

АЛГОРИТМИ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ОПТИЧНО-КОГЕРЕНТНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Вінницький національний технічний університет

У роботі проведено порівняльний аналіз трьох алгоритмів фільтрації зображень, що використовуються для покращення якості оптичної когерентної томографії (ОКТ): анізотропної дифузії, білатерального фільтра та фільтра Лі. Задачею дослідження було визначити який з наведених фільтрів більше підходить для фільтрації зображень ОКТ, що сприятиме більш точній діагностиці захворювань в офтальмології. Діагностичні дані, отримані з допомогою ОКТ, можуть бути спотворені через присутність шумів, тому правильний вибір алгоритму фільтрації є важливим кроком у процесі обробки зображень. Анізотропна дифузія є методом фільтрації, що знижує рівень шуму, одночасно зберігаючи важливі деталі зображення, такі як границі структур та контури. Білатеральний фільтр – це нелінійний фільтр, що враховує як просторове розташування пікселів, так і їх інтенсивність. Фільтр Лі є адаптивним методом, який використовує локальні статистичні властивості пікселів для зменшення рівня шуму. Він добре працює на зображеннях з однорідною текстурою, забезпечуючи високий рівень згладжування шумів. Для оцінки ефективності алгоритмів фільтрації використовувалось обчислення середньоквадратичної похибки (MSE). Для дослідження зображень використане програмне забезпечення MATLAB, зображення розміром 512x512 пікселів представлені у чорно-білому форматі. Результати обчислень MSE показали, що анізотропна дифузія має менші значення середньоквадратичної похибки, що вказує на її вищу ефективність порівняно з іншими методами на наведеному наборі зображень. Таким чином, проведене дослідження підтвердило, що вибір оптимального алгоритму фільтрації залежить від конкретних завдань та конкретного зображення. Представлені алгоритми фільтрації є корисними для покращення якості ОКТ-зображень, що сприяє підвищенню точності офтальмологічної діагностики.

Ключові слова: анізотропна дифузія, білатеральний фільтр, фільтр Лі, середньо-квадратична похибка, цифровий шум, оптична когерентна томографія

Вступ

Оптична когерентна томографія (ОКТ) є сучасною технологією медичної візуалізації, що широко застосовується в офтальмології для діагностики ряду захворювань очей (глаукома, діабетична ретинопатія та ін.). На якість формування ОКТ-зображень впливають як інструментальні похибки відповідних засобів, так і програмна обробка шумів та спотворень, що впливають на точність діагностики. У роботі проведено порівняння таких алгоритмів фільтрації зображень, як анізотропна дифузія, білатеральний фільтр та фільтр Лі, з метою зменшення рівня шуму та підвищення якості обробки тестових ОКТ-зображень. Оцінка результатів здійснена на основі обчислення середньоквадратичної похибки (MSE).

Результати дослідження

У роботі [1] авторами було здійснено аналіз таких цифрових фільтрів як медіанний, фільтр Гауса та фільтр Вінера на прикладі обробки тестового ОКТ-зображень (ч/б, 8-біт, 512 x512 пікселів) за методом MSE. Для подальшого аналізу цифрових фільтрів обробки ОКТ-зображень розглянемо анізотропну дифузію, білатеральний фільтр та фільтр Лі. Обробка зображень та калькуляція середньоквадратичної похибки (MSE) здійснена з допомогою програмного забезпечення MATLAB (рис.1). Операції з чорно-білими зображеннями здійснювалися при розмірах зображення 512x512 пікселів та глибині кольору 8 біт (256 градацій сірого). До кожного з вихідних зображень застосовано відповідний цифровий фільтр.

