

УДК: 004.932.2

А.Ю. МАРЧУК

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ПАТОЛОГІЙ ВУХА НА ОТОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
E-mail: andriu4934@gmail.com*

Анотація. Проведено аналіз методів та засобів аналізу, класифікації патологій вуха, визначено особливості їх застосування, переваги та недоліки. Як результат проведеної роботи визначено шляхи удосконалення систем розпізнавання патологій вуха. Для цього дослідження використовувався пакет безкоштовного програмного забезпечення Image Composite Editor (ICE) 2.0 (Microsoft) для генерації безшовних складених зображень. Комбінація різних методів та алгоритмів обробки та класифікації зображень суттєво збільшує достовірність отриманих результатів. Подальші дослідження з метою покращення точності діагностики захворювань можуть бути спрямовані на поєднання різних алгоритмів обробки зображення та алгоритмів машинного навчання.

Ключові слова: розпізнавання зображень, глибоке навчання, локалізація об'єктів, виділення ознак, обмежувальні рамки, отоскоп, виявлення в реальному часі, алгоритм, фільтрація, захворювання, вуха, YOLO, OCTO, доповнена реальність.

Abstract. An analysis of methods and tools for the analysis and classification of ear pathologies was conducted, identifying their application features, advantages, and disadvantages. As a result of this work, ways to improve ear pathology recognition systems were determined. For this study, the free software package Image Composite Editor (ICE) 2.0 (Microsoft) was used to generate seamless composite images. The combination of different methods and algorithms for image processing and classification significantly increases the reliability of the results obtained. Further studies to improve the accuracy of disease diagnosis can be aimed at combining different image processing algorithms and machine learning algorithms.

Key words: image recognition, deep learning, object localization, feature extraction, bounding boxes, otoscope, real-time detection, algorithm, filtering, disease, ear, YOLO, OCTO, augmented reality..

DOI: 10.31649/1681-7893-2025-49-1-227-234

ВСТУП

Останнім часом спостерігається все більш інтенсивна інтеграція комп'ютерних технологій, зокрема технологій комп'ютерного зору, у процес діагностики різноманітних захворювань. Так, локалізація та оцінювання об'єктів на цифрових зображеннях анатомічних структур відіграє вирішальну роль у медичній діагностиці. Зокрема, при виявленні патологій зовнішнього та середнього вуха в отоларингології важливу роль відіграє візуалізація зовнішнього слухового ходу і барабанної перетинки у вигляді отоскопічного зображення.

Найкращим діагностичним засобом є портативний отоскоп з відеоендоскопом порівняно з іншими інструментами для визначення зовнішнього слухового проходу, барабанної перетинки, нормальних чи незвичайних конструкцій у цих місцях. Проте після отримання отоскопічних зображень аналіз виявлених патологій вуха можна автоматизувати за допомогою технологій штучного інтелекту. Це може зменшити потребу в лікарях отоларингологах в районах, де їх кількість є критичною, призначивши медсестру для проведення першої оцінки осіб із скаргами на слух, які використовують автоматизовані діагностичні моделі.

Для вирішення завдань виявлення об'єктів на зображеннях анатомічних структур популярності набувають штучні нейронні мережі. Однак виникає низка труднощів у ході реалізації даної концепції. Постає необхідність знайти відповідний метод розпізнавання об'єктів на зображенні, а також відповідну мережеву архітектуру та прийнятні гіперпараметри задля інтеграції технології виявлення об'єктів у архітектуру нейронної мережі. Крім того, навчання відповідної мережі вимагає ручного створення та анутовання колекції зображень, оскільки немає бази даних цільових зображень або відео. Також необхідно враховувати, що через зазвичай великий обсяг, необхідний для нейронних мереж, потрібні зусилля, щоб мінімізувати розмір цієї колекції. Серед сучасних підходів згорткові нейронні мережі (CNN) є оптимальним рішенням, оскільки вони використовують згорткові шари, які автоматично виявляють локальні ознаки такі як: межі, текстуру чи аномальні плями, мають меншу кількість параметрів що спрощує роботу та процес навчання, не потребують спеціалізованого апаратного забезпечення та більш пристосовані до задач комп'ютерного зору ніж спайкові нейронні мережі (SNN).

Метою даної роботи є аналіз відомих методів та систем класифікації та обробки отоскопічних зображень, а також аналіз їх параметрів таких як чутливість, специфічність та точність, для визначення шляхів покращення точності при діагностиці захворювань вуха.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОТОСКОПІЇ

Отоскопія є основною діагностичною процедурою, яка використовується для огляду слухового проходу та барабанної перетинки (барабанної перетинки). Традиційні отоскопи являють собою портативні пристрої, що складаються зі збільшувальної лінзи, дзеркала, яке вставляється в слуховий прохід, і внутрішнього джерела світла. Ці пристрої дозволяють лікарям безпосередньо візуалізувати слуховий прохід і барабанну перетинку.

Поява цифрової отоскопії (ЦО) значно покращило діагностичний процес. Цифрові отоскопи оснащені камерами високої роздільної здатності, які фіксують зображення або відео слухового проходу та барабанної перетинки в реальному часі, які можуть відображатися на екрані для перегляду як лікарем, так і пацієнтом. Ці пристрої часто включають функції для запису та зберігання зображень, полегшення моніторингу здоров'я вуха пацієнта з часом, порівняння з минулими станами або обміну з фахівцями для консультації. На рисунку 1 показана стандартна процедура отоскопічного обстеження.

Барабанна перетинка
при перегляді через отоскоп



Рисунок 1 – Стандартна процедура цифрової отоскопії [1]

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Цифрові отоскопи оснащені камерами високої роздільної здатності, які фіксують зображення або відео слухового проходу та барабанної перетинки в реальному часі, які можна відображати на екрані для перегляду як лікарем, так і пацієнтом. Залежно від обладнання, клінічної мети та потреб користувача існує кілька методів, у яких може бути застосована цифрова отоскопія:

- пряма візуалізація за допомогою цифрових отоскопів являє собою найпоширеніший метод. Пристрій оснащений камерою, джерелом світла та дисплеєм. Він забезпечує кращий огляд порівняно з традиційними отоскопами, дозволяючи клініцистам візуалізувати такі деталі, як інфекції, закупорки та перфорації барабанної перетинки;
- телемедицина та дистанційна діагностика – підключення цифрових отоскопів до телемедицинських платформ, що дозволяє проводити дистанційне обстеження. Цифрові дані передаються через Інтернет, що дозволяє медичним працівникам дистанційно переглядати та діагностувати захворювання вуха. Цей метод особливо корисний у місцях з обмеженим доступом до спеціалістів;
- 3D-цифрова отоскопія. Удосконалена цифрова отоскопія може включати тривимірне зображення, яке забезпечує більш повний огляд слухового проходу та барабанної перетинки. Цей метод використовує кілька зображень, зроблених під різними кутами, для створення 3D-моделі, що допомагає в детальній діагностиці та плануванні хірургічного втручання;
- отоскопія на основі смартфона: з появою мобільних технологій охорони здоров'я цифрові отоскопи на основі смартфонів стають популярними. Ці пристрої підключаються до смартфонів через спеціалізовані адаптери або програми, що дозволяє користувачам знімати та ділитися зображеннями вух. Цей метод є економічно ефективним і доступним, часто використовується для первинних скринінгів або самообстеження пацієнтів.

В таблиці 1 наведено порівняльну характеристику сучасних методів цифрової отоскопії. Оцінка кожного методу зосереджена на таких показниках, як точність, чутливість, специфічність [2], надаючи повний огляд можливостей класифікації моделі.

Цифрова отоскопія (DOV) поєднує класичний отоскоп із сучасною камерою, що дозволяє отримувати деталізовані зображення або навіть відеозаписи структур вуха. Це значно підвищує точність діагностики порівняно зі звичайним отоскопом, дає можливість зберігати дані для подальшого аналізу та використовувати їх у телемедицині. Однак висока вартість обладнання та залежність від якості камери можуть обмежувати його застосування, особливо в умовах обмежених ресурсів. Отоскопія на базі оптично когерентної томографії (ОСТО) – це інноваційний метод, який дозволяє отримувати тривимірні зображення середнього вуха з високою роздільною здатністю. Він особливо ефективний для виявлення мікроскопічних патологій, таких як отосклероз або тонкі перфорації барабанної перетинки. Однак ОСТО залишається дорогим і складним у використанні інструментом, доступним переважно у великих медичних центрах або науково-дослідних установах. Отоскопія з доповненою реальністю (AR) – це перспективний напрямок, який поєднує звичайну отоскопію з комп'ютерною візуалізацією. AR-отоскопи можуть автоматично виділяти патологічні ділянки, що значно полегшує діагностику та навчання лікарів. Проте ця технологія поки що потребує доопрацювання алгоритмів обробки зображень, оскільки ризик помилок при автоматичній сегментації залишається значним. Крім того, AR-отоскопи часто вимагають спеціальних гарнітур або програмного забезпечення, що ускладнює їх масове впровадження. Отоскопія з використанням смартфонів – один із найдоступніших варіантів, оскільки дозволяє проводити діагностику за допомогою спеціальних насадок на звичайний телефон. Це ідеальний варіант для віддалених регіонів або швидкого скринінгу, оскільки не вимагає дорогого обладнання та дозволяє легко передавати зображення лікарям. Однак якість знімання сильно залежить від камери смартфона, а неправильне освітлення або фокусування може призвести до помилкових результатів.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів цифрової отоскопії

Метод	Чутливість	Специфічність	Абсолютна точність
DOV	70–85%	75–90%	75–85%
ОСТО	85–95%	90–98%	85–93%
AR - отоскопія	85–95%	90–98%	90–95%
Отоскопія з використанням смартфонів	70–90%	80–85%	75–80%

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ОТОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Обробка зображень є ключовим елементом у підготовці результатів отоскопічної діагностики, оскільки вона спрямована на підвищення якості захоплених зображень для кращої візуалізації та аналізу. Однією з поширених проблем у отоскопічних відео є розмитість під час руху, спричинена рухом отоскопа під час огляду. Тому основний напрямок запропонованих методів обробки є зменшення цього розмиття, згладжування зображення та виділення важливих особливостей, таких як запалення, накопичення рідини або перфорації в барабанній перетинці. Необхідно отримати якомога більше відповідної інформації із зображення, переконавшись, що воно є достатньо чітким для діагностичних цілей.

Після покращення якості зображення наступним кроком є визначення значущих областей для аналізу. Це передбачає визначення найчіткіших, найбільш актуальних ділянок зображення, які часто є частинами барабанної перетинки або слухового проходу, де можуть бути аномалії. Тобто важливо виключити нерелевантні ділянки із зображення, такі як відблиски або відбиття від світла отоскопа.

У контексті класифікації оброблені отоскопічні зображення аналізуються для подальшого віднесення їх до таких діагностичних груп, такі як нормальні, інфіковані або перфоровані барабанні перетинки. Машинне навчання відіграє тут вирішальну роль, оскільки воно автоматизує процес класифікації шляхом навчання алгоритмів на великих наборах даних мічених отоскопічних зображень. Для цього зазвичай використовуються глибокі згорткові нейронні мережі (DCNN) [3], оскільки вони особливо ефективні у розпізнаванні шаблонів і особливостей медичних зображень. За допомогою таких методів, як навчання з перенесенням, коли попередньо навчена модель адаптується для конкретних завдань, ці мережі можуть класифікувати захворювання вуха з високою точністю, навіть якщо набір даних є обмеженим.

Виявлення об'єктів відрізняється від класифікації зображень тим, що воно також передбачає аналіз положення об'єкта на зображенні. Це зазвичай представлено через обмежувальні рамки. Крім того, виявлення об'єктів має ідентифікувати декілька об'єктів на одному зображенні. Класифікація отоскопічних зображень створює певні проблеми через різну якість зображення, тонкі візуальні відмінності в стані вуха, обмежені навчальні дані, дисбаланс класів і необхідність адаптації домену. Анатомічні варіації, міжкласова мінливість і відсутність анотацій ще більше ускладнюють точну класифікацію. Такі фактори, як етнічна приналежність, вік і розвиток медичних знань, вимагають адаптивних моделей.

Алгоритм You Only Look Once (YOLO) є перспективною архітектурою нейронної мережі для виявлення об'єктів на отоскопічних зображеннях, що веде до їх подальшої класифікації [4]. При використанні алгоритму YOLO нейронна мережа прогнозує об'єкти у вхідному зображенні. Щоб зрозуміти цей алгоритм, важливо зрозуміти структуру міток основних істин (GroundTrough) та прогнозів, які формують вихід нейронної мережі. Вхідне зображення поділяється на сітку $S \times S$ комірок. Комірка, що містить центр об'єкта, відповідає за його виявлення, в ідеалі призначаючи кожен об'єкт одній комірниці. У кожній із цих комірок виділяється B обмежувальних рамок. Вибір кількості комірок і обмежувальних рамок є довільним у дизайні моделі виявлення об'єктів YOLO.[5] Обмежувальна рамка характеризується координатами (x, y, w, h) і оцінкою достовірності. Координати (x, y) представляють центр обмежувальної рамки як відносний зсув від відповідної комірки. Значення w і h вказують на висоту та ширину обмежувальної рамки відносно всього зображення. Обмежувальні рамки служать для визначення положення та розміру об'єктів на зображеннях. Оцінка достовірності (confidence), кінцеве значення, що інкапсулює обмежувальну рамку, визначає, чи містить вона об'єкт і наскільки добре вона відповідає цьому об'єкту.

Формально оцінка достовірності обмежувальної рамки визначається як:

$$Confidence = P(Object) \times IoU_{truth}^{pred} \quad (1)$$

де $P(Object)$ – показник об'єктності, що визначає ймовірність присутності об'єкта в обмежувальній рамці, а IoU_{truth}^{pred} визначає, наскільки є точними розмір і положення прогнозованої рамки порівняно з фактичним об'єктом.

Щоб навчити модель виявляти об'єкти за допомогою алгоритму YOLO, необхідно встановити основну істину для кожного зображення в наборах даних навчання та оцінки. Ця основна істина охоплює відповідні визначення обмежувальної рамки для об'єктів у кожній відповідній комірці сітки. Отже, базова правда анується координатами об'єкта та оптимальними оцінками достовірності для обмежувальних рамок[6]:

- відсутність об'єктів у комірці: оцінка достовірності дорівнює 0, тому що $P(\text{Object})=0$;
- присутній об'єкт: $P(\text{Object})=1$, отже $\text{Confidence} = 1 \times \text{IoU}_{\text{truth}}^{\text{pred}} = \text{IoU}_{\text{truth}}^{\text{pred}}$;
- об'єкт точно існує в координатах (x, y, w, h) обмежувальної рамки $P(\text{Object}) = 1, \text{IoU}_{\text{truth}}^{\text{pred}} = 1$, в результаті $\text{Confidence} = 1 \times 1 = 1$.

Інший метод, OCASD (Object Counting and Anomaly Detection) був розроблений у відповідь на дефіцит загальнодоступних наборів даних для класифікації отоскопічних зображень [7]. Після перегляду випадків у дослідженні пов'язаному із дво-етапною обробкою отоскопічних зображень барабанної перетинки[8] стало очевидним, що в категоріях «Закупорка серуменом», «Хронічний середній отит», «Мірінгосклероз» і «Нормальний стан вуха» були відфільтровані зайві випадки, і було вибрано 100 зображень на категорію, щоб забезпечити збереження найбільш інформативних. Подібним чином, надлишкові або менш інформативні зображення також були відфільтровані для категорії «Гострий середній отит», а додаткові зображення були отримані з Інтернету, щоб компенсувати відсутність різноманітності в цій категорії. Після перевірки OCASD містив 500 зображень у 5 різних категоріях (таблиця 2).

