

УДК 004.93

**КОМПОЗИЦІЯ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ****Д. П. Кучеров, д-р техн. наук, Р. Г. Кацалап, Л. В. Зброжек**

Національний авіаційний університет

d_kuchеров@ukr.net

Розглянуто методи підвищення якості цифрових зображень викривлених шумом. Спотворення шумами проявляється у вигляді накладання на вихідне зображення перешкоджаючого сигналу. Найбільш поширеними видами завад є шум Гаусса, імпульсний шум та результат їх комплексної дії. Для зниження рівня шуму використовують різні методи фільтрації зображень. Розрізняють просторову та частотну фільтрацію. Ідея фільтрації полягає в накладанні маски певної форми на пошкоджене зображення. Для виключення шумів досліджуються методи просторової фільтрації, такі як усереднююча, медіанна та частотна фільтрації. Просторова, усереднююча згладжують шумові викиди, а частотна фільтрація мінімізує рівень сигналу шуму на зображенні. Результати застосування фільтрів приводять до втрати різкості зображення. Для поліпшення різкості зображення використовуються підходи, що виявляють значні перепади інтенсивності пікселів. До таких методів належить застосування лапласіану, але самостійне його використання приводить до придушення пікселів без перепадів яскравості. Тому виникає доцільність застосування композиції методів фільтрації для суттєвого поліпшення якості зображень. Запропонована композиція методів фільтрації на основі просторової, частотної фільтрації та лапласіану. Приводяться результати моделювання одиночного застосування методів фільтрації до напівтонових зображень, їх композиція. Наводиться також оцінка застосованих методів за критеріями середньоквадратичного відхилення, пікового відношення сигнал-шум і критерію структурної подоби. За композицією отримано неперевершений результат.

Ключові слова: гауссівський шум; імпульсний шум; фільтрація; медіанна; усереднювальна; вінерівська; композиція.

The article deals with methods of improving the quality of digital images distorted noise. The distortion noise appears as a blending in the original image interfering signal. The most common types of noise is Gaussian noise, impulse noise and the result of complex action. For noise reduction using different methods of filtering images. Distinguish the spatial and frequency filtering. The idea of filtering is imposing some form of mask for damaged image. To exclude noise investigated spatial filtering methods such as averaging, median and frequency filtering. Spatial averaging smooths noise emissions and frequency filtering minimizes signal noise level in the image. Results of filters lead to loss of image sharpness. To improve image sharpness using approaches that exhibit significant variations in the intensity of pixels. These methods include the use of Laplacian, but independent of its use leads to suppression of pixels without changes in brightness. Therefore there is the feasibility of compositions filtering methods to significantly improve image quality. The proposed composition methods based on spatial filtering, frequency filtering and Laplacian. The results of modeling of single use filtering methods to halftone images of their composition. We give an assessment methods used by criteria standard deviation, peak signal to noise ratio and structural similarity criterion. By composition obtained unmatched results.

Keywords: Gaussian noise; impulsive noise; filtration; median; averaging; wiener; composition.

Вступ

Цифрові зображення широко застосовуються в різноманітних галузях людської діяльності і вимоги до їх якості підвищуються з кожним роком. Зображення є природним засобом спілкування людини і машини в будь-яких системах обробки, аналізу і контролю. Тому проблема візуального сприйняття, яка виникла досить давно, залишається актуальною й сьогодні та є однією з головних проблем обробки зображень [1].

На практиці досить часто доводиться мати справу з зображеннями спотвореними шумами, які проявляються у вигляді накладеного на вихідне зображення додаткового у вигляді маски пікселів із випадковими кольорами та інтенсивністю. Візуально це має вигляд зерен, які відрі-

зняються розміром, випадковим чином нанесених на зображення, що заважає його перегляду. Особливо помітним шум становиться на однорідних або темних ділянках зображення [2].

Найбільш поширеними видами шумів є шум Гаусса і імпульсний шум, а також їх комбінація [1]. Шум Гаусса формується у процесі безпосереднього формування зображення. Він може виникнути, наприклад, через погане освітлення у процесі фотографування, в результаті наявності шуму в електронних ланцюгах тощо. В свою чергу імпульсний шум формується на етапі передачі зображення по каналах зв'язку. Наприклад, у результаті неякісного контакту на лінії передачі, комутації потужних приладів, а також при дії природних явищ, таких як розряд блис-

кавки у процесі передавання зображення бездротовим зв'язком.

