними характеристиками (дисперсією, довірчими інтервалами), що підвищило б аналітичну глибину дослідження.

6. Існують недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи, за текстом іноді зустрічаються друкарські, пунктуаційні та стилістичні помилки.

Указані зауваження не знижують наукової цінності дослідження, а вказують на потенціал його подальшого розвитку в напрямку універсальності та індустріалізації.

ВИСНОВОК

Подана дисертаційна робота Кравченка Олександра Сергійовича «Розробка методів діагностики дефектів поверхонь методами машинного навчання» за своїм змістом відповідає спеціальності 122 Комп'ютерні науки (галузь 12 Інформаційні технології), відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступені доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Кравченко Олександр Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки (12 Інформаційні технології).

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри штучного інтелекту
Харківського національного університету
радіоелектроніки

Олег ЗОЛОТУХІН

«18» липня 2025 року

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
Фахівець 1 клас. ВК
Начальник відділу кадрів
18 07 2025



Золотухін О. І.