Таблиця 2

Остаточні екземпляри набору даних OCASD

Категорії	Початкові екземпляри	Екземпляри після фільтрації	Екземплярів включено
Закупорка серуменом	220	134	100
Хронічний середній отит	220	174	100
Мірінгосклероз	220	141	100
Нормальний стан вуха	220	166	100
Гострий середній отит	83	74	69
	147	42	31

Для класифікації використана двоетапна архітектура, зображена на рисунку 2 [9]. Спочатку кожне опорне зображення поєднувалося з двома іншими зображеннями: одне з тієї ж категорії (позитив) і одне з іншої категорії (негатив). Ця установка полегшила застосування триплетних втрат разом із втратами крос-ентропії для класифікації. Кожне зображення було змінено до 226×226 і оброблено через мережу ResNeXt-18 для вилучення векторних характеристик [10]. Після завершення класифікації опорне зображення проходить кілька етапів попередньої обробки перед тим, як воно передаватиметься у налаштовану модель CLIP [11-22]. Вбудовані зображення з CLIP поєднуються з вбудованими текстами, отриманими з попередньо визначеної підказки. Поєднання вбудованих зображень і тексту має вирішальне значення для створення точних підсумків, які відображають діагностичний сенс зображення [12, 23-26].

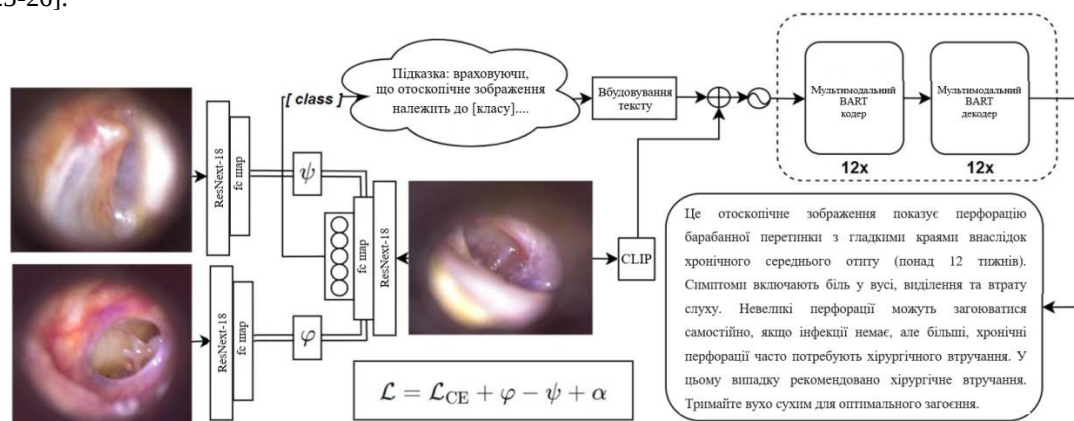


Рисунок 2 – Архітектура системи, призначеної для класифікації отоскопічних зображень [9]

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

В останньому методі [13], оглянутому в даній роботі, була створена база даних відео цифрових отоскопів високої роздільної здатності з відповідними діагностичними мітками. Зібрані відео з отоскопа були позбавлені будь-якої ідентифікаційної захищеної інформації про здоров'я, що гарантувало, що відео неможна було пов'язати з будь-яким конкретним пацієнтом [14]. Збір даних проводився за допомогою відеоотоскопа високої чіткості (HD) (JEDMEDHorus+ HDVideoOtoscope, St. Louis, MO), який є портативним цифровим отоскопом з РК-видошукачем для перегляду відео в реальному часі. Цей пристрій дозволяв відображати на екрані та миттєво переглядати послідовності зображень. Після кожного обстеження відеозаписи надійно зберігалися на сервері [15]. Набір даних охоплює майже всі основні діагностичні категорії барабанної перетинки, такі як нормальний стан, гострий середній отит, випіт, перфорація барабанної перетинки, мірингіт, тимпаносклероз, втягнута барабанна перетинка, холестеатома та барабанні перетинки з вентиляційними трубками. Через відсутність достатньої кількості зразків у деяких категоріях, таких як АОМ, лише чотири категорії були обрані для якісних експериментів: випіт, перфорація барабанної перетинки, тимпаносклероз і нормальний стан БП [16]. У таблиці 3 детально описано технічні характеристики набору відео даних отоскопа.