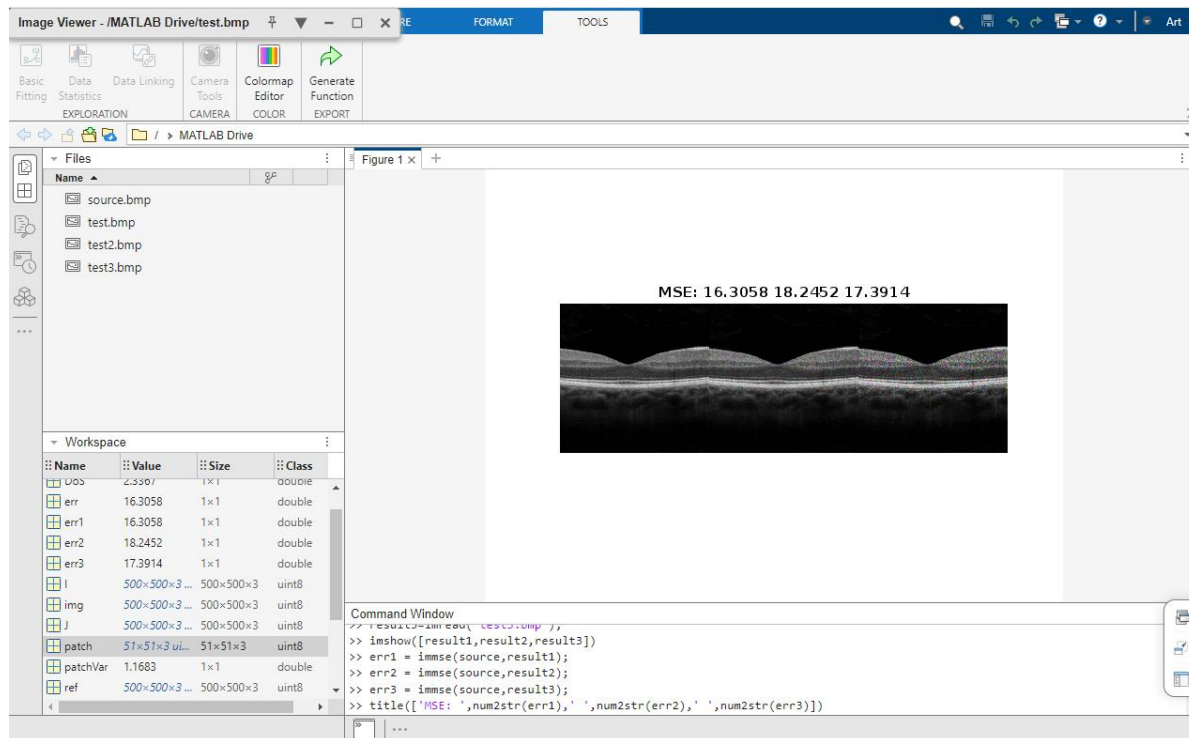


Рисунок 1 – Обчислення MSE з допомогою MATLAB

Анізотропна дифузія є методом фільтрації зображень, який покращує їхню якість за рахунок зниження шуму при збереженні важливих деталей[2]. В основі цього методу лежить процес згладжування зображення, який керується градієнтами інтенсивності: у більш однорідних областях відбувається сильніше згладжування, тоді як на границях контурів — мінімальне. Це робить анізотропну дифузію особливо ефективною для медичних зображень, таких як ОКТ, де важливо зберегти структури, подібні до судин або меж тканин, з одночасним пригніченням спекл-шуму.

Білатеральний фільтр є нелінійним адаптивним фільтром, який поєднує просторове згладжування з урахуванням особливостей інтенсивності. Його основна перевага [3] полягає в тому, що він дозволяє ефективно зменшувати шум, зберігаючи при цьому чіткість країв і контурів об'єктів. Принцип роботи білатерального фільтра базується на комбінованому врахуванні двох компонентів: просторового згладжування, яке враховує відстань між пікселями, і згладжування на основі інтенсивності, що бере до уваги подібність значень інтенсивності сусідніх пікселів.

