

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
"Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"

к.т.н., доц.

Тетяна ЖЕЛЯСКОВА



"18" лютого 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 04 від 18 лютого 2025 р. розширеного засідання
кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури (КЕОА):

ст. викл. Антонюк О.І., ст. викл. Губар В.Г., ст. викл., к.т.н. Іваннік Г.В., ст. викл. Бондаренко Н.О., доц., к.т.н., доц. Бондаренко В.М., доц., к.т.н., доц. Корнєв В.П., доц., к.т.н., доц. Лебедев Д.Ю., завідувач кафедри, д.т.н., проф. Лисенко О.М., проф., д.ф.-м.н., проф. Редько І.В., доц., к.т.н., доц. Яганов П.О., секретар кафедри, інж. Білявська О.І.

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:

проф., д.т.н., проф. Чиж І.Г. (кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем), доц., к.т.н., доц. Попович П.В. (кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем), доц., к.т.н., доц. Попов А.О. (кафедра електронної інженерії).

Запрошені з інших організацій:

Харківський Національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ) – зав. кафедри біомедичної інженерії, д.т.н., проф. Аврунін О.Г.

Вінницький Національний технічний університет (ВНТУ) – проф. кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, д.т.н., проф. Павлов С.В.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри КЕОА Ярошенка Максима Олександровича за матеріалами дисертаційної роботи "Модифікований

нейромережний метод рейтрейсингової аберометрії ока”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Освітньо-наукова програма «Телекомунікації та радіотехніка».

Тему дисертаційної роботи “Модифікований нейромережний метод рейтрейсингової аберометрії ока” затверджено на засіданні Вченої ради факультету електроніки (протокол № 11/21 від “29” листопада 2021 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради факультету електроніки (протокол № 12/2022 від “26” грудня 2022 року).

Науковим керівником затверджений доцент кафедри КЕОА, к.т.н., доц. Яганов П.О.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

проф., д.т.н., проф. Чиж І.Г., доц., к.т.н., доц. Попович П.В., доц., к.т.н., доц. Попов А.О., зав. кафедри, д.т.н., проф. Аврунін О.Г., проф., д.т.н., проф. Павлов С.В., зав. кафедри, д.т.н., проф. Лисенко О.М., доц., к.т.н., доц. Корнєв В.П.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

проф., д.т.н., проф. Чиж І.Г., доц., к.т.н., доц. Попович П.В., доц., к.т.н., доц. Попов А.О., зав. кафедри, д.т.н., проф. Аврунін О.Г., проф., д.т.н., проф. Павлов С.В., зав. кафедри, д.т.н., проф. Лисенко О.М., доц., к.т.н., доц. Яганов П.О., доц., к.т.н., доц. Корнєв В.П.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Оптичні аберації ока виникають через його недосконалості, як-от неправильна форма рогівки або неоднорідність кришталика. Вони призводять до погіршення якості зору, що впливає на повсякденне життя людини, спричиняючи розмитість зображення, подвоєння та гало. Це ускладнює виконання завдань, що потребують високої гостроти зору та призводить до психологічного дискомфорту.

Сучасні методи аберометрії дозволяють не лише виявляти аберації, але й кількісно оцінювати їхній вплив на зір, що важливо для розробки індивідуальних планів корекції. Існує потреба та потенціал у вдосконаленні методів аберометрії для підвищення точності та швидкості діагностики. Використання машинного навчання та штучного інтелекту значно підвищує ефективність діагностики та корекції зору за низкою параметрів.

У дисертації запропоновано реалізувати потенціал до вдосконалення рейтрейсингового методу як одного з найкращих у офтальмологічній aberометрії шляхом застосування засобів та методів штучного інтелекту. Основою запропонованих вдосконалень є використання штучних нейронних мереж на різних етапах реалізації методу рейтрейсингової aberометрії ока. Це дозволило підвищити точність вимірювань.

