

**УДК 681.7.013.8**

*Р.А. Пашков, студент гр. ПО-42, к.ф.-м.н., ст. викл. Балахонова Н.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ЗМЕНШЕННЯ ШУМІВ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КАНАЛУ ОГЛЯДОВИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДОБЕШІ**

**Анотація.** На основі вейвлет-перетворення Добеші 4-го порядку створений фільтр для поліпшення якості зображень тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв. Фільтр є лінійною комбінацією вейвлет-перетворених сигналів з максимальним та мінімальним очищенням від шуму. За допомогою оцінки метрики PSNR знайдені оптимальні коефіцієнти лінійної комбінації вихідного та вейвлет перетворених сигналів. Даний фільтр пропонується використовувати для зменшення шумів будь-якого двовимірної зображення.

**Ключові слова:** тепловізор, цифрова обробка зображення, фільтр, вейвлет-перетворення Добеші

### **ВСТУП**

Для отримання тепловізійного зображення використовується власне випромінювання об'єкта в інфрачервоній області спектра електромагнітного випромінювання. Тепловізійне зображення формується у тепловізорах у вигляді растра, тобто попіксельно [1]. Рівень сигналу кожного пікселя тепловізійного датчика визначається інтенсивністю теплового випромінювання, формуючи розподіл температур в площині зображення об'єкта. На формування зображення в тепловізорі впливає ряд факторів, пов'язаних як з методом формування сигналу, так і з технологічними похибками, що виникають під час виготовлення тепловізійного датчика. Тому перед подачею сигналу з тепловізійного датчика на пристрій відображення, його необхідно позбавити від шуму та «поганих» пікселів [1,2]. Одним з методів, що дозволяє покращити якість 2Д зображень, є метод вейвлет-аналізу [3]. Основи вейвлет-аналізу були розроблені, як аналог віконного перетворення Фур'є. Вейвлет-аналіз використовують для дослідження часових (просторових) рядів із різко вираженою неоднорідністю. Тому може бути доцільним розробка системи цифрової фільтрації тепловізійного зображення на основі вейвлет-аналізу.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Метою дослідження є створення та аналіз ефективності роботи цифрового фільтру для зменшення шумів у тепловізійних зображеннях на основі прямого та зворотного перетворення Добеші 4-го порядку.

### **РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРУ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD**

Є багато математичних пакетів, в яких можна реалізувати вейвлет-перетворення - Mathcad, MatLab, Mathematica. Для поставленої задачі був обраний Mathcad, як програма, що має інтуїтивний і простий для використання інтерфейс користувача [4]. Пряме та зворотнє перетворення Добеші в Mathcad здійснюється функціями  $wave(M)$  та  $iwave(M)$ , де  $M$  – матриця інтенсивностей для чорно-білого зображення, в якій кількість стовбців та рядів матриці  $M$  дорівнює  $2N$ , де  $N$  – ціле число. Оскільки остання умова для зо-

бражень може не виконуватись, створена функція  $RI(M)$ , рис. 1, яка доповнює матрицю інтенсивностей  $M$  нулями до необхідного розміру. В тілі функції використовується створена функція  $\text{ceil2row}(n)$  від довжини масиву  $n$ , яка повертає найближче до  $n$  число  $2N > n$ , де  $N$  – ціле число.

Для зменшення шуму 2Д зображення створена функція  $DI(M, \text{thresh})$ , в якій входними параметрами є  $M$  – матриця інтенсивностей для чорно-білого зображення і  $\text{thresh}$ , яким можна задавати ступінь гасіння шумів на фотографиях. Параметр  $\text{thresh}$  може приймати значення від 1 до 90, де 1 – мінімально очищене від шуму зображення, тобто співпадає з початковим, а 90 – максимально очищене від шуму зображення, яке ще не є достатньо спотвореним. В тілі функції  $DI(M, \text{thresh})$  використовуються як вбудовані в Mathcad функції операцій над матрицями ( $\text{wave}(M)$ ,  $\text{cols}(M)$ ,  $\text{rows}(M)$ ,  $\text{floor}(x)$ ,  $\text{submatrix}(A, m1, mN1, n1, nN2)$  [4]), так і створені допоміжні функції, рис. 3, а саме:

$\text{conv2D}(f, A)$  – виокремлює вектори стовпців матриці  $A$  і виконує над ними дію функції  $f$  і перетворені вектори знов збирає до матриці;

$\text{matr2vect}(A)$  – доповнює матрицю  $A$  однією колонкою;

$\text{small2zero}(x, th)$  – виставляє границю чутливості елементу  $x$  – повертає значення  $x$ , якщо  $x > th$ , інакше  $x=0$ ;

$\text{Threshold}(A, th)$  – векторизує функцію  $\text{small2zero}(x, th)$  для вектору  $A$ .

```

RI(M) :=
M1 ← M
⎛ width ⎞
⎜ height ⎟ ← ⎛ cols(M1) ⎞
⎛ W ⎞
⎜ H ⎟ ← ceil2row(⎛ width ⎞)
⎜ height ⎟
for n ∈ 1..height
  N1_n ← 0
for n ∈ width + 1..W
  M1 ← augment(M1, N1)
for m ∈ 1..W
  N2_m ← 0
N3 ← N2T
for m ∈ height + 1..H
  M1 ← stack(M1, N3)
M1
    
```