Фільтр Лі є класичним адаптивним методом, що використовується для пригнічення спекл-шуму в зображеннях з високою неоднорідністю[4]. Він використовує локальні статистичні характеристики пікселів для визначення рівня фільтрації, що дозволяє зберегти різкість контурів об'єктів, зменшуючи шум. Фільтр Лі добре працює в областях з однорідною текстурою, однак, у випадках з великими контрастними змінами, його ефективність може знижуватися, що призводить до надмірного згладжування деталей. Незважаючи на це, фільтр Лі залишається ефективним інструментом для обробки ОКТ-зображень, особливо у випадках, коли потрібно зменшити шум, зберігаючи при цьому важливі елементи структури.

У таблиці 1 наведені результати обчислення середньоквадратичної похибки для трьох зображень ОКТ, кожне з яких було оброблене одним з наведених алгоритмів фільтрації.

Таблиця 1 – Результати обчислення середньоквадратичної похибки MSE тестового зображення ОКТ

Тип фільтра	Зображення 1	Зображення 2	Зображення 3
Анізотропна дифузія	16.31	21.22	20.95
Білатеральний фільтр	18.25	20.78	21.04
Фільтр Лі	17.39	20.64	20.79

На рисунку 2 представлені зображення до та після їх обробки:

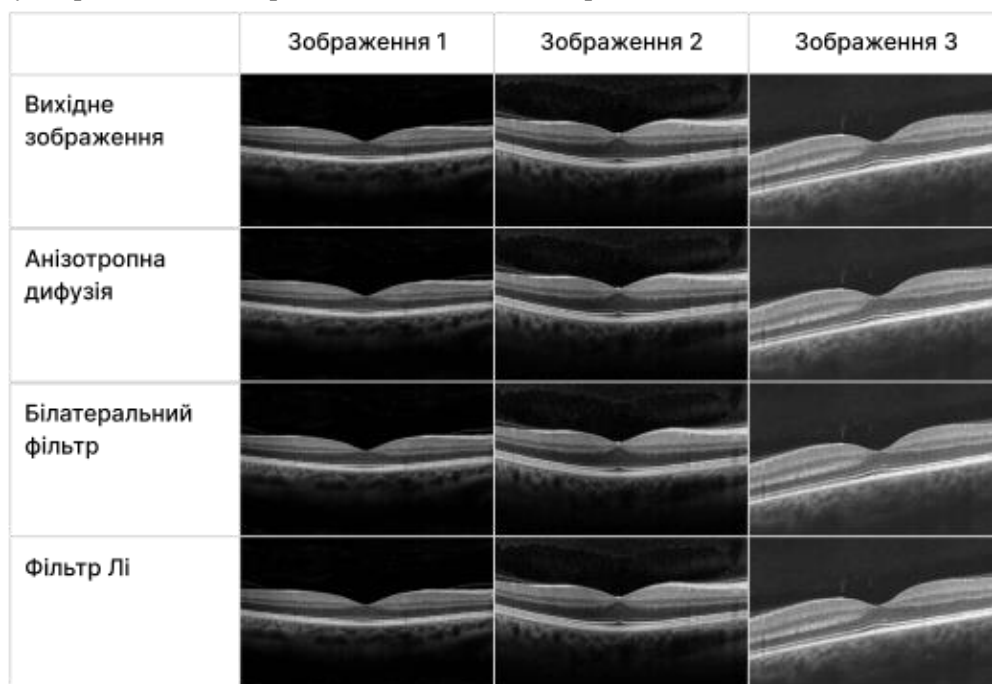


Рисунок 2 – Результати фільтрації вихідного зображення за MSE

Висновки

У роботі було проведено порівняльний аналіз трьох алгоритмів фільтрації зображень — анізотропної дифузії, білатерального фільтра та фільтра Лі для подальшої оцінки користі даних фільтрів для покращення якості ОКТ-зображень та зменшення впливу шуму. Результати показали, що на проаналізованих зображеннях анізотропна дифузія є більш ефективним методом для зменшення середньоквадратичної похибки, адже він зберігає важливі деталі зображень і демонструє високу стійкість до випадкових шумів. Загалом, вибір фільтра залежить від специфічних потреб обробки зображень ОКТ: якщо потрібно зберегти дрібні структури — найкращим варіантом є білатеральний фільтр [5], для різких контурів і країв — анізотропна дифузія, а для загального зменшення шуму — фільтр Лі.

