

АВТОМАТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГАУСОВОГО ШУМУ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ МЕТОДОМ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИОКРЕМЛЕНИХ ОБЛАСТЕЙ

Анотація. Розроблено математичну модель, алгоритм і програмне забезпечення для автоматичного визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом високочастотної фільтрації. Рівень шуму обчислено для областей інтересу зображення, виокремлених за допомогою низькочастотної фільтрації. Отримано оптимальні параметри низькочастотного та високочастотного фільтрів. Показано, що при обробленні серії тестових зображень запропонований метод забезпечує меншу похибку визначення рівня шуму, ніж інші методи-аналоги.

Ключові слова: цифрове оброблення зображень, визначення рівня шуму, адитивний білий гаусовий шум, згортка, високочастотна фільтрація, область інтересу.

ВСТУП

Точне обчислення рівня шуму на цифрових зображеннях необхідне для ефективного проведення наступних етапів їхнього оброблення: підвищення контрасту, низькочастотної та високочастотної фільтрації, виділення контурів, сегментації, розпізнавання образів та ін. [1–3]. До того ж експериментальні значення рівнів шуму на зображеннях, зчитаних з фоточутливих сенсорів, дозволяють оцінити якість роботи таких сенсорів [2]. Наявні методи обчислення рівня шуму на зображеннях часто дають значну похибку, а деякі методи передбачають оброблення зображень у ручному режимі, тому розроблення методу точного і автоматичного визначення рівня шуму на зображеннях є важливою задачею цифрового оброблення сигналів.

У цій роботі розглянемо шум в моделі адитивного білого гаусового шуму (additive white Gaussian noise — AWGN), оскільки така модель є досить поширеною [1, с. 336; 2, с. 149–161]. Шум в моделі AWGN далі будемо називати гаусовим шумом. Рівень гаусового шуму визначають середнім квадратичним відхиленням (СКВ) шуму σ_N . Розрізняють такі основні методи обчислення рівня шуму на зображеннях: 1) метод аналізу гістограм [3, с. 168–171]; 2) метод, що базується на фільтрації (filter-based approaches) [4, 5]; 3) метод головних компонентів (principal component analysis — PCA) [4]; 4) статистичний метод (statistical approaches) [4, 6]; 5) метод аналізу Фур'є спектрів [3]; 6) метод, оснований на використанні вейвлет-перетворень (wavelet transform) [5]. Виокремлена область зображення, в межах якої обчислюють рівень шуму, називається також областю інтересу (region of interest — ROI) [3, с. 168–171]. Як область ROI можна використовувати все зображення або його частину (на якій переважають ділянки зі значною шумовою складовою). У цій роботі використано метод визначення рівня шуму [1, 7], що базується на високочастотній фільтрації зображень і має високу точність і швидкодію. Проте точність методу високочастотної фільтрації, так само як й інших перелічених методів, значно знижується для зображень з чіткими контурами і яскраво вираженими текстурами.

У цій статті запропоновано розв'язання описаної проблеми за рахунок обчислення рівня шуму на зображеннях методом високочастотної фільтрації тільки в областях інтересу — ROI. Оскільки до таких областей не належать області зображень з чіткими контурами і яскраво вираженими текстурами, значення рівня шуму в межах ROI обчислюються з меншою похибкою. Точне виокремлення областей інтересу виконують з урахуванням зміни СКВ гаусового шуму для фільтрації зображень. Програмну реалізацію методу обчислення рівня шуму виконано в системі MATLAB [3].

© С.В. Баловсяк, Х.С. Одайська, 2018

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГАУСОВОГО ШУМУ
МЕТОДОМ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ**

Густина розподілу ймовірності (probability density function — PDF) для гаусового шуму визначає формула [1, с. 335]

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_N} \exp\left(-\frac{(z-z_C)^2}{2\sigma_N^2}\right), \quad (1)$$

де z — яскравість зображення, z_C — математичне сподівання шуму, σ_N — СКВ шуму.

Початкове цифрове зображення з шумом (у відтинках сірого) розміром $M \times N$ пікселів зчитують у вигляді прямокутної матриці $f_n = (f_n(i, k))$, де $i = 1, \dots, M$, $k = 1, \dots, N$ (рис. 1, а, б) [3]. Високочастотну просторову фільтрацію [1, 3] виконують за допомогою згортки початкового зображення f_n з високочастотним ядром фільтра $w_L = (w_L(m, n))$ розміром $M_w \times N_w$ елементів:

$$f_h(i, k) = \sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} f_n(i-m+m_c, k-n+n_c) \cdot w_L(m, n), \quad (2)$$

де $f_h = (f_h(i, k))$ — фільтроване зображення (такого ж розміру, що й f_n), $i = 1, \dots, M$, $k = 1, \dots, N$; M_w — висота ядра фільтра; N_w — ширина ядра фільтра; m_c — центр ядра фільтра за висотою; n_c — центр ядра фільтра за шириною.

