



2026, № 1

Журнал обчислювальної та
прикладної математики
Заснований в 1965 році



Journal of Numerical
& Applied Mathematics

ISSN (Print): 2706-9680, ISSN (Online): 2706-9699

ЄДРПОУ видавця: 02070944

ROR: 02aaqv166

E-mail:
jnameditorialteam@gmail.com

Головний редактор:
Ляшко Сергій Іванович

Сучков В.І.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПОРОГОВОГО ВІДСІКАННЯ ГІСТОГРАМИ У ЗАДАЧІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЛЕГЕНЬ НА РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ

Адреса редакції:
Кафедра обчислювальної математики,
факультет комп'ютерних наук та кібернетики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Україна, 01601, Київ, вул. Володимирська, 64/13.

©Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2026

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 4246 від 26.05.2000
Включено в Перелік наукових фахових видань у відповідності до Наказу МОН
України № 409 від 17.03.2020

DOI: 10.17721/2706-9699.2026.1.07

УДК 004.93, 004.62

MSC 68T10, 68U10

APPLICATION OF BALANCED HISTOGRAM THRESHOLDING FOR LUNG SEGMENTATION IN CHEST X-RAY IMAGES

V. I. SUCHKOV

Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Kyiv, Ukraine, E-mail: valentynsuchkov@gmail.com, ORCID: 0009-0006-7773-0660

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПОРОГОВОГО ВІДСІКАННЯ ГІСТОГРАМИ У ЗАДАЧІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЛЕГЕНЬ НА РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ

В. І. СУЧКОВ

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, E-mail: valentynsuchkov@gmail.com,
ORCID: 0009-0006-7773-0660

ABSTRACT. The paper considers the application of global thresholding methods for lung region segmentation in chest X-ray images, in particular the Otsu, Kapur, and Balanced Histogram Thresholding (BHT) methods. A comparative analysis of these methods is performed. The effectiveness of the approaches is evaluated using the Dice coefficient, Recall, and the over-segmentation index (OSI). Additionally, the impact of image preprocessing using Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) on segmentation quality is analyzed. The obtained results show that the use of CLAHE significantly improves segmentation performance for the Otsu and Kapur methods. The BHT method provides the highest segmentation completeness, but is characterized by an increased level of over-segmentation. It is demonstrated that the considered methods can be applied for initial lung region extraction.

KEYWORDS: image segmentation, Balanced Histogram Thresholding, chest X-ray images, Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization.

АНОТАЦІЯ. У статті розглядається застосування методів глобального порогоування для сегментації області легень на рентгенівських зображеннях грудної клітини, зокрема методів Оцу, Капура та методу збалансованого порогового відсікання гістограми

(Balanced Histogram Thresholding, BHT). Проведено порівняльний аналіз вказаних методів. Оцінювання ефективності підходів здійснюється за допомогою метрик Dice, Recall та показника надлишкової сегментації (OSI). Додатково у роботі досліджено вплив попередньої обробки зображень з використанням методу адаптивного вирівнювання гістограми з обмеженням контрасту (CLANE) на якість сегментації. Отримані результати показують, що застосування CLANE суттєво покращує результати сегментації для методів Оцу та Капура. Метод BHT забезпечує найвище значення повноти сегментації, проте характеризується підвищеним рівнем надлишкової сегментації. Показано, що досліджувані методи можуть бути використані як інструмент попереднього виділення області легень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сегментація зображень, методу збалансованого порогового відсікання гістограми, рентгенівські зображення грудної клітини, метод адаптивного вирівнювання гістограми з обмеженням контрасту.

1. ВСТУП

Задача сегментації області легень на рентгенівських зображеннях грудної клітини залишається актуальною складовою систем комп'ютерної діагностики. Точне виділення легеневих структур є важливим етапом попередньої обробки даних та впливає на ефективність подальшого аналізу медичних зображень.

Незважаючи на розвиток глибокого навчання, класичні методи сегментації, зокрема порогові, залишаються актуальними через свою простоту, ефективність та відсутність потреби у великих обсягах розмічених даних. Однак застосування цих методів до рентгенівських зображень грудної клітини ускладнюється їх низьким контрастом, неоднорідністю інтенсивності та перекриттям анатомічних структур.

