

УДК 681.3, 621.372.542

В. П. МАЙДАНЮК, І. Р. АРСЕНЮК

## ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

**Анотація.** В роботі розглянуто та досліджено методи поліпшення візуальної якості зображень. Показано, що методи з просторовою обробкою досить ефективні і не вимагають значних обчислювальних затрат. Для виконання моделювання методів поліпшення якості зображення розроблено власний програмний продукт, який дозволяє виконувати дослідження і поліпшення якості зображень з використанням різних методів з можливістю завдання довільних фільтруючих масок, моделювання показало відповідність практичних результатів теоретичним, що свідчить про достовірність запропонованих підходів та повну працездатність розробленого програмного продукту. Програмний продукт може знайти застосування як в наукових дослідженнях так і в навчальному процесі.

**Ключові слова:** цифровий, фільтр, зображення, якість, кодування.

**Аннотация.** В работе рассмотрены и исследованы методы улучшения визуального качества изображений. Показано, что методы с пространственной обработкой достаточно эффективны и не требуют значительных вычислительных затрат. Для выполнения моделирования методов улучшения качества изображения разработан собственный программный продукт, который позволяет выполнять исследования и улучшения качества изображений с использованием различных методов с возможностью задания произвольных фильтрующих масок, моделирование показало соответствие практических результатов теоретическим, что свидетельствует о достоверности предлагаемых подходов и полную работоспособность разработанного программного продукта. Программный продукт может найти применение как в научных исследованиях так и в учебном процессе.

**Ключевые слова:** цифровой фильтр, изображение, качество, кодирование

**Abstract.** In the paper considered and investigated methods to improve visual quality of the images. It is shown that the methods of spatial processing are effective and do not require significant computational costs. For modeling the methods improve visual quality of the images developed own software that allows you to conduct research and improve image quality using a variety of methods with the ability to setting arbitrary filter masks. The simulation showed conformity practical results to theoretical, that indicating the reliability and efficiency of the proposed approaches and the developed software. The software can be used both in research and in the teaching students.

**Keywords:** digital filter, image quality, coding

### ВСТУП

Останніми роками значно зріс інтерес до цифрових методів обробки зображень з метою поліпшення їх якості. Широке освітлення отримали роботи, пов'язані з космічними і біомедичними дослідженнями. З числа інших застосувань слід згадати аерофотознімання і промислову радіографію. Підвищення якості зображень досягається двома видами обробки зображень: реставрацією (виправленням) зображень і їх поліпшенням [1—3].

Реставрація зображень полягає в наближенні зображення до деякого ідеалізованого оригіналу, тобто реставрацію можна розглядати як процес оцінювання: деяке зображення отримане в результаті спостереження піддають перетворенню, щоб знайти оцінку ідеального зображення, яке спостерігалось би на виході гіпотетичної системи, яка не вносить спотворень.

Процедури поліпшення якості зображення зводяться до виконання комплексу операцій, які виконуються з метою або поліпшення візуального сприйняття зображення або перетворення зображення в форму більш зручну для візуального або машинного аналізу. Серед причин необхідності використання методів поліпшення якості зображень можна назвати такі [1]:

— спотворення зображень на етапі дискретизації і квантування;

- зменшення якості зображень при їх збільшенні, зменшенні (зум), поворотах та інших перетвореннях, які дозволяють виконувати сучасні цифрові камери;
- зменшення візуальної якості зображень під час запису їх в форматах, що передбачають ущільнення зображень, наприклад, JPEG;
- можливі спотворення під час передачі зображень по мережах;
- старі фотографії, введені в комп'ютер з сканера;
- старі зображення, що зберігались в аналоговій формі;
- тенденцією виробників до погіршення параметрів якості зображень, за рахунок підвищення функціональності цифрових камер.

Особливо виросло в останні роки значення останнього фактора, причини якого не є технічними. Тут необхідно відзначити два аспекти [4—5]:

- бажанням виробників обманути споживача за рахунок підвищення візуальної якості низькочастотного зображення;
- бажанням користувачів покращити якість своїх фотографій.

Цифрові відеокамери почали користуватися популярністю у широких мас любителів відео починаючи з середини 1999 року, коли вихід в світ відеокамер Sony 8 різко понизив ціновий поріг для входження в світ цифрового відео. З цієї пори почалося зростання співвідношення ціна/якість для цифрових відеокамер. З'явилась безліч цілком пристойних моделей відеокамер за цілком доступні гроші.

