

УДК 004.93

## ЗГЛАДЖУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

О.О. Петрушинський, Ю.Є. Кинаш, О.Я. Різник, Н.О. Кустра, В.М. Мицишин  
*Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери 12, Львів, 79013, Україна*

*У статті розглядаються і аналізуються сучасні методи фільтрації зображень. Показано, що оптимальним рішенням для позбавлення зображення ефекту пікселізації є використання методу лінійної фільтрації. Після застосування методу у зображенні видаляються шуми і воно стає чіткішим.*

*Програмне рішення опрацювання зображення написано мовою Python. Застосування пропонуваного алгоритму для позбавлення ефекту пікселізації з використанням лінійного фільтру проведено з порівняльним аналізом початкового та кінцевого зображень.*

*Показано, що фільтрацію зображень за методом обчислення середнього арифметичного деякого околу доцільно використовувати, оскільки, вона видаляє шум за рахунок згладжування локальної варіації яскравості на зображенні.*

**Ключові слова:** лінійна фільтрація, згладжування зображень, обробка зображень, методи фільтрації.

**Постановка проблеми.** Під час створення, передавання та відтворення цифрових зображень можливим є виникнення завад різноманітного походження:

- наявність шумів відеодатчика;
- помилки у процесі передачі;
- спотворення об'єктів у процесі обробки.

Поява завад можлива внаслідок наступних причин:

- неконтрольована зміна освітлення для об'єкту;
- наявність порушень у самому носії зображення;
- завади, що зумовлені апаратурою при отриманні зображення.

Переважно завади проявляються на цифровому зображенні у вигляді різких змін яскравості ізольованих елементів, для котрих відсутня просторова кореляція. Спотворені елементи є чітко відмінними від сусідніх, і це покладено в основу багатьох алгоритмів по видаленню завад.

Процедури обробки та фільтрації зображень є надзвичайно важливими компонентами процесу розпізнавання. У переважній більшості процедур обробки зображень для одержання результату для кожної точки кадру використовують вхідні дані з поміж деякої множини точок для вихідного зображення, котрі знаходяться в околі точки, що обробляється. Існує також набір процедур, де задіюється механізм поелементної обробки. У такому разі результат обробки для будь-якої точки кадру є залежним лише від значення вхідного зображення для цієї ж точки. До очевидної переваги таких процедур

відносять їх граничну простоту та суб'єктивне поліпшення візуальної якості. Часто поелементну обробку застосовують у ролі завершального етапу вирішення складної задачі по обробці зображення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Лінійний фільтр є динамічною системою, де застосовується певний лінійний оператор до вхідного сигналу з метою виділення чи відкидання окремих частот сигналу та інших функцій з обробки вхідного сигналу. Лінійні фільтри мають широке коло застосування в електроніці і оптиці, у сфері цифрової обробки сигналів і зображень, теорії управління і інших областях [1].

Лінійна фільтрація зображень для просторової області передбачає обчислення лінійної комбінації значень для яскравості пікселів вікна фільтрації та коефіцієнтів матриці ваг, котра має назву маски або ядра лінійного фільтру.

До найпростішого виду лінійної віконної фільтрації для просторової області відносять ковзаюче вікно середніх значень. У результаті цієї фільтрації матимемо значення математичного очікування, котре обчислене по усіх пікселях вікна. Математично це є еквівалентним згортці з ядром, де всі елементи дорівнюють  $1/n$ , де  $n$  - число елементів ядра. У випадку ядра розміру  $3 \times 3$  матимемо наступний вигляд [2]:

$$\frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Такий варіант можна розглядати у якості «виродженого» випадку лінійної фільтрації з однорідним ядром. Оскільки в результаті усереднення маємо значення центрального пікселя, то доцільним є надання ближчим точкам для його околу більший вплив на остаточний результат, ніж для дальших. У якості прикладу реалізації для вікна розміру  $3 \times 3$  отримаємо наступний фільтр:

$$\frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Важливим моментом є те, що згладжуючі чи фільтруючі лінійні фільтри повинні мати суму всіх елементів рівною 1. Для цього кожен з вагових значень слід розділити на суму усіх вагових коефіцієнтів. Така умова нормування є гарантією адекватного відгуку фільтра на постійний сигнал (зображення), тобто збереження середньої яскравості для зображення.