У роботі [1] було запропоновано підхід до сегментації легень на рентгенівських зображеннях грудної клітини з використанням класичних методів обробки зображень та приділено особливу увагу оцінці їх застосування. Отримані результати показали, що запропонований підхід дозволяє ефективно виділяти область легень. При цьому виявлено його чутливість до контрасту зображення та впливу шумів, що вказує на необхідність подальшого вдосконалення процесу сегментації.

У даній роботі здійснюється подальший розвиток зазначеного підходу шляхом дослідження ефективності класичних методів порогової сегментації, а саме методів Оцу, Капура та методу збалансованого порогового відсікання гістограми (Balanced Histogram Thresholding, Bi-Level Image Thresholding, BHT).

Особливу увагу приділено аналізу залежності методів від попередньої обробки зображень, зокрема підсилення контрасту, та її впливу на результати сегментації.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Наразі в існуючій літературі у задачах сегментації легень на рентгенівських зображеннях переважно використовуються методи глибокого навчання. Зокрема, нейромережа U-Net [2] та її модифікації дозволяють отримувати високі результати за наявності достатньої кількості розмічених даних. Проте ефективність таких підходів залежить від якості навчальної вибірки та потребує значних обчислювальних ресурсів. Крім того, якість сегментації може знижуватись при застосуванні нейромереж на інших наборах даних, які відрізняються від навчальної вибірки, що обмежує їх здатність до узагальнення.

Окрім методів глибокого навчання, у задачах аналізу медичних зображень застосовуються підходи, що базуються на використанні класичних методів обробки зображень. Такі підходи характеризуються простотою реалізації, не потребують попереднього навчання моделей і можуть використовуватись за відсутності розмічених даних. У ряді досліджень для сегментації рентгенівських знімків грудної клітини застосовуються класичні методи пороговання, зокрема метод Оцу як один з етапів сегментації зображення [3]. Також у задачах сегментації рентгенівських зображень грудної клітини поширене використання ентропійних методів пороговання, зокрема методу Капура, у поєднанні з оптимізаційними алгоритмами [4].

Аналіз методів пороговання в існуючій літературі показав, що метод ВНТ безпосередньо не використовується у дослідженнях сегментації рентгенівських зображень грудної клітини. У зв'язку з цим актуальним є проведення порівняльного аналізу запропонованого підходу з найбільш поширеними методами пороговання, що застосовуються для обробки медичних зображень.

Методи попередньої обробки, зокрема CLANE, також застосовуються у задачах сегментації рентгенівських зображень грудної клітини. Їх використання у поєднанні з пороговими методами дозволяє покращити віддільність області легень від фону [5].

2. МЕТА

Метою роботи є дослідження застосування методу збалансованого порогового відсікання гістограми (ВНТ) для сегментації легень на рентгенівських зображеннях грудної клітини та оцінювання його ефективності у порівнянні з методами Оцу і Капура.

3. МЕТОДИКА

У дослідженні використано рентген-зображення грудної клітини з датасету Shenzhen Chest X-ray dataset, описаного у роботі [6].

Еталонні маски легеневої області отримано з відкритого датасету Lung Masks for Shenzhen Hospital Chest X-ray Set [7]. Даний датасет містить 566 зображень, для яких наявні еталонні бінарні маски легень (ground truth masks). Приклад зображень грудної клітини з датасету наведено на Рис. 1.

