

ВІДГУК

офіційного опонента

Волкової Наталії Павлівни,

кандидат технічних наук, завідувач кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Національний університет «Одеська політехніка»

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

Актуальність теми

Актуальність дисертаційної роботи Кравченка О. С. визначається стрімким розвитком сучасних високоточних оптичних систем, для яких критично важливою є якість плоских дзеркальних поверхонь. Зокрема, навіть субмікронні дефекти, що можуть залишатися невидимими для традиційних методів візуального або напівавтоматичного контролю, мають здатність істотно погіршувати функціональні характеристики систем – від зменшення відбивної здатності до руйнування когерентності світлових хвиль. Це має критичні наслідки в таких сферах, як лазерна хірургія, EUV-літографія, телескопобудування, квантова оптика, метрологія та термоядерні дослідження.

Сучасні інтерферометричні методи забезпечують високу чутливість до мікронерівностей, однак їх обмеження пов'язані з трудомісткістю інтерпретації інтерференційних картин, суб'єктивністю оцінок і неможливістю швидкої адаптації до нових типів дефектів. У цьому контексті інтеграція глибокого навчання та методів синтезу даних із використанням фізичних моделей інтерференції є логічним і перспективним напрямом розвитку.

Дисертаційне дослідження, яке поєднує побудову математичної моделі інтерференційної картини з розробкою нейромережових класифікаторів, демонструє актуальність не лише з позиції фундаментального наукового інтересу, а й у прикладному аспекті – як основа для створення автоматизованих систем контролю якості в умовах серійного виробництва. Особливої практичної значущості набуває

підхід автора щодо синтезу навчальних вибірок із урахуванням фізико-оптичних параметрів інтерферометра Лінніка, що дає змогу компенсувати дефіцит реальних зображень. Отже, робота цілком відповідає сучасному рівню розвитку інформаційних технологій у задачах неруйнівного контролю та має високий потенціал для впровадження в промисловість.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Комп'ютерної математики і аналізу даних» НТУ «ХП». Здобувач брав участь як виконавець у науково-дослідній роботі «Інтелектуальні моделі та методи автоматизованого визначення якості поверхні за зображенням її інтерференційної картини» за договором №БФ/5-2025 від 01.03.25.

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

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Кравченка О. С., мають високий ступінь обґрунтованості, що підтверджується як логічною послідовністю викладу, так і наявністю повноцінного циклу дослідження: від аналізу проблеми та формулювання мети – до практичної реалізації й перевірки отриманих результатів. Автором ретельно побудовано математичну модель формування інтерференційної картини з урахуванням параметрів мікроінтерферометра Лінніка, геометрії дефектів і фізичних факторів, що впливають на якість зображень.

Кожне з положень, що виносяться на захист, має відповідну доказову базу: аналітичні викладки, програмну реалізацію, графічні ілюстрації, експериментальні результати та порівняння з відомими методами. Зокрема, модифікація архітектури MobileNetV2, використання синтетичних інтерференційних зображень, застосування методів аугментації та soft voting – усе це не лише теоретично обґрунтовано, а й підтверджено числовими результатами: модель демонструє точність понад 82% на реальних даних, що є високим показником у задачах візуальної діагностики складних поверхонь.

Обґрунтованість висновків також підкріплюється експериментами, проведеними як на синтетичних, так і на реальних інтерференційних зображеннях.

Наявність програмного забезпечення, що забезпечує генерацію даних та візуалізацію результатів, робить дослідження відтворюваним і придатним до практичного застосування. Рекомендації щодо впровадження запропонованих методів у системи контролю якості оптичних компонентів виглядають переконливо й доречно.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність результатів дослідження підтверджується комплексною верифікацією побудованих моделей як на синтетичних, так і на реальних інтерференційних зображеннях. Усі етапи – від математичного моделювання до застосування глибоких нейронних мереж – супроводжуються чисельними експериментами, аналізом точності, візуалізаціями й метриками якості. Результати узгоджуються з фізичними властивостями системи, а розроблене програмне забезпечення забезпечує повну відтворюваність досліджень.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Розроблено метод синтезу монохромних інтерференційних картин із урахуванням фізичних і геометричних особливостей мікроінтерферометра Лінніка для створення реалістичної синтетичної навчальної вибірки.
2. Розроблено алгоритм адаптації 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. Запропоновано метод вдосконалення синтетичної вибірки шляхом додавання реальних артефактів (шум детектора, пилові частинки, нерівномірна контрастність) для підвищення переносимості моделей на реальні умови.
4. Вдосконалено інформаційну технологію для автоматизованого виявлення й класифікації субмікронних дефектів за інтерференційними зображеннями, що забезпечує швидкість обробки 0,5 с/зображення та точність 82,5% на реальних даних.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Результати дисертаційної роботи мають як наукову, так і прикладну значимість. З наукової точки зору, запропоновано нові підходи до моделювання

інтерференційних картин з урахуванням фізичних характеристик системи, що поглиблює розуміння процесів формування оптичних зображень у мікроінтерферометрах. Практична цінність полягає у створенні ефективної інформаційної технології для автоматизованої діагностики дефектів, яка вже реалізована у вигляді програмного забезпечення та апробована на реальних зображеннях. Це відкриває можливість її впровадження у виробництво оптичних компонентів, де потрібні швидкість, точність і незалежність від людського фактору.