Методи фільтрації зображень широко використовують для виділення текстових областей на зображенні відсканованого документа [3], повнокадрової лінійної фільтрації JPEG зображень [4], із застосуванням дискретного перетворення косинусів при стисненнях JPEG зображень [5], у криміналістиці [6].

**Мета дослідження** – розроблення алгоритму згладжування зображень за допомогою лінійної фільтрації. Робота базується на аналізі доступних на даний час методів фільтрації зображень та проблем по їхньому вирішенню. Завданням роботи є реалізація задачі лінійного згладжування зображення та відображення порівняльного аналізу початкового та кінцевого зображення, що дозволяє підвищити інформативність сигналів та одночасне їх фільтрування, тобто зменшення впливу різного типу зовнішніх шумів та завад.

Виклад основного матеріалу дослідження. У процесі фільтрації (filtering) передбачається процедура заміни яскравості для кожної точки початкового зображення певним іншим значенням яскравості, котре вважається меншою мірою спотвореним. На сьогоднішній день пропонується ряд методів фільтрації зображень, котрі можна поділити на лінійні та нелінійні.

Завичай зображення при формуванні різними інформаційними системами, спотворюються внаслідок дії завад, що суттєво ускладнює їхній візуальний аналіз та автоматичну обробку. Під час вирішення деяких завдань по обробці зображень у якості завад можуть виступати певні компоненти самого зображення. Наприклад, аналізуючи космічні знімки земної поверхні може постати завдання визначення границь поміж її окремих ділянок - лісу і поля, води та суші тощо. Відповідно окремі деталі зображення всередині розділених областей виступають у якості завади.

Послаблення дії завад досягається за допоги фільтрації, котра здійснюється в просторовій і частотній областях. При застосуванні просторової фільтрації зображень виконується перетворення безпосередньо над значеннями відліків зображення. У результаті фільтрації маємо оцінку корисного сигналу зображення, що досягається через те, що зображення переважно виступає у якості двовимірної функції просторових координат, котра змінюється за цими координатами повільніше у порівнянні із завадою, котра також виступає двовимірною функцією. Такий підхід дозволяє при оцінці корисного сигналу для кожної точки зображення брати до уваги сусідні точки, використовуючи певну подібність сигналу. За інших випадків, навпаки, ознакою корисного сигналу виступає різкий перепад яскравості. Переважно, частота для таких перепадів є відносно невеликою, так що для значних проміжків маємо сигнал або постійним, або таким, що змінюється повільно. Для цього випадку характерні властивості сигналу проявляються не лише при спостереженні його окремої точки, але й також за проведення аналізу її околиці. Саме поняття околиці є досить умовним. На рис. 1. представлено ієрархію околиць відліку, що позначено «0». За допомогою «1» позначено околицю першого порядку, для котрої відстань між елементів рівна 1. За допомогою «2» позначено околицю другого порядку, до якої ставляться діагональні елементи. Околицю третього порядку представлено елементами, що знаходяться від центрального елемента на відстані 2, і так далі.

На рис. 1. показано формування ієрархії конфігурацій околиці центрального відліку для фрагмента кадру за зростанням відстаней. Околицю утворюють

лише найближчі сусіди, але також можуть бути наявні інші елементи кадру. Для околиці великих розмірів, іноді встановлюють різні ступені впливу далеких та близьких від центру околиці точок на сигнал, що сформовано на виході фільтру для даної точки кадру. Саме тому, в ідеологію фільтрації покладено використання, як даних поточної точки, так і для її околиці.