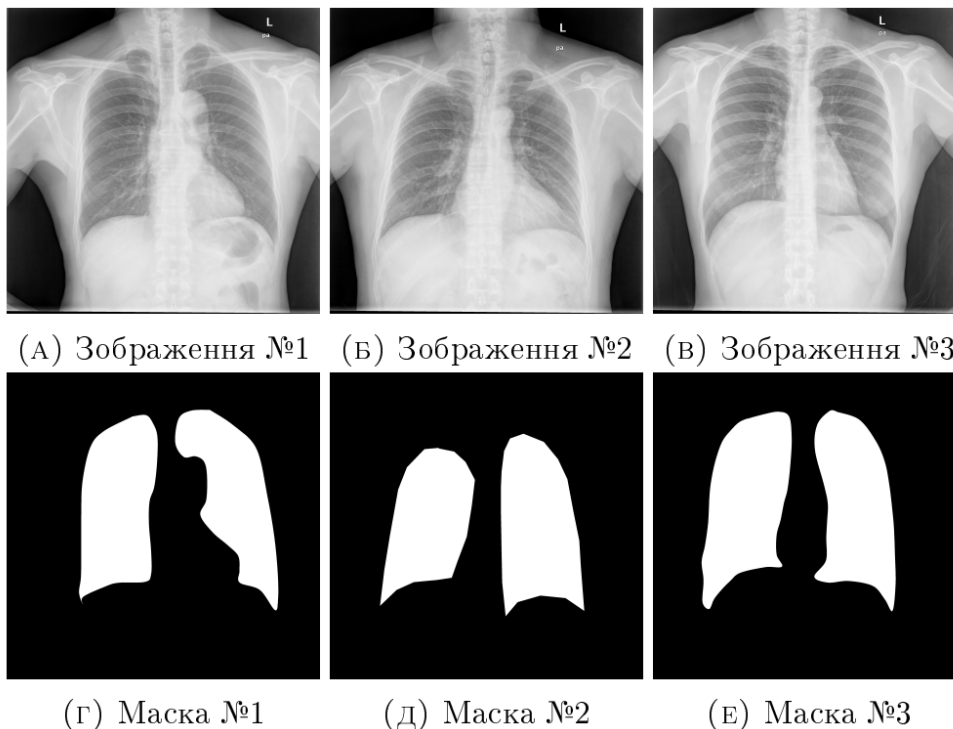


РИС. 1. Приклад рентген-зображень та відповідних їм еталонних масок.

До оригінальних зображень з датасету застосовано методи глобального порогового відсікання гістограми з метою відокремлення фонових структур від області легень та побудови бінарних масок області інтересу, що відповідає легеневої області.

Отримані результати сегментації порівнюються з еталонними масками для оцінювання точності виділення легень.

У рамках обчислювального експерименту виконано порівняльний аналіз методу збалансованого порогового відсікання гістограми (Balanced Histogram Thresholding, BHT) та класичних методів глобального порогоування, зокрема методів Оцу (Otsu) та Капура (Kapur).

Метод Оцу [8] визначає порогове значення, що забезпечує найкраще розділення зображення на два класи шляхом максимізації міжкласової дисперсії, що дозволяє ефективно відокремлювати об'єкти від фону при бімодальному розподілі інтенсивності.

Метод Капура [9] визначає оптимальне порогове значення шляхом максимізації ентропії двох класів та дозволяє ефективно працювати зі гістограмами, що мають більш складну форму.

Метод збалансованого порогового відсікання гістограми (Balanced Histogram Thresholding, BHT) [10] базується на ідеї розділення гістограми на дві рівні частини. Порогове значення визначається ітеративно шляхом

зміщення меж гістограми до досягнення балансу між лівою та правою частинами.

У алгоритмі припускається, що зображення складається з пікселів двох класів, які відповідають фону та об'єкту.

У роботі виконано два експерименти, що відрізняються наявністю попередньої обробки зображень. У першому випадку сегментація здійснюється без змін вихідних даних. У другому випадку застосовується метод адаптивного вирівнювання гістограми з обмеженням контрасту (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE) [11], що дозволяє оцінити вплив попередньої обробки на результати сегментації. Використання CLAHE підвищує локальний контраст зображення та покращує відділення легеневої області від фону. У якості параметра методу CLAHE використано розбиття зображення на сітку розміром 8x8.

Для усунення фонових артефактів у результатах сегментації як етап постобробки здійснюється видалення малих зв'язаних компонент, площа яких становить менше 20% площі зображення та які дотичні до його меж або розташовані на відстані до 10 px від них.

Оцінювання ефективності підходів здійснюється на основі кількісних метрик якості сегментації, зокрема коефіцієнта Dice, повноти (Recall), показника надлишкової сегментації (OSI) та показника відносної площі сегментованої області (Area Ratio).

$$Dice = \frac{2|M \cap G|}{|M| + |G|} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{|M \cap G|}{|G|} \quad (2)$$

$$OSI = \frac{|M \setminus G|}{|G|} \quad (3)$$

де $I(x)$ — інтенсивність яскравості пікселя $x \in I$, I — множина пікселів вхідного зображення, M — бінарна маска області інтересу, отримана в результаті сегментації, G — еталонна маска легеневої області, $M \setminus G$ — множина пікселів, що належать побудованій масці, але не входять до еталонної області, $|\cdot|$ — кількість пікселів у відповідній множині.