З наведеного вище безпосередньо випливає, що вдосконалення рейтрейсингового методу aberометрії засобами машинного навчання є актуальною та важливою задачею сьогодення.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась згідно з тематичними планами НДР КПІ ім. Ігоря Сікорського і кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури в межах НДР «Підвищення роздільної здатності інфрачервоного зображення з використанням згорткової нейронної мережі», РК №0121U111107, а також НДР «Модифікований нейромережний метод рейтрейсингової aberометрії ока», РК №0124U005087 відповідно до основних наукових напрямків діяльності КПІ ім. Ігоря Сікорського та пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Інформаційні та комунікаційні технології».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

— набув подальшого розвитку рейтресинговий метод aberометрії ока шляхом модифікації із застосуванням нейронних мереж на різних етапах функціонування методу: перше наближення визначення характеристик аберацій, уточнення результату та оцінка аберацій вищих порядків. Це дозволило підвищити точність методу. Зокрема за оцінками в симуляції точність при визначенні дефокусу підвищено на 25% порівняно з існуючим aberометром 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).

— набуло подальшого розвитку генерування aberометричних даних у вигляді векторів коефіцієнтів Церніке. Це досягнуто шляхом застосування розробленої в рамках роботи генеративно-змагальної нейронної мережі. Використання перетворення наборів коефіцієнтів Церніке у двовимірне зображення розширило можливості аугментації вхідних даних, що є особливо актуальним в умовах низької доступності клінічних даних та значних потреб у навчаючих вибірках для розробки рішень на основі штучних нейронних мереж для використання в офтальмологічній aberометрії. 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).

– запропоновано модифікацію рейтресингового методу аберометрії для одночасного сканування декількох зіничних координат із застосуванням масиву лазерних випромінювачів. Використання нейронної мережі для класифікації стало розв'язанням проблеми некоректного зіставлення променів сканування та їхніх відбитків на сітківці. 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 iTrase. Визначені в ході цієї роботи обмеження, які супроводжуватимуть імплементацію методу, показали необхідність у розробці модифікації, яка б потребувала, за необхідності, іншого методу вимірювання та, відповідно, іншої оптичної системи.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

- розроблена дослідна реалізація моделі процесу вимірювань для запропонованої нейромережної модифікації рейтрейсингового методу аберометрії ока в середовищі Zemax. Для моделі розроблено алгоритм обробки зображень в програмному пакеті MATLAB, який використовується для підготовки даних для подальшого визначення коефіцієнтів хвильового фронту відбитого від сітківки світла.

- розроблена нейронна мережа для визначення коефіцієнтів Церніке хвильового фронту по сигнатурах світлових плям на фотодетекторах для нейромережної модифікації методу рейтрейсингової аберометрії. Розробка та тренування нейронної мережі здійснювалося в середовищі Kaggle мовою програмування Python із залученням бібліотек функцій TensorFlow, SciPy та ін.

- розроблена програма-агент навчання з підкріпленням (метод Deep Q-Network) для уточнення першого наближення при визначенні коефіцієнтів Церніке. Підготовка агента та його навчання, а також розробка середовища здійснювались в програмному пакеті MATLAB.

- розроблена генеративно-змагальна нейронна мережа для генерації аберометричних даних. Створення та навчання мережі здійснювались в середовищі Kaggle мовою програмування Python із залученням бібліотек функцій TensorFlow, SciPy та ін.

- розроблена нейронна мережа для прогнозування коефіцієнтів Церніке вищих порядків на основі значень коефіцієнтів нижчих порядків. Створення та навчання мережі здійснювались в середовищі Kaggle мовою програмування Python із залученням бібліотек функцій TensorFlow, SciPy та ін.

- для модифікації методу із масивом лазерних випромінювачів розроблено класифікаційну нейронну мережу для встановлення відповідностей між променями сканування та відбитками на сітківці. Створення та навчання мережі здійснювались в середовищі Google Colaboratory мовою програмування Python із залученням бібліотек функцій TensorFlow, SciPy та ін.

- 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.