9	8	7	6	7	8	9
8	5	4	3	4	5	8
7	4	2	1	2	4	7
6	3	1	0	1	3	6
7	4	2	1	2	4	7
8	5	4	3	4	5	8
9	8	7	6	7	8	9

Рис.1. Відображення конфігурації околиці елемента «0» у кадрі зображення в ієрархічній послідовності

Застосування традиційної фільтрації в частотній області вимагає застосування наступної послідовності перетворень:

- двовимірного дискретного перетворення зображення із просторової області в частотну, наприклад, за допомогою дискретного перетворення Фур'є;
- перетворення дискретного спектру сигналу зображення,
- зворотного двовимірного дискретного перетворення, що дає змогу відновити корисний сигнал зображення у просторовій області.

Фільтрація дає змогу більш точно розділити сигнал на складові, котрі відповідають різним частотним смугам. При частотній фільтрації зображень застосовують Фур'є-перетворення, вигляд котрого є результатом суми функцій різної частоти та множення на певні коефіцієнти.

Просторові методи фільтрації застосовують для растрових зображень. Для просторових алгоритмів застосовують спеціальні оператори для кожної точки растрового зображення. У випадку лінійних операцій маємо фільтрацію лінійну, а для іншого випадку – нелінійну. Функціонал складається з переміщення центра околу  $W$  по точках зображення  $F$ . Для всіх пікселів результатом фільтра виступає сума добутків коефіцієнтів та значень відповідних точок околу.

При застосуванні лінійної фільтрації маємо два тісно пов'язані поняття: кореляція і згортка. Кореляція в себе включає проходження маски  $W$  по зображенню  $F$ . Згортку роблять подібно, але маску  $W$  потрібно повернути на  $180^\circ$  перед проходженням по зображенню  $F$ .

**Лінійна фільтрація.** У пропонованій роботі розглядається підхід лінійної фільтрації зображень (linear filtering). Систему називають лінійною, коли для неї виконується принцип суперпозиції (superposition principle): відповідь системи на

зважену суму двох вхідних сигналів дорівнює зваженій сумі відповідей на кожен з двох вхідних сигналів. У випадку лінійної системи принцип суперпозиції дає змогу звести дослідження відповіді системи на будь-яку дію до дослідження відповіді системи на типову дію. У якості типової дії, переважно, використовують імпульсну дію у вигляді  $\delta$ -функції (dirac impulse), котра визначається, як неперервний лінійний функціонал у просторі диференційованих функцій. Система є просторовоінваріативною (shift-invariant system), коли її імпульс-відповідь є залежним від різниці координат вхідної та вихідної площин, тобто переміщення точкового джерела у вхідній площині зображення предмету у площині спостереження також буде змінювати положення, але зберігатиме форму. Описане лінійне перетворення є інтегралом згортки і характеризує глобальну фільтрацію зображень (global image filtering), оскільки за відомої імпульс-відповіді системи можна розраховувати спотворене системою зображення по початкових даних. Складність обчислення інтегральних згорток для глобальної фільтрації призводить до не частого її застосування. Набагато частіше використовується локальна фільтрація (local image filtering), де усереднення проводять не по всій зоні визначення, а для порівняно невеликого околу кожної точки зображення. Перевага саме такого підходу у швидкодії та зручності при роботі з цифровими зображеннями. Загалом, локальні фільтри поділяють на:

- Згладжуючі фільтри;
- Фільтри піксельних границь;
- Диференціальні оператори визначення границь на зображенні.

Застосування усіх лінійних алгоритмів фільтрації призводить до згладжування різких перепадів яскравості зображення та є оптимальним, коли для розподілів корисного сигналу та перешкод маємо розподіл Гауса. Зазначимо, що реальні зображення переважно не відповідають даному розподілу, бо мають різноманітні границі, для котрих характерні перепади яскравості. Також часто зустрічається імпульсне спотворення, котре на сірошкальному зображенні спостерігається у вигляді білих та чорних точок, що хаотично розкидані по зображенню.