Крім того, результати роботи використовуються в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) на кафедрі Комп'ютерної математики і аналізу даних при викладанні таких курсів, як «Обчислювальна геометрія та комп'ютерна графіка», «Математичні методи комп'ютерного зору», «Методи глибокого машинного навчання», «Нейромережеві технології».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Результати досліджень опубліковані у 8 роботах, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, та 3 тезисів у матеріалах міжнародних конференцій.

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

У дисертаційній роботі Кравченка О. С. вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки методів автоматизованої діагностики мікрodefektів дзеркальних поверхонь за інтерференційними зображеннями. Дослідження охоплює побудову фізично обґрунтованих моделей формування інтерференційної картини, створення

синтетичних даних і використання методів глибокого навчання для класифікації дефектів.

У першому розділі наведено огляд сучасних методів контролю якості поверхонь у високоточних оптичних системах. Висвітлено роль мікродефектів у критичних галузях (лазерна медицина, квантова оптика, телескопобудування), класифіковано основні типи дефектів, проаналізовано методи оптичної, електронної та інтерференційної діагностики. Обґрунтовано доцільність використання глибокого навчання для аналізу інтерференційних картин.

У другому розділі побудовано математичну модель формування інтерференційної картини в полі зору мікроінтерферометра Лінніка. Враховано вплив геометрії поверхні, оптичних параметрів приладу, контрастності, кута нахилу смуг та шумів. Розроблено програмне забезпечення для синтезу інтерференційних зображень, адаптоване як до дослідницьких, так і до пакетних режимів.

Третій розділ присвячено моделюванню топографії поверхонь із мікродефектами. Розроблено параметричні моделі мікроподряпин і вм'ятин, що включають флуктуації, зону впливу, ефект «валіка». Застосовано сплайнову інтерполяцію та Реглін-шум. Побудовано програму генерації синтетичних карт висот.

У четвертому розділі описано використання згорткових нейронних мереж для класифікації чотирьох типів дефектів за синтетичними ІК. Адаптовано архітектуру MobileNetV2, використано техніки fine-tuning, аугментації та soft voting. Проведено навчання й тестування моделі на синтетичних і реальних даних, що підтвердило ефективність запропонованої технології.

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:

По дисертаційній роботі Кравченка О. С. можна зробити низку зауважень, які не знижують загальної наукової цінності дослідження, але можуть бути враховані в подальшій роботі автора.

1. У дисертації значна увага приділена моделюванню інтерференційної картини та синтезу зображень, проте питання валідації моделей на великій кількості реальних зображень могли б бути розкриті ширше. Було б доцільно окремо проаналізувати приклади помилкової класифікації, виявити їхні причини й запропонувати шляхи усунення.

2. Висвітлюючи застосування згорткових нейронних мереж, автор концентрується на архітектурі MobileNetV2. Проте порівняльна оцінка з іншими сучасними архітектурами (наприклад, EfficientNet, ResNet50, Vision Transformers) могла б зробити висновки більш репрезентативними й посилити обґрунтованість вибору.

3. У моделі мікродефектів логічно обґрунтовано введення параметрів глибини, ширини та форми, але вплив матеріальних властивостей (тип покриття, показник відбиття, механічна твердість тощо) залишається поза межами аналізу. Можна було б розглянути залежності між фізико-хімічними характеристиками поверхні та характером дефектів.

4. У програмній реалізації не зовсім чітко зазначено, у якому вигляді зберігаються синтетичні зображення, чи можлива їх інтеграція з існуючими форматами індустріальних систем візуального контролю.

5. У роботі відсутній аналіз чутливості результатів класифікації до параметрів генерації синтетичних інтерференційних картин. Було б корисно показати, наскільки сильно похибки у моделюванні можуть впливати на навчання моделі.

Зазначені зауваження мають переважно уточнювальний характер і можуть стати підґрунтям для подальших досліджень. Вони не зменшують цінності дисертаційної роботи, яка в цілому виконана на високому рівні.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Кравченко Олександра Сергійовича «Розробка методів діагностики дефектів поверхонь методами машинного навчання» за своїм змістом

відповідає спеціальності 122 Комп'ютерні науки. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу, що полягає в розробці моделей, методів та інформаційної технології для автоматичного виявлення й класифікації типових мікродефектів плоских дзеркальних поверхонь за монохромними інтерференційними картинами, отриманими з використанням мікроінтерферометра Лінніка.

Робота 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 ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 №44, а здобувач Кравченко Олександр Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри
прикладної математики
та інформаційних технологій
Національного університету
«Одеська політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент



Наталія ВОЛКОВА

Вчений секретар
Національного університету
«Одеська політехніка»



Лада ПРОКОПОВИЧ