

ПЕТРИНЯК ЮРІЙ

Національний лісотехнічний університет України

<https://orcid.org/0009-0003-0185-6695>Email: petrynyak.yuriy@nltu.lviv.ua**ПІРКО ІГОР**

Національний лісотехнічний університет України

<https://orcid.org/0009-0008-2378-2929>Email: pirko@nltu.edu.ua

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Проведено багато досліджень з метою покращення скринінгу та діагностики офтальмологічних захворювань за допомогою сучасних методів аналізу зображень та даних. Проте розроблені системи не отримали широкого застосування, оскільки зазвичай працюють в автономному режимі та не інтегровані з медичними пристроями. У цій роботі представлено платформу, яка поєднує медичні пристрої, офтальмологів та інтелектуальні системи аналізу офтальмологічних захворювань за допомогою хмарних технологій. Зображення очного дна та особисті дані пацієнтів можна завантажити в систему, де буде виконано автоматичний аналіз і оцінювання за допомогою сучасних алгоритмів класифікації шаблонів, таких як згорткові нейронні мережі (CNN) та метод опорних векторів (SVM). Крім того, буде сформовано аналітичний звіт, який пацієнти зможуть переглядати через мобільний додаток або вебпортал.

Ключові слова: машинне навчання, глибоке навчання, згорткові нейронні мережі, метод опорних векторів, класифікація захворювань очей.

PETRYNYAK YURI**PIRKO IGOR**

National Forestry University of Ukraine

INTELLIGENT SYSTEM FOR DIAGNOSIS OF OPHTHALMOLOGICAL DISEASES

The article presents an innovative intelligent system for the automated diagnosis of ophthalmic diseases based on the analysis of fundus images using machine learning and deep learning methods. The aim of the work is to develop a platform that integrates medical devices, cloud technologies, and artificial intelligence algorithms to improve screening and early detection of diseases such as age-related macular degeneration (AMD), diabetic retinopathy (DR), glaucoma, and pathological myopia (PM).

The relevance of the research is due to the growing prevalence of ophthalmic pathologies, which often lead to irreversible vision impairment as a result of untimely diagnosis. Existing systems typically operate autonomously and are not integrated with medical devices, which limits their applicability. The proposed platform addresses this issue by combining the capabilities of cloud computing, modern image processing algorithms (convolutional neural networks – CNNs, support vector machines – SVM), and a user-friendly interface for both patients and doctors.

The methodology includes the following stages. Data upload: Patients upload retinal images and medical data via a web portal or mobile application. Preprocessing: The images undergo segmentation, normalization, and feature extraction using CNNs. Classification: The SVM algorithm analyzes the extracted features to determine the presence and type of disease. Report generation: The system generates a diagnostic report with recommendations, available to both the patient and the doctor.

The system architecture includes the following component. Input layer: an interface for data upload. Processing layer: a convolutional neural network for feature extraction (convolutional layers, ReLU, pooling) and a support vector machine for classification. Output layer: A web portal with analytical reports.

The results confirm the system's effectiveness: it provides fast and accurate analysis with minimal prediction time, which is especially important for regions with a shortage of ophthalmologists. The model was trained on a dataset covering all target pathologies, ensuring high diagnostic specificity.

Keywords: machine learning, deep learning, convolutional neural networks, support vector machines, eye disease classification.

Стаття надійшла до редакції / Received 25.06.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.08.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Найважливішим із чуттів, що значною мірою впливає на якість життя людини, є зір. Згідно з опитуванням, багато з основних причин порушення зору та сліпоти у світі є незворотними й важко піддаються лікуванню [1]. У цій роботі ми пропонуємо платформу для автоматичного скринінгу та моніторингу офтальмологічних захворювань, яка забезпечує легке й точне виявлення хвороб очей [8]. Система визначає наявність захворювання, виконуючи низку етапів обробки зображень очей, і весь цей процес відбувається без участі людини (експерта) [2]. Виходячи зі співвідношення в глобальній популяції, було виявлено, що багато з цих захворювань діагностуються переважно у людей похилого віку. Наприклад, вікова макулярна дегенерація (AMD), глаукома, патологічна міопія (PM) та діабетична ретинопатія (DR) є основними причинами порушення зору [16]. На сьогоднішній день офтальмологічні захворювання виявляються лише тоді, коли людина відчуває симптоми, такі як біль або затуманений

зір [12]. До пізніх стадій пацієнти, які страждають на ці хвороби, зазвичай не мають жодних симптомів. Тому раннє виявлення та своєчасне втручання - це єдиний спосіб запобігти втраті зору чи сліпоті [9].