Рисунок 1. Лістинг з програми Mathcad функції  $RI(M)$ , яка доповнює матрицю інтенсивностей зображення  $M$  нулями до необхідного розміру

```

DI(M, thresh) :=
M1 ← M
M1 ← RI(M1)
⎛ width ⎞
⎜ height ⎟ ← ⎛ cols(M1) ⎞
⎛ W ⎞
⎜ H ⎟ ← ceil2row(⎛ width ⎞)
⎜ height ⎟
N ← conv2D(wave, M1)
v ← matr2vect(N)
v ← sort(|v|)
skip1 ← W·H - width·height + floor(0.01·thresh·width·height)
th1 ← v[skip1]
N11 ← N
N11 ← Threshold(N11, th1)
M21 ← conv2D(iwave, N)
M21 ← submatrix(M21, 1, height, 1, width)
M21
    
```

Рисунок 2. Лістинг з програми Mathcad функції  $DI(M)$ , яка здійснює пряме і зворотне перетворення Добеші 4-го порядку

```

conv2D(f,A) :=  $\left\{ \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..cols(A) \\ A^{(j)} \leftarrow f(A^{(j)}) \\ A \leftarrow A^T \\ \text{for } j \in 1..cols(A) \\ A^{(j)} \leftarrow f(A^{(j)}) \\ A^T \end{array} \right.$ 
matr2vect(A) :=  $\left\{ \begin{array}{l} v \leftarrow A^{(1)} \\ \text{for } i \in 2..cols(A) \\ v \leftarrow stack(v,A^{(i)}) \\ v \end{array} \right.$ 
small2zero(x,th) := if(|x| < th, 0, x)
Threshold(A,th) :=  $\overrightarrow{small2zero(A,th)}$ 

```

Рисунок 3. Лістинг з програми Mathcad допоміжних функцій

### РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ФІЛЬТРУ

На рис. 4 представлені початкова фотографія (а), і фотографії після зворотного перетворення Добеші з 2-ма різними ступенями гасіння шуму – (б) - з thresh=10 і (в) - з thresh=88. В якості тестової, була взята фотографія з тепловізора FLIR FC серії S.



(а)

(б)

(в)

Рисунок 4. Фотографія з тепловізора FLIR FC серії S

(а) – початкова та після зворотного перетворення Добеші з thresh=10, (б) з thresh=88

Візуальні відмінності між фотографіями (а)-(в) майже не помітні, тому для кількісної характеристики ступеню очищення фотографій від шумів обираємо статистичний критерій - метрику PSNR (peak signal-to-noise ratio - пікове співвідношення сигнал/шум) [2-3], яка визначається формулою:

$$PSNR(x_i, y_i) = 10 \cdot \log_{10} \left( 255 / \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(x_i, y_i)^2} \right) \quad (1)$$

де  $d(x_i, y_i)$  – різниця між значеннями пікселів  $x_i, y_i$ , де  $x_i$  - пікселі в початковому зображенні,  $y_i$  - пікселі в перетвореному зображенні,  $N$  - загальне число пікселів у кожному зображенні. PSNR( $x_i, y_i$ ) вимірюється у ДБ і чим ближче відфільтроване зображення до оригіналу, тим більше значення PSNR, і тим вище вважається якість роботи алгоритму. У якості тестового зображення в Mathcad сгенеруємо чорно-біле зображення за формулою:

$$M_{p,q} = 1000 \cdot \cos(p/100) \cdot \sin(q/100) \quad (2)$$

Додаємо на зображення шум вбудованою в Mathcad функцією  $\text{addnoise}(A,s,N)$ , яка повертає матрицю пікселів з шумом, розподіленим за Гаусом з дисперсією  $s$  і кількістю ушкоджених пікселів  $N$ . Виконаємо вейвлет-перетворення тестового зображення і розрахуємо для отриманих перетворених зображень значення  $\text{PSNR}(x_i, y_i)$ . Для тестового зображення з'ясовано, що  $\text{PSNR}(x_i, y_i)$  для видалення шуму з  $\text{thresh}=10$  становить 10,188 ДБ, а для видалення шуму з  $\text{thresh}=88$  – 18,021 ДБ. Зміна діапазону значення  $\text{thresh}$  в менший бік не призводить до зміни значення  $\text{PSNR}(x_i, y_i)$ , а зростання цього значення призводить до розмиття зображення, що видно з рис. 5 (в) та рис. 5 (а). Тому для покращення очищення зображення від шуму запропоновано використати фільтр  $f$ , що є лінійною комбінацією вейвлет-перетворених сигналів  $y_{l_i}$  з  $\text{thresh}=10$  і  $y_{2_i}$  з  $\text{thresh}=88$ :

$$f(x_i) = a_1 \cdot y_{l_i} + a_2 \cdot y_{2_i} \quad (3)$$

де сума  $a_1, a_2$  коефіцієнтів складає одиницю. Останнє потрібно для того, щоб інтенсивність пікселів не перевищувала стандартного значення 255 (255 – білий колір, 0-чорний). На рис. 5 представлені фотографії тестового зображення (а) і зображень після операцій над ним – додавання шуму, розподіленого за Гаусом (б) та фільтрації від нього (в)-(г). Як показали розрахунки метрики  $\text{PSNR}(x_i, y_i)$ , табл. 1, найбільше значення  $\text{PSNR}=12,055$  ДБ відповідає коефіцієнтам  $a_1=0.1$ ,  $a_2=0.9$ .