Операцію згортки зображення f_n з ядром w_L спрощено записують у вигляді

$$f_h = f_n * w_L. \quad (3)$$

Високочастотний фільтр повинен виокремлювати на зображенні горизонтальну, вертикальну і діагональні складові шуму, тому значення елементів ядра w_L високочастотного фільтра обчислюють як різницю двох ядер Лапласа [8] за формулою

$$w_L = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

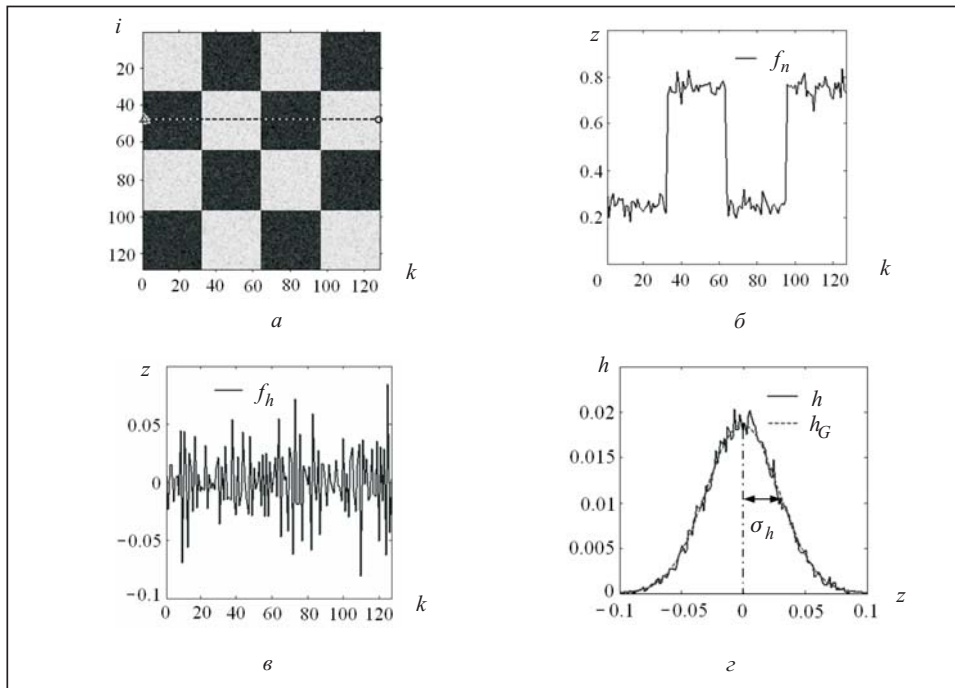


Рис. 1

Результатом згортки (3) є зображення шумової складової f_h (рис. 1, в). Для зображення f_h обчислюють СКВ σ_h його гістограми $h(z)$ (рис. 1, з). На горизонтальній осі гістограми відкладаємо значення яскравості z , а на вертикальній — відносну кількість пікселів h_b зі значенням яскравості, яке потрапляє до заданого напівінтервалу $z_b \leq z < z_{b+1}$, де $b=1, \dots, Q_h$, Q_h — кількість напівінтервалів, на які поділено яскравість z .

На рис. 1 наведено приклад визначення рівня гаусового шуму методом високочастотної фільтрації на зображенні шахових клітин, до якого програмно додано гаусовий шум з теоретичним СКВ $\sigma_N = 3\%$. На рис. 1, а показано початкове зображення f_n , маркерами вказано початок і кінець профілю, $N = M = 128$, $\min f_n = 0.14$, $\max f_n = 0.86$; профіль початкового зображення f_n і профіль зображення шумової складової f_h показано на рис. 1, б та 1, в відповідно. На рис. 1, з наведено гістограму $h(z)$ зображення f_h , $\sigma_h = 0.0295$, $Q_h = 256$, h_G — розподіл Гауса, який апроксимує гістограму $h(z)$.