Таким чином, представлені фільтри є придатними для покращення якості ОКТ-зображень і підвищення точності офтальмологічної діагностики, а логічним продовженням даної роботи є розробка алгоритму автоматичного підбору методу фільтрації зображень оптичної когерентної томографії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] А. Щербатюк і С. Тужанський, «Методи оптичної когерентної томографії та алгоритми фільтрації зображень для офтальмологічної діагностики», *Опт-ел. інф-енерг. техн.*, вип. 47, вип. 1, с. 148–154, Лип 2024.
- [2] Й. Й. Білинський, А. О. Мельничук, О. А. Павлюк, В. П. Білинська «Адаптивний метод фільтрації УЗД-зображення на основі анізотропної дифузії» *Методи та прилади контролю якості*. – 2011. – № 26. – С. 15-20..
- [3] Sylvain Paris; Pierre Kornprobst; Jack Tumblin; Frédo Durand, " *Bilateral Filtering: Theory and Applications* ", NOW, 2009.
- [4] C. Wang, G. -C. Sun, M. Xue and M. Xing, " *A fast Lee filter algorithm based on Fourier transform* ", 2022 3rd China International SAR Symposium (CISS), Shanghai, China, 2022.
- [5] Yang, J., Hu, Y., Fang, L., Cheng, J. & Liu, J., " *Universal digital filtering for denoising volumetric retinal oct and oct angiography in 3D shearlet domain* ", *Opt. Lett.* 45, 694–697 (2020)

Щербатюк Артем Володимирович - аспірант кафедри біомедичної інженерії, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, e-mail: scherbatyuk.art@gmail.com;

Тужанський Станіслав Євгенович – к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: slavat@vntu.edu.ua.

FILTERING ALGORITHMS FOR OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY IMAGES

Vinnytsia National Technical University

The paper provides a comparative analysis of three image filtering algorithms used to improve the quality of optical coherence tomography (OCT): anisotropic diffusion, bilateral filter, and Lee filter. The task of the study was to determine which of the following filters is more suitable for filtering OCT images, which will contribute to more accurate diagnosis of diseases in ophthalmology. Diagnostic data obtained with OCT can be distorted due to the presence of noise, so the correct choice of filtering algorithm is an important step in the image processing process. Anisotropic diffusion is a filtering technique that reduces noise while preserving important image details such as structure boundaries and contours. A bilateral filter is a non-linear filter that takes into account both the spatial arrangement of pixels and their intensity. The Lee filter is an adaptive method that uses local statistical properties of pixels to reduce noise. It works well on images with a uniform texture, providing a high level of noise reduction. The mean square error (MSE) calculation was used to evaluate the effectiveness of the filtering algorithms. MATLAB software was used for image analysis, images with a size of 512x512 pixels are presented in black and white format. The results of the MSE calculations showed that the anisotropic diffusion has smaller values of root mean square error, which indicates its higher efficiency compared to other methods on the given set of images. Thus, the conducted research confirmed that the choice of the optimal filtering algorithm depends on specific tasks and a specific image. The presented filtering algorithms are useful for improving the quality of OCT images, which contributes to increasing the accuracy of ophthalmic diagnostics.

Keywords: anisotropic diffusion, bilateral filter and Lee filter, root mean square error, digital noise

Artem Volodymyrovych Scherbatyuk – Post-Graduate student the Biomedical Engineering, e-mail: scherbatyuk.art@gmail.com.

Stanislav Yevgenovich Tuzhanskyi - Ph.D., Associate Professor of the Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, e-mail: slavat@vntu.edu.ua.