Будь-які спотворення, перешкоди, шуми в результаті погіршують візуальне сприйняття і аналіз зображень, ускладнюють їх обробку різноманітними засобами. Для того, щоб знизити рівень шумів використовується фільтрація [1; 3]. Під фільтрацією зображень розуміють процес, який не змінює фізичних розмірів вихідного зображення, але видаляє певні компоненти із заданими властивостями. Вважається, що інтенсивність (колір) кожного елементу (пікселя) результуючого зображення формується з інтенсивності пікселів, що розміщені в деякій його околиці вихідного зображення. Під терміном «фільтр» розуміють систему (в тому числі програму), яка вирішує задачу фільтрації. Відновлення якості зображень на основі фільтрації передбачає повну заміну інтенсивності тих пікселів, що мають різку зміну інтенсивності порівняно з їх околицею.

Відновлення якості зображень має велике значення в науці, методи, що їх застосовують, постійно вдосконалюються. Вони широко використовуються в мистецтві, медицині, промисловості, космічному просторі. Також застосовуються при розпізнаванні образів, автоматизації виявлення об'єктів і в багатьох інших процесах. Для цифрової передачі зображень із різноманітних космічних апаратів, цифрових каналів передачі сигналів зображень необхідна передача величезних потоків інформації. Частим предметом досліджень та розробок є поліпшення та автоматизація відновлення якості медичних зображень, які спотворюються електронними мікроскопами, томографами, рентгенівськими апаратами тощо. Задача оптимальної фільтрації зводиться в пошуку такої процедури, яка дала б змогу досягти найкращого результату.

Метою роботи є дослідження методів фільтрації зображень спотворених шумами (шум Гаусса, імпульсний шум, їх комбінація) для підвищення їх якості та пошук найбільш ефективних підходів зменшення шуму різного походження.

Постановка завдання

Як і в праці [3] будемо представляти елементарне зображення v , що спостерігається, у вигляді безперервної функції двох просторових змінних, значення якої підкоряються деякому просторовому розподілу енергії освітлення

$$E(v) = E(x, y), \quad (1)$$

де $E(\cdot)$ — функція розподілу енергії освітлення, а x, y — координати просторової двомірної сітки.

При цьому v є пікселем. У відтворюючих системах замість $E(\cdot)$ спостерігається інша функція

$E^*(v)$, яка є сумою інформаційної складової та просторового сигналу $\psi(\cdot)$

$$E^*(v) = E(x, y) + \psi(x, y). \quad (2)$$

Сигнал $\psi(\cdot)$ у виразі (2) має різну фізичну природу, може бути випадковим адитивним або імпульсним сигналом. Основна відмінність $\psi(\cdot)$ заключається в щільності просторового розміщення та інтенсивності. Якщо випадковий сигнал має однорідний розподіл по площині зображення, то він трактується як шум, що є аналогом флюктуаційних завад в радіотехнічних системах. Імпульсний шум являє собою поодинокі викиди значень енергії освітлення, що на зображенні мають вигляд ізольованих контрастних точок.

Враховуючи завдання фільтрації будемо її представляти у вигляді заданого перетворення F , яке наближує v як можна ближче до ідеального відповідно до заданого критерію або метрики правильності відтворення

$$\hat{E}(v) = F[E^*(v)]. \quad (3)$$

У виразі (3) $\hat{E}(\cdot)$ — результат фільтрації окремого пікселя. Поліпшення зображення в цілому залежить від поліпшення кожного елемента v , тому методи фільтрації використовують процедури поелементної обробки зображень. Найпростішим способом придушення завад є звичайна лінійна фільтрація, яка для піксельної форми подання зображення, має форму поелементного добутку коефіцієнтів f_i оператора F на елементи e_i зображення v

$$\hat{E}(v) = \sum_{i=1}^K f_i e_i^*(v), \quad (4)$$

де $i = \overline{1, N}$.

У працях з цифрової обробки зображень [1–3; 4–6] фільтр, що виконує операцію (4), називають маскою, яка накладається на зображення, а фільтрацію — обробкою за маскою, яка геометрично має вигляд таблиці (матриці), тобто $K = \xi \times \zeta$. Робота фільтра засновується на тому, що маска послідовно переміщується із початкової до кінцевої точки зображення за деяким алгоритмом перегляду.

Ставиться завдання визначення методів фільтрації для практичних завдань, коли вихідне зображення пошкоджене гауссівським шумом, імпульсним шумом та їх спільною дією.