Оскільки на зображенні f_n є гаусовий шум з СКВ σ_N , значення кожного пікселя зображення f_n можна розглядати як випадкову величину з дисперсією $D_N = \sigma_N^2$. Дисперсію гаусового шуму для довільного пікселя зображення f_h , отриманого в результаті згортки f_n з ядром w_L (розміром $M_w \times N_w$ елементів) за формулою (2), обчислимо як дисперсію D_{NC} середнього арифметичного $M_w \times N_w$ однаково розподілених взаємно незалежних випадкових величин $f_n(i_1, k_1)$, які помножено на відповідні елементи ядра $w_L(m, n)$. Тоді дисперсію D_{NC} зображення f_h обчислюємо так:

$$D_{NC} = D(f_h(i, k)) = D\left(\sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} f_n(i_1, k_1) \cdot w_L(m, n)\right) = D_N \sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} w_L^2(m, n), \quad (5)$$

де D_N — дисперсія кожної з випадкових величин $f_n(i_1, k_1)$, $D_N = D(f_n(i_1, k_1))$, $i_1 = i - m + m_c$, $k_1 = k - n + n_c$. У формулі (5) використано такі властивості дисперсії: постійний множник можна винести за знак дисперсії, якщо піднести його до квадрата; дисперсія суми незалежних величин дорівнює сумі дисперсії складових [9, с. 85–98]. Враховуючи (5), обчислимо СКВ гаусового шуму σ_{NC} для зображення f_h :

$$\sigma_{NC} = \sqrt{D_{NC}} = \sigma_N \sqrt{\sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} w_L^2(m, n)}. \quad (6)$$

Значення СКВ гаусового шуму σ_{NC} на зображенні f_h дорівнює СКВ σ_h його гістограми, тому з урахуванням (6) експериментальне значення СКВ шуму σ_{NE} (%), отримане високочастотною фільтрацією, обчислюємо через СКВ σ_h :

$$\sigma_{NE} = \sigma_h \frac{100}{\sqrt{\sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} w_L^2(m, n)}}. \quad (7)$$

Для ядра w_L , яке описано формулою (4), значення σ_{NE} з урахуванням формули (7) має вигляд

$$\sigma_{NE} = 100\sigma_h. \quad (8)$$

Описану послідовність обчислення рівня шуму σ_{NE} можна застосовувати як для всього зображення, так і для виокремлених областей ROI.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГАУСОВОГО ШУМУ НА ЗОБРАЖЕННЯХ МЕТОДОМ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИОКРЕМЛЕНИХ ОБЛАСТЕЙ

На зображенні шумової складової f_h (див. рис. 1, в) для зменшення похибки обчислення рівня шуму потрібно вилучити із ROI області контурів і текстур. Детектування областей ROI передбачає просторове усереднення рівня шуму на зображенні f_h , для чого спочатку обчислюємо зображення f_d як абсолютну величину f_h ,

$$f_d = |f_h|, \quad (9)$$

а потім виконуємо згортку зображення f_d з ядром фільтра Гауса з СКВ σ_{wG} . У результаті такого оброблення отримуємо усереднене зображення рівня шуму f_{dc} (рис. 2, а):

$$f_{dc} = f_d * w_G. \quad (10)$$

На рис. 2 наведено приклад визначення рівня гаусового шуму запропонованим методом на зображенні (див. рис. 1, а). На рис. 2, а показано профілі зображення f_d та усередненого зображення рівня шуму f_{dc} , $T_h = 0.0286$ — поріг f_{dc} , $z_C = 0.0237$ — математичне сподівання f_{dc} , СКВ ядра фільтра Гауса $\sigma_{wG} = 4$. На рис. 2, б наведено зображення f_{ROI} області ROI (чорні області не належать ROI) для ітерації $n_T = 1$, $T_h = 0.0286$, $A_{ROI} = 0.9772$, а на рис. 2, в — зображення f_{ROI} області ROI для ітерації $n_T = 3$, A_{ROI} — відносна площа області ROI, яка дорівнює 0.9298, $T_h = 0.0273$. На рис. 2, г показано графік ітераційного уточнення $\sigma_h = 0.0288$ залежно від номеру ітерації n_T , експериментальний рівень шуму $\sigma_{NE} = 2.93\%$.

До області ROI належать тільки ті пікселі зображення f_h , для яких значення відповідного пікселя f_{dc} не перевищує встановленого порога T_h (див. рис. 2, б). Належність пікселів до області ROI записуємо у матриці f_{ROI} і визначаємо за таким правилом:

$$f_{ROI}(i, k) = \begin{cases} 1, & f_{dc}(i, k) \leq T_h, \\ 0, & f_{dc}(i, k) > T_h, \end{cases} \quad (11)$$

де $i = 1, \dots, M$, $k = 1, \dots, N$, T_h — поріг області ROI.

Початкові значення σ_h обчислюють для всього зображення f_h , заданого на рис. 1, г, а після обчислення області ROI — тільки з урахуванням пікселів, які належать ROI (див. рис. 2, б).

Поріг T_h , який визначає належність пікселя до ROI, обчислюється за формулою

$$T_h = z_C + k_{\sigma Th} \cdot \sigma_{fdc}, \quad (12)$$

де z_C — математичне сподівання зображення f_{dc} ; σ_{fdc} — середнє квадратичне відхилення f_{dc} ; $k_{\sigma Th}$ — коефіцієнт порога.