Коефіцієнт Dice характеризує ступінь перекриття між побудованою бінарною маскою та еталонною областю легень і відображає узгодженість результату сегментації з еталонною розміткою. Повнота (Recall) характеризує ступінь покриття легеневої області побудованою бінарною маскою та визначає частку еталонної області, що була коректно включена до області інтересу. Показник надлишкової сегментації (Over-segmentation Index, OSI) характеризує рівень включення фонових структур та артефактів до області інтересу.

4. РЕЗУЛЬТАТИ

У даному розділі наведено результати експериментальних досліджень сегментації області легень з використанням порогових методів. Для кожного



Рис. 2. Метод CLANE.

зображення з датасету обчислено показники якості сегментації відносно еталонної розмітки, на основі яких визначено середні значення. Всього зображень — 566. Отримані результати наведено в Табл. 1.

ТАБЛ. 1. Результати сегментації

Метод	Фільтр	Dice	Recall	OSI
Otsu	-	0.457 ± 0.330	0.386 ± 0.297	0.128 ± 0.369
Kapur	-	0.480 ± 0.281	0.417 ± 0.280	0.200 ± 0.471
BHT	-	0.654 ± 0.206	0.790 ± 0.181	0.740 ± 0.674
Otsu	CLANE	0.731 ± 0.123	0.675 ± 0.071	0.231 ± 0.436
Kapur	CLANE	0.704 ± 0.115	0.636 ± 0.087	0.229 ± 0.466
BHT	CLANE	0.704 ± 0.160	0.802 ± 0.102	0.600 ± 0.656

На Рис. 2 наведено приклад застосування методу CLANE.

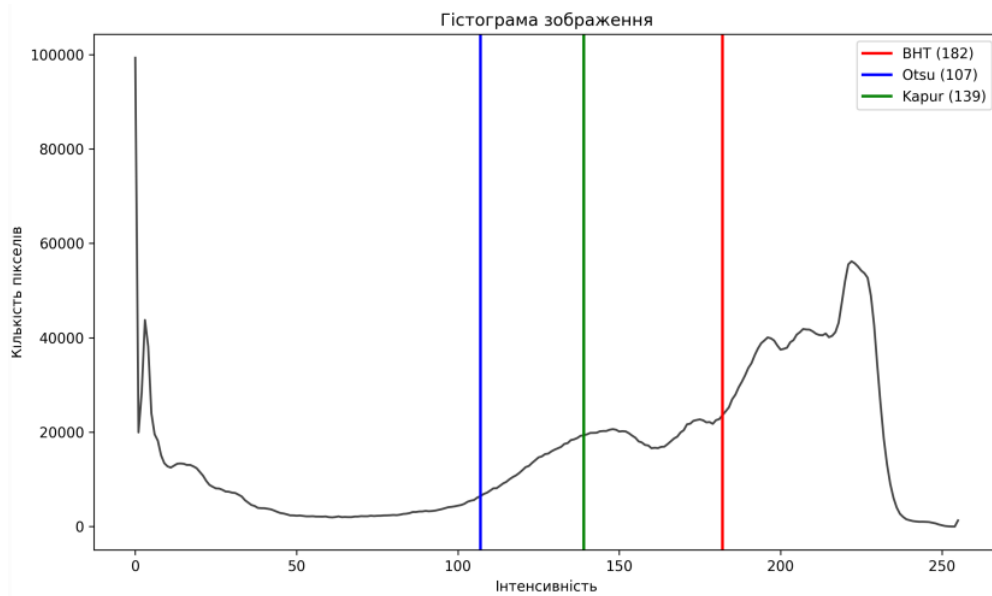
На Рис. 3 наведено гістограми рентген-зображення до та після застосування фільтра CLANE зі знайденими порогоми відповідних методів, що розглядаються у статті.

На Рис. 4 наведено приклад застосування методів глобального порогоування Оцу, Капура та методу ВНТ без застосування методу попередньої обробки CLANE.