Однак, з початку 2002 року ситуація з цифровими камерами почала помітно мінятися. Тон в компаніях-виробниках почали задавати маркетингологи. Стратегія їх була досить проста — увагу потенційних клієнтів не можна привертати якістю зйомки, оскільки її достатньо складно оцінити і також важко довести високу якість зйомки нетямущій людині незалежно від того, чи добре знімає відеокамера насправді [5]. Тому упор почав робитися на ті параметри відеокамер, значення яких повинні впасти в очі навіть повнимдилетантам. При цьому абсолютно не важко, чи мають ці параметри хоч який-небудь практичний сенс. Основне завдання — спонукати або JPEG форматами, то це дуже добре, оскільки MPEG та JPEG це актуально, сучасно, перспективно і дуже модно [6].

- оптика з гучним ім'ям (Carl, LEICA) це дуже добре і престижно;
- USB потрібний і корисний — скрізь, тому і цифрова відеокамера з ним має бути.

Цей список можна продовжувати, але сенс його зрозумілий. Саме на ці параметри маркетингологи почали робити упор і вимагати від технічних фахівців реалізації тих можливостей у відеокамерах, які потрібні для «лову на гачок» споживачів, а не для створення технічно грамотних продуктів. Під таким пресингом втратили сенс навіть ті класичні параметри, по яких багато років оцінювали якість відеокамер. Наприклад, наявність трьох матриць завжди мала на увазі високу якість зйомки, оскільки нікому не приходило в голову, що можна зменшити матриці до непристойності, здешевити оптику, застосувати електронний стабілізатор і отримати відеокамеру, яка за собівартістю може помітно поступитися хорошій одноматричній відеокамері і, за якістю зйомки, природно, теж. Незадоволені тільки любителі відео, які вже і не розуміють чому вірити і на які параметри відеокамери спиратися при виборі її для покупки.

Сукупність цих причин і факторів, як технічних так і не технічних, призводить до необхідності використання методів поліпшення якості зображень і відповідно вимагає розробки необхідних програмних засобів.

## ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Безліч підходів до поліпшення зображень розпадається на дві великі категорії: методи обробки в просторовій області (просторові методи) і методи обробки в частотній області (частотні методи). Термін просторова область відноситься до площини зображення як такий, і дана категорія об'єднує підходи, засновані на прямому маніпулюванні пікселями зображення [1—3]. Методи обробки в частотній області ґрунтуються на модифікації сигналу, що формується шляхом застосування до зображення перетворення Фур'є [1]. Разом з цим не є даремними і технології, що базуються на різних комбінаціях методів з цих двох категорій.

Основними серед методів обробки в просторовій області є такі [1, 3]:

- зміна контрасту;
- видозміна гистограми;
- зменшення шуму з використанням лінійних і нелінійних методів;
- підкреслення границь.

Всі ці методи направлені на підвищення візуальної якості зображень. Наприклад, при підкресленні границь суб'єктивно зображення сприймається як зображення з більш високою роздільною здатністю, хоча в дійсності таким не є.

Частотні методи поліпшення якості зображень подібно до просторових також направлені на підвищення візуальної якості, однак для свого виконання вимагають дуже багато обчислень, оскільки ґрунтуються на двовимірних ортогональних перетвореннях типу перетворення Фур'є, Уолша-Адамара, Карунена-Лоева та інших [1].

Загальної теорії поліпшення зображень не існує. Коли зображення обробляється для візуальної інтерпретації, спостерігач є остаточним суддею того, наскільки добре діє конкретний метод. Візуальне оцінювання якості зображення є украй суб'єктивний процес, що робить тим самим поняття «хорошого зображення» деяким невловимим еталоном, за допомогою якого необхідно порівнювати ефективність алгоритму. Коли метою з'являється обробка зображення для машинної обробки, завдання оцінювання дещо простіше. Наприклад, в завданні розпізнавання символів якнайкращим (залишаючи осторонь інші питання, як обчислювальні вимоги) буде той метод обробки зображень, який дає точніші результати машинного розпізнавання. Проте, навіть за ситуації, коли проблема дозволяє встановити чіткі критерії якості, зазвичай потрібна кількість спроб тестування, поки буде вибраний конкретний підхід до поліпшення зображень.

В більшості практичних застосувань якість зображення це міра близькості двох зображень: ідеального і реального або перетвореного і початкового. Математично ця міра є усереднена середньоквадратична помилка [5]:

$$e^2 = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E(U_{ij} - \hat{U}_{ij})^2, \quad (1)$$

де  $M, N$  — розміри сторін зображення;  $E(\bullet)$  — математичне сподівання;  $U_{ij}$  — значення відліків початкового зображення;  $\hat{U}_{ij}$  — значення відліків відновленого зображення.

В експериментах мірою середньоквадратичної помилки служить середнє значення поелементних середньоквадратичних помилок:

$$\bar{e}^2 = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (U_{ij} - \hat{U}_{ij})^2. \quad (2)$$

На основі приведених вище залежностей можна визначити відношення сигнал/шум:

$$SNR = 10 \lg \frac{255^2}{e^2}. \quad (3)$$

У чисельнику заданий розмах значень відеоданих, що звичайно задаються у виді дискретних відліків, проквантованих на 256 рівнів.

Критерій середньоквадратичної помилки — природна міра спотворень з фізичної і математичної точки зору. Але якщо зображення призначені для візуального спостереження, то перевага цьому критерію віддається не завжди. Це пов'язано з тим, що зорова система не обробляє зображення елемент за елементом, а витягає з нього в процесі нейронного кодування деякі просторові, часові ознаки, а також ознаки кольору.

Крім того, задача поліпшення якості зображень передбачає, що у нас немає оригінального зображення високої якості. Тому в задачах поліпшення якості зображень найбільш розповсюдженим і найнадійнішим способом визначення якості зображення є суб'єктивна експертиза [6].

Як експертів рекомендується залучати спостерігачів-неспіціалістів, їх оцінки визначають якість зображення саме так, як його сприймає «середній спостерігач».

Відповідно до рекомендації 654 МККР рекомендується п'ятибальна шкала абсолютних оцінок наведена в табл. 1

За результатами експертних оцінок звичайно визначається середній бал:

$$\bar{C} = \sum (n_k C_k) / \sum n_k, \quad (4)$$

де  $n_k$  — число зображень, віднесених до  $K$ -ої категорії;  $C_k$  — відповідний їй бал.

Таблиця 1.

П'ятибальна шкала абсолютних оцінок	
Якість	Погіршення
5. Відмінна	5. Непомітне
4. Добра	4. Помітне, але не заважає
3. Задовільна	3. Злегка заважає
2. Погана	2. Заважає
1. Дуже погана	1. Дуже заважає

Розглянемо найбільш поширені процедури обробки в просторовій області для поліпшення якості зображень.

### ЛІНІЙНЕ МАСШТАБУВАННЯ ПРИ ПОКРАЩЕННІ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Цей підхід відноситься до методів з поелементною обробкою. Суть поелементної обробки зображень зводиться до наступного. Хай  $f(n, m)$  і  $g(n, m)$  — значення яскравості початкового і отриманого після обробки зображення відповідно в точці кадру, що має декартові координати  $n$  (номер стовпця) і  $m$  (номер рядка). Поелементна обробка означає, що існує однозначна функціональна залежність між цими яскравостями:

$$g(n, m) = \varphi(f(n, m)). \quad (5)$$

Це дозволяє за значенням початкового сигналу визначити значення вихідного сигналу. Тобто вона характеризується тим, що кожен елемент вхідного зображення математично перетвориться в нове значення елемента вихідного зображення, незалежно від значень інших елементів вхідного зображення.

Слабий контраст — найбільш поширена властивість зображень, обумовлена умовами спостереження, обмеженням діапазону яскравості та інше. Завдання контрастування зв'язане також і з поліпшенням узгодження динамічного діапазону зображення і екрану, на якому виконується візуалізація. Якщо для цифрового представлення кожного відліку зображення відводиться 1 байт (8 біт), то вхідний або вихідний сигнали можуть приймати одне з 256 значень. В якості робочого використовуватимемо діапазон значень сигналу  $[0, 255]$ ; при цьому значення 0 відповідає при візуалізації рівню чорного, а значення 255 — рівню білого.