Математичне сподівання z_C зображення f_{dc} обчислюють як середнє арифметичне відхилення [10, с. 576–578] для розподілу інтенсивності зображення f_h .

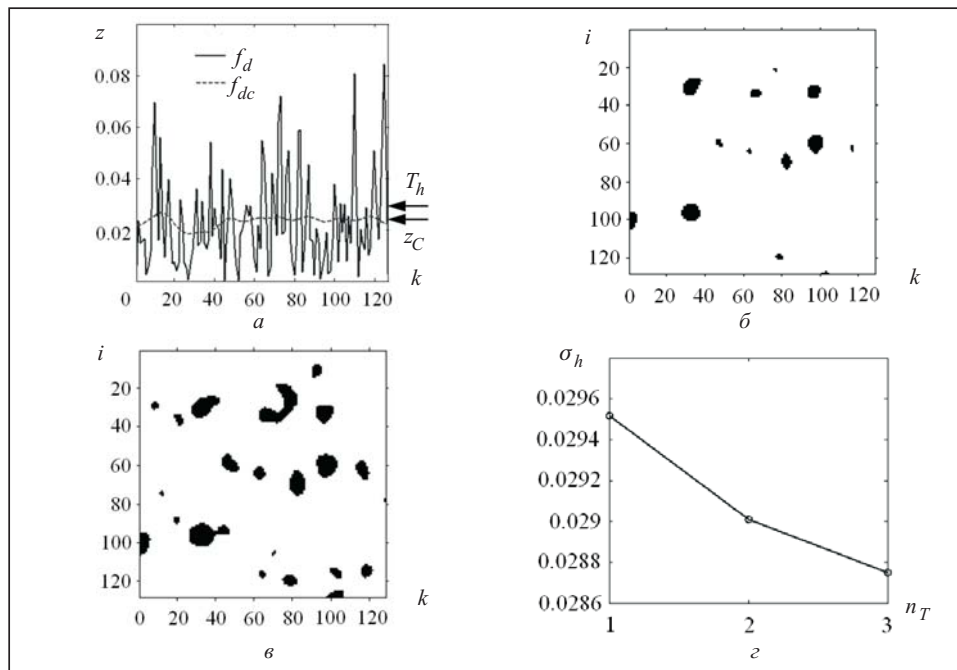


Рис. 2

Оскільки на зображенні f_h переважає гаусовий шум з СКВ σ_h , тому з урахуванням (7) маємо

$$z_C = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \sqrt{\sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} w_L^2(m, n)} \cdot \sigma_h = 0.798 \sigma_h. \quad (13)$$

Значення СКВ $\sigma_{f_{dc}}$ зображення f_{dc} обчислюють за формулою, аналогічною формулі (6), у якій невідоме значення СКВ шуму σ_N замінено на його наближення σ_h :

$$\sigma_{f_{dc}} = \sigma_h \sqrt{\sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} w_G^2(m, n)}. \quad (14)$$

Значення коефіцієнта порога $k_{\sigma_{Th}}$ вибрано так, щоб у зображенні f_{dc} більшість значень шуму були меншими за поріг T_h (див. (12)). За правилом 3σ для $k_{\sigma_{Th}} = 3$ практично всі значення гаусового шуму (більші ніж 99.7 %) [9] будуть меншими за поріг T_h .

Результати визначення рівня гаусового шуму у серії тестових зображень з низькочастотним та високочастотним корисними сигналами [11, 12], до яких попередньо програмно додавався гаусовий шум з СКВ σ_N , показали, що мінімальну середню квадратичну похибку обчислення експериментального СКВ шуму σ_{NE} (відносно σ_N) отримано з такими параметрами.

1. Значення СКВ ядра фільтра Гауса $\sigma_{wG} = 4$ для згортки зображення f_d (див. рис. 2, а).

2. Поріг T_h області ROI обчислюють за формулою (12) для значення коефіцієнта порога $k_{\sigma_{Th}} = 2.0$ і СКВ ядра фільтра Гауса $\sigma_{wG} = 4$; тому формула (12) з урахуванням (13) і (14) набуває вигляду

$$T_h = 0.798 \sigma_h + 2.0 \cdot 0.071 \sigma_h = 0.940 \sigma_h. \quad (15)$$

3. Експериментальне СКВ шуму σ_{NE} (у відсотках) обчислюють через СКВ σ_h за уточненою формулою (8):

$$\sigma_{NE} = (\sigma_h \cdot 100)^{k_{\sigma_h}}, \quad (16)$$

де $k_{\sigma_h} = 1.018$ — коефіцієнт нелінійності σ_h ; цей коефіцієнт враховує той факт, що на зображенні f_h міститься не вся шумова складова, а це призводить до зменшення σ_h .