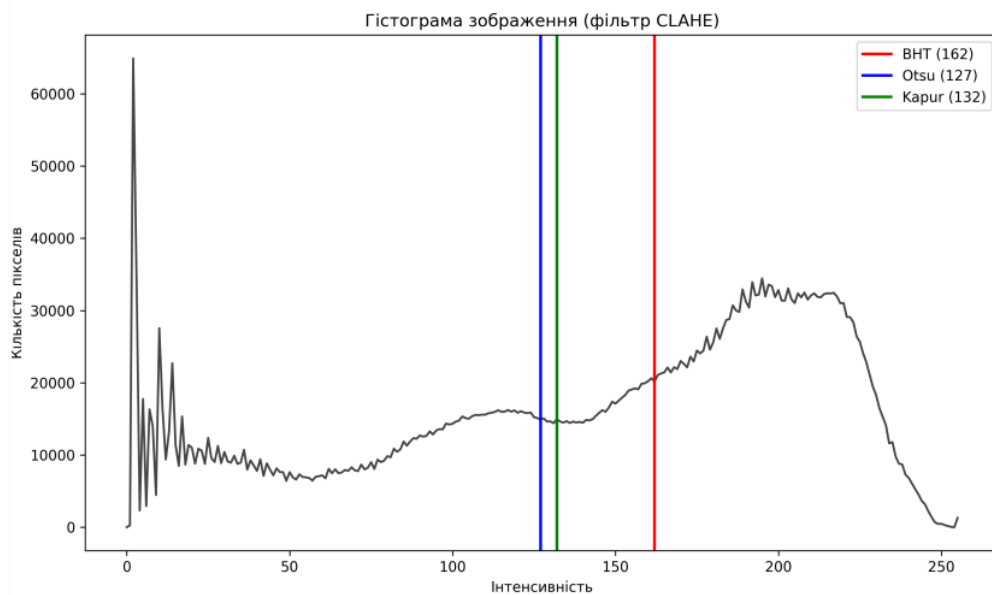
На Рис. 5 наведено приклад застосування методів глобального порогоування Оцу, Капура та методу ВНТ з застосування методу попередньої обробки CLANE.

5. ОБГОВОРЕННЯ

У даній роботі проведено порівняльний аналіз методів глобального порогоування для сегментації області легень на рентген-зображеннях грудної клітини.



(А) Гістограма зображення №2



(Б) Гістограма зображення №2 (CLAHE)

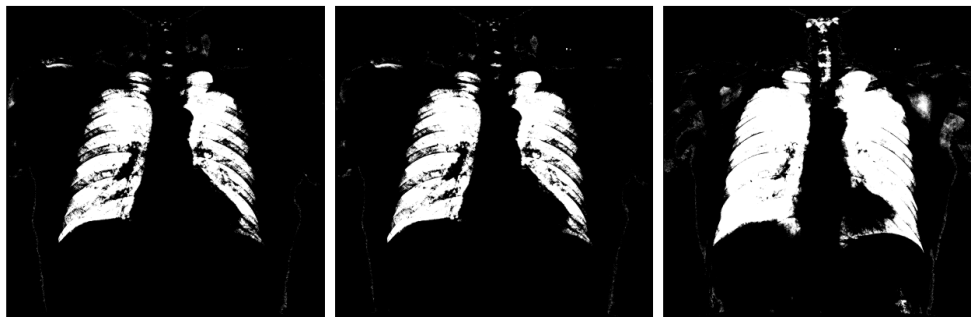
Рис. 3. Гістограма зображення №2 та пороги.

Отримані результати демонструють різну ефективність досліджуваних методів у задачі сегментації області легень. Без застосування попередньої обробки (фільтра CLAHE) методи Оцу та Капура характеризуються низькими значеннями коефіцієнта Dice (0.457 та 0.48 відповідно), що вказує на



(А) Метод Оцу (Б) Метод Капура (В) Метод ВНТ

Рис. 4. Приклад застосування порогових методів до зображення №2.



(А) Метод Оцу (Б) Метод Капура (В) Метод ВНТ

Рис. 5. Приклад застосування порогових методів до зображення №2 (CLAHE).

недостатню точність виділення області легень. Застосування методу ВНТ забезпечує вище значення коефіцієнта Dice (0.654) та підвищення значення повноти сегментації (Recall), яке становить 0.79. Проте даний підхід характеризується високим рівнем надлишкової сегментації (OSI), який становить 0.74, що вказує на включення фонових структур до області інтересу.

Застосування методу адаптивного вирівнювання гістограми з обмеженням контрасту (CLAHE) для методів Оцу та Капура призводить до суттєвого зростання коефіцієнта Dice (до 0.731 і 0.704 відповідно) та підвищення значення Recall (до 0.675 і 0.636 відповідно), тоді як показник OSI змінюється незначно. Для методу ВНТ також відмічається підвищення значень Dice (до 0.704) та Recall (до 0.802), при цьому спостерігається зменшення рівня надлишкової сегментації (OSI до 0.6), що свідчить про зниження кількості помилково включених пікселів.