Методи фільтрації

Оскільки зображення характеризуються плавними переходами рівнів яскравості, тому найбільш популярними є *згладжувальні фільтри*, ефект придушення шуму в них досягається через

згладжування значних викидів інтенсивності пікселів. Завдяки тому, що обробка елемента зображення відбувається за його околицею, що покривається маскою, тому доцільно проводити усереднення виходу просторового фільтру за всією околицею, тобто загальна формула зваженої усередненої фільтрації за околицею $\xi \times \zeta$ вихідного зображення розміру $M \times N$ має вигляд [1]

$$\hat{E}(x, y) = \frac{\sum_{i=K-\xi/2}^{K+\xi/2} \sum_{j=K-\zeta/2}^{K+\zeta/2} f(\xi, \zeta) e^*(x+i, y+j)}{\sum_{i=-\xi/2}^{\xi/2} \sum_{j=-\zeta/2}^{\zeta/2} f(i, j)}, \quad (5)$$

Алгоритм (5) застосовується до елементів $x = 0, 1, \dots, M-1, y = 0, 1, \dots, N-1$ зображення. Розмір маски повинен вибиратися з інтервалу $3 \leq K \leq 15$. Усереднення ефективний прийом для зменшення шуму при низькому рівні освітлення, що відомий з астрономії [1]. Рівняння

$$F = \frac{\|f_{\xi\zeta}\|}{\sum_{i=-\xi/2}^{\xi/2} \sum_{j=-\zeta/2}^{\zeta/2} f(i, j)}, \quad (6)$$

де $\|f_{\xi\zeta}\|$ — матриця розміру $\xi \times \zeta$, є просторовим фільтром [7].

Найбільш простий тип фільтра усереднення, який використовують для придушення шуму на зображенні, полягає в обчисленні середньоарифметичного за елементами маски.

Відновлене зображення $\hat{E}(x, y)$ усереднюється по околиці визначеної розмірами ξ та ζ . При цьому рівняння (6) трансформується в

$$F(\xi, \zeta) = (\xi \cdot \zeta)^{-1} I, \quad (7)$$

де I — матриця розміру $\xi \times \zeta$ з одиничними елементами.

Отже, якщо фільтр має вигляд квадратної маски з параметрами $\xi = \zeta = 3$, тоді

$$F(\xi, \zeta) = 1/9 \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Фільтр (7), (8) називають *середньоарифметичним*, він не викликає зсуву середньої яскравості обробленого зображення, а виключення шумів досягається згладжуванням.

Різновидом прямокутного усереднюючого фільтра, який має всі ненульові елементи, є фільтри, маска яких містить нульові елементи. Якщо організувати маску, яка містить нульові елементи по краям так, що ненульові елементи утворюють на площині коло, то такий фільтр називають *круговим усереднювальним фільтром*

$$F(\xi, \zeta) = 1/12 \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

На практиці знайшли використання фільтри, які мають не однакові вагові коефіцієнти, а такі, що зменшуються від свого центрального компонента. Такий підхід реалізований у фільтрі Гаусса (гауссіані) [10; 11]. Його вагова функція має вигляд

$$F(c, \sigma) = ce^{-0.5\left(\frac{d}{\sigma}\right)^2}, \quad (10)$$

де c — масштабний множник; d — координати вікна перегляду; σ — параметр розподілу.

Маска розміру 5×5 може бути представлена у цілочисельному вигляді для функції (10) з параметрами $c = 85, \sigma = 1,5$

$$F(85, 1.5) = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Параметри в виразі (11) підібрані так, щоб мінімальний елемент маски мав значення 1.

Медіанний фільтр являє собою ковзне вікно з парною або непарною кількістю елементів [1; 2; 9; 10]. Медіаною $a_{P/2}$ дискретної послідовності a_1, a_2, \dots, a_P , якщо P — непарне, називають елемент ряду, що знаходиться між елементами $a_{(P-1)/2}$ та $a_{(P+1)/2}$. Якщо P — парне, то вибір відбувається на користь $a_{(P-1)/2}$ або $a_{P/2}$.

Логіка роботи медіанного фільтра складається в сортуванні елементів зображення за зростанням яскравості та вибору середнього елемента послідовності. Зрозуміло, що в результаті такого підходу середні значення не змінюються, а будуть відсікатися тільки викиди яскравості, які відповідають імпульсному уніполярному або біполярному шуму.

Сортування може відбуватися за будь-яким алгоритмом, наприклад, шляхом розбиття послідовності на дві, а потім його рекурсивного застосування до кожної половини [9, с. 182].

Значення відновленого зображення при медіанній фільтрації в довільній точці (x, y) визначається за формулою:

$$\hat{E}(x, y) = \begin{cases} \hat{E}(x, y), & \text{якщо } |\hat{E}(x, y)| \leq |\hat{E}(x_m, y_m)|, \\ \hat{E}(x_m, y_m) & \text{інакше.} \end{cases} \quad (12)$$

У формулі (12) x_m, y_m — координати медіани. Медіанна фільтрація не впливає на гауссівський шум.

Базова ідея, що дозволяє мінімізувати рівень шуму на зображенні, належить Н. Вінеру, яка складається в мінімізації середнього квадрату відхилення відновленого зображення від еталонного [1; 9; 11–13]

$$\theta^2 = \min_{\substack{0 \leq x \leq M-1, \\ 0 \leq y \leq N-1}} (E(x, y) - \hat{E}(x, y))^2. \quad (13)$$

Відповідно до результатів [1; 11; 13] оптимальним фільтром за критерієм (13) є вираз

$$F(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + K}, \quad (14)$$

в якому $H(u, v)$ — передатна перекручувальна функція в площині u, v (частотне подання); $|H(u, v)|^2 = H^*(u, v) \cdot H(u, v)$, $H^*(u, v)$ — комплексно-спряжений вигляд для $H^*(u, v)$, а K — відношення енергетичних спектрів шуму та корисного сигналу, яке на практиці у зв'язку з невідомими поданням їх Фур'є-перетворень замінюється певною константою.

Основні обмеження застосування виразу (14) для вільних зображень пов'язані з невідомим математичним описом функції $H(u, v)$ та вибором числа K . Слід відзначити, що вираз (14) також є маскою, що накладається на зображення, але в частотній площині.

Одним з ефективних підходів до рішення підвищення деталізації за рахунок виявлення границь перепадів яскравості зображень. Для цього можуть бути застосовані методи, що основані на розрахунку другої похідної та є ізотропними відносно перетворень (обертань) зображення. До таких методів відносять *лапласіан* [1; 9]. Але застосування цього методу може привести до виділення границі зображення, де відбувається різка зміна яскравості та придушення областей з нерізкою зміною. З метою відновлення вихідного зображення на лапласіан накладається вихідне зображення

$$\hat{E}(x, y) = \begin{cases} \hat{E}(x, y) - \nabla^2 \hat{E}(x, y), & \text{якщо } f(0, 0) < 0; \\ \hat{E}(x, y) + \nabla^2 \hat{E}(x, y), & \text{якщо } f(0, 0) \geq 0, \end{cases} \quad (13)$$

де $f(0, 0)$ — центральний елемент маски, а ∇^2 — лапласіан функції $\hat{E}(\cdot)$, коефіцієнти якого для маски 3×3 визначають із формули

$$\nabla^2 \hat{E}(x, y) = [\hat{E}(x+1, y) + \hat{E}(x, y+1) + \hat{E}(x-1, y) + \hat{E}(x, y-1)] - 4\hat{E}(x, y). \quad (14)$$

Коефіцієнти в формулі (14) можуть бути змінені шляхом додавання діагональних елементів та відповідною зміною коефіцієнта при $f(0, 0)$, а також множенням лівої та правої частин формули (14) на постійний коефіцієнт.

Композиція методів фільтрації

Кожен метод фільтрації має свої обмеження. Так, згладжуючі чи усереднюючі фільтри ефективні для гауссівських шумів, але приводять до дефокусування зображень, але зменшують рівень шуму, медіанна фільтрація ефективна до імпульсного шуму, але не впливає на гауссівський шум. Вінерівська фільтрація ефективна, коли повністю відома інформація про викривну функцію та енергетичні спектри сигналу та шуму. На практиці під час роботи з конкретними зображеннями має місце ефект накладання шуму різних типів та абсолютно відсутня інформація про типи шумів та їх параметри. Тому виникає необхідність послідовного підбору параметрів фільтрів та їх комбінованого застосування для досягнення найкращого результату для рішення складної задачі поліпшення зображень.

Математично вираз композиції складається в послідовному застосуванні вище зазначених методів, а саме результуюче перетворення зображення буде мати вигляд

$$\hat{E}(v) = F_l(F_{l-1}(\dots(F_1(E^*(v))))), \quad (15)$$

де l — номер перетворення, $l = 1, 2, \dots$, а узагальнений оператор перетворення записується у вигляді

$$F = F_1 \circ F_2 \circ \dots \circ F_l. \quad (16)$$

Підхід заснований на виразах (15), (16) не передбачає застосування одного типу перетворення, тобто $F_l \neq F_{l-1}$, застосування яких можуть залежати від задачі, що ставиться. Їх якість має відповідати певним критеріям.

Критерії оцінки якості зображень

Оцінка якості відновлених зображень може здійснюватись за такими критеріями: середньоквадратичного відхилення (СКВ), пікового відношення сигнал/шум (ПВСШ) і міра структурної подібності зображень (СПЗ).

Найбільш універсальним засобом, що використовується для оцінки якості зображень у рамках кількісних методів, — є метод розрахунку середньоквадратичної похибки ε

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (v_{i,j} - \bar{v}_{i,j})^2}, \quad (17)$$

де \bar{v} — інтенсивність пікселя (i, j) еталонного зображення.

Як відомо з виразу [12], ця міра зручна для визначення якості фільтрації зображень пошкоджених імпульсним шумом, щодо незначного погіршення «снігом», «муаром», то такий критерій не є зручним, тому недоцільне його самостійне застосування. Розрахунок пікового відношення сигнал/шум відбувається за формулою:

$$\text{ПВСШ} = 10 \lg \left(\frac{L_{\max}}{\varepsilon_{\max}} \right), \quad (18)$$

де L_{\max} — максимальний рівень інтенсивності пікселя, який вимірюється за всіма каналами при 8-ми бітовому поданні інтенсивності кожного каналу.

Міра формули (18) має ті ж недоліки, що й розрахунок СКВ, її перевагою є значно менша кількість обчислень, особливо, коли є попередньо розраховане за виразом (17) значення максимального рівня СКВ.

Останнім часом найбільш поширеною стає міра структурної подібності зображень, яка вперше була запропонована Вангом в праці [16] для порівняння напівтонових зображень та її релевантність була підтверджена працями [15; 17].

Подібність ґрунтується на розрахунку кореляційних властивостей зображення. Значення критерію СПЗ розраховується за формулою:

$$\text{СПЗ} = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \right) \left(\frac{2\bar{X}\bar{Y}}{(\bar{X})^2 + (\bar{Y})^2} \right) \left(\frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \right), \quad (19)$$

де

$$\bar{X} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}, \quad \bar{Y} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij}, \quad (20)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})^2; \quad (21)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{Y})^2; \quad (22)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})(y_{ij} - \bar{Y}), \quad (23)$$

де $X = \{x_{ij}\}$ і $Y = \{y_{ij}\}$ елементи зображення, що порівнюються.

Перша складова виразу (1) є коефіцієнтом кореляції між зображеннями X і Y . Друга складова характеризує подібність середніх значень інтенсивностей двох зображень. Третя складова виразу характеризує подібність контрастів зображень, що порівнюються. Методи, засновані на цих оцінках, добре підходять для зображень, що мають білий шум.

Значення цього критерію знаходяться в інтервалі $0 < \text{СПЗ} \leq 1$, більші значення відповідають кращій подібності (фільтрації).

На рис. 1 наведено приклади вихідного зображення (*a*) та спотворені різним рівнем шуму (*b*, *в*) і значення критеріїв (17), (18) для них, що підтверджує висновки про їх непридатність для самостійного застосування. Так, для спотвореного зображення (*b*): $\varepsilon = 14,5$, ПВСШ = 24,9 дБ; для спотвореного зображення (*в*): $\varepsilon = 15,5$, ПВСШ = 24,3 дБ.

Обидва спотворених зображення не дають значної різниці значень показників ε , ПВСШ, але вони досить чутливі для зору. На рис. 2 представлені знімки поверхні землі з різним рівнем пошкодженості шумом: *a* — вихідне зображення; *b* — та *в* — спотворені різним рівнем шуму.

Результати порівняння зображень *b* — та *в* — з *a* — за критерієм подібності дозволило отримати такі результати СПЗ = 0,66 та СПЗ = 0,17 відповідно.

Порівнювання. Для аналізу якості відновлення зображень, що пошкоджені різними шумами, використовували дослідження різних типів фільтрів: усередненим прямокутним та круговим, гауссівським, медіанним і вінерівськими фільтрами та лапласіаном. Моделювання роботи фільтрів здійснювалось в середовищі MatLab [11], де існує широка можливість вибору функцій фільтрації. Оцінка якості відновлення зображень проводилось за критеріями (17)–(23).

На рис. 3. наведено вихідні зображення моделювання, одне з яких *a* — є еталонним, а інше *b* — комбінацією двох видів шуму (Гаусса та імпульсного). Результати фільтрації спотвореного зображення рис. 3, *b*) наведено на рис. 4.

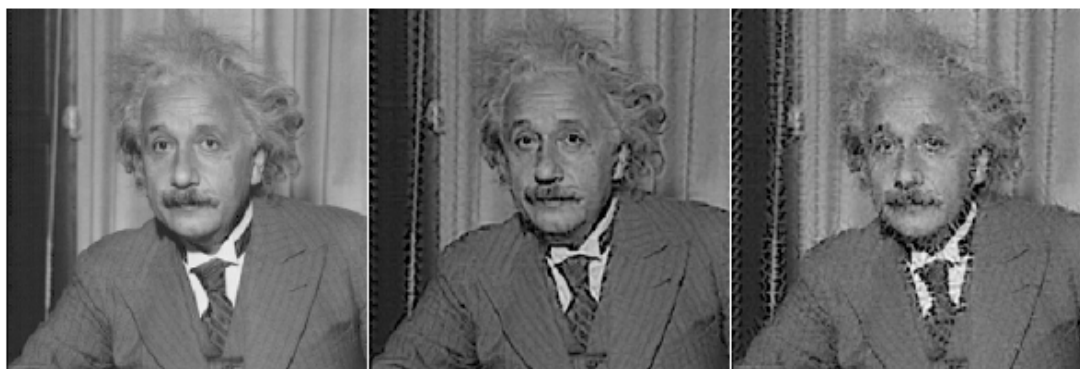


Рис. 1. Зображення «Ейнштейн» пошкоджене різним рівнем шуму

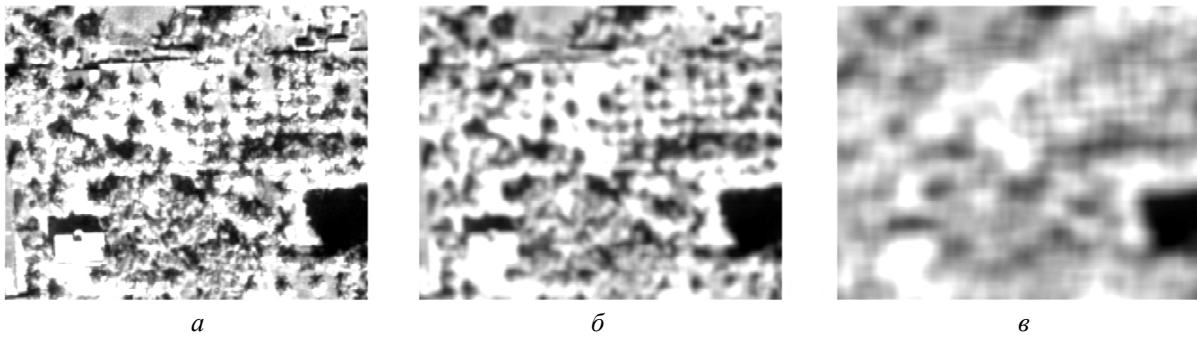


Рис. 2. Зображення земної поверхні з різним рівнем спотвореності шумом



Рис. 3. Вихідні зображення для моделювання:
a — оригінальне зображення; *б* — зображення, пошкоджене імпульсним шумом та шумом Гаусса

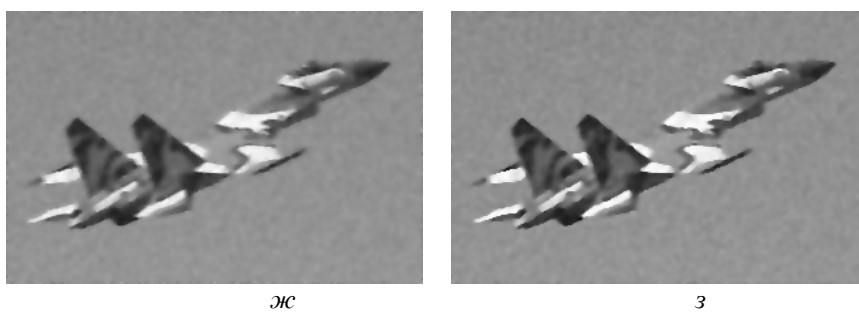
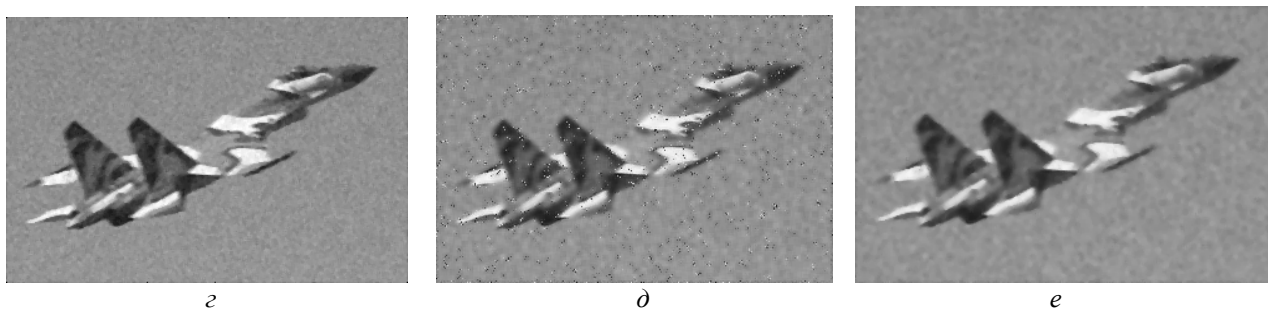
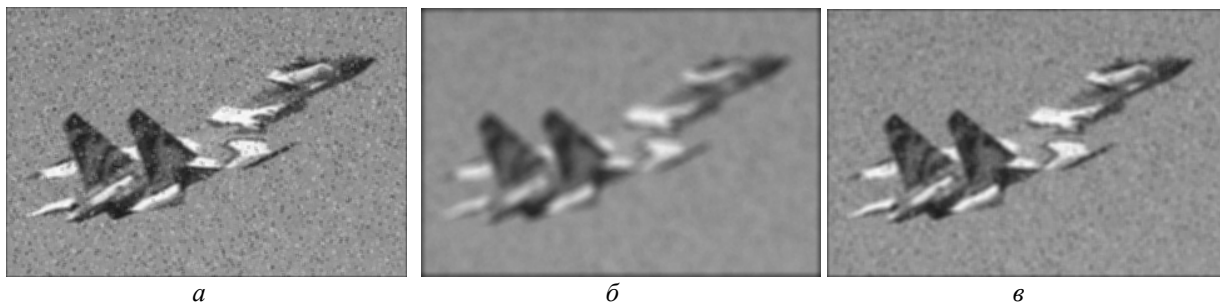


Рис. 4. Результати обробки пошкодженого зображення з імпульсним та гауссівським шумами

Результати оцінки якості фільтрації за критеріями (17)–(23) зображень, пошкоджених імпульсним і гауссівським шумом, (а) прямокутним усередненим фільтром, (б) круговим усередненим фільтром, (в) низькочастотним фільтром

Гаусса, (г) медіанним фільтром, (д) фільтром Вінера, (е) фільтр Вінера та медіанна фільтрація, (ж) медіанна та вінерівська фільтрація, (з) медіанна та вінерівська фільтрація та лапласіан, наведено у таблиці.

Оцінка якості пошкодженого зображення різними типами фільтрації

Метод	СКВ	ПВСШ, дБ	СПЗ
Нефільтроване зображення	1009,6344	18,0892	0,1878
Прямокутний усереднений фільтр	253,5656	24,0899	0,4905
Круговий усереднений фільтр	402,0649	22,0878	0,7261
Низькочастотний фільтр Гаусса	251,6443	24,1229	0,6592
Медіанний фільтр	136,6863	26,7736	0,7143
Фільтр Вінера	264,0385	23,9141	0,5708
Вінерівська та медіанна фільтрація	153,701	26,264	0,782
Медіанна та вінерівська фільтрація	129,3133	27,0144	0,8679
Медіанна, вінерівська фільтрація та лапласіан	121,2247	27,2949	0,875

Аналіз результатів рис. 4 та таблиці показує, що кращі результати видалення шумів з зображення рис. 3, б, що отримуються за зоровим критерієм є фільтрація, яка проводиться комплексним застосуванням медіанної, вінерівської фільтрації та за рахунок застосування лапласіану. Ці результати підтверджуються високими показниками критерію СПЗ, який для цього випадку набуває значення 0,875. Високі значення СПЗ має також фільтрація за методом усереднюючого кругового, медіанного фільтрів, для яких СПЗ приймає значення $\approx 0,73$ та $\approx 0,71$ відповідно. Показники якості СКВ та ПВСШ не дають однозначного трактування для вказаних типів фільтрів, хоча комплексне застосування фільтрів дає позитивні результати, при цьому ПВСШ — приймає максимальні значення, що відповідає 27 дБ, а для СКВ — мінімальне.

Основним результатом дослідження є комплексне застосування медіанної, вінерівської фільтрації та лапласіана, що можна трактувати як композицію методів, яка надає найкращі показники за наведеними критеріями.