**Нелінійна фільтрація.** Застосування лінійних фільтрів послаблює шуми, але одночасно призводить до розмивання межі між областями з різною амплітудою сигналу. Для підвищення чіткості границь застосовують нелінійні фільтри, що виконують нелінійні перетворення відліків зображення відповідно до певної маски фільтра. Серед нелінійних фільтрів виділяють:

- Медіанну фільтрацію;
- Фільтри “максимум” та “мінімум”;
- Оператори математичної морфології.

До найбільш ефективних відносять медіанні фільтри, де подано центральний елемент маски медіаною впорядкованої вибірки, котра сформована з усіх амплітуд відліків, котрі покриваються маскою фільтра. При медіанній фільтрації використовують ковзне двовимірне вікно непарної розмірності  $m \times n$ . Відліки зображення, котрі опинилися в межах вікна, утворюють робочу вибірку поточного відліку.

При застосуванні нелінійних фільтрів “максимум” та “мінімум” аналізують окремі пікселі для деякого околу подібно до медіанного фільтра та застосовують заміну значення яскравості поточного пікселя на найвище або найнижче значенням яскравості пікселів з околу в межах маски фільтра.

У випадку морфологічного аналізу бінарне зображення розглядається, як вид визначення форми для двовимірного структурного елемента, тобто для пікселів, котрі дорівнюють 1 вважають, що вони належать елементу, а для значень 0 – ні, тобто, що вони розташовані зовні елемента. Окіл пікселя  $(x,y)$  у випадку морфологічних операторів виступає структурним елементом і може мати довільний розмір і форму. Переважно застосовують симетричні елементи, як, наприклад, прямокутник фіксованого розміру.

**Комбіновані та гібридні фільтри.** Актуальним питанням залишається розробка алгоритмів фільтрації з метою усунення комбінованих шумів. Таку проблему вирішують шляхом спільного застосування лінійних і медіанних фільтрів, що призводить до комбінованих і гібридних фільтрів. При використанні комбінованих фільтрів до вихідного зображення, наприклад, спочатку застосовують медіанний фільтр, а потім – лінійний. Застосування медіанного фільтра усуває імпульсний шум, а лінійного фільтра – згладжує залишковий низько-амплітудний шум. Для випадку застосування гібридних фільтрів спочатку потрібно визначити вихідні значення лінійного або медіанного фільтрів, а далі – значення діафрагми, після чого звернутися до набору, де містяться виходи медіанного або лінійного фільтра. В подальшому застосовують обраний фільтр із використанням гібридних методів фільтрації.

**Результати досліджень.** В даній статті застосовано алгоритм згладжування зображення з використанням лінійного фільтра.

Першим кроком по вирішенню проблеми є пошук потрібної матриці-ядра для згладжування зображення. Оптимальним є використання ядра розміру  $3 \times 3$  з наступними значення елементів:

$$\frac{1}{9} \times [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (3)$$

Другим етапом є віддзеркалення зображення для забезпечення коректного згладжування. Нехай, маємо наступні значення пікселів для лівого верхнього кута зображення:

$$[4 \ 3 \ 2 \ 1] \quad (4)$$

Для того, щоб виконати віддзеркалення слід збільшити зображення на один рядок зверху та знизу, а також стовпець зліва та справа. Наступним кроком виконується копіювання крайніх значень найближчих сусідів у новостворені «пікселі». У цьому випадку лівий верхній кут буде мати такий вигляд:

$$[4 \ 4 \ 3 \ 4 \ 4 \ 3 \ 2 \ 2 \ 1] \quad (5)$$

Третім етапом є розбиття зображення на матриці розмірності 4x4. Внаслідок розбиття отримаємо матриці, в яких перший елемент матриці буде дорівнювати значенню кожного пікселя рядка та стовпця, до тих пір поки крайні праві або нижні елементи не вийдуть за рамки вхідного зображення.