Таблиця 3

Технічні характеристики набору відеоданих отоскопа.

Діагностичні категорії	Число відоезаписів	Число кадрів
Випіт	114	43417
Нормальний стан	169	35505
Перфорація	56	19732
Тимпаносклероз	55	13063
Загалом	394	111717

Для цього дослідження використовувався пакет безкоштовного програмного забезпечення Image Composite Editor (ICE) 2.0 (Microsoft) для генерації безшовних складених зображень [17]. Перед зшиванням не релевантні кадри були відфільтровані за допомогою фільтрації Гаусата α -форм для покращення якості композитів [18]. Трансферне навчання (TransferLearning – TL) було використано для підвищення ефективності навчання глибоких згорткових нейронних мереж (DCNN) шляхом використання знань із попередньо навченої моделі на ImageNet. Архітектура ResNet-101, яка була попередньо навчена на ImageNet, була налаштована для класифікації відео отоскопа з використанням відео отоскопії як цільового набору даних. Для збільшення розміру набору даних і покращення узагальнення моделі було застосовано методи збільшення даних, такі як обертання, масштабування, перевертання та трансляція. Використання кількох складених зображень призвело до кращої продуктивності класифікації порівняно з окремими складеними зображеннями та ключовими кадрами. В даному дослідженні вдалось досягти результатів чутливості в 74.7%, специфічності – 91.7% та абсолютної точності в 73.7%. Порівняльна характеристика розглянутих систем та методів продемонстрована в таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняльна характеристика методів обробки та класифікації отоскопічних зображень

Метод	Чутливість	Специфічність	Абсолютна точність
YOLO	78-86%	>92%	~80%
OCASD	80-85%	90-97%	78-84%
ResNet-101 + TL	74.7%	91.7%	73.7%