5. Апробація результатів дисертації

Результати роботи доповідалися на:

- "Світ наукових досліджень. Випуск 10". Тернопіль, 23-24 червня 2022 р.
- "Світ наукових досліджень. Випуск 12". Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р.
- "Світ наукових досліджень. Випуск 22". Тернопіль, 27-28 вересня 2023 р.
- "Штучний інтелект у науці та освіті" (AISE 2024), Київ, 1-2 березня 2024р.
- "Світ наукових досліджень. Випуск 33". Тернопіль, 19-20 вересня 2024 р.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Ярошенка М.О. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових робіт, у тому числі:

- 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка, в т.ч. 1 стаття, у якій число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;
- 5 тез виступів на Міжнародних науково-технічних конференціях.

1. Ярошенко М. О., Варфоломеев 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, DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.230603>

(Підготовка архітектури згорткової нейронної мережі для збільшення роздільної здатності інфрачервоних зображень).

2. Ярошенко М. О. Збільшення кількості одночасно задіяних променів зондування у рейтрейсинговій aberометрії 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, DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/26>

3. Ярошенко М. О. Генерування aberометричних даних шляхом застосування генеративно-змагальної нейронної мережі. Мікросистеми, електроніка та акустика. 2023. Том 28, вип. 3. С. 286366.1–286366.8, DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.286366>.

4. 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, DOI: 10.31891/2307-5732-2024-341-5-38 (Підготовка агента навчання з підкріпленням для визначення характеристик хвильового фронту).

5. Ярошенко М. О., Яганов П. О. Модифікація методу рейтрейсингової aberометрії 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/>
(Імплементація поліноміальної регресії та оптичне моделювання для зіставлення лазерних променів та їхніх відбитків на сітківці)

6. Ярошенко М. О., Яганов П. О. Збільшення обсягу одночасних вимірювань рейтрейсинговим методом aberометрії 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/>
(Розробка архітектури нейронної мережі та оптичне моделювання для зіставлення лазерних променів та їхніх відбитків на сітківці)

7. 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/>
(Підготовка архітектури згорткової нейронної мережі для збільшення роздільної здатності визначення хвильового фронту).

8. Ярошенко М. О., Яганов П. О. Оцінка коефіцієнтів Церніке в рейтрейсинговій aberометрії 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), DOI: <http://doi.org/10.35668/978-966-479-141-7>

(Підготовка архітектури згорткової нейронної мережі для оцінки коефіцієнтів Церніке за зображенням світлової плями).

9. 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/>

Якість та кількість публікацій відповідають "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".

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Ярошенка М.О. "Модифікований нейромережний метод рейтрейсингової аберометрії ока", що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського «Телекомунікації та радіотехніка» зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу "Модифікований нейромережний метод рейтрейсингової аберометрії ока", подану Ярошенком Максимом Олександровичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПП ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.т.н., проф., професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем КПП ім. Ігоря Сікорського,

Чиж Ігор Генріхович;

Члени:

Рецензенти:

к.т.н., доц., доцент кафедри електронної інженерії КПП ім. Ігоря Сікорського,

Попов Антон Олександрович;

к. т. н., доц., доцент кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем КПП ім. Ігоря Сікорського,

Попович Павло Васильович;

Офіційні опоненти:

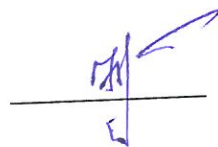
д.т.н., проф., завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки,

Аврунін Олег Григорович;

д.т.н., проф., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем Вінницького національного технічного університету,

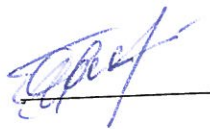
Павлов Сергій Володимирович.

Головуючий на засіданні
завідувач кафедри
конструювання електронно-
обчислювальної апаратури
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
д.т.н., проф.



Олександр ЛИСЕНКО

Вчений секретар
кафедри конструювання
електронно-обчислювальної
апаратури



Олена БІЛЯВСЬКА