Таблиця 1. Розрахунки  $\text{PSNR}(x_i, y_i)$  для фільтру  $f$  при різних значеннях коефіцієнтів фільтру  $a_1, a_2$ .

номер фільтру	1	2	3	4	5	6
$a_1$	1	0	0,13	0,12	0,1	0,09
$a_2$	0	1	0,87	0,88	0,9	0,91
$\text{PSNR}(x_i, y_i)$ , ДБ	10,188	12,021	12,053	12,055	12,055	12,054

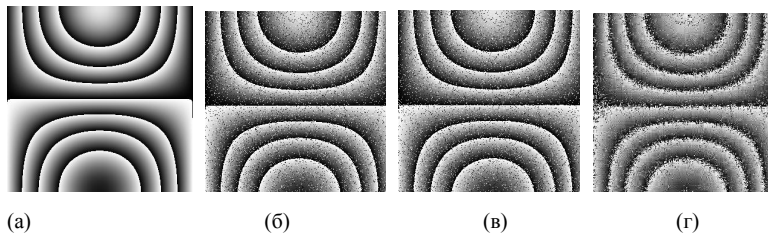
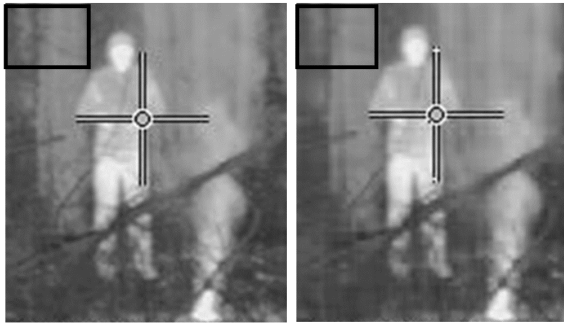


Рисунок 5. Фотографія тестового зображення:

(а) – генерованого формулою (2), (б) – з додаванням шуму, розподіленого за Гаусом з дисперсією 0,1 і кількістю пікселів шуму 300, (в) та (г) – зображення, відфільтровані вейвлет-перетворенням Добеші з  $\text{thresh}=10$  і  $\text{thresh}=88$  відповідно.



(а)

(б)

Рисунок 6. Збільшена ділянка фотографії з тепловізора FLIR FC серії S: (а) – початкова та (б) – після дії фільтру (3) з оптимальними коефіцієнтами  $a_1 = 0,1$ ,  $a_2 = 0,9$

Застосуємо фільтр (3) з коефіцієнтами  $a_1 = 0,1$ ,  $a_2 = 0,9$  для фільтрації від шумів тепловізійного зображення рис. 4 (а). Результат фільтрації зображено на рис. 6 (б). Порівнюючи фотографії (а) і (б) рис. 6, видно (виділено прямокутником), що після дії фільтру ділянки зображення є більш однорідними за кольором. З одного боку,

видалення шумів сприяє покращенню зображень, з іншого боку – ступінь очищення зображень не повинно призводити до втрати корисної інформації.

## ВИСНОВОК

Встановлено, що за метрикою  $PSNR(x_i, y_i)$  найбільш ефективним для зменшення шумів в тепловізійному зображенні, методом вейвлет-перетворення Добеші 4-го порядку, є фільтр  $f(x_i) = 0,1 \cdot y_{l_i} + 0,9 \cdot y_{2_i}$ , де  $y_{l_i}$  та  $y_{2_i}$  - вейвлет перетворювані сигнали з параметрами  $thresh=10$  і з  $thresh=88$ , що відповідають мінімально можливому та максимально можливому ступеням очищення зображення. Даний фільтр пропонується використовувати для зменшення шумів будь-якого двовимірного зображення, зокрема для зображень тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семёнов В. Цифровая обработка сигнала микроболометра // Современная электроника. — 2008. — № 3. — С. 44-47.
2. Колобродов В. Г. Проективання тепловізійних систем спостереження: підручник / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.
3. Воскобойников Ю.Е. Фильтрация сигналов и изображений: Фурье и вейвлет алгоритмы : Монография / Ю.Е. Воскобойников, А.В. Гочаков, А.Б. Колкер. Новосибирск: НГАСУ (СибСТРИН). - 2011. - 188 с.
4. Паранчук Я. С., Мороз В. І. Обчислювання та програмування в Mathcad / Я. С. Паранчук, В. І. Мороз // Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. -364 с