Четвертим етапом виступає множення отриманих матриць на ядро. Виконаємо розрахунки у випадку, коли матриця має наступні значення:

4	4	3	2
4	4	3	1
2	2	1	1
2	3	4	5

Тоді у результаті операції множення отримаємо результатуючу матрицю розмірності 2x2:

$$f(x_1)f(x_2)f(x_3)f(x_4) , \quad (6)$$

де значення результату матриці є рівними для наступних операцій:

$$f(x_1) = \frac{(4 + 4 + 3 + 4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 1)}{9} \quad (7)$$

$$f(x_2) = \frac{(4 + 4 + 3 + 2 + 2 + 1 + 2 + 3 + 4)}{9} \quad (8)$$

$$f(x_3) = \frac{(4 + 3 + 2 + 4 + 3 + 1 + 2 + 1 + 1)}{9} \quad (9)$$

$$f(x_4) = \frac{(4 + 3 + 1 + 2 + 1 + 1 + 3 + 4 + 5)}{9} \quad (10)$$

На рис. 2. зображено блок-схему запропонованого алгоритму згладжування зображення, що ґрунтується на лінійному фільтрі.



Рис. 2. Блок-схема запропонованого алгоритму

Результатом виконання алгоритму виступає позбавлення зображення ефекту пікселізації. Згладжене за допомогою лінійного фільтру зображення порівнюється з початковим (рис. 3).



Рис. 3. Початкове та кінцеве зображення

Для виконання процедури згладжування зображення слід виконати наступні кроки:

1. Запустити програму.
2. Вказати шлях до зображення.
3. Отримати наступні дані:
  - результат згладжування – файл «correlated-img». Формат кінцевого зображення буде таким ж, як і у початкового; вказати директорію, у якій будуть розміщені в окремих файлах канали зображення.

Приклад вмісту директорії: «blue», «red», «green». Формати зображень будуть такими ж, як і у початкового зображення.

Файл з даними вхідного зображення - «img-data.txt». Приклад вмісту файлу: { «rows»: 600, «cells»: 800, «color\_chanel»: 3 }.

**Висновки.** В статті показано, що оптимальним для покращення зображення з наявним ефектом пікселізації є метод згладжування зображень з використанням лінійного фільтру. Програмне рішення опрацювання зображення написано мовою Python.

Після застосування запропонованого алгоритму для позбавлення зображення ефекту пікселізації з використанням лінійного фільтру проведено порівняльний аналіз початкового та кінцевого зображень.

Показано, що фільтрацію зображень за методом обчислення середнього арифметичного деякого околу доцільно використовувати, оскільки, вона видаляє шум за рахунок згладжування локальної варіації яскравості на зображенні.

### Список використаних джерел

1. Глинченко, А. С. Цифровая обработка сигналов. - М.: ИПК СФУ, 2008.- 242с.
2. Christophoros Nikou. Image Analysis Linear Filters [електронний ресурс] – Режим доступу: – [http://www.cs.uoi.gr/~cnikou/Courses/Image\\_Analysis/01\\_Linear\\_Filters.pdf](http://www.cs.uoi.gr/~cnikou/Courses/Image_Analysis/01_Linear_Filters.pdf).