Визначення рівня гаусового шуму на зображеннях запропонованим методом відбувається за алгоритмом, наведеним на рис. 3.

Спочатку зчитують початкове зображення f_n і створюють ядро w_L високочастотного фільтра. На основі f_n обчислюють зображення шумової складової f_h та її модуля f_d за формулами (3) і (9) відповідно. Усереднене зображення рівня шуму f_{dc} обчислюють шляхом згортки зображення f_d з ядром фільтра Гауса w_G (10). Для зображення f_h обчислюють СКВ σ_h його гістограми $h(z)$. Далі в циклі з лічильником n_T відбувається процес уточнення області ROI та відповідного їй СКВ σ_h зображення f_h . Для кожної ітерації обчислюють поріг T_h (15). На основі порога і усередненого зображення рівня шуму f_{dc} обчислюють зображення області ROI, де функцію ψ_1 описано формулою (11). Якщо зміна σ_h для ітерації n_T відносно попереднього значення $\sigma_h(n_T - 1)$ не перевищує константи Δ_{σ_h} (наприклад, $\Delta_{\sigma_h} = 0.004$), то процес уточнення σ_h завершується. Експериментальне значення СКВ шуму σ_{NE} обчислюють через уточнене СКВ σ_h , де функцію ψ_2 визначає формула (16).

За схемою, яка наведена на рис. 3, визначено рівень гаусового шуму на зображенні f_n (див. рис. 1, а); в результаті отримано уточнене зображення області ROI, а також значення σ_h та σ_{NE} (див. рис. 2). Обчислене значення рівня шуму σ_{NE} близьке до теоретичного σ_N (різниця складає 0.07 %).

