Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001718

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-05-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/60/25 від 28.07.2025

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ярошенко Максим Олександрович
2. Maksym O. Yaroshenko

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3092-3856

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 172

Назва наукової спеціальності: Електронні комунікації та радіотехніка

Галузь / галузі знань: електроніка,автоматизація та електронні комунікації

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Телекомунікації та радіотехніка

Дата захисту: 11-07-2025

Спеціальність за освітою: Телекомунікації та радіотехніка

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 9029

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 47.14.17, 76.13.15, 20.54.06

Тема дисертації:

1. Модифікований нейромережний метод рейтресингової аберометрії ока
2. Modified Neural Network Method for Ray Tracing Aberrometry of the Eye

Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої та актуальної науково-прикладної задачі – вдосконалення рейтрейсингового методу аберометрії ока шляхом застосування методів машинного навчання, зокрема штучних нейронних мереж, задля підвищення його точності. Дисертаційне дослідження складається зі вступу та п’яти розділів, які відображають та обґрунтовують основні результати роботи. У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, висвітлено зв’язок роботи з науковими програмами, планами та темами НДР КПІ ім. Ігоря Сікорського. Перший розділ присвячено розгляду рейтрейсингового методу аберометрії ока людини, його обмежень та переваг. У другому розділі описано розробку методу для генерації офтальмологічних аберометричних даних у вигляді наборів коефіцієнтів Церніке із застосуванням генеративно-змагальної нейронної мережі. Третій розділ містить в собі опис модифікації методу рейтрейсингової аберометрії для одночасного сканування декількох точок зіниці шляхом одночасного

засвічування декількох випромінювачів. У четвертому розділі представлено опис оптичної системи для реалізації запропонованої нейромережної модифікації рейтрейсингового методу, приклад первинної обробки даних, спосіб розрахунку першого наближення для визначення аберацій за допомогою нейронної мережі, а також опис агенту та середовища навчання з підкріпленням, призначеного для уточнення результатів. П'ятий розділ містить в собі опис методу на основі штучної нейронної мережі для надроздільної здатності викривлень хвильового фронту. У дисертаційній роботі отримано наступні нові наукові результати дослідження: 1) Набув подальшого розвитку рейтрейсинговий метод аберометрії ока шляхом модифікації із застосуванням нейронних мереж на різних етапах функціонування методу: перше наближення визначення характеристик аберацій, уточнення результату та оцінка аберацій вищих порядків. За оцінками в симуляції, точність при визначенні дефокусу підвищено на 25% порівняно з існуючим аберометром iTrace у випадку викривлень зображення на детекторі не більше ніж 0.1 за відстанню Жаккара. Також запропонована модифікація дозволяє знизити вимоги до оптичної системи, необхідної для реалізації приладу, пришвидшити процес вимірювання шляхом одночасного сканування, а також надає можливість прогнозувати значення коефіцієнтів Церніке високих порядків на основі коефіцієнтів аберацій нижчих порядків (при апроксимації коефіцієнтів 6 та 7 порядків похибка становить не більше 4% за метрикою SMAPE). 2) Набуло подальшого розвитку генерування аберометричних даних у вигляді векторів коефіцієнтів Церніке. Це досягнуто шляхом застосування розробленої в рамках роботи генеративно-змагальної нейронної мережі. Розроблений метод придатний до синтеза даних, що мають розподіл, схожий з навчаючою вибіркою (відстань Фреше дорівнює 0.7), і які одночасно не є копією реальних примірників (92% за метрикою творчості) та примірники яких є різноманітними (значення відповідної метрики дорівнює 3.64, оптимальним є значення 3.83). 3) Запропоновано модифікацію рейтрейсингового методу аберометрії для одночасного сканування декількох зіничних координат із застосуванням масиву лазерних випромінювачів. Результатом застосування модифікації є зменшення довірчого інтервалу, що позитивно впливає на прецизійність: наприклад, при скануванні одночасно 16 зіничних координат довірчий інтервал зменшується в 4.4 рази для часового бюджету аберометра iTrace. Отримано практичні результати досліджень: 1) Розроблена дослідна реалізація моделі процесу вимірювань для запропонованої нейромережної модифікації рейтрейсингового методу аберометрії ока в середовищі Zemax. 2) Розроблена нейронна мережа для визначення коефіцієнтів Церніке хвильового фронту по сигнатурах світлових плям на фотодетекторах для нейромережної модифікації методу рейтрейсингової аберометрії. 3) Розроблена програма-агент навчання з підкріпленням (метод Deep Q-Network) для уточнення першого наближення при визначенні коефіцієнтів Церніке. 4) Розроблена генеративно-змагальна нейронна мережа для генерації аберометричних даних. 5) Розроблена нейронна мережа для прогнозування коефіцієнтів Церніке вищих порядків на основі значень коефіцієнтів нижчих порядків. 6) Для модифікації методу із масивом лазерних випромінювачів розроблено класифікаційну нейронну мережу для встановлення відповідностей між променями сканування та відбитками на сітківці. 7) Результати дисертаційних досліджень використані як матеріали при підготовці та викладанні курсу лекційних і практичних занять (комп'ютерного практикуму) з дисципліни "Основи нейромережних технологій" та викладанні курсу лекційних і лабораторних занять з дисципліни "Системи комп'ютерного зору" другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем», що засвідчено відповідним актом.