Аналіз досліджень та публікацій

Вхідними даними для нашої системи є зображення очного дна. Далі це зображення проходить через етапи, пов'язані з обробкою зображень, такі як виділення ознак, сегментація зображення тощо. Завдяки цим етапам ми отримуємо детальну інформацію про кожен піксель зображення, що в подальшому допомагає у прогнозуванні захворювання.

Було проведено дослідження з метою покращення скринінгу та виявлення офтальмологічних захворювань за допомогою сучасних методів аналізу зображень і даних [8]. Існуючі системи зазвичай працюють офлайн і не інтегровані з медичними пристроями, тому вони не отримали широкого застосування. У цьому проекті ми пропонуємо платформу, яка об'єднує медичні пристрої, пацієнтів, офтальмологів та інтелектуальну систему аналізу офтальмологічних захворювань. Зображення сітківки ока та особисті дані пацієнта можуть бути завантажені на вебпортал. Зображення та дані обробляються, а автоматичний аналіз і оцінка виконуються за допомогою сучасних алгоритмів класифікації шаблонів. На основі прогнозу формується звіт, який буде доступний на вебпорталі, щоб пацієнт міг легко отримати до нього доступ у будь-якому місці.

На сьогоднішній день дослідники запропонували багато систем комп'ютерної допомоги у виявленні захворювань, які наведені нижче та призначені для виявлення різних хвороб за допомогою окремих систем:

1. Автоматичне виявлення мікроаневризм з використанням локальної нормалізації контрасту та локального виявлення судин [1-4].
2. Автоматичне виявлення патологічної міопії за допомогою варіаційного методу рівня [5-7].
3. Раннє виявлення вікової дегенерації очного дна за допомогою фокусованих ознак [10-12].
4. Модельне сегментування головки зорового нерва на основі зображень сітківки [13, 14].

Формулювання цілей статті

Метою цієї роботи є створення інтелектуальної системи для автоматичного виявлення офтальмологічних захворювань шляхом аналізу зображень очного дна. Для цього використовуються методи глибокого навчання, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), а також алгоритми машинного навчання, такі як метод опорних векторів (SVM). Система передбачає інтеграцію з хмарною платформою, що дозволяє забезпечити швидкий та зручний доступ до діагностики, зменшити навантаження на лікарів та покращити якість медичного обслуговування пацієнтів.

Виклад основного матеріалу

Запропонована система здатна виявляти та обробляти кілька захворювань, використовуючи такі алгоритми, як CNN та SVM. Пацієнт отримує доступ до системи, вводячи свої облікові дані для входу, а також надає особисті дані разом із зображенням сітківки ока як вхідні дані. Завантажене зображення обробляється, ознаки виділяються за допомогою CNN, а прогноз захворювання на основі цього зображення здійснюється за допомогою SVM. Після прогнозування формується звіт, на основі якого пацієнту надаються відповідні рекомендації щодо лікування. Після раннього виявлення захворювання також пропонуються певні домашні методи лікування.

Послідовність роботи інтелектуальної системи.

Наступні кроки запропонованої системи:

1. Користувач увійде в систему, після чого буде виконана попередня обробка навчальних даних і визначено набір ознак, таких як висота, ширина, RGB.
2. Тестове зображення буде завантажено та оброблено за допомогою алгоритму CNN, після чого будуть виділені ознаки.
3. Виділене зображення буде класифіковане за допомогою алгоритму SVM.
4. Буде побудована модель, яка порівнюватиме тестове зображення з навчальним набором даних і здійснюватиме прогнозування.