Окремо слід відзначити важливість повноти сегментації (Recall), що визначає здатність методу виділяти область легень, оскільки її неповне виділення може призводити до втрати корисної інформації. У цьому контексті

метод ВНТ демонструє найвище значення повноти сегментації серед розглянутих підходів.

Варто зазначити, що використані еталонні маски з датасету [7] відрізняються за принципами розмітки, зокрема включенням або виключенням серцевої області та інших структур, що відображено на Рис. 1. Вказана неоднорідність розмітки може впливати на значення метрик якості сегментації.

У подальших дослідженнях планується вдосконалення механізму сегментації рентген-зображень на основі методу ВНТ, зокрема актуальним є питання зменшення рівня надлишкової сегментації. Також важливим аспектом є застосування методу на інших наборах рентгенівських зображень грудної клітини з метою оцінювання його узагальнювальної здатності.

Окрім цього, планується вдосконалення етапів постобробки результатів сегментації з урахуванням анатомічних особливостей, що дозволить підвищити точність сегментації області легень.

Отримані результати вказують, що досліджувані методи порогоування можуть бути використані як інструмент попереднього виділення області легень, зокрема як початковий етап обробки рентгенівських зображень.

6. ВИСНОВКИ

У статті проведено порівняльний аналіз методів глобального порогоування у задачі сегментації області легень на рентгенівських зображеннях грудної клітини.

Показано, що класичні методи порогоування можуть ефективно застосовуватись для попереднього виділення області легень на рентгенівських зображеннях.

Точність оцінювання якості сегментації залежить від характеристик вхідних даних та особливостей еталонної розмітки. Запропонований підхід потребує подальшого дослідження та вдосконалення, зокрема на етапі постобробки результатів та перевірки на різних наборах даних.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pashko A.O., Suchkov V.I. Lung segmentation on chest X-ray images with anatomically informed metrics. *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*. 2026, no. 1.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI 2015)*. 2015, pp. 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
3. Rajinikanth V., Dey N., Raj A.N.J., Hassanien A.E., Santosh K.C., Raja N.S.M. Harmony-search and Otsu based system for coronavirus disease (COVID-19) detection using lung CT scan images. *arXiv*. 2020, arXiv:2004.03431. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.03431>

4. Han Y., Chen W., Heidari A.A., Wang M., Chen H. Multi-verse Optimizer with Rosenbrock and Diffusion Mechanisms for Multilevel Threshold Image Segmentation from COVID-19 Chest X-Ray Images. *Journal of Bionic Engineering*. 2023, Vol. 20, pp. 1198–1262. <https://doi.org/10.1007/s42235-022-00295-w>
5. Thamilarasi V., Asaithambi A., Roselin R. Enhanced Ensemble Segmentation of Lung Chest X-Ray Images by Denoising Autoencoder and CLAHE. *ICTACT Journal on Image and Video Processing*. 2025, Vol. 15, Issue 3, pp. 3501–3508. <https://doi.org/10.21917/ijivp.2025.0496>
6. Jaeger S., Candemir S., Antani S., Wang Y., Lu P. X., Thoma G. Two Public Chest X-ray Datasets for Computer-Aided Screening of Pulmonary Diseases. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2014, Vol. 4, Issue 6, pp. 475–477. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2223-4292.2014.11.20>
7. Stirenko S., Kochura Y., Alienin O., Rokovyi O., Gordienko Y., Gang P., Zeng W. Chest X-Ray Analysis of Tuberculosis by Deep Learning with Segmentation and Augmentation. In: 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE, 2018, pp. 422–428. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477564>
8. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1979, Vol. 9, Issue 1, pp. 62–66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
9. Kapur J.N., Sahoo P.K., Wong A.K.C. A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1985, Vol. 29, Issue 3, pp. 273–285. [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90125-2)
10. Anjos A., Shahbazkia H. Bi-Level Image Thresholding – A Fast Method. *BIOSIGNALS 2008*. Vol. 2, pp. 70–76. <https://doi.org/10.5220/0001064300700076>
11. Zuiderveld K. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. *Graphics Gems IV*. Academic Press, 1994, pp. 474–485.

Надійшла: 14.03.2026 / Переглянута: 7.04.2026 / Прийнята: 11.04.2026 /
Опублікована: 24.04.2026