2. The dissertation is dedicated to addressing a significant and timely scientific-applied problem—enhancing the ray-tracing aberrometry method for the human eye by incorporating machine learning techniques, particularly artificial neural networks, to improve its accuracy. The dissertation consists of an introduction and five chapters that present and substantiate the key findings of the research. The introduction outlines the relevance of the dissertation, its connection to scientific programs, plans, and research topics at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Chapter 1 examines the ray-tracing aberrometry method for the human eye, discussing its limitations and advantages. Chapter 2 describes the development of a method for generating ophthalmic aberrometric data as Zernike coefficient sets using a generative adversarial neural network. Chapter 3 details the modification of the

ray-tracing aberrometry method to enable simultaneous scanning of multiple pupil points through multi-emitter illumination. Chapter 4 presents the optical system designed to implement the proposed neural network-based modification of the ray-tracing method, including data preprocessing, a first-approximation approach to aberration determination via neural networks, and a reinforcement learning agent and training environment for refining results. Chapter 5 introduces a neural network-based approach for super-resolution estimation of wavefront distortions. The dissertation yields the following novel scientific results: 1) The ray-tracing aberrometry method has been further developed through modifications incorporating neural networks at various operational stages: initial approximation of aberration characteristics, result refinement, and higher-order aberration estimation. Simulations indicate a 25% improvement in defocus accuracy compared to the iTrace aberrometer when image distortions on the detector do not exceed 0.1 in Jaccard distance. The proposed modification also reduces the optical system requirements, accelerates measurement by enabling simultaneous scanning, and allows prediction of higher-order Zernike coefficients based on lower-order aberration coefficients (with a 4% error for 6th- and 7th-order coefficients using SMAPE metric). 2) The generation of aberrometric data as Zernike coefficient vectors has been further refined through the developed generative adversarial neural network. The method is capable of synthesizing data distributions similar to the training set (Frechet distance of 0.7) while ensuring uniqueness (92% creativity metric) and diversity (metric value of 3.64, with an optimal value of 3.83). 3) A modification of the ray-tracing aberrometry method has been proposed for simultaneous scanning of multiple pupil coordinates using an array of laser emitters. This modification reduces confidence intervals, improving precision—for instance, scanning 16 pupil coordinates simultaneously decreases the confidence interval by a factor of 4.4 under the time budget constraints of the iTrace aberrometer. The dissertation also provides practical research outcomes: 1) An experimental implementation of the measurement model for the proposed neural-network-based ray-tracing aberrometry modification in Zemax. 2) A neural network designed to determine wavefront Zernike coefficients from light spot signatures on photodetectors for the ray-tracing aberrometry method. 3) A reinforcement learning agent (Deep Q-Network) for refining the first approximation in Zernike coefficient determination. 4) A generative adversarial neural network for generating aberrometric data. 5) A neural network for predicting higher-order Zernike coefficients based on lower-order coefficient values. 6) A classification neural network for the laser emitter array modification, enabling correspondence between scanning beams and retinal imprints. 7) The findings have been incorporated into the development and delivery of lecture courses and practical sessions (computer workshops) for the subject “Fundamentals of Neural Network Technologies” and lecture and laboratory courses on “Computer Vision Systems” at the second (master’s) level of higher education in the specialty 172 “Electronic Communications and Radio Engineering” within the educational-professional program “Information-Computational Means of Radioelectronic Systems,” as documented by an official act.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Ярошенко М. О., Варфоломєєв А. Ю., Яганов П. О. Ієрархічна згорткова нейронна мережа для підвищення роздільної здатності інфрачервоних зображень. Мікросистеми, електроніка та акустика. 2021. Том 26, вип. 1. С. 230603.1-230603.7
- Ярошенко М. О. Збільшення кількості одночасно задіяних променів зондування у рейтрейсинговій аберометрії ока шляхом застосування нейронної мережі. Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Том 33 (72), № 5.

