

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра програмних засобів

(повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ЗНЕШУМЛЕННЯ МЕДИЧНИХ  
ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МУЛЬТИВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕНЬ.  
SOFTWARE IMPLEMENTATION OF MEDICAL IMAGE DENOISING METHODS  
USING MULTIWAVELET TRANSFORM.

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-141  
Спеціальності 121 Інженерія програмного  
забезпечення

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Інженерія програмного забезпечення

РЯЗАНЦЕВ О.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ДУБРОВІН В.І.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ПОЛЯКОВ М.О.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет КНТ  
Кафедра програмних засобів  
Ступінь вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) Інженерія програмного забезпечення  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.

Сergій СУББОТІН

“ ” 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

РЯЗАНЦЕВА Олександра Вячеславовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Програмна реалізація методів знешумлення медичних зображень за допомогою мултивейвлет перетворень. Software Implementation of Medical Image Denoising Methods Using Multiwavelet Transform.

керівник проєкту (роботи) к.т.н., професор, ДУБРОВІН Валерій Іванович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 28 ” квітня 2025 року № 209

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області та постановка задачі. 2. Вибір та обґрунтування системи, яка проектується. 3. Основні рішення щодо реалізації компонентів системи. 4. Експлуатація та тестування системи. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Слайди презентації

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ              | ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|                     |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-5 Основна частина | ДУБРОВІН В.І., професор                   |                |                           |
| Нормоконтроль       | БЄЛОВА А.В., асистент                     |                |                           |

7. Дата видачі завдання “15” квітня 2025 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи)                             | Строк виконання етапів проєкту (роботи) | Примітка     |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| 1     | Постановка завдання роботи.                                          | 1 тиждень                               | Завдання, ТЗ |
| 2     | Аналіз предметної області.                                           | 1 тиждень                               | Розділ 1     |
| 3     | Вибір мови програмування та інших технологій розробки.               | 2 тиждень                               | Розділ 2     |
| 4     | Розробка архітектури програми.                                       | 2 тиждень                               | Розділ 3     |
| 5     | Розробка програми.                                                   | 3-4 тижні                               | Розділ 3, 4  |
| 6     | Тестування та експериментальне дослідження програмного забезпечення. | 5 тиждень                               | Розділ 4     |
| 7     | Оформлення пояснювальної записки та документів до неї.               | 6 тиждень                               | Додатки      |
| 8     | Нормоконтроль та рецензування.                                       | 7 тиждень                               |              |
| 9     | Захист роботи.                                                       | 8 тиждень                               |              |

Студент(ка)

\_\_\_\_\_  
( підпис )      Олександр РЯЗАНЦЕВ  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_  
( підпис )      Валерій ДУБРОВІН  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра:  
56 с., 41 рис., 6 табл., 2 дод., 19 джерел.

МУЛЬТИВАЙВЛЕТИ, ЗНЕСУМЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ВЕЙВЛЕТ-  
ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПОРОГОВЕ ЗНАЧЕННЯ, ГАУСІВСЬКИЙ ШУМ.

Об'єкт дослідження – процес створення програмних засобів для реабілітації хворих.

Предмет дослідження – методи знесумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет-перетворень.

Мета роботи – створення програмного забезпечення для знесумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет перетворень.

Матеріали, методи та технічні засоби: ліцензійне середовище розробки MATLAB, стороння бібліотека Multiwavelet-Toolbox.

Результати. Реалізовано програмне забезпечення для знесумлення зображень за допомогою мультивайвлету CL та модифікованим універсальним порогом.

Висновки. Створено програму для знесумлення медичних зображень за допомогою мультивайвлет перетворень.

Галузь використання – знесумлення медичних зображень.

## ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 56 pages, 41 figures, 6 tables, 2 appendixes, 19 sources.

MULTIWAVELETS, DENOISING IMAGES, WAVELET TRANSFORMATION, THRESHOLD VALUE, GAUSSIAN NOISE.

Object of Research – the process of creating software tools for patient rehabilitation.

Subject of Research – methods of denoising medical images using multiviewlet transformations.

Purpose – development of software for denoising medical images using multiview transformations.

Materials, Methods, and Technical Means – MATLAB licensed development environment, third-party Multiwavelet-Toolbox library.

Results. Software for image denoising using CL multiwavelet and modified universal threshold has been implemented.

Conclusions. A program has been created for denoising medical images using multiview transformations.

Field of Application – denoising of medical images.

## ЗМІСТ

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                   | С. |
| 1 Аналіз предметної області та постановка задачі .....            | 10 |
| 1.1 Аспекти мультихвиль .....                                     | 10 |
| 1.2 Властивості $\Phi_1$ та $\Phi_2$ .....                        | 12 |
| 1.3 Методи визначення порогових значень .....                     | 13 |
| 1.3.1 Жорстке порогове значення .....                             | 16 |
| 1.3.2 М'яке порогове значення .....                               | 14 |
| 1.3.3 Вейвлет-порогове значення .....                             | 15 |
| 1.3.4 Багатовимірне порогове значення .....                       | 16 |
| 1.4 Параметри вимірювання.....                                    | 16 |
| 1.4.1 Середньоквадратична похибка (MSE) .....                     | 16 |
| 1.4.2 Відношення сигнал/шум (SNR) .....                           | 17 |
| 1.4.3 Пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR) .....               | 17 |
| 1.5 Результати експерименту.....                                  | 17 |
| 1.5.1 Застосування фільтрації повторюваних послідовностей.....    | 16 |
| 1.5.2 Застосування апроксимаційного попереднього фільтра.....     | 16 |
| 1.6 Постановка задачі для виконання.....                          | 24 |
| 1.7 Висновок за розділом 1 .....                                  | 24 |
| 2 Вибір та обґрунтування системи, яка проектується .....          | 26 |
| 2.1 Вибір мови програмування та середовища розробки.....          | 26 |
| 2.2 Визначення функціональних вимог програмного забезпечення..... | 28 |
| 2.3 Визначення структури програми .....                           | 28 |
| 2.4 Висновок за розділом 2.....                                   | 29 |
| 3 Основні рішення щодо реалізації компонентів системи.....        | 30 |
| 3.1 Алгоритм роботи програми.....                                 | 30 |
| 3.2 Опис використаних бібліотек .....                             | 30 |
| 3.3 Висновки за розділом 3 .....                                  | 31 |
| 4 Експлуатація та тестування системи.....                         | 32 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
|                                               | 7  |
| 4.1 Опис реалізації програми .....            | 32 |
| 4.2 Інструкція по експлуатації програми ..... | 34 |
| 4.3 Тестування програмного забезпечення.....  | 35 |
| 4.4 Висновки за розділом 4 .....              | 39 |
| Висновки .....                                | 41 |
| Перелік джерел посилання .....                | 42 |
| ДОДАТОК А Текст програми.....                 | 45 |
| ДОДАТОК Б Слайди презентації .....            | 48 |

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК**

CL – Chui-Lian;

ПЗ – Програмне забезпечення.

## ВСТУП

У сучасному світі цифрові зображення займають важливе місце як у повсякденному житті, так і в різних науково-технічних сферах. Зокрема, вони використовуються в супутниковому телебаченні, медичній візуалізації (МРТ, КТ), географічних інформаційних системах, а також в астрономії. Проте одним із головних викликів при роботі з цифровими зображеннями є наявність шумів, що знижують якість даних і можуть ускладнити подальший аналіз.

Причинами виникнення шуму є як технічні особливості обладнання (датчики, передавальні пристрої), так і зовнішні чинники, зокрема природні перешкоди або помилки квантування. Це зумовлює необхідність попереднього етапу обробки — знешумлення, яке дозволяє покращити якість зображення перед його аналізом чи інтерпретацією [16].

У цій роботі я зосередився на дослідженні методів зменшення шуму в цифрових зображеннях, особливу увагу приділяючи мультивейвлет-перетворенню. На відміну від класичних (скалярних) вейвлетів, мультивейвлети мають кілька функцій масштабування, що забезпечує кращу симетрію, ортогональність і компактність підтримки. Завдяки цим властивостям вони є більш ефективними у задачах згладжування та фільтрації.

Метою даної роботи є дослідження ефективності різних методів мультивейвлетного знешумлення, зокрема з використанням різних порогових стратегій. У межах експериментальної частини було змодельовано зашумлення медичних зображень, проведено їхнє мультивейвлет-розкладання, застосовано різні варіанти порогової обробки та виконано зворотне перетворення для оцінки якості отриманих результатів.

Отримані результати дозволяють зробити висновки про доцільність використання мультивейвлетів у практичних задачах з обробки медичних зображень, а також визначити найбільш ефективні алгоритми згладжування для даного типу шуму.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Аспекти мультихвиль

Знешумлення медичних зображень є важливою задачею в області цифрової обробки сигналів та комп'ютерної томографії. Шум, присутній у зображеннях, може ускладнювати точну діагностику та аналіз, тому ефективне зниження шуму без втрати важливої діагностичної інформації має велике значення.

Один із сучасних підходів до вирішення цієї задачі — використання мультивейвлет-перетворень. Ідея мультивейвлетів походить від узагальнення скалярних вейвлетів, де замість однієї масштабуючої та однієї вейвлет-функції застосовується кілька масштабуючих і кілька вейвлет-функцій [1], [2]. Тому, на відміну від скалярних вейвлетів, такі властивості, як ортогональність, симетрія, вищий порядок зникаючих моментів, компактна підтримка можуть бути одночасно зібрані в мультивейвлетах.

Існують два основні типи мультивейвлетів: ортогональні (наприклад, Geronimo-Hardin-Massopust, Symmetric Asymmetric, Chui-Lian) та біортогональні (наприклад, Bi-Orthogonal Hermite) [3], [4].

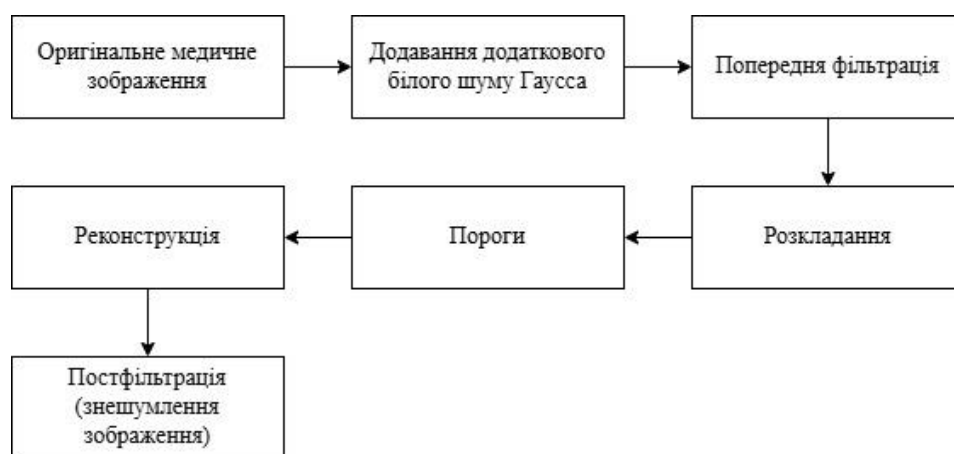


Рисунок 1.1 – Блок-схема згладжування за допомогою мультивейвлет-перетворення

Симетричні масштабуючі функції  $f_1$  і  $f_2$  мають коротку підтримку (до двох інтервалів). Мультивейвлети описуються матрицею  $2 \times 2$ , яка зберігає їх

ортогональність. Скалярний сигнал за допомогою префільтра перетворюється у векторний, після чого виконується мультивейвлет-перетворення: фільтрування на низькі та високі частоти з наступною децимацією на 2. Отримуються коефіцієнти  $c_k$  і  $d_k$ , які згодом використовуються для реконструкції сигналу (рис. 1.2) [5]-[7].

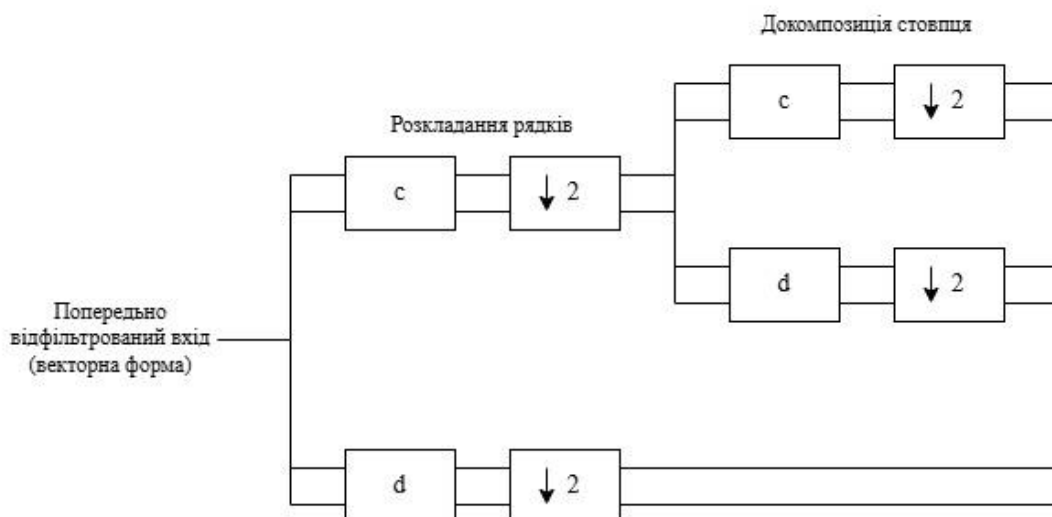


Рисунок 1.2 – Банк мультифільтрів з фільтром нижніх частот ітерується один раз

Однорівневе мультивейвлет-розкладання формує 16 підсмуг, як зображено на рис. 1.3 [8], [9].

Цей метод використовує кілька масштабуючих та відповідних вейвлет-функцій, що подані у рівняннях (1.1) і (1.2) [10]-[12].

Мультифільтр включає два або більше фільтрів низьких частот, що дозволяє забезпечити низку важливих властивостей (1.1), (1.2):

$$\phi(t) = \sum c_k(2t - k), \quad (1.1)$$

$$W(t) = \sum d_k(2t - k), \quad (1.2)$$

де  $f(t)$  - мультимасштабна функція;

$W(t)$  - мультивейвлет-функція.

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| $L_1L_1$ | $L_1L_2$ | $L_1H_1$ | $L_1H_2$ |
| $L_2L_1$ | $L_2L_2$ | $L_2H_1$ | $L_2H_2$ |
| $H_1L_1$ | $H_1L_2$ | $H_1H_1$ | $H_1H_2$ |
| $H_2L_1$ | $H_2L_2$ | $L_1L_1$ | $H_2H_2$ |

Рисунок 1.3 – Підсмуги зображення після одного рівня мультивейвлет розкладання

## 1.2 Властивості $\Phi_1$ та $\Phi_2$

Функції  $\Phi_1$  та  $\Phi_2$  мають такі властивості [13]-[15]:

- коротка підтримка — обмежені інтервалом  $[0, i]$ , що зменшує крайові спотворення; при цьому зберігається ортогональність, на відміну від звичайних вейвлетів;
- симетричність — є парними (лінійна фаза);
- точність другого порядку — мають два нульові моменти;
- ортогональність — усі зсуви функцій не перетинаються за енергією;
- матричне розкладання — використовуються матриці  $2 \times 2$  для опису масштабуючих і вейвлет-функцій у рівняннях (1.3) та (1.4):

$$\Phi(t) = \begin{bmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \end{bmatrix} = \sum_{k=0}^3 c_k \begin{bmatrix} \phi_1(2t - k) \\ \phi_2(2t - k) \end{bmatrix}, \quad (1.3)$$

$$\Psi(t) = \begin{bmatrix} \psi_1(t) \\ \psi_2(t) \end{bmatrix} = \sum_{k=0}^3 c_k \begin{bmatrix} \psi_1(2t - k) \\ \psi_2(2t - k) \end{bmatrix}, \quad (1.4)$$

де  $\Phi(t)$  — вектор масштабуючих функцій;

$\Psi(t)$  — вектор вейвлет-функцій;

$\varphi_i(t)$  — масштабуюча функція (і-та компонента);

$\psi_i(t)$  — вайвлет-функція (і-та компонента);

$c_k$  — матриця коефіцієнтів масштабування ( $2 \times 2$ );

$d_k$  — матриця коефіцієнтів вайвлету ( $2 \times 2$ ).

### 1.3 Методи визначення порогових значень

#### 1.3.1 Жорстке порогове значення

Жорстке порогове значення працює так: якщо коефіцієнт більший за заданий поріг  $\lambda$ , він зберігається, бо вважається частиною корисного сигналу. Якщо ж він менший або дорівнює порогу, то встановлюється в нуль, оскільки вважається шумом.

Проте такий метод не завжди ефективно видаляє великі шумові коефіцієнти. Передавальна функція цього оператора зображена на рис. 1.4, а математично він описується рівнянням (1.5):

$$F_h(x) = \begin{cases} x & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (1.5)$$

де  $\lambda$  — порогове значення;

$x$  — значення коефіцієнтів.

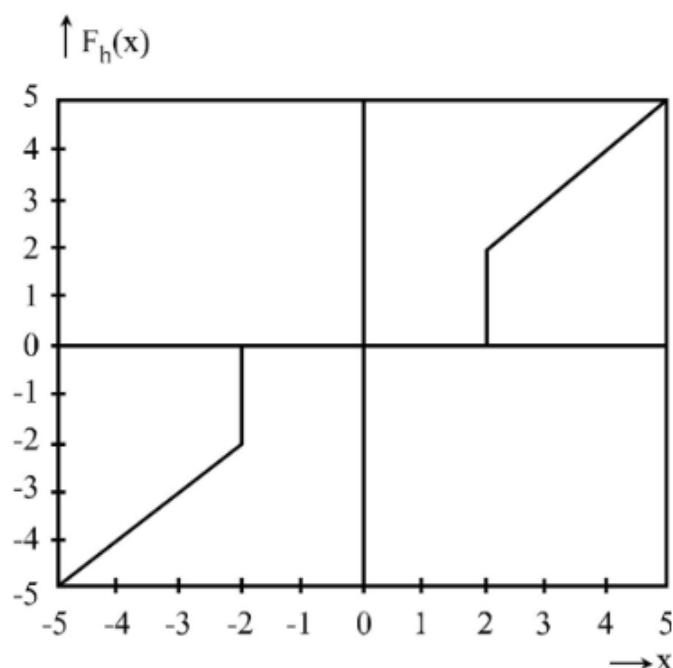


Рисунок 1.4 – Жорстке порогове значення

### 1.3.2 М'яке порогове значення

М'яке порогове значення зазвичай дає кращі результати, ніж жорстке, оскільки забезпечує меншу похибку. Його суть у тому, що всі коефіцієнти поступово зменшуються — якщо вони більші за поріг  $\lambda$ , то просто "стискаються" на цей поріг. Тому цей метод ще називають функцією усадки.

Формула м'якого порогування наведена в рівнянні (1.6), а його передавальна функція показана на рис. 1.5:

$$F_S(x) = \begin{cases} x - \lambda & \text{if } x \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda, \\ x + \lambda & \text{if } x \leq -\lambda \end{cases} \quad (1.6)$$

де  $\lambda$  — порогове значення;

$x$  — значення коефіцієнтів.

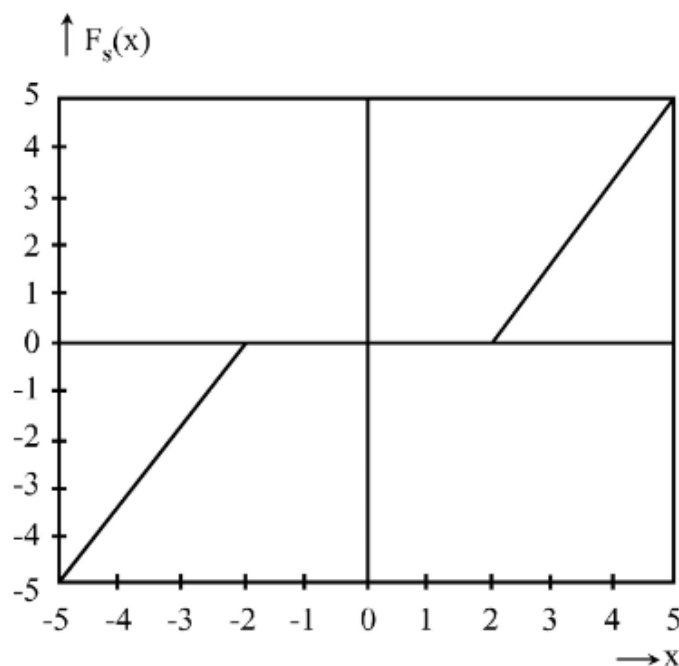


Рисунок 1.5 – М'яке порогове значення

### 1.3.3 Вейвлет-порогове значення

Після вейвлет-або мультивейвлет-розкладу шум зазвичай зосереджується у високочастотних компонентах. Щоб його позбутися, використовують вейвлет-порогове оцінювання. Суть методу в тому, що малі коефіцієнти, де переважає шум, просто обнуляються, якщо вони менші за певний поріг.

- універсальний поріг. Цей метод запропонували Донохо та Джонстон. Він застосовується до всіх коефіцієнтів однаково, незалежно від рівня розкладу. Поріг обчислюється за формулою (1.7). У випадку зображень  $N$  беруть як кількість пікселів у рядку, що дозволяє отримати вищі значення SNR (відношення сигнал/шум);

- модифікований універсальний поріг. Існує кілька варіантів удосконаленого універсального порогу. Один із них задається формулою (1.8), де враховується  $\sigma$  та  $N$ . Є також ще один варіант, показаний у рівнянні (1.9);

- новий поріг. Запропоновано нову формулу порогового значення, яка подана у рівнянні (1.10).

Формули (1.7)-(1.10):

$$\lambda_{universal} = \sigma\sqrt{2}\log(N), \quad (1.7)$$

$$\lambda_{mod} = \sigma\sqrt{2}\log(2N), \quad (1.8)$$

$$\lambda_N = \sigma\left(\sqrt{2}\log(N) + 2\log\log(N)\right), \quad (1.9)$$

$$\lambda_{Newthr} = \sigma\left(\sqrt{2}\log\log(N)\right), \quad (1.10)$$

де  $\sigma$  — стандартне відхилення шуму;

$N$  — кількість елементів у вибірці.

### 1.3.4 Багатовимірне порогове значення

Цей метод враховує зв'язок між коефіцієнтами на різних рівнях мультивейвлет-розкладу. Такий зв'язок називають "батько-нащадок": якщо значення батьківського коефіцієнта мале, то й дочірні зазвичай також малі. А якщо батьківський коефіцієнт великий, то є велика ймовірність, що й нащадки теж матимуть великі значення. Це допомагає точніше визначити, де шум, а де корисна інформація.

## 1.4 Параметри вимірювання

### 1.4.1 Середньоквадратична похибка (MSE)

Це показник, який показує, наскільки відновлене зображення відрізняється від оригіналу. MSE обчислюється за формулою (1.11) і враховує різницю між пікселями оригінального зображення  $I(x, y)$  та його відновленої (апроксимованої) версії. Чим менше значення MSE, тим краща якість відновлення:

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} [I(x, y) - I'(x, y)]^2, \quad (1.11)$$

де  $I(x, y)$  – оригінальне зображення;

$I'(x,y)$  – апроксимована версія, яка фактично є розпакованим зображенням;  
 $M \cdot N$  – розмір зображення.

### 1.4.2 Відношення сигнал/шум (SNR)

Цей показник дозволяє оцінити, скільки в зображенні корисної інформації (сигналу) порівняно з шумом. Формула наведена в рівнянні (1.12). Вищий SNR означає кращу якість зображення:

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{M \cdot N} \cdot \frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} [I(x,y)]^2}{MSE} \right), \quad (1.12)$$

### 1.4.3 Пікове співвідношення сигнал/шум (PSNR)

Це ще один показник якості, який особливо часто використовують для зображень. Він базується на максимально можливому значенні пікселя. Для 8-бітових зображень обчислюється за формулою (1.13). Вищий PSNR свідчить про менше спотворення:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{(255)^2}{MSE} \right), \quad (1.13)$$

## 1.5 Результати експерименту

### 1.5.1 Застосування фільтрації повторюваних послідовностей

Оцінки ефективності, зокрема показники MSE, RMSE, PSNR та SNR для різних типів мультівейвлет-перетворень із використанням повторної попередньої фільтрації та методів порогової обробки, представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Вимірювання параметрів денозації з використанням різних методів мультитхвильового перетворення з повторюваними методами попередньої фільтрації та порогових значень

| New Threshold                |          |         |         |         |         |          |         |         |
|------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Parameters                   | GHM      |         | CL      |         | SA4     |          | BiH52S  |         |
|                              | BT       | AT      | BT      | AT      | BT      | AT       | BT      | AT      |
| MSE                          | 0.0025   | 0.0004  | 0.0025  | 0.0011  | 0.0025  | 0.0012   | 0.0025  | 0.0155  |
| RMSE                         | 0.0498   | 0.0269  | 0.0498  | 0.0335  | 0.05    | 0.0349   | 0.0502  | 0.1246  |
| PSNR(dB)                     | 74.1916  | 82.1668 | 74.1866 | 77.6343 | 74.1541 | 77.273   | 74.1102 | 66.2236 |
| SNR(dB)                      | 6.324    | 10.3117 | 6.3215  | 8.0453  | 6.3052  | 7.8647   | 6.2833  | 2.34    |
| Universal Threshold          |          |         |         |         |         |          |         |         |
| MSE                          | 0.0025   | 0.0007  | 0.0025  | 0.0003  | 0.0025  | 0.0008   | 0.0025  | 0.0166  |
| RMSE                         | 0.0499   | 0.0263  | 0.0501  | 0.0168  | 0.05    | 0.028    | 0.0499  | 0.1288  |
| PSNR(dB)                     | 74.11648 | 79.7172 | 74.1375 | 82.7634 | 74.1442 | 79.12769 | 74.1866 | 65.9309 |
| SNR(dB)                      | 6.3106   | 9.0868  | 6.297   | 10.6101 | 6.3003  | 8.8167   | 6.3215  | 2.1936  |
| Modified Universal Threshold |          |         |         |         |         |          |         |         |
| MSE                          | 0.0025   | 0.0006  | 0.0025  | 0.0003  | 0.0025  | 0.0005   | 0.0025  | 0.0166  |
| RMSE                         | 0.0503   | 0.0251  | 0.0499  | 0.0167  | 0.0502  | 0.023    | 0.05    | 0.129   |
| PSNR(dB)                     | 74.1604  | 80.1536 | 74.1706 | 83.6994 | 74.1248 | 80.8961  | 74.1467 | 65.9207 |
| SNR(dB)                      | 6.2816   | 9.3049  | 6.3135  | 11.0779 | 6.2908  | 9.6747   | 6.3016  | 2.1886  |
| Multivariate Threshold       |          |         |         |         |         |          |         |         |
| MSE                          | 0.0025   | 0.0008  | 0.0025  | 0.0004  | 0.0025  | 0.0009   | 0.0025  | 0.0166  |
| RMSE                         | 0.0499   | 0.0275  | 0.0498  | 0.0195  | 0.05    | 0.0298   | 0.0501  | 0.1289  |
| PSNR(dB)                     | 74.1616  | 79.3328 | 74.1816 | 82.2447 | 74.1556 | 78.6606  | 74.1863 | 65.9273 |
| SNR(dB)                      | 6.309    | 8.8947  | 6.319   | 10.3887 | 6.306   | 8.5585   | 6.297   | 2.1896  |
| Fixed Threshold              |          |         |         |         |         |          |         |         |
| MSE                          | 0.0025   | 0.0003  | 0.0025  | 0.0004  | 0.0025  | 0.0019   | 0.0025  | 0.0008  |
| RMSE                         | 0.0503   | 0.0186  | 0.0497  | 0.0257  | 0.0498  | 0.0439   | 0.0497  | 0.1278  |
| PSNR(dB)                     | 74.1036  | 82.7341 | 74.1957 | 79.9169 | 74.1816 | 75.2828  | 75.1957 | 79.2436 |
| SNR(dB)                      | 6.28     | 10.5956 | 6.3262  | 9.1871  | 6.319   | 6.8696   | 6.3262  | 8.8504  |

### 1.5.2 Застосування апроксимаційного попереднього фільтра

Результати вимірювань, такі як MSE, RMSE, PSNR та SNR, отримані під час використання апроксимаційного префільтра разом із різними пороговими техніками у мультивейвлет-перетвореннях, наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вимірювання параметрів шумозаглушення з використанням різних методів мультихвильового перетворення з апроксимаційними префільтрами та пороговими методами

| New Threshold                |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Parameters                   | GHM     |         | CL      |         | SA4     |         | BiH52S  |         |
|                              | BT      | AT      | BT      | AT      | BT      | AT      | BT      | AT      |
| MSE                          | 0.0025  | 0.0008  | 0.0025  | 0.0025  | 0.0025  | 0.0005  | 0.0025  | 0.0038  |
| RMSE                         | 0.0499  | 0.0282  | 0.0499  | 0.0499  | 0.0502  | 0.0228  | 0.05    | 0.062   |
| PSNR(dB)                     | 74.1765 | 79.14   | 74.1644 | 74.1633 | 74.112  | 80.9821 | 74.156  | 72.2764 |
| SNR(dB)                      | 6.3165  | 8.7986  | 6.3104  | 6.3224  | 6.3165  | 8.7986  | 6.3062  | 5.3664  |
| Universal Threshold          |         |         |         |         |         |         |         |         |
| MSE                          | 0.0025  | 0.0038  | 0.0025  | 0.0023  | 0.0025  | 0.0021  | 0.0025  | 0.0131  |
| RMSE                         | 0.0499  | 0.0615  | 0.0499  | 0.0481  | 0.0499  | 0.0455  | 0.0501  | 0.1143  |
| PSNR(dB)                     | 74.1655 | 72.3592 | 74.203  | 74.4897 | 74.161  | 74.973  | 74.1257 | 66.967  |
| SNR(dB)                      | 6.3109  | 5.4078  | 6.3297  | 6.4731  | 6.3109  | 5.4078  | 6.2912  | 2.7117  |
| Modified Universal Threshold |         |         |         |         |         |         |         |         |
| MSE                          | 0.0025  | 0.0034  | 0.0025  | 0.0025  | 0.0025  | 0.0014  | 0.0025  | 0.0087  |
| RMSE                         | 0.05    | 0.0581  | 0.0499  | 0.0499  | 0.0501  | 0.0378  | 0.0498  | 0.0933  |
| PSNR(dB)                     | 74.1518 | 72.8456 | 74.1467 | 74.1612 | 74.1351 | 76.5872 | 74.1943 | 68.7368 |
| SNR(dB)                      | 6.3109  | 5.4078  | 6.3083  | 6.3088  | 6.3109  | 5.4078  | 6.3254  | 2.9201  |
| Multivariate Threshold       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| MSE                          | 0.0025  | 0.0043  | 0.0025  | 0.0023  | 0.0025  | 0.0023  | 0.0025  | 0.0135  |
| RMSE                         | 0.05    | 0.0653  | 0.05    | 0.0478  | 0.0502  | 0.048   | 0.0499  | 0.1163  |
| PSNR(dB)                     | 74.1437 | 71.8352 | 74.1937 | 74.5359 | 74.1199 | 74.5136 | 74.1766 | 66.8158 |
| SNR(dB)                      | 6.3001  | 5.1458  | 6.3016  | 6.4962  | 6.301   | 5.1458  | 6.3166  | 2.3276  |
| Fixed Threshold              |         |         |         |         |         |         |         |         |
| MSE                          | 0.0025  | 0.0005  | 0.0025  | 0.0006  | 0.0025  | 0.0008  | 0.0025  | 0.0011  |
| RMSE                         | 0.0501  | 0.023   | 0.05    | 0.02511 | 0.05    | 0.028   | 0.0502  | 0.0329  |
| PSNR(dB)                     | 74.1417 | 80.895  | 74.1442 | 80.1489 | 74.1455 | 79.173  | 74.1201 | 77.7814 |
| SNR(dB)                      | 6.299   | 9.6758  | 6.3003  | 9.3027  | 6.299   | 9.6758  | 6.2883  | 8.119   |

Характеристики якості відновлення (MSE, RMSE, PSNR, SNR) для мультивейвлет-перетворення GHM при різних способах встановлення порогів містяться в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Вимірювання параметрів зашумлення за допомогою прямого мультитхвильового перетворення (GHM) з використанням різних методів порогових значень

| Parameters | New Thr |         | Universal Thr |         | Modified Universal Thr |        | Multivariate Thr |        | Fixed Thr |         |
|------------|---------|---------|---------------|---------|------------------------|--------|------------------|--------|-----------|---------|
|            | BT      | AT      | BT            | AT      | BT                     | AT     | BT               | AT     | BT        | AT      |
| MSE        | 0.0025  | 0.0011  | 0.0025        | 0.0036  | 0.0025                 | 0.0025 | 0.0025           | 0.004  | 0.0025    | 0.001   |
| RMSE       | 0.0502  | 0.0328  | 0.05          | 0.0596  | 0.0502                 | 0.0503 | 0.0499           | 0.0633 | 0.0499    | 0.0321  |
| PSNR(dB)   | 74.1246 | 77.8223 | 74.1529       | 72.6189 | 74.1131                | 74.094 | 74.165           | 69.506 | 74.1541   | 78.0126 |
| SNR(dB)    | 6.2908  | 8.1397  | 6.3046        | 5.5377  | 6.2848                 | 6.2752 | 6.3108           | 5.2826 | 6.3085    | 8.2347  |

У табл. 1.4 відображено значення основних метричних показників (MSE, RMSE, PSNR, SNR) для мультивейвлет-перетворення типу GHMAP із варіативними методами порогів.

Таблиця 1.4 – Вимірювання параметрів денойзингу за допомогою прямого мультивейвлет-перетворення (GHMAP) з використанням різних порогових значень

| Parameters | New Thr |         | Universal Thr |         | Modified Universal Thr |         | Multivariate Thr |         | Fixed Thr |         |
|------------|---------|---------|---------------|---------|------------------------|---------|------------------|---------|-----------|---------|
|            | BT      | AT      | BT            | AT      | BT                     | AT      | BT               | AT      | BT        | AT      |
| MSE        | 0.0025  | 0.0011  | 0.0025        | 0.0029  | 0.0025                 | 0.0027  | 0.0025           | 0.0032  | 0.0025    | 0.001   |
| RMSE       | 0.05    | 0.0325  | 0.0498        | 0.0538  | 0.05                   | 0.0517  | 0.0501           | 0.0564  | 0.05      | 0.0321  |
| PSNR(dB)   | 74.1855 | 77.5138 | 74.1406       | 73.4042 | 74.1584                | 73.8591 | 74.1346          | 73.1048 | 74.1467   | 78.0114 |
| SNR(dB)    | 6.3109  | 8.1434  | 6.2985        | 5.9305  | 6.3075                 | 6.1581  | 6.2955           | 5.7807  | 6.3015    | 8.2341  |

Параметри MSE, RMSE, а також PSNR і SNR для мультивейвлет-перетворення CARDBAL2 з використанням різних стратегій порогового відсікання наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Вимірювання параметрів денозації за допомогою мультивейвлет-перетворення (CARDBAL2) з префільтром ідентичності з використанням різних порогових значень

| Parameters | New Thr |         | Universal Thr |         | Modified Universal Thr |         | Multivariate Thr |         | Fixed Thr |         |
|------------|---------|---------|---------------|---------|------------------------|---------|------------------|---------|-----------|---------|
|            | BT      | AT      | BT            | AT      | BT                     | AT      | BT               | AT      | BT        | AT      |
| MSE        | 0.0025  | 0.0009  | 0.0025        | 0.0008  | 0.0025                 | 0.0008  | 0.0025           | 0.0008  | 0.0025    | 0.001   |
| RMSE       | 0.0498  | 0.0292  | 0.0499        | 0.0282  | 0.0497                 | 0.0281  | 0.0501           | 0.0283  | 0.05      | 0.0312  |
| PSNR(dB)   | 74.1816 | 78.8104 | 74.1675       | 79.1367 | 74.1957                | 79.1642 | 74.1352          | 79.0973 | 74.1504   | 78.2357 |
| SNR(dB)    | 6.319   | 8.6334  | 6.3121        | 8.797   | 6.3262                 | 8.8107  | 6.2958           | 8.7768  | 6.3034    | 8.346   |

Результати знешумлення зображення томографічного фантома ілюструються на рис. 1.6.

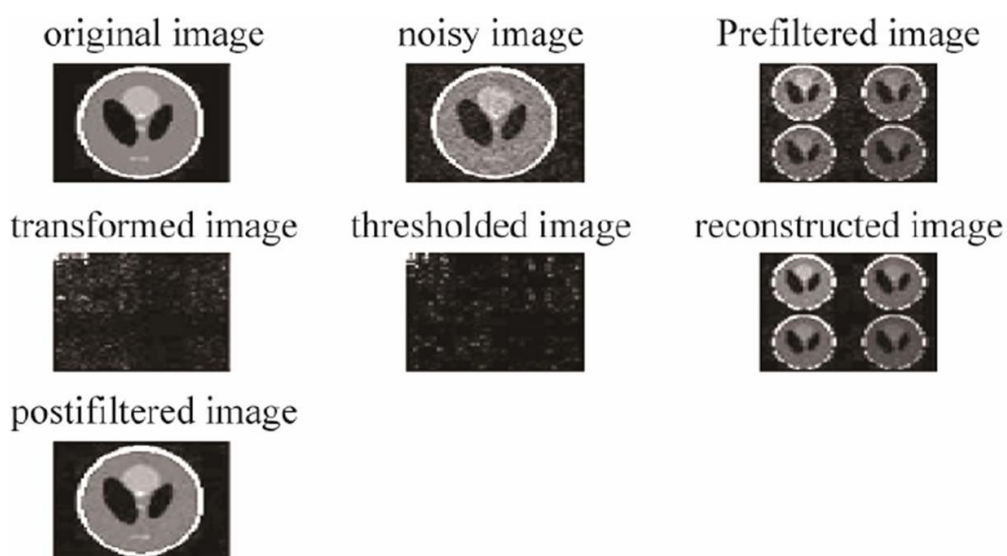


Рисунок 1.6 – Знешумлення фантома за допомогою мультихвильового перетворення та методів порогових значень

Графічне порівняння результатів різних мультивейвлет-перетворень у поєднанні з методами порогової обробки за критеріями MSE, SNR та RMSE зображено на рис. 1.7, 1.8 та 1.9 відповідно.

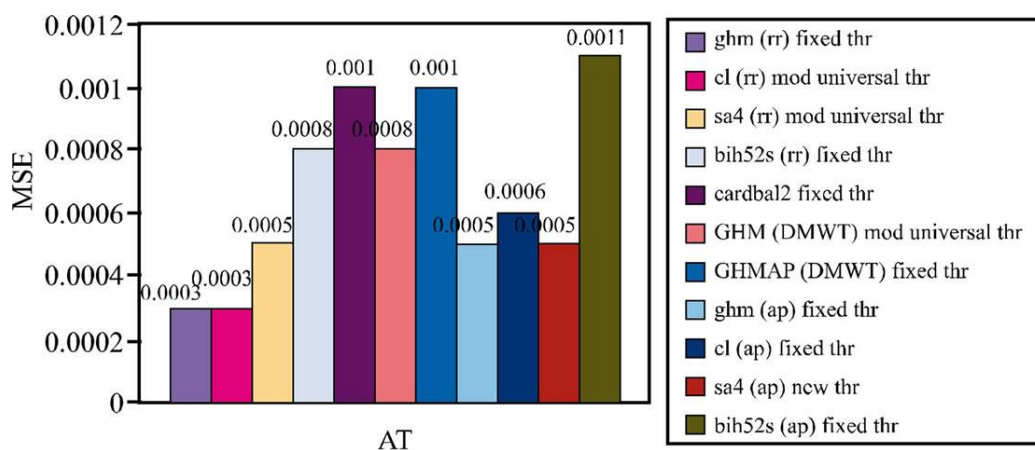


Рисунок 1.7 – Порівняння різних методів мултихвильового перетворення з пороговими методами за середньоквадратичною похибкою

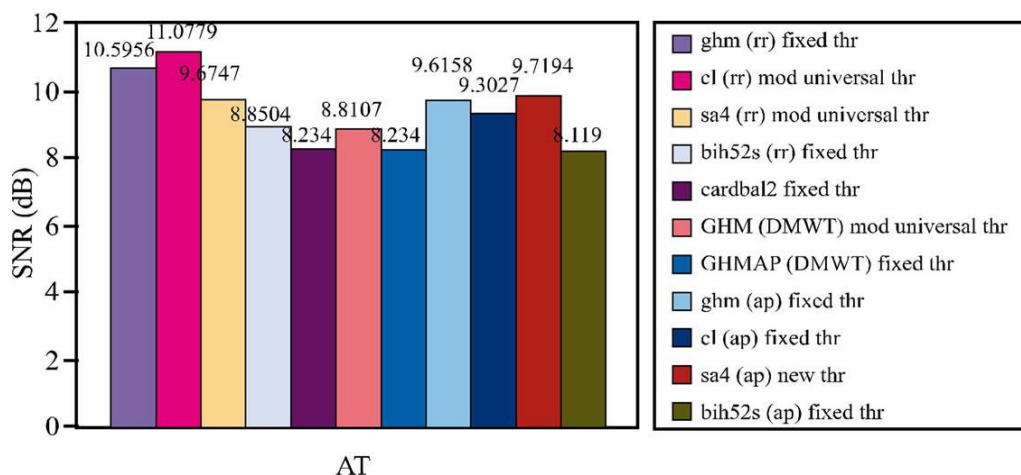


Рисунок 1.8 – Порівняння різних методів мултивейвлет-перетворення з пороговими методами за відношенням сигнал/шум

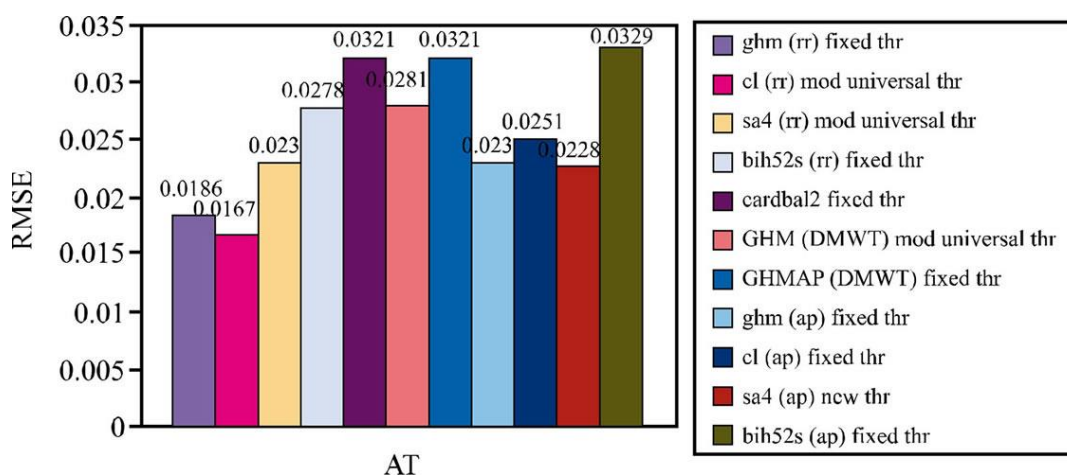


Рисунок 1.9 – Порівняння різних методів мултихвильового перетворення з пороговими методами за середньоквадратичною похибкою

Рис. 1.10 демонструє зміни у вимірюваних параметрах до та після застосування порогової обробки.

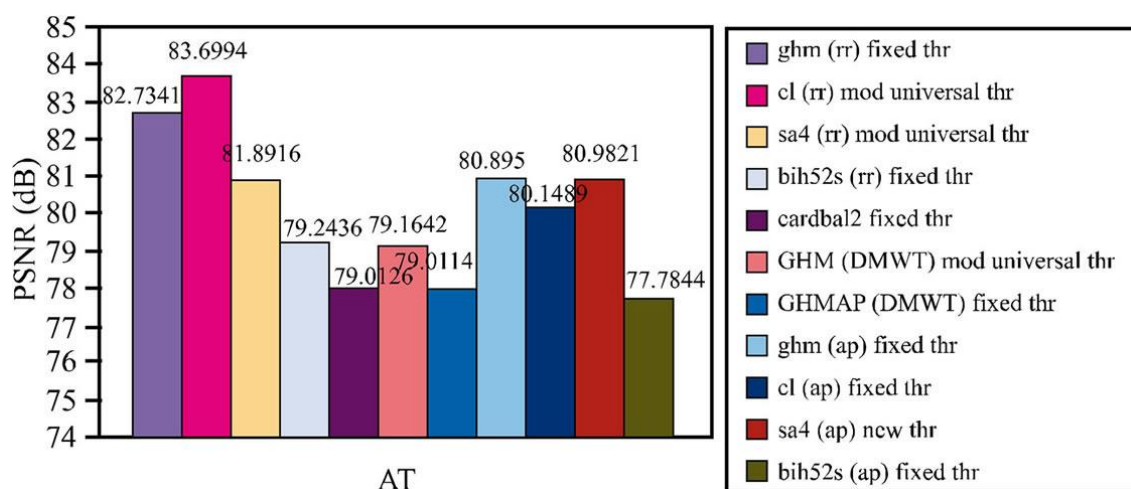


Рисунок 1.10 – Порівняння різних вимірювальних параметрів до і після встановлення порогових значень

Порівняльна оцінка ефективності мультивейвлет-перетворень при різних підходах до порогової обробки представлена на рис. 1.11, а узагальнене порівняння між самими мультивейвлет-перетвореннями – на рис. 1.12.

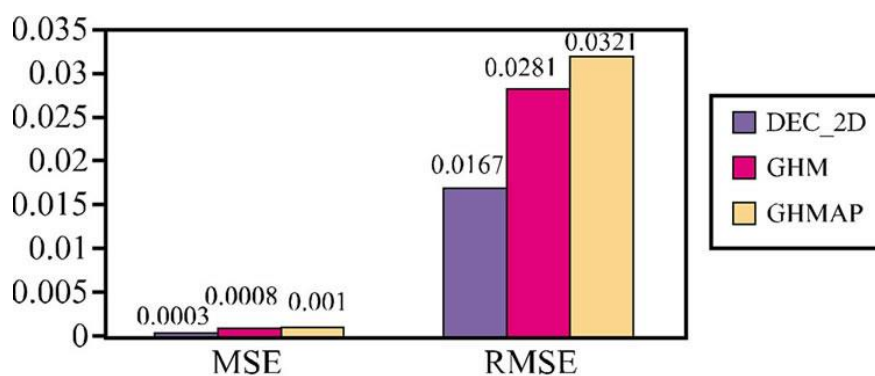


Рисунок 1.11 – Порівняння різних мультивейвлет-перетворень з різними методами порогових значень

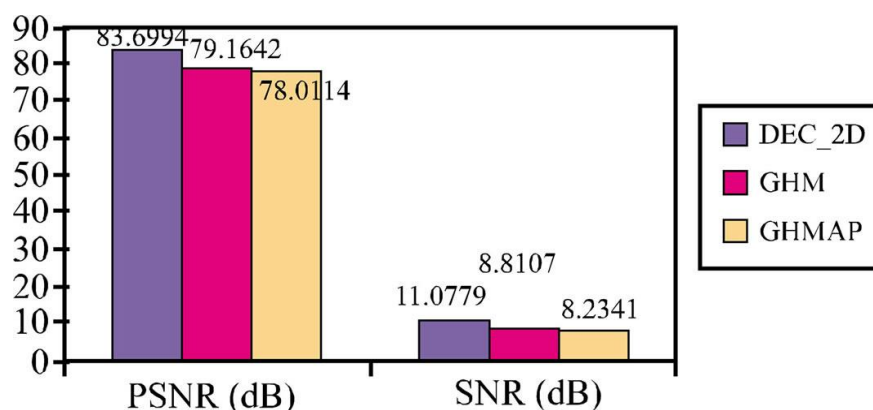


Рисунок 1.12 – Порівняння різних мултихвильових перетворень

## 1.6 Постановка задачі для виконання

Ми порівняли різні мултивейвлети та методи порогової обробки. Було виявлено, що найкращим мултивейвлетом для знешумлення є CL в поєднанні з модифікованим універсальним порогом та префільтром повторних рядів.

Головною задачею є створення програми для знешумлення зображення за допомогою:

- мултивайвлету CL;
- модифікованим універсальним порогом;
- префільтром повторних рядів.

## 1.7 Висновок за розділом 1

Мултивейвлети привернули значну увагу дослідників, оскільки дозволяють створювати вейвлет-системи, які водночас є ортогональними, симетричними та мають обмежену імпульсну характеристику. Згодом з'ясувалося, що для реалізації дискретного вейвлет-перетворення немає необхідності у використанні префільтрів. Було проведено аналіз ефективності мултивейвлетів у поєднанні з різними техніками порогової обробки. Ми також удосконалили одну з таких технік, що дозволило покращити результати обробки

томографічних зображень, які застосовуються в нашому алгоритмі, і запропонували новий метод порогового оброблення.

Для перевірки ефективності запропонованого підходу ми штучно додали гаусівський шум до зображення-фантома розміром  $256 \times 256$  пікселів, після чого провели мультивейвлет-перетворення та застосували різні методи порогової обробки для отримання зображення після знешумлення. У дослідженні використано кілька типів вейвлет-перетворень, зокрема GHM, SA4, CL Bi-Hermite, а також Dec\_2D, GHM та GHMAP із застосуванням апроксимації та префільтрів повторюваних рядків. Порогові методи включали універсальний поріг, його модифікацію, новий поріг, багатовимірну обробку та фіксовані значення порогів. Для оцінки якості зображень після знешумлення застосовано такі метрики, як середньоквадратична помилка (RMSE), середньоквадратична похибка (MSE), пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) та співвідношення сигнал/шум (SNR).

У результаті порівняння різних мультивейвлетів та методик порогової фільтрації встановлено, що найкращі результати демонструє мультивейвлет CL у поєднанні з модифікованим універсальним порогом та префільтром повторюваних рядків.

## 2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ, ЯКА ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Вибір інструментів розробки – критично важливий етап створення програмного забезпечення. У цьому розділі проаналізовано мови програмування, середовища розробки, бібліотеки та інші технології, а також обґрунтовано оптимальний підхід для реалізації даного проекту.

### 2.1 Вибір мови програмування та середовища розробки

Найкращими варіантами серед мов програмування для створення програми, яка призначена для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлетів є:

- Python — сучасна, універсальна мова програмування з великою кількістю бібліотек для обробки зображень (наприклад, OpenCV, SciKit-Image, TensorFlow) та наукових обчислень (NumPy, SciPy). Вона має простий синтаксис, активно розвивається та підтримується спільнотою, що робить її ідеальним вибором для швидкої розробки алгоритмів [18];

- MATLAB — потужне середовище для математичного моделювання та обробки сигналів, яке включає спеціалізовані інструменти для роботи з вейвлетами. MATLAB дозволяє швидко прототипувати алгоритми завдяки вбудованим функціям [19].

Обидві мови підходять для написання нашої програми, але існують фактори які вказують на те, що MATLAB використовувати в даній темі краще ніж Python. Порівняння основних факторів пов'язаних з темою буде надано нижче у вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця між Python та MATLAB

| Критерій                         | Python                                                                                           | MATLAB                                                                                                                                              |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Доступність                      | Безкоштовний, різновид середовищ розробки                                                        | Платний, але є пробна версія з обмеженим функціоналом                                                                                               |
| Бібліотеки для обробки зображень | PyWavelets, scikit-image, OpenCV, NumPy — підтримують вейвлет-перетворення та фільтрацію         | Вбудовані функції (wdenoise, wavedec2, wdencomp) та спеціалізований Wavelet Toolbox                                                                 |
| Підтримка мультивейвлетів        | Обмежена, але можлива через додаткові бібліотеки або вручну                                      | Хороша підтримка через Wavelet Toolbox (декілька вейвлетів, багаторівневі перетворення) або також через додаткові бібліотеки (MultiWavelet Toolbox) |
| Простота реалізації              | Потрібно більше налаштувань, частіше вручну налаштовується процес                                | Зручний графічний інтерфейс та інтегровані функції для знешумлення                                                                                  |
| Гнучкість                        | Дуже гнучкий завдяки доступу до великої кількості бібліотек та можливості модифікації алгоритмів | Менш гнучкий при використанні стандартних функцій, але швидший у реалізації                                                                         |
| Візуалізація результатів         | Потрібно підключати matplotlib, seaborn, cv2.imshow() тощо                                       | Вбудовані засоби візуалізації, легко побудувати графіки та порівняти зображення                                                                     |
| Швидкодія                        | Залежить від реалізації, може бути повільнішим без оптимізації                                   | Висока продуктивність у вбудованих функціях MATLAB                                                                                                  |
| Ком'юніті та документація        | Велике співтовариство, активна підтримка, багато прикладів                                       | Добре документований, але менша кількість відкритих прикладів, ніж у Python                                                                         |
| Можливість інтеграції            | Добре інтегрується з іншими мовами (C++, Java)                                                   | Добре інтегрується в екосистему MathWorks, але важче інтегрується з іншими мовами                                                                   |

З нашого порівняння виходить, що Python і MATLAB є потужними інструментами для реалізації методів знешумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет-перетворень. Але все ж MATLAB має перевагу в простоті реалізації завдяки наявності спеціалізованого Wavelet Toolbox та

сторонньої бібліотеки Multiwavelet-toolbox для роботи з мультивайвлетами, високій швидкодії та зручним візуалізаційним можливостям.

Середовище розробки відповідно є ліцензійне ПЗ MATLAB.

## **2.2 Визначення функціональних вимог програмного забезпечення**

Програмне забезпечення для згущування медичних зображень за допомогою мультивайвлет перетворень має виконувати такі функції:

- додавання на оригінальне зображення білого гаусівського шуму;
- пре/пост фільтрація;
- виконання мультивайвлет перетворень;
- порогове оброблення;
- відновлення зображення;
- обчислення основних метрик: MSE, SNR, PSNR;
- вивід оригінального, зашумленого та згущеного зображення;
- збереження оригінального, зашумленого та згущеного зображення

в указану користувачем теку.

## **2.3 Визначення структури програми**

Реалізація програми буде консольною, вивід розрахунків буде виведений в консоль відповідно. В той час як зображення будуть виводитись графічно:

- оригінальне зображення;
- зашумлене зображення;
- зображення після мультивайвлет перетворень та пост фільтрації.

## **2.4 Висновок за розділом 2**

В цьому розділі в першу чергу було визначено мову на якій буде реалізований проект та середовище розробки відповідно. Обрана мова та засоби розробки цілком відповідають під поставлену задачу.

Визначені функціональні вимоги та структура програми, які відповідають поставленій задачі.

## **3 ОСНОВНІ РІШЕННЯ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ**

### **3.1 Алгоритм роботи програми**

Користувач може використовувати цю програму для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивайвлет перетворень. Нижче буде наведений опис роботи даної програми.

Після запуску програми в користувача є можливість обрати, куди саме буде зберігатись зображення, в нього є можливість відмовитись від збереження. Після збереження або відмови вікно для вибору шляху закривається та користувач бачить чотири зображення в ряд: оригінальне, зашумлене, після мультивайвлет перетворень та пост фільтроване зображення. В консолі можна буде побачити розраховані метрики: MSE, SNR та PSNR. Метрики будуть розраховуватись до пост фільтрації та після неї.

### **3.2 Опис використаних бібліотек**

Для роботи з мультивайвлетами використовується стороння бібліотека Multiwavelet Toolbox. В неї є основний функціонал для мультивайвлет перетворень та зворотних перетворень. Також ця бібліотека потребує підключення вбудованої бібліотеки Wavelet Toolbox для використання деяких функцій.

Для роботи із зображеннями використовується бібліотека Image Processing Toolbox. Вона потрібна для:

- створення медичного зображення ("Modified Shepp-Logan Phantom");
- генерації гаусівського шуму;
- візуалізація зображень;
- збереження зображень.

### **3.3 Висновок за розділом 3**

В цьому розділі детально розглянули розробку програми для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивайвлет перетворень. Було описано алгоритм роботи програми та розглянуті використані бібліотеки для написання програмного забезпечення.

## 4 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

### 4.1 Опис реалізації програми

Програма реалізує знешумлення зображень за допомогою мультивайвлет перетворень. Нижче буде наведено опис всіх функцій, алгоритмів тощо.

Першим ділом було реалізовано додавання зображення та його зашумлення. Ми використовували білий гаусівський шум. Кодова реалізація надана нижче на рис. 4.1.

```

5
6     original = phantom('Modified Shepp-Logan', 256);
7     noisy = original + 0.05 * randn(size(original));
8

```

Рисунок 4.1 – Реалізація додавання зображення та його зашумлення

Після зашумлення виконується префільтрація повторних рядків. Суть цього алгоритму полягає в тому, щоб виявити сусідні рядки зображення, які надто схожі між собою — тобто мають незначну норму різниці (менше певного порогу). Такі рядки можуть бути результатом штучного дублювання, артефактів або нерівномірного шуму. Якщо два сусідні рядки майже однакові (нормована різниця менша за заданий поріг), то поточний рядок замінюється на середнє значення між ним і попереднім. Це дозволяє згладити надмірно схожі області та частково зменшити структурні шуми перед основною обробкою, зберігаючи при цьому важливі особливості зображення. Код даного алгоритму надано нижче на рис. 4.2.

```

10     threshold = 1e-3;
11     for i = 2:size(noisy,1)
12         diff_norm = norm(noisy(i,:) - noisy(i-1,:)) / norm(noisy(i-1,:));
13         if diff_norm < threshold
14             noisy(i,:) = (noisy(i,:) + noisy(i-1,:)) / 2;
15         end
16     end

```

Рисунок 4.2 – Реалізація префільтру повторних рядків

Після попередньої фільтрації виконується мультивайвлет перетворення через функцію DMWT2D, яка взята з підключеної сторонньої бібліотеки Multiwavelet Toolbox. На рис. 4.3 буде наданий код виклику цієї функції.

```
18 % --- Мультивейвлет-перетворення ---
19 C = DMWT2D(noisy, 'CL03');
```

Рисунок 4.3 – Виклик функції для мультивайвлет перетворення

Далі виконується порогова обробка, використовується універсальний модифікований поріг разом з м'яким порогоуванням. Фрагмент коду наданий на рис. 4.4.

```
[M, N] = size(original);
sigma = 0.005;
T = sigma * sqrt(2) * log(2 * N);
C = sign(C) .* max(abs(C) - T, 0);
```

Рисунок 4.4 – Реалізація порогової обробки

Наступним кроком є відновлення зображення за допомогою зворотнього перетворення мультивайвлетів. Використана функція IDMWT2D, яка аналогічно взята з сторонньої бібліотеки. Ця функція повертає зображення в скалярній формі, тобто виконується пост фільтрація. Виклик функції продемонстровано на рис. 4.5.

```
27 % --- Відновлення зображення ---
28 restored = IDMWT2D(C, 'CL03');
```

Рисунок 4.5 – Виклик функції для відновлення зображення та повернення його в скалярній формі

Після обробки зображення приступаємо до розрахунків MSE, SNR та PSNR, виводу зображень та їх збереження в указану теку. Реалізація надана нижче на рис. 4.6.

```
% --- Обчислення метрик ---
MSE_restored = mean((original(:) - restored(:)).^2);
SNR_restored = 10 * log10( ((1/(M * N)) * sum(original(:).^2)) / MSE_restored);
PSNR_restored = 10 * log10((255^2) / MSE_restored);

% --- Вивід метрик ---
fprintf('Розраховані метрики:\nMSE = %.4f, SNR = %.2f dB, PSNR = %.2f dB\n', ...
        MSE_restored, SNR_restored, PSNR_restored);

% --- Візуалізація ---
figure;
subplot(1,4,1); imshow(original); title('Оригінальне зображення');
subplot(1,4,2); imshow(noisy); title('Зашумлене зображення');
subplot(1,4,3); imshow(log(abs(C)+1), []); title('Коефіцієнти DWT2D');
subplot(1,4,4); imshow(restored); title('Знешумлене зображення');

% --- Збереження ---
folder = uigetdir('C:\Users\user\Pictures\', 'Оберіть теку для збереження зображень');
if folder ~= 0
    imwrite(original, fullfile(folder, 'original.png'));
    imwrite(log(abs(C)+1), fullfile(folder, 'coeffs.png'));
    imwrite(noisy, fullfile(folder, 'noisy_image.png'));
    imwrite(restored, fullfile(folder, 'restored_image.png'));
else
    disp('Збереження відхилено користувачем.');
```

Рисунок 4.6 – Реалізація розрахунків метрик, візуалізації та збереження зображень

## 4.2 Інструкція по експлуатації програми

Створене програмне забезпечення є консольною програмою, тому вимагає запуску саме з програми MATLAB. Для отримання доступу до ліцензійної програми треба: придбати продукт або отримати його пробну версію на 30 днів.

Для забезпечення функціонування програмного забезпечення треба щоб комп'ютер відповідав системним вимогам:

Для забезпечення функціонування програмного забезпечення треба щоб комп'ютер відповідав системним вимогам:

- операційна система: Windows 10 x64;

- процесор: будь-який процесор Intel або AMD x86-64 з двома чи більше ядрами;
- оперативна пам'ять: 8 GB;
- відеопам'ять: 2 GB.

Для успішного виконання програми потрібно мати ліцензійний продукт MATLAB та комп'ютер який задовольняє системні вимоги.

### 4.3 Тестування програмного забезпечення

Для демонстрації роботи програми треба запустити ліцензійне середовище MATLAB та відкрити робочий файл з кодом (рис. 4.7).

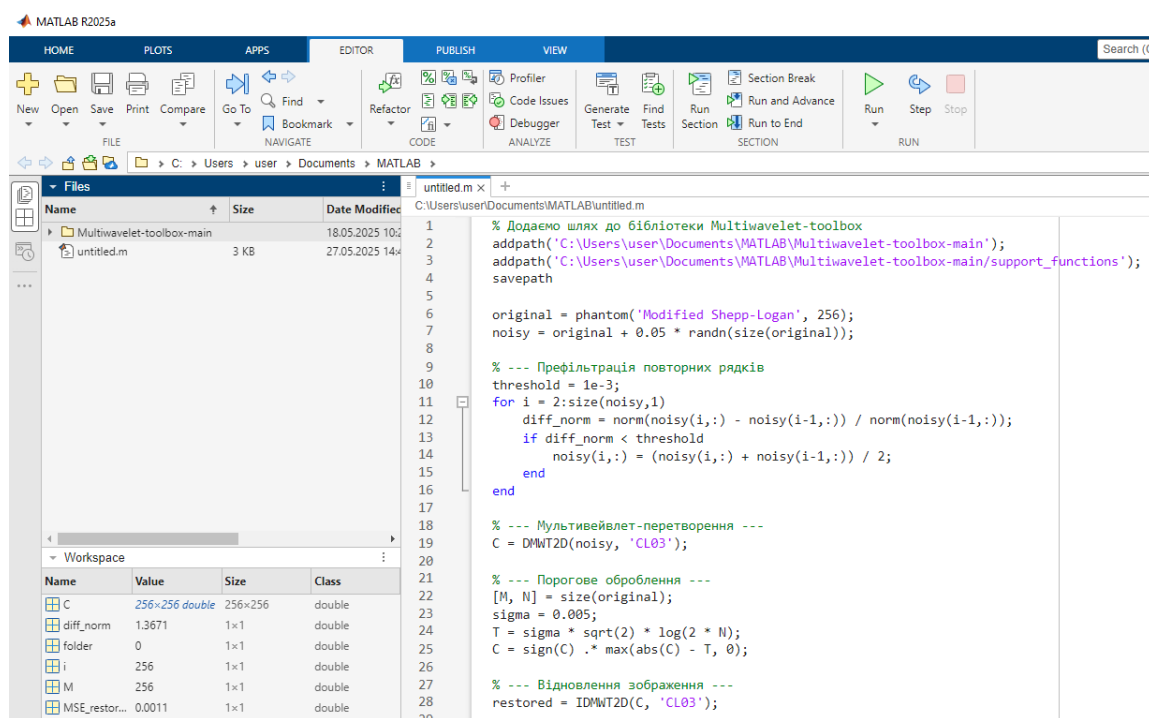


Рисунок 4.7 – Відкрите середовище розробки

Після цього натискаємо кнопку «RUN», яка знаходиться у розділі «EDITOR» у верхньому меню (рис. 4.8).

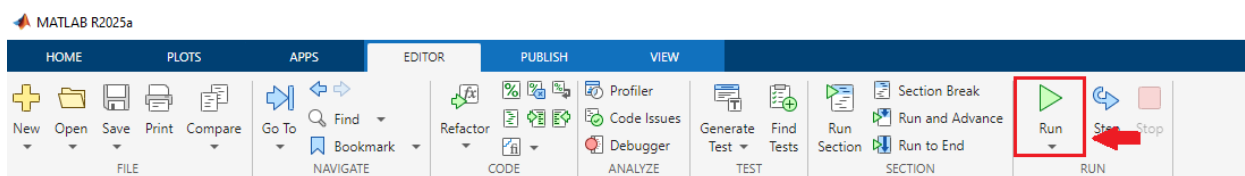


Рисунок 4.8 – Запуск програми

Після успішної компіляції та запуску програми в користувача з'являється вікно для збереження зображень на його комп'ютер, треба обрати теку для збереження (рис. 4.9). Якщо зображення не потрібні користувачу – можливо відмінити їх збереження.

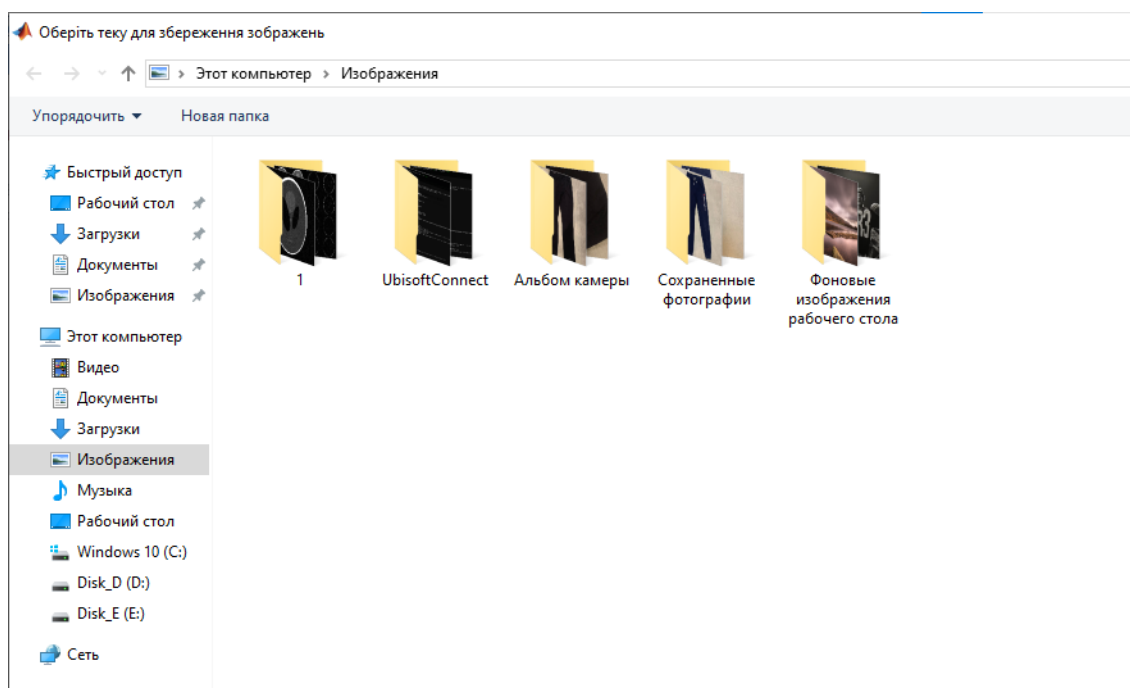


Рисунок 4.9 – Вибір теки для збереження зображення

Після того, як користувач обрав теку або відмінив збереження зображень, перед ним з'являється вікно на якому чотири зображення:

- оригінальне;
- зашумлене;
- коефіцієнти DMWT2D;
- знешумлене зображення.

На рис. 4.10 буде продемонстровано дане вікно з зображеннями.

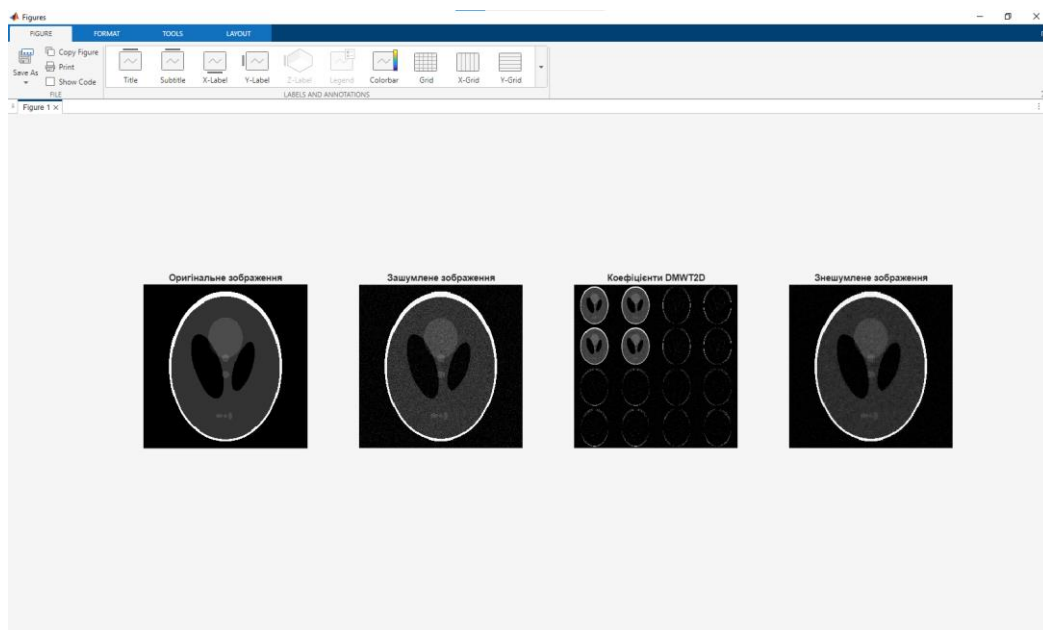


Рисунок 4.10 – Відображення чотирьох зображень

Всі чотири зображення будуть надані більш детально на нижче наданих рис. 4.11-4.14.



Рисунок 4.11 – Оригінальне зображення



Рисунок 4.12 – Зашумлене зображення білим гаусівським шумом

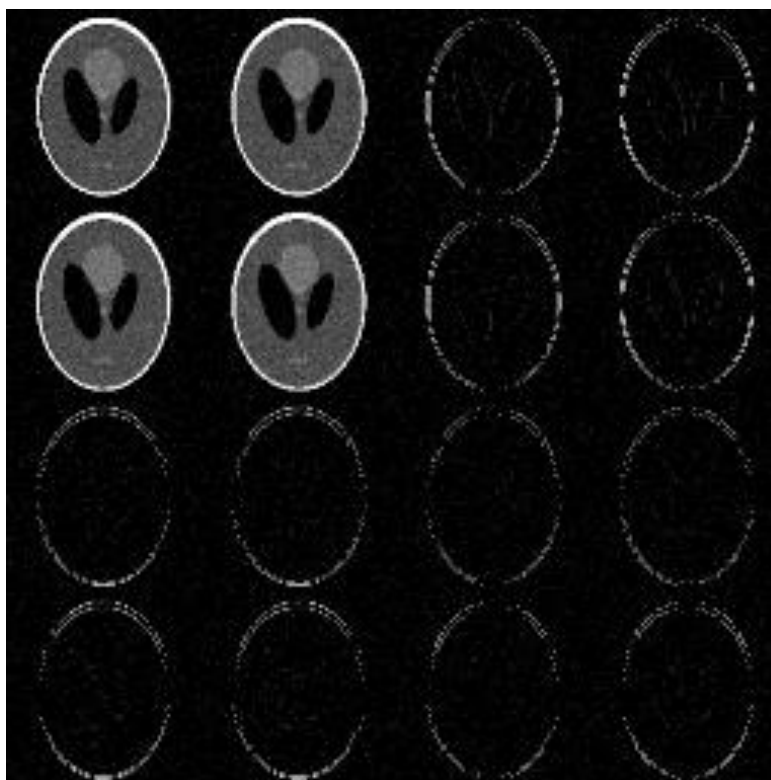


Рисунок 4.13 – Зображення коефіцієнтів DMWT2D



Рисунок 4.14 – Знешумлене зображення

Також є можливість переглянути розрахунки таких метрик в консолі:

- MSE;
- SNR;
- PSNR.

Результати розрахунків надані нижче на рис. 4.15.

```
Розраховані метрики:  
MSE = 0.0011, SNR = 17.23 dB, PSNR = 77.53 dB
```

Рисунок 4.15 – Розрахунки метрик

#### 4.4 Висновки за розділом 4

Цей розділ демонструє, як створена програма виконує поставлені завдання та досягає цілей, зазначених у вступі. Наведений опис використання програми розкриває її функціональне призначення та сфери застосування, а також містить

інформацію про мінімальні технічні вимоги. Застосована методика тестування підтверджує стабільність і правильність роботи програми, дозволяючи виявити та усунути можливі помилки.

Експериментальні дослідження підтверджують, що ПЗ дійсно прибирає шуму з зображень, порівнявши зашумлене зображення з знесумленим. Розрахунки метрик також є задовільними.

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті досліджено тему та реалізовано програму для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивайвлет перетворень. В першу чергу було проведено дослідження предметної області, визначено основні функціональні вимоги, що в дало нам можливість чітко поставити цілі проекту.

Для реалізації програми було обрано MATLAB, як мову програмування. Середовищем розробки відповідно був обраний MATLAB. Були описані використанні бібліотеки та представлений алгоритм роботи програми.

Після всіх досліджень та розробки програмного забезпечення, програма пройшла комплексне тестування, результати якого підтвердили правильну роботу програми.

У цілому проведені дослідження та створення програми дозволили успішно досягти визначених цілей і виконати поставлені завдання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Strang G. Short Wavelets and Matrix Dilation Equations. IEEE Transactions on Signal Processing / G. Strang, V. Strela. – 1995. – Vol. 43, № 1. – P. 108-115. doi:10.1109/78.365291
2. Strang G. Orthogonal Multiwavelets with Vanishing Moments. Journal of Optical Engineering / G. Strang, V. Strela. – 1994. – Vol. 33, №7. – P. 2104-2107. doi:10.1117/12.172247
3. The Application of Multiwavelet Filterbanks to Image Processing / [V. Strela, P. N. Heller, G. Strang et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. – 1999. – Vol. 8, №4. – P. 548-563.
4. Strela V., Walden A. T. Signal and Image Denoising via Wavelet Thresholding: Orthogonal and Biorthogonal, Scalar and Multiple Wavelet Transforms: Statistic Section Technical Report TR-98-01, Department of Mathematics / V. Strela, A. T. Walden. – Imperial College, London, 1998. – P. 395-439.
5. Johnson B. R. Multiwavelet Moments and Projection Prefilters / B. R. Johnson // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2000. – Vol. 48, №11. – P. 3100-3108.
6. Chui C. K. A Study of Orthogonal Multiwavelets / C. K. Chui, J. A. Lian // Applied Numerical Mathematics. – 1996. – Vol. 20, №3. – P. 273-298. doi:10.1016/0168-9274(95)00111-5
7. Hardin D. P. Multiwavelet Prefilters-I: Orthogonal Prefilters Preserving Approximation Order  $P \leq 2$  / D. P. Hardin, D. W. Roach // IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing. – 1998. – Vol. 45, №8. – P. 1106-1112.
8. Downie T. R. The Discrete Multiple Wavelet Transform and Thresholding Methods / T. R. Downie, B. W. Silverman // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1998. – Vol. 46, №9. – P. 2558-2561.

9. A General Approach for Analysis and Application of Discrete Multiwavelet Transforms / [J. Y. Tham, L. X. Shen, S. L. Lee et al.] // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2000. – Vol. 48, №2. – P. 457-464.
10. Attakitmongkol K. Multiwavelet Prefilters-Part II: Optimal Orthogonal Prefilters / K. Attakitmongkol, D. P. Hardin , D. M. Wilkes // IEEE Transactions of Image Processing. – 2001. – Vol. 10, №10. – P. 1476-1487.
11. Denoising Filter to Improve the Quality of CT Images / [G. Andria, F. Attivissimo, G. Cavone et al.] // Proceedings of IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology : 5-7 May 2009 : proceedings. – Singapore: IEEE, 2009. – P. 947-950.
12. Shen L. X. Some Properties of Symmetric-Antisymmetric Orthonormal Multiwavelets / L. X. Shen, H. H. Tan, J. Y. Tham // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2000. – Vol. 48, №7. – P. 2161-2163.
13. Strela V. Orthogonal and Biorthogonal Multiwavelets for Signal Denoising and Image Compression / V. Strela, A. T. Walden // Proceedings of SPIE. – 1998. – Vol. 3391. – P. 96-107. doi:10.1117/12.304924.
14. On Computations of Multiwavelets Transforms / [X. G. Xia, J. S. Geronimo, D. P. Hardin et al.] // Proceedings of SPIE. – 1995. – Vol. 2569.
15. Design of Prefilters for Descrete Multiwavelets Transforms / [X. G. Xia, J. Geronimo, D. Hardin et al.] // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1996. – Vol. 44, №1. – P. 25-35. doi:10.1109/78.482009
16. Bala E. A Multivariate Thresholding Technique for Image Denoising Using Multiwavelets / E. Bala, A. Ertuzun // EURASIP Journal on Applied Signal Processing. – 2005. – P. 1205-1211.
17. Hsung T.-C. Optimizing the Multiwavelet Shrinkage Denoising / T.-C. Hsung, D. P.-K. Lun, K. C. Ho // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2005. – Vol. 53, №1. – P. 240-251.
18. The Python Tutorial [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>

19. MATLAB [Electronic resource]. – Access mode :  
<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

**ДОДАТОК А**  
**Текст програми**

```

addpath('C:\Users\user\Documents\MATLAB\Multiwavelet-toolbox-main');
addpath('C:\Users\user\Documents\MATLAB\Multiwavelet-toolbox-
main/support_functions');
savepath

original = phantom('Modified Shepp-Logan', 256);
noisy = original + 0.05 * randn(size(original));

threshold = 1e-3;
for i = 2:size(noisy,1)
    diff_norm = norm(noisy(i,:) - noisy(i-1,:)) / norm(noisy(i-1,:));
    if diff_norm < threshold
        noisy(i,:) = (noisy(i,:) + noisy(i-1,:)) / 2;
    end
end

C = DMWT2D(noisy, 'CL03');

[M, N] = size(original);
sigma = 0.005;
T = sigma * sqrt(2) * log(2 * N);
C = sign(C) .* max(abs(C) - T, 0);

restored = IDMWT2D(C, 'CL03');

MSE_restored = mean((original(:) - restored(:)).^2);
SNR_restored = 10 * log10( ((1/(M * N)) * sum(original(:).^2)) / MSE_restored);
PSNR_restored = 10 * log10((255^2) / MSE_restored);

fprintf('Позраховані метрики:\nMSE = %.4f, SNR = %.2f dB, PSNR = %.2f dB\n', ...
    MSE_restored, SNR_restored, PSNR_restored);

figure;
subplot(1,4,1); imshow(original); title('Оригінальне зображення');
subplot(1,4,2); imshow(noisy); title('Зашумлене зображення');
subplot(1,4,3); imshow(log(abs(C)+1), []); title('Коефіцієнти DMWT2D');
subplot(1,4,4); imshow(restored); title('Знешумлене зображення');

folder = uigetdir('C:\Users\user\Pictures\', 'Оберіть теку для збереження зображень');
if folder ~= 0
    imwrite(original, fullfile(folder, 'original.png'));
    imwrite(log(abs(C)+1), fullfile(folder, 'coeffs.png'));
    imwrite(noisy, fullfile(folder, 'noisy_image.png'));
    imwrite(restored, fullfile(folder, 'restored_image.png'));

```

```
else  
    disp('Збереження відхилено користувачем.');
```

end

**ДОДАТОК Б**  
**Слайди презентації**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ  
ДИПЛОМНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Програмна реалізація методів знешумлення медичних  
зображень за допомогою мультивейвлет перетворень.  
Software Implementation of Medical Image Denoising Methods  
Using Multiwavelet Transform

Виконав:  
Студент групи КНТ-141

Олександр РЯЗАНЦЕВ

Керівник роботи:  
Професор, к.т.н.

Валерій ДУБРОВІН

Запоріжжя, 2025

Рисунок Б.1 – Слайд №1

## МЕТА, ПРЕДМЕТ ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Об'єкт дослідження** – процес створення програмних засобів для реабілітації хворих.

**Предмет дослідження** – методи знешумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет перетворень.

**Мета роботи** – створення програмного забезпечення для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет перетворень.

Рисунок Б.2 – Слайд №2

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ЗНЕШУМЛЕННЯ

| Метод                      | Принцип роботи                                           | Якість зображення (PSNR) | Збереження деталей | Швидкість обробки | Переваги                                           | Недоліки                                             |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Гаусове згладжування       | Фільтрація з використанням гаусового ядра                | Низька                   | Погана             | Висока            | Простота реалізації                                | Розмиття країв, втрата деталей                       |
| Медіанний фільтр           | Заміна пікселя на медіанне значення в околі              | Середня                  | Краща за гаусову   | Висока            | Добре працює з імпульсним шумом                    | Втрата дрібних деталей, погано для нормального шуму  |
| Вейвлет-перетворення (DWT) | Розкладання на масштабні компоненти з пороговою обробкою | Висока                   | Добра              | Середня           | Баланс між пригніченням шуму і збереженням деталей | Один вейвлет обмежений – не захоплює всі особливості |
| Мультивейвлет-перетворення | Множинні вейвлети: одночасна обробка декількох каналів   | Дуже висока              | Висока             | Середня           | Краще зберігає структуру, менше артефактів         | Ускладнена реалізація, потребує ортогоналізації      |

Рисунок Б.3 – Слайд №3

## АЛГОРИТМ ЗНЕШУМЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ



Рисунок Б.4 – Слайд №4

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРОГОВИХ ЗНАЧЕНЬ

---

$$F_h(x) = \begin{cases} x & \text{if } |x| \geq \lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_S(x) = \begin{cases} x - \lambda & \text{if } x \geq \lambda \\ 0 & \text{if } |x| < \lambda \\ x + \lambda & \text{if } x \leq -\lambda \end{cases}$$

Рисунок Б.5 – Слайд №5

## ВАЙВЛЕТ ПОРОГОВІ ЗНАЧЕННЯ

---

$$\lambda_{universal} = \sigma\sqrt{2}\log(N)$$

$$\lambda_{mod} = \sigma\sqrt{2}\log(2N)$$

$$\lambda_N = \sigma(\sqrt{2}\log(N) + 2\log\log(N))$$

$$\lambda_{Newthr} = \sigma(\sqrt{2}\log\log(N))$$

Рисунок Б.6 – Слайд №6

## ПАРАМЕТРИ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗНЕШУМЛЕННЯ

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} [I(x, y) - I'(x, y)]^2$$

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{M \cdot N} * \frac{\sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} [I(x, y)]^2}{MSE} \right)$$

$$PSNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{(255)^2}{MSE} \right)$$

Рисунок Б.7 – Слайд №7

## ВИБІР МУЛЬТИВАЙВЛЕТА, МЕТОДУ ОБРОБКИ та ПРЕФІЛЬТРА

| № п/п | Метод та мультивайвлет       | MSE    | SNR (dB) | PSNR (dB) |
|-------|------------------------------|--------|----------|-----------|
| 1     | cl (rr) mod universal thr    | 0,0003 | 11,0779  | 83,6994   |
| 2     | ghm (rr) fixed thr           | 0,0003 | 10,5956  | 82,7341   |
| 3     | cl (ap) fixed thr            | 0,0006 | 9,3027   | 80,1489   |
| 4     | bih52s (rr) fixed thr        | 0,0008 | 8,8504   | 79,2436   |
| 5     | sa4 (ap) new thr             | 0,0005 | 9,7194   | 80,9821   |
| 6     | sa4 (rr) mod universal thr   | 0,0005 | 9,6747   | 81,8916   |
| 7     | cardbal2 fixed thr           | 0,001  | 8,234    | 79,0126   |
| 8     | GHM (DMWT) mod universal thr | 0,0008 | 8,8107   | 79,1642   |
| 9     | GHNMAP (DMWT) fixed thr      | 0,001  | 8,234    | 79,0114   |
| 10    | ghm (ap) fixed thr           | 0,0005 | 9,6158   | 80,895    |
| 11    | bih52s (ap) fixed thr        | 0,0011 | 8,119    | 77,7844   |

Рисунок Б.8 – Слайд №8

## ОБРАНА МОВА ПРОГРАМУВАННЯ та СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ

| Критерій                         | Python | MATLAB |
|----------------------------------|--------|--------|
| Доступність                      | +      | -      |
| Бібліотеки для обробки зображень | +      | +      |
| Підтримка мультимедіа            | -      | +      |
| Простота реалізації              | -      | +      |
| Візуалізація результатів         | -      | +      |
| Ком'юніті та документація        | +      | -      |
| Можливість інтеграції            | +      | -      |

Рисунок Б.9 – Слайд №9

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

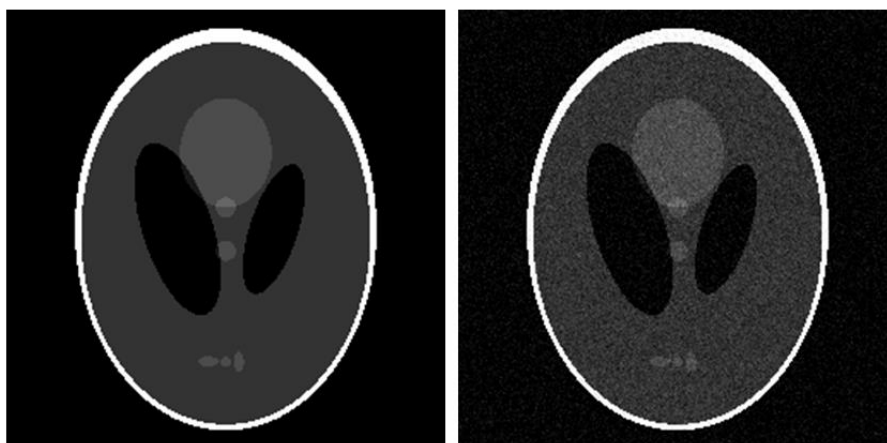


Рисунок Б.10 – Слайд №10

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

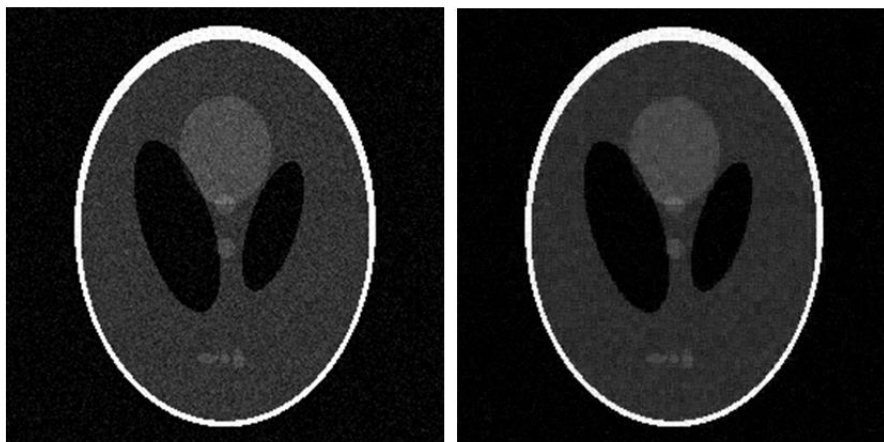


Рисунок Б.11 – Слайд №11

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

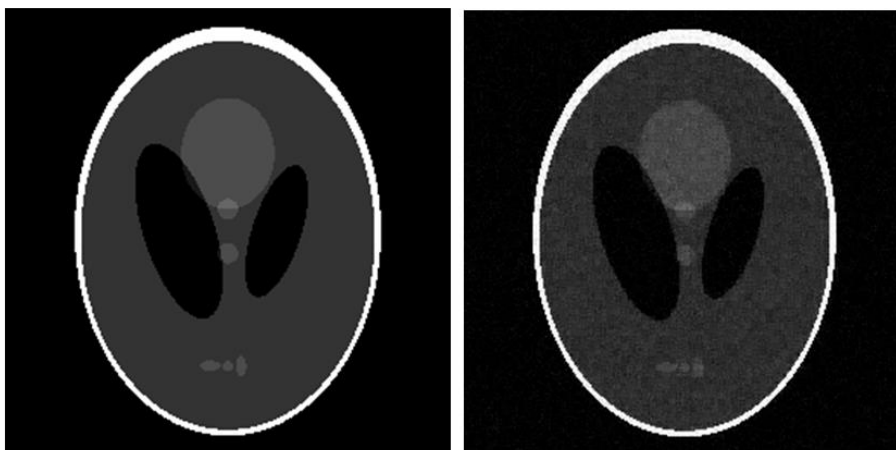


Рисунок Б.12 – Слайд №12

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

Розраховані метрики:

MSE = 0.0011, SNR = 17.23 dB, PSNR = 77.53 dB

Рисунок Б.13 – Слайд №13

## ВИСНОВКИ та МАЙБУТЬНА СФЕРА ВИКОРИСТАННЯ

У дипломному проєкті досліджено тему та реалізовано програму для знешумлення медичних зображень за допомогою мультивейвлет перетворень. В першу чергу було проведено дослідження предметної області, визначено основні функціональні вимоги, що в майбутньому дало нам можливість чітко поставити цілі проєкту.

Для реалізації програми було обрано MATLAB, як мову програмування. Середовищем розробки відповідно був обраний MATLAB. Були описані використання бібліотеки та представлений алгоритм роботи програми. Після всіх досліджень та розробки програмного забезпечення, програма пройшла комплексне тестування, результати якого підтвердили правильну роботу програми.

У цілому проведені дослідження та створення програми дозволили успішно досягти визначених цілей і виконати поставлені завдання.

Майбутні розробки можуть запропонувати фільтри вищого порядку, зберігаючи корисні властивості нинішніх, що покращить їх ефективність у згладжуванні та стисненні зображень. Також очікується поява мультихвильових систем із матрицями коефіцієнтів більшого розміру, що підвищить якість знебарвлення зображень.

Рисунок Б.14 – Слайд №14

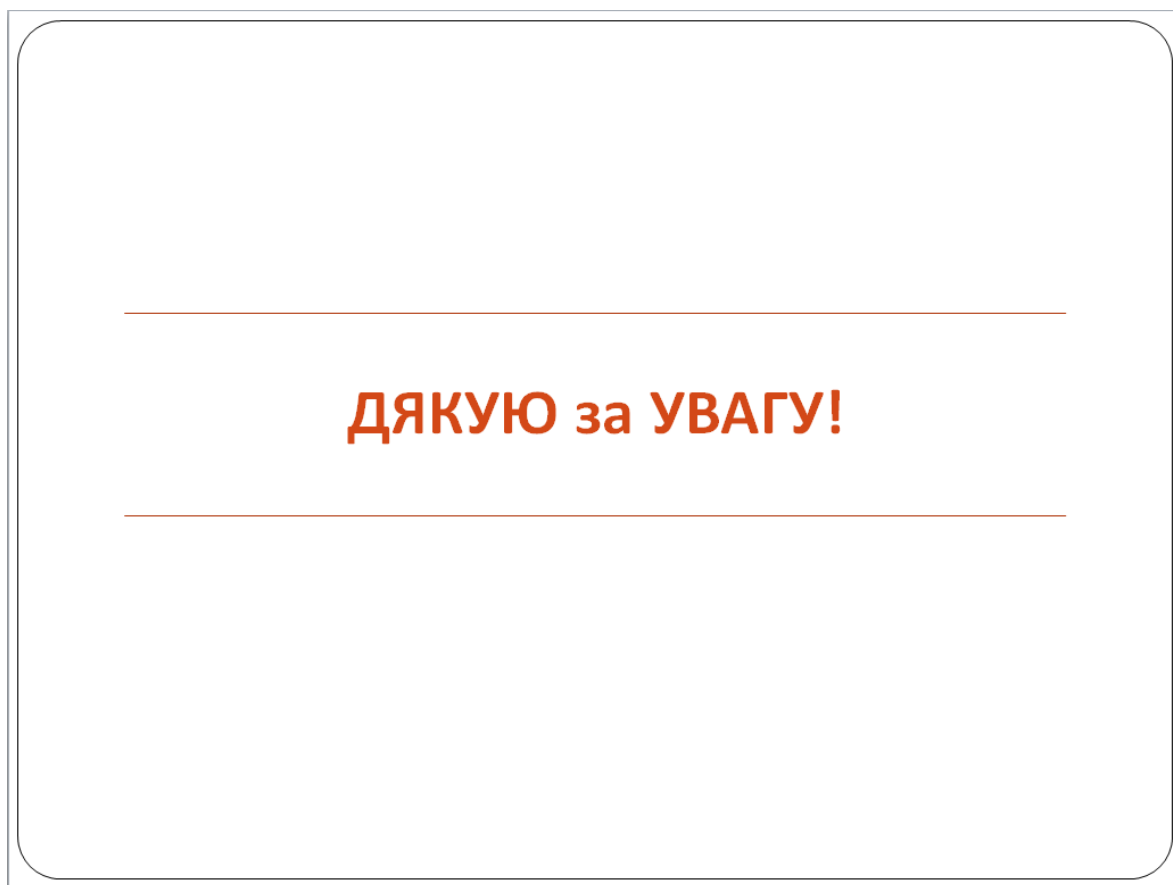


Рисунок Б.15 – Слайд №15