3. Alesya V. Ishchenko, Marina V. Polyakova, Alexandr G. Nesteryuk. The technique of extraction text areas on scanned document image using linear filtration. *Applied Aspects of Information Technology*, Vol.2 No.3: pages 206–215, 2019.
4. V. Conotter, P. Comesaña, F. Pérez-González. Joint detection of full-frame linear filtering and JPEG compression in digital images. *Information Forensics and Security (WIFS) 2013 IEEE International Workshop on*, pages 156-161, 2013.
5. Aniket Roy, Diangarti Bhalang Tariang, Rajat Subhra Chakraborty, Ruchira Naskar. Discrete Cosine Transform Residual Feature Based Filtering Forgery and Splicing Detection in JPEG Images. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) 2018 IEEE/CVF Conference on*, pages 1633-1638, 2018.
6. In-Jae Yu, Seung-Hun Nam, Wonhyuk Ahn, Myung-Joon Kwon, Heung-Kyu Lee. Manipulation Classification for JPEG Images Using Multi-Domain Features. *Access IEEE*, vol. 8, pages 210837-210854, 2020.
7. Berger et al. Signal processing for passive radar using of dm waveforms. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, pages 226–238, 2010.

## REFERENCES

1. Glinchenko, A. S. (2008). *Cifrovaja obrabotka signalov*. - M.: IPK SFU - 242s. (in Russian)
2. Christophoros Nikou. *Image Analysis Linear Filters [електронний ресурс]* – Режим доступу: – [http://www.cs.uoi.gr/~cnikou/Courses/Image\\_Analysis/01\\_Linear\\_Filters.pdf](http://www.cs.uoi.gr/~cnikou/Courses/Image_Analysis/01_Linear_Filters.pdf). (in English)
3. Alesya V. Ishchenko, Marina V. Polyakova, Alexandr G. Nesteryuk. (2019). The technique of extraction text areas on scanned document image using linear filtration. *Applied Aspects of Information Technology*, Vol.2 No.3: pages 206–215. (in English)
4. V. Conotter, P. Comesaña, F. Pérez-González. (2013). Joint detection of full-frame linear filtering and JPEG compression in digital images. *Information Forensics and Security (WIFS) 2013 IEEE International Workshop on*, pages 156-161. (in English)
5. Aniket Roy, Diangarti Bhalang Tariang, Rajat Subhra Chakraborty, Ruchira Naskar. (2018). Discrete Cosine Transform Residual Feature Based Filtering Forgery and Splicing Detection in JPEG Images. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) 2018 IEEE/CVF Conference on*, pages 1633-1638. (in English)
6. In-Jae Yu, Seung-Hun Nam, Wonhyuk Ahn, Myung-Joon Kwon, Heung-Kyu Lee. (2020). Manipulation Classification for JPEG Images Using Multi-Domain Features. *Access IEEE*, vol. 8, pages 210837-210854. (in English)
7. Berger et al. (2010). Signal processing for passive radar using of dm waveforms. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, pages 226–238. (in English)

---

**DOI 10.32403/2411-9210-2021-1-45-100-109****SMOOTHING THE IMAGE USING LINEAR FILTRATION**

O. Petrushynskiy O, Y Kynash Y, O.Riznyk O., N. Kustra N, V.Myshchysyn

*Lviv Polytechnic National University  
12, S.Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine  
yuk.itvs@gmail.com*

*The article considers and analyzes modern methods of image filtering. The best solution to deprive the image of the effect of pixelation is to use the method of linear filtering. After applying the method, the noise is removed from the image and it becomes clearer.*

*The software solution for image processing is written in Python. The proposed algorithm is used to eliminate the effect of image pixelation. A linear filter is applied to the original image. The comparison of the initial and final images is carried out.*

*The search methodology involves the use of a linear filter; which as a dynamic system involves the application of a linear operator to the input signal to select or discard individual signal frequencies and other functions for processing the input signal.*

*Image filtering is performed by the method of calculating the arithmetic mean of some neighborhood. This procedure removes noise by smoothing the local brightness variation in the image.*

*The use of a linear filtering for image smoothing provides noise removal by smoothing the local variation of brightness in the image and significantly improves the visual perception of the image.*

*The presented system for smoothing images using linear filtering makes it possible to improve images where there is a pixelization effect.*

**Keywords:** *linear filtering, image smoothing, image processing, filtering methods.*

*Стаття надійшла до редакції 16.01.2021*

*Received 16.01.2021*