Система передбачатиме чотири офтальмологічні захворювання: вікову макулярну дегенерацію (AMD), діабетичну ретинопатію (DR), глаукому та патологічну міопію (PM). Глаукома - це група хронічних офтальмологічних захворювань, які призводять до прогресуючого пошкодження зорового нерва, часто пов'язаного з підвищеним внутрішньоочним тиском. Патологічна міопія (PM) - це важка форма короткозорості, за якої порушення зору не обмежується лише необхідністю носити окуляри або лінзи, а супроводжується структурними змінами в оці, в сітківці, судинній оболонці та склері. Діабетична ретинопатія (DR) - це хронічне ускладнення цукрового діабету, яке уражає сітківку ока внаслідок пошкодження дрібних кровоносних судин. Вона є однією з основних причин сліпоти серед працездатного населення у світі. Вікова макулярна дегенерація (AMD) - це хронічне захворювання центральної частини сітківки (макули), що призводить до поступового погіршення центрального зору у людей. Макула - ділянка сітківки, відповідальна за чітке центральне бачення, необхідне для читання, розпізнавання облич.

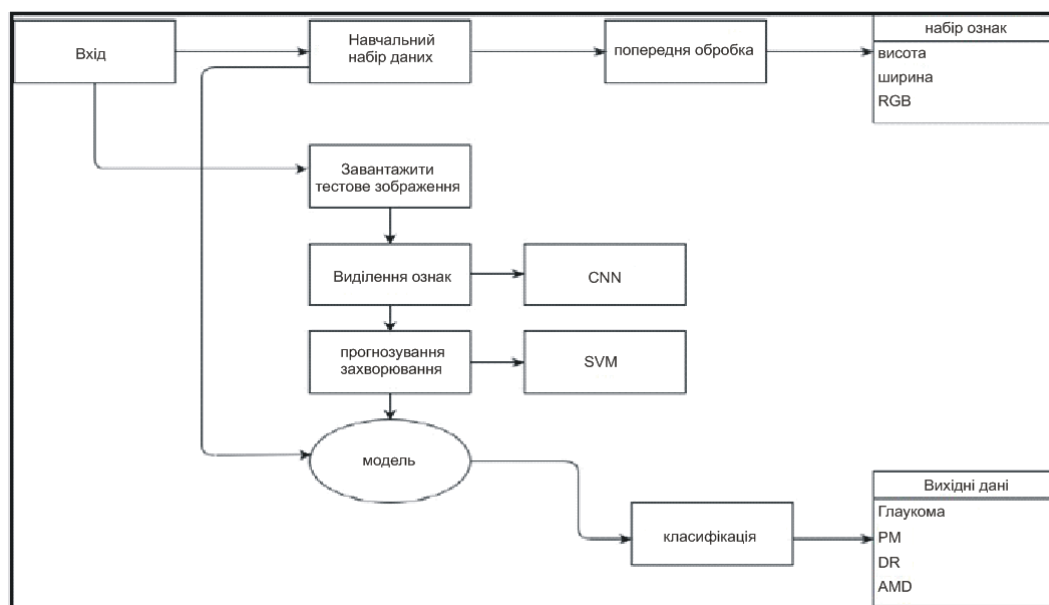


Рис.1. Послідовність роботи системи

Користувач отримає детальну інформацію про ці захворювання, включно з симптомами та причинами тощо. Буде сформовано звіт, у якому надаватимуться рекомендації щодо лікування, а користувач зможе завантажити цей звіт.