С. 176-182

- Yaroshenko M. Human Eye Aberrometry Data Generation Using Generative Adversarial Neural Network. Microsyst., Electron. and Acoust. 2023. Vol. 28, No. 3. P. 286366.1–286366.8
- Ярошенко М.О., Яганов П.О. Вимірювання нейромережею хвильового фронту на основі форми світлового відбитку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2024. Том 341, № 5. С. 264–269
- Ярошенко М. О., Яганов П. О. Модифікація методу рейтрейсингової аберометрії ока. Тези доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції "Світ наукових досліджень. Випуск 10". Тернопіль, 23-24 червня 2022 р. С. 63-68 (0,6 ECTS credits), ISSN 2786-6823, URL: https://www.economy-confer.com.ua/full-article/3793/
- Ярошенко М. О., Яганов П. О. Збільшення обсягу одночасних вимірювань рейтрейсинговим методом аберометрії ока з використанням нейронної мережі. Тези доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції "Світ наукових досліджень. Випуск 12". Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р. С. 125-131 (0,6 ECTS credits). ISSN 2786-6823. URL: https://www.economy-confer.com.ua/full-article/3932/
- Ярошенко М.О., Яганов П.О. Апроксимація аберацій вищих порядків шляхом застосування нейронної мережі: тези доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції "Світ наукових досліджень. Випуск 22". Тернопіль, 27-28.09.2023, С. 81-85 (0,6 ECTS credits). ISSN 2786-6823 (print), URL: https://www.economy-confer.com.ua/full-article/4756/
- Ярошенко М. О., Яганов П. О. Оцінка коефіцієнтів Церніке в рейтрейсинговій аберометрії ока з використанням згорткової нейронної мережі. Штучний інтелект у науці та освіті (AISE 2024): збірник матеріалів міжнародної наукової конференції, Київ, 1-2 березня 2024 р. С. 588-592 (0,6 ECTS credits)
- Ярошенко М. О. Визначення хвильового фронту нейронною мережею за сигнатурою світлової плями. Тези доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції "Світ наукових досліджень. Випуск 33". Тернопіль, 19-20 вересня 2024 р. С. 63-67 (0,6 ECTS credits). ISSN 2786-6823 (print), URL: https://www.economy-confer.com.ua/full-article/5702/

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U111107, 0124U005087

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Яганов Петро Олексійович

2. Petro Yaganov

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.27.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7358-9846

Додаткова інформація: https://www.webofscience.com/wos/author/record/J-3449-2017; https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=14008821300; https://scholar.google.com.ua/citations?user=2tYlaQ8AAAAJ&hl=ua

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Павлов Сергій Володимирович
2. Sergii Pavlov

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.11.17

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0051-5560

Додаткова інформація:
http://www.scopus.com/inward/authorDetails.url?authorID=7103366036&partnerID=MN8TOARS;
https://www.webofscience.com/wos/author/record/1060169;
https://scholar.google.com/citations?user=hWWt_Y4AAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Аврунін Олег Григорович
2. Oleg Avrunin

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.11.17

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6312-687X

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35298713200;
https://scholar.google.com.ua/citations?user=LPkqyxoAAAAJ&hl=ru&authuser=5%20%20;
https://publons.com/researcher/1995976/olig-grigorovich-avrunin/

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет радіоелектроніки

Код за ЄДРПОУ: 02071197

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 14, Харків, Харківський р-н., 61166, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Попович Павло Васильович

2. Pavlo Popovych

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.12.17

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1572-3127

Додаткова інформація:
http://www.scopus.com/inward/authorDetails.url?authorID=55225965700&partnerID=MN8TOARS; https://www.webofscience.com/wos/author/record/J-6574-2017; https://scholar.google.com.ua/citations?user=4sSIWecAAAAJ&hl=uk

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Попов Антон Олександрович

2. Anton Popov

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.11.17

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1194-4424

Додаткова інформація:
http://www.scopus.com/inward/authorDetails.url?authorID=12794971700&partnerID=MN8TOARS; https://publons.com/researcher/E-1396-2013; http://scholar.google.com/citations?user=L5CKTZoAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Чиж Ігор Генріхович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Чиж Ігор Генріхович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Ярошенко Максим Олександрович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна