

УДК 655.5+004.942

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО СПРИЙНЯТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ

О. Я. Різник¹, Д. Ю. Вороновський², Є. С. Матвійчук³, Є. Е. Савелов⁴, Р. А. Солтисік⁵

¹ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, e-mail: oleh.y.riznyk@lpnu.ua

² Національний лісотехнічний університет України,
вул. Генерала Чупринки, 103, Львів, 79057, Україна,
e-mail: 25voronovskyi.d@nltu.lviv.ua

³ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

⁴ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

⁵ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Останніми роками цифрова обробка та цифровий аналіз зображень стрімко набувають популярності й активно застосовуються в різноманітних прикладних сферах. Їх використовують у широкому діапазоні задач — від систем автоматизованої медичної діагностики та безпілотного керування дронами до керування глибоководними апаратами й космічними супутниками. Хоча проблематиці обробки зображень присвячено значну кількість наукових досліджень, універсального методу, придатного для розв’язання будь-якої задачі, на сьогодні не існує. Це пояснюється тим, що кожна прикладна галузь висуває власні специфічні вимоги та обмеження. Врахування цих особливостей потребує розроблення спеціалізованих інформаційних технологій, здатних забезпечити максимальну швидкість і точність обробки, зокрема у видавничих системах. У межах дослідження було розроблено нееквідистантні фільтри розмиття, підвищення різкості, виділення границь та тиснення, побудовані на вагах елементів нееквідистантних конфігурацій. Порівняно з традиційними підходами, запропоновані фільтри забезпечують кращу візуальну якість результату. Це дає змогу ефективно застосовувати їх для попередньої обробки графічних зображень із високою роздільною здатністю та для подальшої ідентифікації об’єктів на них. Крім того, створені засоби нееквідистантної фільтрації дозволяють зменшити обчислювальну складність процесу обробки приблизно на 5 %, що досягається завдяки використанню властивостей нееквідистантних конфігурацій.

Ключові слова: нееквідистантна конфігурація, нееквідистантна фільтрація, попередня обробка зображень, фільтрація зображень.

Постановка проблеми. Предметом дослідження виступають методи, алгоритми та засоби попередньої обробки зображень із використанням нееквідистантних

фільтрів у системах технічного зору [1]. Упродовж останніх років цифрова обробка та аналіз зображень набули значного поширення, оскільки вони застосовуються в багатьох галузях. До них належать автоматизована медична діагностика, обробка та покращення візуального сприйняття зображень у видавничих системах, керування безпілотними літальними апаратами, а також використання у космічних технологіях [2]. Проблематика обробки графічних зображень висвітлена у численних наукових працях, однак універсального підходу, придатного для розв'язання всіх задач покращення зображень, досі не створено [3]. Це пов'язано з тим, що кожна сфера застосування висуває власні специфічні вимоги та обмеження. З огляду на ці вимоги виникає необхідність у розробленні спеціалізованої інформаційної технології, здатної забезпечити розв'язання поставлених задач із максимальною швидкістю обробки та високою точністю результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні розроблено значну кількість методів, спрямованих на покращення візуального сприйняття зображень [4, 5]. Однак у більшості випадків неможливо створити універсальний підхід, який би ефективно охоплював усі можливі класи графічних об'єктів. Під зображенням зазвичай розуміють інформаційний об'єкт, який може бути безпосередньо сприйнятий людським зором або зафіксований технічними засобами реєстрації. Далі доцільно розглянути найпоширеніші групи моделей, що застосовуються для синтезу та покращення зображень [6]:

- Color-based (виділення області на основі кольору);
- Shape-based (основним критерієм є аналіз форми та контуру об'єкта);
- Learn-based (машинне навчання – основний інструмент аналізу).

Тип зображення обирається відповідно до поставленої задачі, адже різні види зображень потребують різних способів подання та форматів зберігання. Обробка зображень може переслідувати дві основні цілі. Перша — забезпечення кращого візуального сприйняття людиною. У цьому випадку застосовуються методи підвищення чіткості, корекції кольорової гами та контрастності, зменшення шумів, усунення дефектів і спотворень. Друга мета — підготовка зображень до автоматичного аналізу. Тут використовуються алгоритми фільтрації, морфологічні перетворення, сегментація на класи, виділення об'єктів та інші методи комп'ютерної обробки. Серед усіх задач обробки найчастіше виділяють покращення та відновлення зображень. Покращення спрямоване на модифікацію зображення таким чином, щоб воно найбільше відповідало вимогам конкретного застосування. При цьому важливо враховувати специфіку даних: метод, ефективний для медичних знімків, може виявитися непридатним для кольорових фотографій, і навпаки. Саме через це не існує універсальної теорії покращення зображень. Якщо результат обробки призначений для перегляду людиною, остаточне судження про його якість є суб'єктивним, адже поняття «добре зображення» важко формалізувати або виміряти чисельно [7]. У випадку ж автоматичного аналізу критерії оцінювання чіткіші: перевага надається методу, що забезпечує вищу точність машинного розпізнавання. Отже, обробка зображень може виконуватися як для покращення сприйняття людиною, так і для підвищення ефективності автоматичних систем аналізу. Різниця

між цими підходами полягає у властивостях сприйняття: людина може не помітити незначні відмінності яскравості, тоді як для алгоритмів вони можуть бути визначальними при класифікації пікселів або виділенні областей. Методи обробки зображень також поділяють на класи залежно від того, скільки пікселів впливають на формування значення яскравості кожного пікселя результуючого зображення:

- точкові (в обчисленнях використовується значення одного пікселя вихідного зображення);
- локальні (в обчисленнях використовуються значення декількох сусідніх пікселів в заданій околиці);
- глобальні (при обчисленні значення пікселя використовуються всі пікселі вихідного зображення).

Обчислювальна складність алгоритмів обробки зображень безпосередньо залежить від кількості пікселів, що беруть участь у формуванні нового значення яскравості кожного пікселя результуючого зображення. Чим більша ця кількість, тим вищими є витрати обчислювальних ресурсів.

Метою статті є створення методів і засобів фільтрації зображень із використанням нееквідистантних фільтрів. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- здійснити аналіз існуючих методів, алгоритмів і програмних засобів, що застосовуються для фільтрації зображень, та обґрунтувати їх вибір;
- розробити інформаційну технологію, спрямовану на покращення візуального сприйняття зображень;
- створити програмну реалізацію фільтрації графічних даних на основі нееквідистантних фільтрів;
- провести порівняльний аналіз отриманих результатів із результатами відомих підходів.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сьогодні існує значна кількість методів, призначених для покращення візуального сприйняття та автоматичного розпізнавання зображень. Однак у більшості випадків неможливо розробити універсальний підхід, який би однаково ефективно працював для всіх типів графічних об'єктів. Саме тому огляд і аналіз існуючих рішень є одним із початкових етапів розв'язання задач обробки зображень. З урахуванням практичних потреб цифрової обробки зображень зазвичай поділяють на кілька напрямів: покращення якості зображення, попередню підготовку даних, сегментацію, морфологічну обробку, виділення низькорівневих ознак, а також стиснення графічної інформації. Отже, під зображенням розуміють інформаційний об'єкт, який може бути безпосередньо сприйнятий людиною або зафіксований технічними засобами реєстрації. Дослідження фільтрації растрових зображень представлено на рис. 1.

Видно, що для досягнення мети є наступні дослідження:

- загальні алгоритми фільтрації зображень;
- використання нееквідистантних конфігурацій як цифрових фільтрів [8].

Тобто, вибір способу фільтрації залежить від типу розв'язуваної завдання, вимог до швидкості і точності. Вибираються критерії, що найбільше впливають на результат:

- швидкість роботи системи фільтрації зображень;
- якість зображення системи фільтрації зображень;
- складність методу системи фільтрації зображень.

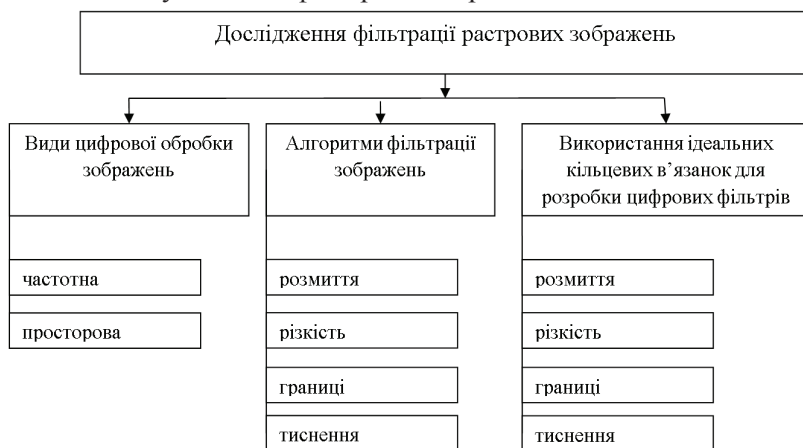


Рис. 1. Дослідження фільтрації растрових зображень

Множина варіантів, з яких буде прийняте рішення, складатиметься з наступних методів системи фільтрації зображень:

- фільтр Собеля розмірністю 3×3 ;
- фільтр Гауса розмірністю 3×3 ;
- фільтр нееквідистантних конфігурацій розмірністю від 3×3 до 8×8 .

Під час дослідження швидкодію алгоритмів оцінюють шляхом порівняння часу, необхідного для фільтрації шумів на зображеннях [9]. Візуальна якість обробки визначається аналізом вигляду зображення після застосування фільтра, тоді як складність реалізації оцінюється з урахуванням труднощів програмної реалізації методів і витрат часу на їх виконання. Обробку зображень на основі нееквідистантних конфігурацій виконано із застосуванням методу просторової фільтрації. Зазвичай така фільтрація спрямована на покращення якості зображення, зокрема на зменшення шумів, підвищення чіткості та підкреслення контурів об'єктів. Оскільки зображення є двовимірним сигналом, для його обробки використовують двовимірні фільтри. Їх побудова ґрунтується на виборі невеликої прямокутної області площини, в межах якої задається певна функція. Цю область називають вікном або апертурою, а функцію, визначену в ній, — ваговою функцією. Кожному елементу вікна відповідає числовий коефіцієнт, що визначає внесок відповідного пікселя у формування нового значення. Сукупність цих коефіцієнтів утворює вагову матрицю фільтра [10]. Процес фільтрації полягає у послідовному переміщенні маски фільтра по зображенню. На кожному кроці вагові коефіцієнти перемножуються з відповідними значеннями пікселів, після чого результати підсумовуються і нормалізуються. Отримане значення присвоюється пікселю нового зображення, що відповідає центру маски. Хай апертура має розмір $M_p \times M_q$ елементів; де поточний елемент апертури визначимо як:

$p = 1, 2, \dots, M_p$ – поточний рядок;

$q = 1, 2, \dots, M_q$ – поточний стовпчик.

Координати центру позначимо через (p_m, q_m) . Визначимо умовно центр таким чином, щоби при непарних розмірах вікна він був на місці центрального пікселя:

$$p_m = \left\lfloor \frac{M_p + 1}{2} \right\rfloor \quad q_m = \left\lfloor \frac{M_q + 1}{2} \right\rfloor. \quad (1)$$

Одним із найпоширеніших застосувань лінійних фільтрів є згладжування шуму. Основним використанням фільтрів згладжування є придушення «нерелевантних» деталей зображення:

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Цей фільтр дає середнє нормальне значення відносно маски:

$$H = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad H = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Ця маска дає середнє зважене значення. Фільтри, які підвищують різкість, використовують наступні вагові функції:

$$H = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Підвищення різкості спрямоване на виділення дрібних деталей та контурів об'єктів і широко використовується у сучасних системах обробки зображень. Наприклад, фільтр Гаусового розмиття надає найбільшу вагу центральному пікселю та поступово зменшує внесок віддалених, що призводить до згладжування деталей і створення ефекту розфокусування:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 3 & 5 & 6 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Фільтри виділення країв належать до групи операторів із нульовою сумою коефіцієнтів. Вони пригнічують однорідні області та підкреслюють зони різких змін яскравості, тобто межі об'єктів:

$$H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Фільтр тиснення відповідає матрицям:

$$H = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{або} \quad H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

На відміну від фільтрів розмиття чи підвищення різкості, де сума коефіцієнтів зазвичай дорівнює одиниці, у ядрах тиснення сума вагових коефіцієнтів дорівнює

нулю. Якщо ця умова не виконується, виникає зміщення кольору зображення. Після обробки отримані значення додатково нормалізуються до допустимого діапазону яскравостей 0–255. У результаті дослідження та використання розробленої програми обробки зображень на основі нееквідистантних конфігурацій (НК) методом просторової фільтрації було отримано нові типи матриць перетворення, зокрема для розмиття, підвищення різкості, виділення меж та тиснення (табл. 1) [11].

Таблиця 1

Нееквідистантні (нерівномірні) конфігурації

N (порядок)	Прості нерівномірні конфігурації
3	1, 3, 2
4	3, 1, 5, 2
5	1, 3, 6, 2, 5 1, 7, 3, 2, 4
6	1, 10, 5, 3, 4, 2
6	1, 4, 2, 8, 3, 9
7	1, 3, 5, 6, 7, 10, 2 4, 1, 12, 2, 6, 3, 7
8	1, 4, 7, 13, 12, 8, 6, 3 2, 8, 14, 1, 4, 7, 6, 3

А саме, матриці розмиття, підвищення різкості, виділення країв та тиснення. Коефіцієнти матриці перетворення приймаються як числові ваги нерівномірно віддалених конфігурацій. Для застосування фільтра розмиття використовуються такі матриці:

$$\begin{aligned}
 H = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 1 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 5 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 5 \\ 5 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 5 & 2 & 3 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 6 & 2 & 5 \\ 5 & 1 & 3 & 6 & 2 \\ 2 & 5 & 1 & 3 & 6 \\ 6 & 2 & 5 & 1 & 3 \\ 3 & 6 & 2 & 5 & 1 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 1 & 7 & 3 & 2 & 4 \\ 4 & 1 & 7 & 3 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 7 & 3 \\ 3 & 2 & 4 & 1 & 7 \\ 7 & 3 & 2 & 4 & 1 \end{vmatrix} \\
 \\
 H = \begin{vmatrix} 1 & 10 & 5 & 3 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & 10 & 5 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 10 & 5 & 3 \\ 3 & 4 & 2 & 1 & 10 & 5 \\ 5 & 3 & 4 & 2 & 1 & 10 \\ 10 & 5 & 3 & 4 & 2 & 1 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 2 & 8 & 3 & 9 \\ 9 & 1 & 4 & 2 & 8 & 3 \\ 3 & 9 & 1 & 4 & 2 & 8 \\ 8 & 3 & 9 & 1 & 4 & 2 \\ 2 & 8 & 3 & 9 & 1 & 4 \\ 4 & 2 & 8 & 3 & 9 & 1 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 5 & 6 & 7 & 10 & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 5 & 6 & 7 & 10 \\ 10 & 2 & 1 & 3 & 5 & 6 & 7 \\ 7 & 10 & 2 & 1 & 3 & 5 & 6 \\ 6 & 7 & 10 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 5 & 6 & 7 & 10 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 5 & 6 & 7 & 10 & 2 & 1 \end{vmatrix} \\
 \\
 H = \begin{vmatrix} 4 & 1 & 12 & 2 & 6 & 3 & 7 \\ 7 & 4 & 1 & 12 & 2 & 6 & 3 \\ 3 & 7 & 4 & 1 & 12 & 2 & 6 \\ 6 & 3 & 7 & 4 & 1 & 12 & 2 \\ 2 & 6 & 3 & 7 & 4 & 1 & 12 \\ 12 & 2 & 6 & 3 & 7 & 4 & 1 \\ 1 & 12 & 2 & 6 & 3 & 7 & 4 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 \\ 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 \\ 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 \\ 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 \\ 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 \\ 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 \\ 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 \\ 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 \end{vmatrix} & \quad H = \begin{vmatrix} 2 & 8 & 14 & 1 & 4 & 7 & 6 & 3 \\ 3 & 2 & 8 & 14 & 1 & 4 & 7 & 6 \\ 6 & 3 & 2 & 8 & 14 & 1 & 4 & 7 \\ 7 & 6 & 3 & 2 & 8 & 14 & 1 & 4 \\ 4 & 7 & 6 & 3 & 2 & 8 & 14 & 1 \\ 1 & 4 & 7 & 6 & 3 & 2 & 8 & 14 \\ 14 & 1 & 4 & 7 & 6 & 3 & 2 & 8 \\ 8 & 14 & 1 & 4 & 7 & 6 & 3 & 2 \end{vmatrix} \tag{8}
 \end{aligned}$$

Порівнюючи зображення, оброблені фільтром розмиття з допомогою кожної з цих матриць, можна побачити, що ефект фільтра посилюється зі збільшенням порядку матриці. Результат застосування матриці:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 \\ 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 \\ 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 \\ -8 & -6 & -3 & -1 & -4 & -7 & -13 & -12 \\ -12 & -8 & -6 & -3 & -1 & -4 & -7 & -13 \\ 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 \\ 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 \\ 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

є фільтр горизонтального розмиття. Для застосування фільтра вертикального розмиття необхідно використати матрицю:

$$H = \begin{pmatrix} -1 & -4 & -7 & -13 & -12 & -8 & -6 & -3 \\ 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 & 6 \\ 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 & 8 \\ 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 & 12 \\ 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 & 13 \\ 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 & 7 \\ 7 & 13 & 12 & 8 & 6 & 3 & 1 & 4 \\ -4 & -7 & -13 & -12 & -8 & -6 & -3 & -1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Для збільшення різкості зображення використаємо матрицю:

$$H = \begin{pmatrix} -1 & 3 & -2 \\ 2 & 1 & 3 \\ -3 & 2 & -1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Порівнюючи отриману матрицю з еталонною матрицею, можна побачити, що велика різниця між центральним елементом та його оточенням не є необхідною [12].

Наступні матриці:

$$H = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 5 & 2 \\ -2 & -3 & -1 & -5 \\ -5 & -2 & -3 & -1 \\ 1 & 5 & 2 & 3 \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} -1 & -3 & -6 & -2 & -5 \\ 5 & 1 & 3 & 6 & 2 \\ 2 & -5 & -1 & -3 & 6 \\ 6 & 2 & 5 & 1 & 3 \\ -3 & -6 & -2 & -5 & -1 \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} -4 & -1 & -12 & -2 & -6 & -3 & -7 \\ -7 & 4 & 1 & 12 & 2 & 6 & -3 \\ -3 & 7 & 4 & 1 & 12 & 2 & -6 \\ -6 & 3 & 7 & 4 & 1 & 12 & -2 \\ -2 & 6 & 3 & 7 & 4 & 1 & -12 \\ -12 & 2 & 6 & 3 & 7 & 4 & -1 \\ -1 & -12 & -2 & -6 & -3 & -7 & -4 \end{pmatrix} \quad (12)$$

використовуються для підкреслення контурів зображення. Ці фільтри найкраще підходять для чорно-білих зображень. Фільтр тиснення реалізований за допомогою матриць:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 3 & 2 & 4 \\ -4 & -1 & -7 & -3 & -2 \\ 2 & 4 & 1 & -7 & 3 \\ -3 & -2 & -4 & -1 & -7 \\ 7 & 3 & 2 & 4 & 1 \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} -1 & -3 & -6 & -2 & -5 \\ 5 & 1 & 3 & 6 & 2 \\ -2 & 5 & 1 & 3 & -6 \\ 6 & 2 & 5 & 1 & 3 \\ -3 & -6 & -2 & -5 & -1 \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 10 & 5 & 3 & 4 & 2 \\ -2 & -1 & -10 & -5 & -3 & -4 \\ 4 & 2 & 1 & 10 & 5 & 3 \\ -3 & -4 & -2 & -1 & -10 & -5 \\ -5 & -3 & -4 & -2 & -1 & -10 \\ 10 & 5 & 3 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Для поліпшення сприйняття зображень застосуємо розроблений спосіб фільтрації графічного зображення на нееквідистантних конфігураціях:

- визначення граничних розмірів графічного зображення та матриці перетворення;
- множення значення кожного пікселя на відповідний центральний коефіцієнт матриці нерівномірного фільтра, а також множення навколишніх елементів на відповідні значення;
- підсумовування всіх результатів множень;
- розподіл отриманого результату на значення суми коефіцієнтів матриці перетворення;
- перевірка того, що значення пікселя не виходить за межі діапазону (0 та 255);
- збереження нового значення пікселя у зображенні.

Розроблена інформаційна технологія фільтрації графічних зображень складається з таких модулів [13]:

- одержання програмою вхідного зображення;
- вибір користувачем фільтра зображення;
- передача відповідної матриці перетворення на основний модуль обробки зображень;
- обробка зображення за допомогою вибраного фільтра;
- відображення отриманого зображення на екрані.

Для кожного зображення:

1. Вибирається зона фільтрації.
2. Подальші обчислення проводяться паралельно:
 - 2.1. Вибір фільтрації зображення за вибраною зоною;
 - 2.2. Аналіз контурів і відповідних перетворень зображенні.
3. За результатами розрахунку положення зображення виконується:
 - 3.1. Побудова зони фільтру для обробки зображення;
 - 3.2. Розрахунок місця розташування знайдених об'єктів.

Проведено експериментальні дослідження методу фільтрації зображень із використанням нееквідистантних конфігурацій. За допомогою створеної програмної системи фільтрації було досліджено як традиційні відомі фільтри, так і фільтри, побудовані на основі нееквідистантних конфігурацій (рис. 2 а-е).



а) вхідне зображення б) фільтр «Розмиття по Гаусу» в) фільтр «Розмиття за НК»



г) фільтр «Різкість за НК» д) Фільтр «Границі за НК» е) Фільтром «Тиснення за НК»

Рис. 2. Результати обробки зображень фільтрами на основі НК

Фільтри розмиття, підвищення різкості, виділення меж та тиснення можуть застосовуватися як до кольорових, так і до напівтонових зображень, проте у випадку чорно-білих даних їх ефективність виявляється вищою.

Висновки. Запропоновано нові фільтри розмиття, різкості, виділення контурів і тиснення, побудовані з використанням вагових коефіцієнтів елементів нееквідистантних конфігурацій. У порівнянні з традиційними підходами вони забезпечують кращу візуальну якість результату, що дає змогу застосовувати їх для попередньої обробки графічних зображень різної роздільної здатності, зокрема тих, що містять артефакти, а також для подальшої ідентифікації об'єктів. Крім того, розроблено інформаційну технологію попередньої обробки зображень із використанням нееквідистантних фільтрів, яка дозволяє скоротити середній час обробки приблизно на 5 %. Також створено й експериментально перевірено програмне забезпечення для обробки зображень, що реалізує фільтрацію на основі нееквідистантних конфігурацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. J. Xu, G. Tong, Q. Chen and M. Wu, "A New Evaluation Method of The Fault Recovery Scheme for Medium-low Voltage DC Distribution Network," 2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Chengdu, China, 2020, pp. 1730-1735, doi: 10.1109/ACPEE48638.2020.9136433.
2. Sugimoto, K. Fast Gaussian filter with second-order shift property of DCT-5 / K. Sugimoto, S. Kamata // Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP), Sept. 2013. P. 514–518.
3. Chaurasia, G. Compiling High Performance Recursive Filters / G. Chaurasia, J. Ragan-Kelley, S. Paris, G. Drettakis, F. Durand // HPG '15 Proceedings of the 7th Conference on High-Performance Graphics, Los Angeles, California – August 07-09. 2015. P. 85–94.
4. Attanasi, A. GReTA – a novel Global and Recursive Tracking Algorithm in three dimensions / A. Attanasi, A. Cavagna, L. D. Castello, I. Giardina, A. Jelic, S. Melillo, L. Parisi, F. Pellacini, E. Shen, E. Silvestri, M. Viale // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume: 37, Issue: 12, Dec. 2015, P. 2451–2463.
5. Maheswaran, S. A Real Time Image Processing Based System to Scaring the Birds from the Agricultural Field / S. Maheswaran, M. Ramya, P. Priyadharshini, P. Sivaranjani // Indian Journal of Science and Technology, August 2016, Volume 9, Issue 30, P.5.

6. Ali, R.A. Recursive non-local means filter for video denoising / R.A. Ali, R.C. Hardie // EUR-ASIP Journal on Image and Video Processing (2017) 2017:29.
7. Almahdi, R.A. Recursive non-local means filter for video denoising with Poisson-Gaussian noise / R.A. Almahdi, R.C. Hardie // 2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS), Dayton, OH, USA, 25-29 July 2016, P. 318–322.
8. Різник В.В. Синтез оптимальних комбінаторних систем. - Львів: Вища школа, 1989. – 168 с.
9. OpenCV – бібліотека комп'ютерного зору з відкритим вихідним кодом: <http://opencv.ua>.
10. Riznyk O., Kynash Y., Pelekh Y., Savelov E., Matviychuk E., Flud L. Adaptive interference-resistant encoding using Barker-like sequences // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Vol. 3790: Proceedings of the 12th Int. conf. “Information control systems & technologies” (ICST 2024) Odesa, Ukraine, September 23–25, 2024. – P. 50–62.
11. Riznyk, O., Kynash, Y., Savelov, E., Matviychuk, E., Salem, A.-B.M. Method of adaptive Barker-like protection, coding and data transmission. Ceur_Workshop_ProceedingsOpen source_preview, 2025, 4013, pp. 189–197.
12. Oleg Riznyk, Yurii Kynash, Yuriy Pelekh, Evgeny Savelov, Evgeny Matviychuk and Liubomyr Flud. Fast Jam-Proof Codes with the Possibility of Correction. Communications_in_Computer_and_Information_ScienceOpen_source_preview, 2025, 2359 CCIS, pp. 406–417.
13. Oleg Riznyk, Natalya Kustra, Evgeny Matviychuk. Innovation in modern education: methodology, technology, didactic and educational aspects: Study of the characteristics of the developed barker-like codes. Monograph / under the editorship: V.V. Ivanyshyn. Kamianets-Podilskyi. Higher Educational Institution “Podillia State University”. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. 143-152 pp.

REFERENCES

1. J. Xu, G. Tong, Q. Chen and M. Wu, “A New Evaluation Method of The Fault Recovery Scheme for Medium-low Voltage DC Distribution Network,” 2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Chengdu, China, 2020, pp. 1730-1735, doi: 10.1109/ACPEE48638.2020.9136433.
2. Sugimoto, K. Fast Gaussian filter with second-order shift property of DCT-5 / K. Sugimoto, S. Kamata // Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP), Sept. 2013. P. 514–518.
3. Chaurasia, G. Compiling High Performance Recursive Filters / G. Chaurasia, J. Ragan-Kelley, S. Paris, G. Drettakis, F. Durand // HPG '15 Proceedings of the 7th Conference on High-Performance Graphics, Los Angeles, California – August 07-09. 2015. P. 85–94.
4. Attanasi, A. GReTA – a novel Global and Recursive Tracking Algorithm in three dimensions / A. Attanasi, A. Cavagna, L. D. Castello, I. Giardina, A. Jelic, S. Melillo, L. Parisi, F. Pellacini, E. Shen, E. Silvestri, M. Viale // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume: 37, Issue: 12, Dec. 2015, P. 2451–2463.
5. Maheswaran, S. A Real Time Image Processing Based System to Scaring the Birds from the Agricultural Field / S. Maheswaran, M. Ramya, P. Priyadarshini, P. Sivaranjani // Indian Journal of Science and Technology, August 2016, Volume 9, Issue 30, P. 5.
6. Ali, R.A. Recursive non-local means filter for video denoising / R.A. Ali, R.C. Hardie // EURASIP Journal on Image and Video Processing (2017) 2017:29.

7. Almahdi, R.A. Recursive non-local means filter for video denoising with Poisson-Gaussian noise / R.A. Almahdi, R.C. Hardie // 2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS), Dayton, OH, USA, 25-29 July 2016, P. 318–322.
8. Riznyk V.V. Synthesis of optimal combinatorial systems. - Lviv: Higher School, 1989. – 168 p.
9. OpenCV - computer vision library with open source code: <http://opencv.org>.
10. Riznyk O., Kynash Y., Pelekh Y., Savelov E., Matviychuk E., Flud L. Adaptive interference-resistant encoding using Barker-like sequences // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Vol. 3790: Proceedings of the 12th Int. conf. “Information control systems & technologies” (ICST 2024) Odesa, Ukraine, September 23–25, 2024. – P. 50–62.
11. Riznyk, O., Kynash, Y., Savelov, E., Matviychuk, E., Salem, A.-B.M. Method of adaptive Barker-like protection, coding and data transmission. *Ceur_Workshop_ProceedingsOpen source_preview*, 2025, 4013, pp. 189–197.
12. Oleg Riznyk, Yurii Kynash, Yuriy Pelekh, Evgeny Savelov, Evgeny Matviychuk and Liubomyr Flud. Fast Jam-Proof Codes with the Possibility of Correction. *Communications_in_Computer_and_Information_ScienceOpen source_preview*, 2025, 2359 CCIS, pp. 406–417.
13. Oleg Riznyk, Natalya Kustra, Evgeny Matviychuk. Innovation in modern education: methodology, technology, didactic and educational aspects: Study of the characteristics of the developed barker-like codes. Monograph / under the editorship: V.V. Ivanyshyn. Kamianets-Podilskyi. Higher Educational Institution “Podillia State University”. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. 143-152 pp.

doi: 10.32403/1998-6912-2026-1-72-27-38

SYNTHESIS OF RECOVERY SCHEMES FOR WEB-ORIENTED SOFTWARE SOLUTIONS

O. Y. Riznyk¹, D. Y. Voronovsky², E. E. Matviychuk³, E. E. Savelov⁴, R. A. Soltysik⁵

¹ Lviv Polytechnic National University,
12 S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine, e-mail: oleh.y.riznyk@lpnu.ua

² National Forestry University of Ukraine,
103 General Chuprynyk St., Lviv, 79057, Ukraine,
e-mail: 25voronovskyi.d@nltu.lviv.ua

³ Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine

⁴ Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine

⁵ Lviv Polytechnic National University, 12 S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine

In recent years, digital image processing and digital image analysis have been rapidly gaining popularity and are actively used in various application areas. They are used in a wide range of tasks - from automated medical diagnostics systems and unmanned drone control to the control of deep-sea vehicles and space satellites.

Although a significant amount of scientific research has been devoted to the problem of image processing, there is currently no universal method suitable for solving any problem. This is explained by the fact that each application field puts forward its own specific requirements and limitations. Taking into account these features require the development of specialized information technologies capable of ensuring maximum speed and accuracy of processing, in particular in publishing systems. As part of the research, non-equidistant blurring, sharpening, edge selection and embossing filters were developed, built on the weights of elements of non-equidistant configurations. Compared to traditional approaches, the proposed filters provide better visual quality of the result. This makes it possible to effectively use them for pre-processing of high-resolution graphic images and for further identification of objects on them. In addition, the created non-equidistant filtering tools allow reducing the computational complexity of the processing process by approximately 5%, which is achieved through the use of the properties of non-equidistant configurations.

Keywords: *non-equidistant configuration, non-equidistant filtering, image preprocessing, image filtering clusters.*

Стаття надійшла до редакції 25.02.2026.

Submitted: 25.02.2026.

Прийнято до друку: 10.03.2026.

Accepted: 10.03.2026.

Опубліковано: 30.05.2026.

Published: 30.05.2026.



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© О. Я. Різник, Д. Ю. Вороновський, Є. Є. Матвійчук, Є. Е. Савелов, Р. А. Солтисік