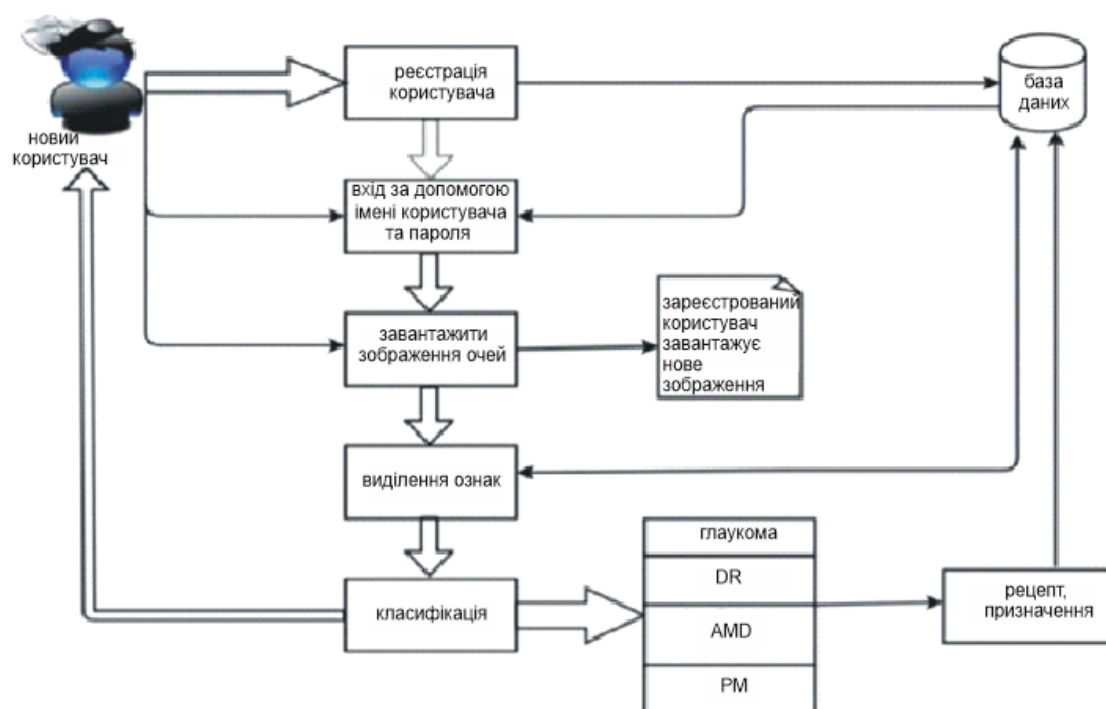


Рис.2. Архітектура системи

На наведеній вище схемі показана архітектура системи. Користувач вводить особисті дані для входу на вебпортал. Після цього він надає особисту інформацію, медичну історію (за наявності) та завантажує зображення ока як вхідні дані. Система приймає вхідне зображення та виконує виділення ознак. Далі відбувається діагностика захворювання та його прогнозування. Крім того, формується звіт, у який включаються рекомендації щодо лікування.

Методи та матеріали. В даній роботі було використано два алгоритми: CNN для виділення ознак з вхідного зображення та SVM для прогнозування захворювання. Використані алгоритми. Згортова нейронна мережа - це один із основних типів мереж для класифікації зображень. Вона приймає на вхід зображення, обробляє його та класифікує за певними категоріями. У CNN виділяють три основні шари:

- згортковий шар (Convolution Layer);
- шар підвибірки або пулінгу (Pooling Layer);
- повн зв'язний шар (Fully-Connected Layer).

Convolution Layer - це перший шар, який виділяє ознаки з вхідного зображення. Згортка - це процес, під час якого мережа намагається позначити вхідний сигнал. Вона приймає два вхідні параметри: матрицю зображення та фільтр. Шар обчислює вихідні дані шляхом виконання скалярного добутку між фільтром і фрагментом зображення. Шар містить сирі вхідні дані зображення з шириною 32, висотою 32 та глибиною 3 для RGB-зображення.

- розміри матриці зображення: (висота, ширина, глибина) - (h, w, d);
- розміри матриці фільтра: (висота фільтра, ширина фільтра, глибина) - (fh, fw, d);
- розмір виходу: $(h - fh + 1) \setminus (w - fw + 1) \setminus 1$.

В роботі використано функцію активації ReLU. ReLU означає Rectified Linear Unit - нелінійна операція. ReLU важлива, оскільки вона вводить нелінійність у систему, що дозволяє моделі краще вивчати складні залежності в даних. Вихід функції ReLU визначається як:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (1)$$

тобто всі від'ємні значення обнуляються, а додатні залишаються без змін.

Головна функція шару Pooling Layer - зменшити кількість параметрів, коли зображення занадто велике, що робить обчислення швидшими та допомагає запобігти перенавчанню. Існують два поширені типи пулінгу: максимальний пулінг та середній пулінг. Якщо застосувати максимальний пулінг з фільтром розміром 2×2 і кроком 2, то розмір вихідного об'єму зменшиться до 16×16×12.