Висновок

Фотознімання місцевості, рентгенівські знімки та старі фотографії можуть бути пошкоджені в результаті його отримання або при збереженні. Пошкодження мають різну природу, але вони проявляються у вигляді розмиття картини, «снігу», «муару», полос, що знижують якість при їх деталізації.

Представлені результати дослідження ефективності різних типів фільтрації за критеріями середньоквадратичного відхилення, пікового

відношення сигнал/шум і структурної подібності зображень, які пошкоджені гауссівським шумом, що дає розмиття картини, та імпульсним шумом. Аналіз відхилень яскравості окремих пікселів зображень показують пріоритетність показників структурної подоби та пікового відношення сигнал/шум.

На основі проведеного аналізу встановлено, що найкращий метод для обробки зображень з шумом Гаусса є фільтр Вінера, а серед просторових методів найкраще знижує рівень імпульсного шуму медіанна фільтрація. Найкращі результати при обробці зображень за комбінацією цих двох видів шуму є застосування композиції трьох методів — медіанної, вінерівської фільтрації і лапласіана.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gonsales R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / R. Gonsales, R. Vuds. — М. : Tekhnosfera, 2005 — 1072 p.
2. Buzovskiy O. V. Kompyuter izobrazheniy / O. V. Buzovskiy, A. A. Bolduc, M. N. Mukhammad Rumi. — К. : Korniyuchuk, 2001. — 180 p.
3. Dzheyn B. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / B. Dzheyn. — М. : Tekhnosfera, 2007. — 584 p.
4. Tsifrovoy shum izobrazheniya. — [Elektronny resurs]. — Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tsifrovoy_shum_izobrazheniya.
5. Goldenberg L. M. Tsifrovaya obrabotka signalov / L. M. Goldenberg, B. D. Matyushkin, M. N. Polyus. — М. : Radio i svyaz, 1985. — 312 p.
6. Nakonechnyy A. Y. Tsifrovoy obrabotki signalov / A. Y. Nakonechnyy, R. A. Nakonechnyy, V. A. Pavel. — L'vov, L'vovskaya politekhnika Natsional'ny universitet Izdatel'stvo, 2010. — 368 p.

7. Fil'tr — [Yelektronniy resurs]. — Rezhim dostupu: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Fil'tr>.
8. *Gantmakher F. R.* Teoriya matrits / F. R. Gantmakher. — M. : Nauka, 1967. — 576 p.
9. *Shapiro L.* Kompyuternoye zreniye / L. Shapiro, Dzh. Stokman. — M. : Binom. Laboratoriya Znaniy, 2006. — 752 p.
10. *Maslov A. M.* Identifikatsiya lineynoy iskazhashchey sistemy s ispol'zovaniyem rangovoy obrabotki signalov / A. M. Maslov, V. V. Sergeyev // *Komp'yuternaya optika*, 1990. — № 6. — P. 97–102.
11. *Gonsales R.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB / R. Gonsales, R. Vuds, S. Eddins. — M. : Tekhnosfera, 2006. — 616 p.
12. *Sergiyenko A. B.* Algoritmy adaptivnoy fil'tratsii: osobennosti realizatsii v MATLAB / A. B. Sergiyenko // *Matematika v prilozheniyakh*. — №1 (1). — 2003. — P. 18–28. — [Yelektronniy resurs] — Rezhim dostupu: <https://images.nature.web.ru/nature/2003/04/.../06.pdf>
13. *Yuzhikov V.* Vostanovlenie rasfokusirovanykh i smazannykh izobrazheniy — [yelektronniy resurs] — Rezhim dostupu: <http://habrahabr.ru/post/136853/>
14. *Selomon D.* Szhatie dannykh, izobrazheniia i zvuka / D. Selomon. — AM : Technosphere, 2004. — 365 p.
15. *Monich U. I.* Otsenka kachestva dlya analiza tsyfrovih izobrazheniy / U. I. Monich, V. V. Starovoytov // *Iskustvenniy intellekt*, 2008. — №4. — P. 376–386.
16. *Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R.* Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // *IEEE transaction on Image Processing*. — 2004. — Vol. 13, № 4. — P. 309–312.
17. *Zbrozhek L. V.* Relevantnist characteristic of yakosti zobrazhennya / L. V. Zbrozhek, D. P. Kucherov // *Visnyk inzhenernoï Akademii*. — №1. — 2015. — P. 211–217.

Стаття надійшла до редакції 09.07.2015