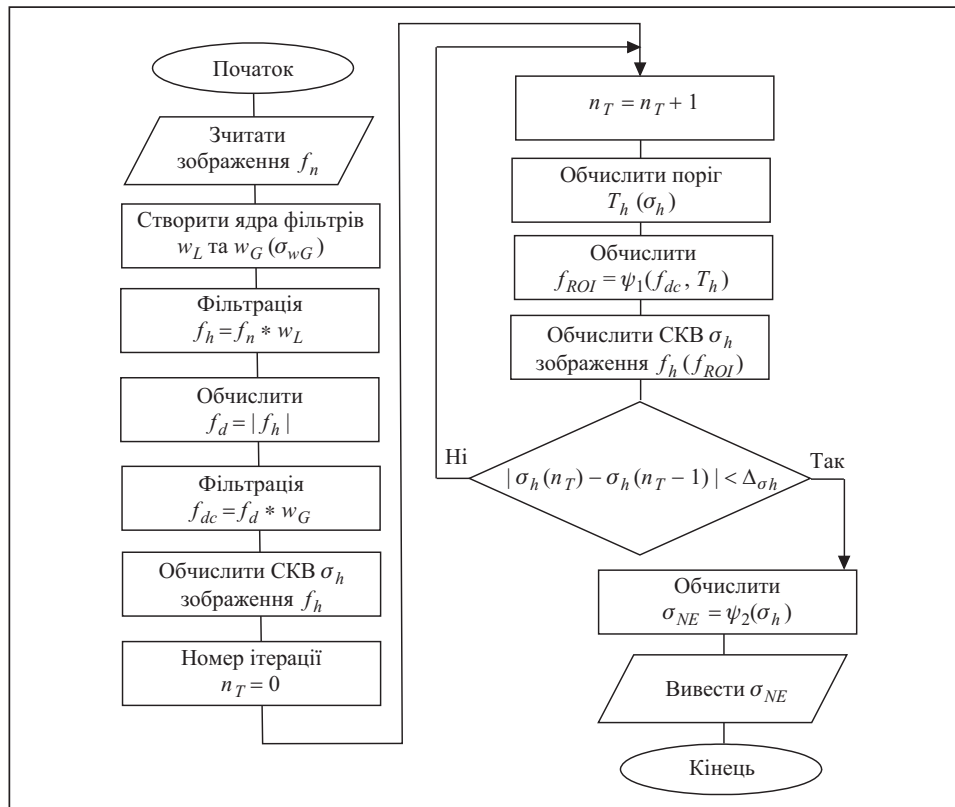


Рис. 3

ТЕСТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГАУСОВОГО ШУМУ

Перевірку точності розробленого методу HROI (high-frequency filtration & region of interest) визначення рівня гаусового шуму, який базується на високочастотній фільтрації та виокремленні області інтересу, проведено під час обчислення експериментального СКВ σ_{NE} шуму у серії зображень. Запропонований метод забезпечує високу точність визначення рівня шуму навіть у зображеннях з текстурою. На рис. 4 наведено приклад визначення рівня гаусового шуму запропонованим методом HROI на фрагменті зображення «Mountain» [11, 12] з текстурою, до якого програмно додано гаусовий шум з теоретичним СКВ $\sigma_N = 3\%$. На рис. 4, а показано початкове зображення f_n , $N = M = 208$; $\min f_n = -0.016$, $\max f_n = 1.071$. На рис. 4, б показано зображення f_{ROI} області ROI для ітерації $n_T = 1$, $T_h = 0.0550$, $A_{ROI} = 0.7449$, а на рис. 4, в — зображення f_{ROI} області ROI для ітерації $n_T = 8$, $T_h = 0.0265$, $A_{ROI} = 0.1819$. На рис. 4, г наведено графік ітераційного уточнення σ_h залежно від номеру ітерації n_T , $\sigma_h = 0.0282$, експериментальний рівень шуму $\sigma_{NE} = 2.88\%$.

Для більшості зображень, які не містять яскраво виражених текстур, обчислені запропонованим методом значення СКВ шуму σ_{NE} практично не відрізняються від теоретичних σ_N . На рис. 5 наведено результати визначення експериментального СКВ σ_{NE} гаусового шуму запропонованим методом HROI для тестової множини бази BSDS300 (100 зображень) [11, 12], до яких програмно додано гаусовий шум з теоретичними СКВ σ_N (1, 5, 10, 15 %); n_i — номер зображення в базі, номеру $n_i = 28$ відповідає зображення «gravel»; σ_{NE1} — експериментальні значення СКВ шуму для $\sigma_N = 1\%$; σ_{NE5} — для $\sigma_N = 5\%$; σ_{NE10} — для $\sigma_N = 10\%$; σ_{NE15} — для $\sigma_N = 15\%$. Найбільшу похибку обчислення σ_{NE} отримано для зображення з номером 28, оскільки майже на всій його площі є текстур, подібні

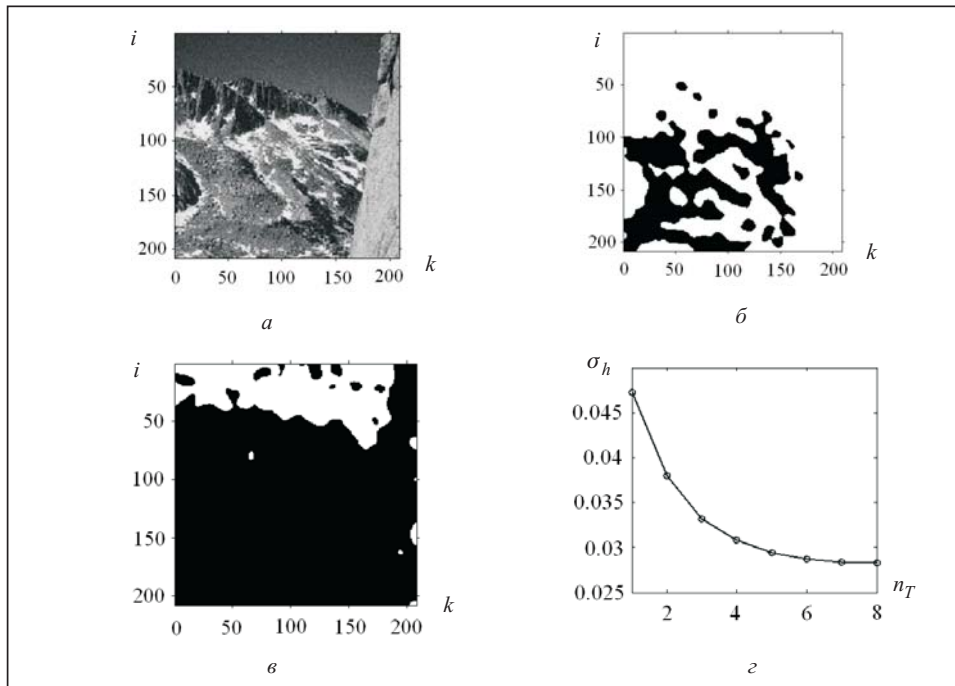


Рис. 4

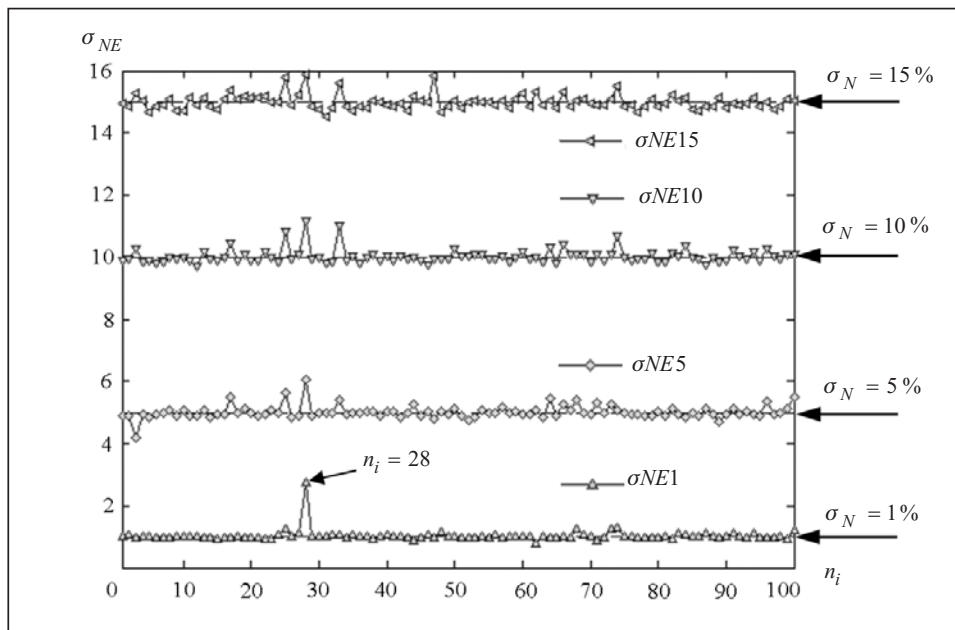


Рис. 5

до шуму. На рис. 6 наведено приклад визначення рівня гаусового шуму запропонованим методом HROI на зображенні «gravel» [11, 12] з яскраво вираженими текстурами, до якого програмно додано гаусовий шум з теоретичним СКВ $\sigma_N = 3\%$. На рис. 6, а показано початкове зображення f_n , $N = 481$, $\min f_n = 0.070$, $M = 321$, $\max f_n = 1.090$. На рис. 6, б показано зображення f_{ROI} області ROI для останньої ітерації $n_T = 10$, $T_h = 0.0403$, $A_{ROI} = 0.2668$; експериментальний рівень шуму $\sigma_{NE} = 4.38\%$.

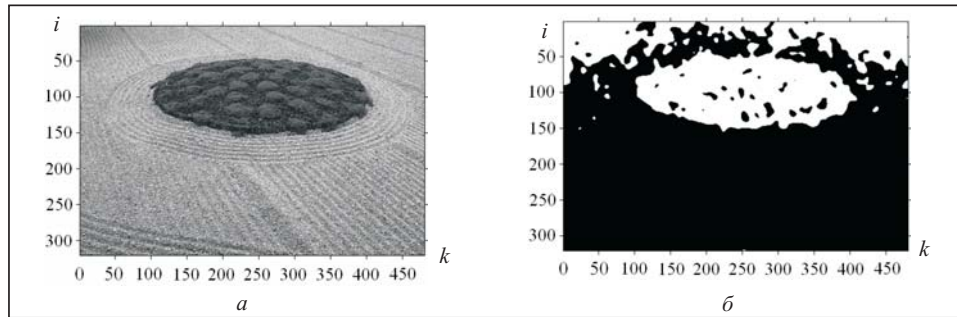


Рис. 6

Таблиця 1

Теоретичне значення σ_N , %	Статистичний метод [6]		Метод PCAP		Запропонований метод HROI	
	σ_{NEA}	R_{MSE}	σ_{NEA}	R_{MSE}	σ_{NEA}	R_{MSE}
1	2.151	2.011	1.068	0.304	1.019	0.189
5	4.994	1.445	5.022	0.263	5.012	0.212
10	9.737	1.61	10.052	0.264	10.027	0.231
15	14.626	1.634	15.035	0.264	14.994	0.233
Середнє значення 1...15		1.688		0.274		0.217

У табл. 1 наведено результати визначення експериментального СКВ σ_{NE} (%) гаусового шуму статистичним методом (statistical approaches) [6], методом PCAP (методом головних компонент з селективними областями, PCA with selected patches) [4] та запропонованим методом HROI (див. рис. 5) для тестової множини (100 зображень) бази BSDS300 [11, 12], до яких програмно додано гаусовий шум з теоретичним СКВ σ_N ; σ_{NEA} — середнє значення σ_{NE} ; R_{MSE} — корінь середньої квадратичної помилки (root mean square error — RMSE), яка обчислена між значеннями σ_{NE} та σ_N (для всіх зображень).

Результати показують, що похибка R_{MSE} запропонованого методу HROI на порядок менша за похибку статистичного методу і на 0.057 % менша за похибку методу PCAP. Запропонований метод також показав високу збіжність — для виокремлення області ROI потрібно в середньому сім ітерацій.

ВИСНОВКИ

— Розроблено метод автоматичного визначення рівня шуму на цифрових зображеннях, а саме СКВ σ_{NE} гаусового шуму. Метод полягає у високочастотній фільтрації зображення, виокремленні області ROI з переважаючою шумовою складовою, в обчислюванні гістограми виокремленої області, середнього квадратичного відхилення σ_h гістограми та в розрахунку рівня шуму σ_{NE} на основі значення σ_h .

— Побудовано математичну модель фільтрації зображень з гаусовим шумом, яка дозволила враховувати зміну СКВ гаусового шуму в результаті згортки зображення з ядрами високочастотного та низькочастотного фільтрів.

— Новизна роботи полягає у використанні двовимірної функції Гауса з СКВ $\sigma_{wG} = 4$ як низькочастотного фільтра для виокремлення областей ROI, а також в отриманні емпіричної формули (15), щоб обчислити поріг для виокремлення областей ROI. Таким чином забезпечується мінімальна похибка обчислення рівня шуму σ_{NE} .

— Запропонований метод програмно реалізовано в системі MATLAB. Точність методу перевірено під час оброблення множини 100 тестових зображень, до того ж корінь середньої квадратичної помилки обчислення σ_{NE} дорівнює 0.217 %, що на 0.057 % менше, ніж для найкращого методу-аналогу PCAP.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Bovik A.L. The essential guide to image processing. Elsevier Inc., 2009. 853 p.
3. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. Москва: Техносфера, 2006. 616 с.
4. Liu X., Tanaka M., Okutomi M. Single-image noise level estimation for blind denoising. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2013. Vol. 22, N 12. P. 5226–5237.
5. Pyatykh S., Hesser J., Zheng L. Image noise level estimation by principal component analysis. *IEEE Transaction on Image Processing*. 2013. Vol. 22, N 2. P. 687–699.
6. Zoran D., Weiss Y. Scale invariance and noise in natural images. *Proc. IEEE 12th Int. Conf. Comput. Vis.*, Sept.–Oct. 2009. P. 2209–2216.
7. Яджак М.С., Тютюнник М.И. Оптимальный алгоритм решения задачи цифровой фильтрации с использованием адаптивного сглаживания. *Кибернетика и системный анализ*. 2013. № 3. С. 142–151.
8. Immerkaer J. Fast noise variance estimation. *Computer Vision and Image Understanding*. 1996. Vol. 64, N 2. P. 300–302.
9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: Высш. шк., 2003. 479 с.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. Москва: Наука, 1974. 832 с.
11. Fowlkes C., Martin D., Malik J. Local figure/ground cues are valid for natural images. *Journal of Vision*. 2007. Vol. 7 (8), N 2. P. 1–9.
12. The Berkeley segmentation dataset and benchmark. BSDS300. URL: <https://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds>.

Надійшла до редакції 07.07.2017

С.В. Баловсяк, Х.С. Одайская

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ГАУССОВОГО ШУМА НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕТОДОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Аннотация. Разработана математическая модель, алгоритм и программное обеспечение для автоматического определения уровня гауссового шума на цифровых изображениях методом высокочастотной фильтрации. Уровень шума вычислен для областей интереса изображения, выделенных с помощью низкочастотной фильтрации. Получены оптимальные параметры низкочастотного и высокочастотного фильтров. Показано, что при обработке серии тестовых изображений предложенный метод обеспечивает меньшую погрешность определения уровня шума, чем другие методы-аналоги.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, определение уровня шума, аддитивный белый гауссовый шум, свертка, высокочастотная фильтрация, область интереса.

S.V. Balovsyak, Kh.S. Odaiska

AUTOMATIC DETERMINATION OF GAUSSIAN NOISE LEVEL ON DIGITAL IMAGES BY THE METHOD OF HIGH-PASS FILTRATION FOR THE SELECTED REGIONS

Abstract. A mathematical model, algorithm, and software are developed for automatic determination of Gaussian noise level on digital images by the method of high-pass filtration. The noise level is calculated for the regions of interest of image, selected by low-pass filtration. The optimal parameters of low-pass and high-pass filters are obtained. Processing a series of test images showed that the proposed method provides the less error of noise level determination than other analogues methods do.

Keywords: digital image processing, determination of noise level, additive white Gaussian noise, convolution, high-pass filtration, region of interest.

Баловсяк Сергій Васильович,

кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, e-mail: s.balovsyak@chnu.edu.ua.

Одайська Христина Савеліївна,

здобувач Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, e-mail: k.odaiska@chnu.edu.ua.