Шар Fully-Connected Layer - звичайний повнозв'язний нейронний шар, який приймає вхідні дані з попереднього шару, обчислює оцінки класів і формує вихідний одновимірний масив розміром, що дорівнює кількості класів. Для цього перетворюють матрицю в вектор і подають його на вхід повнозв'язному шару, схожому на звичайну нейронну мережу. На виході застосовується функція активації, така як softmax або sigmoid для класифікації результатів. Функція softmax використовується для класифікації об'єктів, повертаючи ймовірнісні значення для кожного класу в діапазоні від 0 до 1, причому сума всіх ймовірностей дорівнює 1.

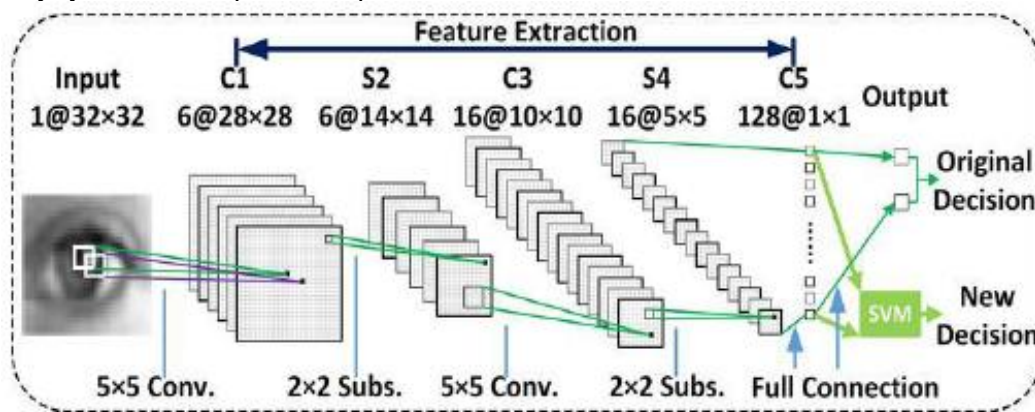


Рис.3. Згорткова нейронна мережа

SVM (метод опорних векторів) - це алгоритм навчання з учителем, який використовується в системі для класифікації. На цьому етапі порівнюють зображення з тренувального набору з тестовим зображенням, щоб отримати прогноз. Кожен елемент даних відображається у n-вимірному просторі (де n - кількість ознак), при цьому значення кожної ознаки відповідає координаті точки в цьому просторі.

Результатом роботи нашої системи є прогноз захворювання за зображенням ока, яке подається на вхід системі. Час, необхідний для отримання точного прогнозу, є мінімальним. Система навчається на наборі зображень, що включає всі захворювання, які потрібно передбачити: глаукому, діабетичну ретинопатію, патологічну міопію та вікову макулярну дегенерацію. Після навчання системи на цих зображеннях тестове зображення ока подається на вхід і система видає точний діагноз.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропонована система є особливо корисною для регіонів із нестачею офтальмологів, оскільки вона дозволяє передбачити захворювання, яким хворіє пацієнт. Це заощаджує час як пацієнта (користувача), так і офтальмолога. Крім того, система надає базові рекомендації щодо лікування відповідно до діагностованого захворювання. Завдання полягає в тому, щоб об'єднати пацієнтів, офтальмологів та інтелектуальну систему аналізу офтальмологічних захворювань через хмарну платформу. Це дозволить отримувати доступ до системи та даних з будь-якого місця і забезпечить швидку допомогу як онлайн, так і офлайн завдяки оперативному прогнозуванню результатів. Автоматичний механізм скринінгу офтальмологічних захворювань реалізовано таким чином, що спочатку система навчається на зображеннях ока для діагностики хвороби. Система навчається прогнозувати захворювання після вилучення ознак із зображення.

Інтелектуальна система діагностики офтальмологічних захворювань

Завантажте зображення очного дна (Fundus image)

Drag and drop file here
Limit 200MB per file • JPG, JPEG, PNG

Browse files

2.jpg 5.1KB



Завантажене зображення

Проаналізувати зображення

Виконується аналіз зображення...

Результат діагностики: Глаукома

Рекомендації: застосовуйте призначені очні краплі, контролюйте тиск.

Завантажити звіт

Рис.4. Прогнозування захворювання

Таким чином, за мінімальний час і з високою точністю дана система може ефективно розпізнавати захворювання. Запропонована система особливо корисна для регіонів із нестачею офтальмологів, оскільки вона дозволяє розпізнати захворювання, яким хворіє пацієнт. Крім того, система надає базові рекомендації щодо лікування залежно від діагностованої хвороби.