ВИСНОВОК

Аналіз сучасних методів та систем обробки отоскопічних зображень демонструє їх перспективність в сучасній діагностиці захворювань вуха таких як отит, перфорації барабанної перетинки, закупорка сіркою. Комбінація різних методів та алгоритмів обробки та класифікації зображень суттєво збільшує достовірність отриманих результатів. Подальші дослідження з метою покращення точності діагностики захворювань можуть бути спрямовані на поєднання різних алгоритмів обробки зображення та алгоритмів машинного навчання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Bassiouni, M., D. G. Ahmed, S. I. Zabaneh, S. Dommerich, H. Olze, P. Arens, and K. Stölzel. Endoscopic ear examination improves self-reported confidence in ear examination skills among undergraduate medical students compared with handheld otoscopy. *GMS J. Med. Educ.* 39(1):doc 3, 2022.
2. Sicora, M. V. Gluboki neyronny mereshi v kompyuternomy zori. Lviv : Vydavnistvo Lvivskoi politehniku, 2021. 356 s. ISBN 978-966-941-234-5.
3. Zheng T., Sha J., Deng Q., Geng S., Xiao S., Yang W., Byrne C., Targher G., Li Y., Wang X., Wu D., Zheng M. Object detection: A novel AI technology for the diagnosis of hepatocyte ballooning. *Liver international : official journal of the International Association for the Study of the Liver*. 2023. №44. DOI:10.1111/liv.15799.
4. Huang R., Lin R., Dong A., Wang Z. Few-Shot Object Detection Based on Adaptive Attention Mechanism and Large-Margin Softmax. *AATCC J Res*, 2022. DOI:10.1177/24723444221136626.
5. Hussain R., Lalande A., Marroquin R., Girum K.B., Guigou C., Bozorg Grayeli A. Real-Time Augmented Reality for Ear Surgery. 21st International Conference, Granada, Spain, September 16-20, 2018, Proceedings, Part IV. DOI:10.1007/978-3-030-00937-3_38.
6. Khan E., Khan A. Sumotosima: A Framework and Dataset for Classifying and Summarizing Otoscopic Images. arXiv:2408.06755. 2024.
7. Li Z., Dong M., Wen S., Hu X., Zhou P., Zeng Z. CLU-CNNs: Object detection for medical images. *Neurocomputing*, 2019, 350 p. DOI:10.1016/j.neucom.2019.04.028.
8. Lim L.A., Keleş H.Y. Learning Multi-Scale Features for Foreground Segmentation. *Pattern Anal Appl.* 2019. № 23.PP. 1369–1380. DOI:10.1007/s10044-019-00845-9.
9. Lin Z., Wang Y., Tang Z. Training-Free Open-Ended Object Detection and Segmentation via Attention as Prompts, 2024. DOI:10.48550/arXiv.2410.05963.
10. Ma S., Xu Y. FPDIoU Loss: A Loss Function for Efficient Bounding Box Regression of Rotated Object Detection, 2024. DOI:10.48550/arXiv.2405.09942.
11. Marroquin R., Lalande A., Hussain R., Guigou C., Grayeli A.B. Augmented reality of the middle ear combining otoendoscopy and temporal bone computed tomography. 2018.
12. Megawati M., Alwani N., Fitrianto A., Erfiani, Nugraha A. Agglomerative Nesting Cluster Analyst in Mapping District/City Health Facilities in West Java Province. *Jurnal Matematika Statistika dan Komputasi*, 2024. № 20.PP. 484-496. DOI:10.20956/j.v20i3.32043.
13. Moberly A.C., Zhang M., Yu L., Gurcan M., Senaras C., Teknos T.N., Elmaraghy C.A., Taj-Schaal N., Essig G.F. Digital otoscopy versus microscopy: How correct and confident are ear experts in their diagnoses? 2018. № 24(7). 453-459PP. DOI:10.1177/1357633X17708531.
14. Mohammed K.K., Hassanien A.E., Afify H.M. Classification of Ear Imagery Database Using Bayesian Optimization Based on CNN-LSTM Architecture. *J Digit Imaging*. 2022. № 35.PP. 947–961. DOI:10.1007/s10278-022-00617-8.
15. Moshtaghi O., Sahyouni R., Haidar Y.M., Huang M., Moshtaghi A., Ghavami Y., et al. Smartphone-Enabled Otoscopy in Neurotology/Otology. 2017. № 156. 554-558.
16. Polk M.L., Lailach S., Kemper M., Bendas A., Zahnert T., Neudert M. Lernkurve der HNO-Spiegeluntersuchung: Zielgerichtete Lehrveranstaltungsplanung zu einer psychomotorischen Fertigkeit.
17. Raghu M., Zhang C., Kleinberg J., Bengio S. Transfusion: Understanding Transfer Learning for Medical Imaging. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2019. PP. 3347–3357.
18. Raina V., Molchanova N., Graziani M., Malinin A., Müller H., Bach Cuadra M., Gales M.J.F. Tackling Bias in the Dice Similarity Coefficient: Introducing nDSC for White Matter Lesion Segmentation, 2023. DOI:10.48550/arXiv.2302.05432.
19. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
20. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
21. Pavlov Sergii, Avrunin Oleg, Hrushko Oleksandr, and etc. (2021). System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.),

- Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.
22. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
 23. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska, , 13(3), pp. 101–10
 24. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" Sensors 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
 25. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Samoil Sh. Katsyv, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws”, Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033- 2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.
 26. Pavlov S.V, Petruk V.G., Kolesnik P.F. (2007). Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control: monography, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 254 p

Надійшла до редакції 02.04.25 р.

МАРЧУК АНДРІЙ ЮРІЙОВИЧ - аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,
e-mail: andriu4934@gmail.com

ANDRIY MARCHUK

ANALYSIS OF METHODS AND SYSTEMS FOR RECOGNITION OF EAR PATHOLOGIES ON OTOSCOPIC IMAGES

Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske Shosse, 95, Vinnytsia, Ukraine,