Література

1. D.W.K Wong, J. Liu, J. H. Lim, X. Jia, F. Yin, H. Li and T. Y. Wong, "Level-set based automatic cup-to-disc ratio determination using retinal fundus images in ARGALI", in Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2008, pp. 2266-2269.
2. F. Yin, J. Liu, D.W.K Wong, N. M. Tan c. Cheung, M. Baskaran, T. Aung, and T.Y. Wong, "Automated segmentation of optic disc and optic cup in fundus images for glaucoma diagnosis", in Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2012 25th International Symposium on, 2012, pp. 1-6.
3. J. Cheng, J. Liu, Y. Xu, F. Yin, D.W.K Wong, N. M. Tan, D. C. Tao, C. y. Cheng, T. Aung, T. Y. Wong, "Superpixel Classification based Optic Disc and Optic Cup Eye Study", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 23 April 2013 vol. 54 no. 4, 2829-2835.
4. Y. Xu, S. Lin, D.W.K Wong, J. Liu, D. Xu, "Efficient Reconstruction-Based Optic Cup Localization for Glaucoma Screening", in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention- MICCAI 2013, vol. 8151, pp. 445-452.
5. J. Cheng, F. Yin, D.W.K Wong, D. Tao and J. Liu, "Sparse Dissimilarity-Constrained Coding for Glaucoma Screening", IEEE Transactions on Biomedical engineering, vol. 62, no.5, pp.1395-1403, May 2015.

6. Yin, F., Liu, J., Ong, S.H.Sun, D., D.W.K. Wong, Tan, N.M., Baskaran, M., Cheung, C, Y, Aung: Model-based Optic Nerve Head Segmentation on Retinal Fundus Images. In IEEE Int.Conf. Engi. In Med. And Bio. Soc., pp. 2626-2629(2011).
7. Z. Zhang, F., Yin, F., Liu, J., D.W.K. Wong, "ORIGA light: An online retinal fundus images database for glaucoma analysis and research" In IEEE Int.Conf. Engi. In Med. And Bio. Soc.,2010, pp. 3065-3068.
8. C. C. Sng, J. C. Allen, M. E. Nongpiur, L. L. Foo, Y. Zheng, "Associations of Iris Structural Measurements in a Chinese Population: The Singapore Chinese
9. X. Chen, Y. Xu, S. Yan, D. W. Segmentation for Glaucoma Screening", IEEE Transactions on Medical Imaging (TMI), vol. PP, no. 99, pp. 1, 1, 0.
10. K. Rapantzikos and M. Zervakis, M., "Nonlinear enhancement and segmentation algorithm for the detection of age-related macular degeneration (AMD) in human eye's retina," Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 3, pp. 1055-1058,2001.
11. S. Parvathi and N. Devi, "Automatic Drusen Detection from Colour Retinal Images," Proc. ICCIMA, vol. 2, pp. 377-381, 2007.
12. L. Brandon and A. Hoover A. "Drusen detection in a retinal image using multi-level analysis," Proc. MICCAI, vol. 2878, pp. 618-625, 2003.
13. M. Niemeijer, B. van Ginneken, S. R. Russell, M. Suttorp and M. D. Abramoff, "Automated detection and differentiation of drusen, exudates and cotton-wool spots in digital color fundus photographs for diabetic retinopathy diagnosis," Invest Ophthalmol Vis. Sci., vol. 48, pp. 2260-2267, 2007.
14. J. Cheng, D. W. K. Wong, x.Cheng, J. Liu, N. M. Tan, "Early Age-Related Macular Degeneration Detection by Focal Biologically Inspired Feature", IEEE Int. Conf. Image Processing, pp. 2805-2808, 2012.
15. D. W. K. Wong, J. Liu, X. Cheng, J. Zhang, F. Yin, "THALIA – An Automatic Hierarchical Analysis System To Detect Drusen Lesion Images for AMD Assessment", in 2013 IEEE 10th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2013, pp. 884-887.
16. N.M. Tan, J. Liu, D. W. K. Wong, J. H. Lim, Z. Zhang "Automatic detection of pathological myopia using variational level set," in Int. Conf. IEEE Eng. Med. Bio. Soc., 2009, pp. 3609-3612.

References

1. D.W.K Wong, J. Liu, J. H. Lim, X. Jia, F. Yin, H. Li and T. Y. Wong, "Level-set based automatic cup-to-disc ratio determination using retinal fundus images in ARGALI", in Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2008, pp. 2266-9.
2. F. Yin, J. Liu, D.W.K Wong, N. M. Tan c. Cheung, M. Baskaran, T. Aung, and T.Y. Wong, "Automated segmentation of optic disc and optic cup in fundus images for glaucoma diagnosis", in Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2012 25th International Symposium on, 2012, pp. 1-6.
3. J. Cheng, J. Liu, Y. Xu, F. Yin, D.W.K Wong, N. M. Tan, D. C. Tao, C. y. Cheng, T. Aung, T. Y. Wong, "Superpixel Classification based Optic Disc and Optic Cup Eye Study", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 23 April 2013 vol. 54 no. 4, 2829-2835.
4. Y. Xu, S. Lin, D.W.K Wong, J. Liu, D. Xu, "Efficient Reconstruction-Based Optic Cup Localization for Glaucoma Screening", in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2013, vol. 8151, pp. 445-452.
5. J. Cheng, F. Yin, D.W.K Wong, D. Tao and J. Liu, "Sparse Dissimilarity-Constrained Coding for Glaucoma Screening", IEEE Transactions on Biomedical engineering, vol. 62, no.5, pp.1395-1403, May 2015.
6. Yin, F., Liu, J., Ong, S.H.Sun, D., D.W.K. Wong, Tan, N.M., Baskaran, M., Cheung, C, Y, Aung: Model-based Optic Nerve Head Segmentation on Retinal Fundus Images. In IEEE Int.Conf. Engi. In Med. And Bio. Soc., pp. 2626-2629(2011).
7. Z. Zhang, F., Yin, F., Liu, J., D.W.K. Wong, "ORIGA light: An online retinal fundus images database for glaucoma analysis and research" In IEEE Int.Conf. Engi. In Med. And Bio. Soc.,2010, pp. 3065-3068.
8. C. C. Sng, J. C. Allen, M. E. Nongpiur, L. L. Foo, Y. Zheng, "Associations of Iris Structural Measurements in a Chinese Population: The Singapore Chinese
9. X. Chen, Y. Xu, S. Yan, D. W. Segmentation for Glaucoma Screening", IEEE Transactions on Medical Imaging (TMI), vol. PP, no. 99, pp. 1, 1, 0.
10. K. Rapantzikos and M. Zervakis, M., "Nonlinear enhancement and segmentation algorithm for the detection of age-related macular degeneration (AMD) in human eye's retina," Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 3, pp. 1055-1058,2001.
11. S. Parvathi and N. Devi, "Automatic Drusen Detection from Colour Retinal Images," Proc. ICCIMA, vol. 2, pp. 377-381, 2007.
12. L. Brandon and A. Hoover A. "Drusen detection in a retinal image using multi-level analysis," Proc. MICCAI, vol. 2878, pp. 618-625, 2003.
13. M. Niemeijer, B. van Ginneken, S. R. Russell, M. Suttorp and M. D. Abramoff, "Automated detection and differentiation of drusen, exudates and cotton-wool spots in digital color fundus photographs for diabetic retinopathy diagnosis," Invest Ophthalmol Vis. Sci., vol. 48, pp. 2260-2267, 2007.
14. J. Cheng, D. W. K. Wong, x.Cheng, J. Liu, N. M. Tan, "Early Age-Related Macular Degeneration Detection by Focal Biologically Inspired Feature", IEEE Int. Conf. Image Processing, pp. 2805-2808, 2012.
15. D. W. K. Wong, J. Liu, X. Cheng, J. Zhang, F. Yin, "THALIA – An Automatic Hierarchical Analysis System To Detect Drusen Lesion Images for AMD Assessment", in 2013 IEEE 10th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2013, pp. 884-887.
16. N.M. Tan, J. Liu, D. W. K. Wong, J. H. Lim, Z. Zhang "Automatic detection of pathological myopia using variational level set," in Int. Conf. IEEE Eng. Med. Bio. Soc., 2009, pp. 3609-3612.