Припустимо, що мінімальна і максимальна яскравості початкового зображення рівні  $f_{\min}$  і  $f_{\max}$  відповідно. Якщо ці параметри або один з них істотно відрізняються від граничних значень діапазону яскравості, то візуалізована картина виглядає або як темна, або як ненасичена, незручна, стомлива при спостереженні. При лінійному контрастуванні використовується лінійне поелементне перетворення вигляду [4]:

$$g(i, j) = af(i, j) + b. \quad (6)$$

Параметри перетворення  $a$  і  $b$  визначаються бажаними значеннями мінімальної  $g_{\min}$  і максимальною  $g_{\max}$  вихідної яскравості. Вирішивши систему рівнянь:

$$\begin{cases} g_{\min} = af_{\min} + b \\ g_{\max} = af_{\max} + b \end{cases}$$

Відносно параметрів перетворення  $a$  і  $b$ , отримаємо:

$$\begin{cases} a = (g_{\max} - g_{\min}) / (f_{\max} - f_{\min}) \\ b = (g_{\min}f_{\max} - g_{\max}f_{\min}) / (f_{\max} - f_{\min}) \end{cases}$$

Тоді можна привести (6) до вигляду:

$$g(i, j) = \frac{f(i, j) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} (g_{\max} - g_{\min}) + g_{\min}, \quad (7)$$

де  $f_{\max}$  — максимальне значення яскравості в зображенні до масштабування;  $f_{\min}$  — мінімальне значення яскравості в зображенні до масштабування;  $g_{\max}$  — бажане максимальне значення яскравості в зображенні;  $g_{\min}$  — бажане мінімальне значення яскравості в зображенні;  $f(i, j)$  — поточне значення яскравості в зображенні;  $g(i, j)$  — нове значення яскравості в зображенні після масштабування.

Лінійне контрастування початкового зображення, результат якого представлений на рис. 1, виконане при  $g_{\min} = 0$  і  $g_{\max} = 255$ .

Порівняння двох зображень свідчить про значно кращу візуальну якість обробленого зображення. Поліпшення пов'язане з представленням зображення після контрастування в повному динамічному діапазоні сигналу.

Діапазон яскравості вихідного зображення може відрізнятись після цифрової обробки від діапазону яскравості початкового зображення. Приклад: після обробки можуть з'явитися від'ємні значення.

Відомі два способи приведення діапазону яскравості вихідного зображення у відповідності до діапазону яскравості вхідного зображення:

- лінійне масштабування (контрастування) (рис. 2а);
  - нійне масштабування (контрастування) з обмеженням (рис. 2б).
- Другий спосіб деколи дає кращі візуальні результати.



Рис. 1. Початкове (ліве) та контрастоване (праве) зображення

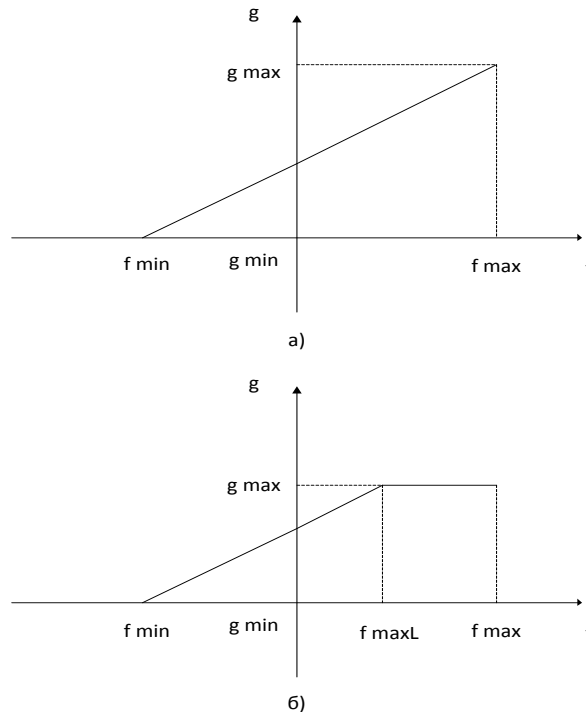


Рис. 2. Зміна контрасту: а) лінійне масштабування; б) лінійне масштабування з обмеженням;  
 $(f_{\min}, f_{\max})$  — діапазон яскравості на вході;  $(g_{\min}, g_{\max})$  — діапазон яскравості на виході

Видозміна гістограми при покращенні якості зображень. Гістограмою цифрового зображення з рівнями яскравості в діапазоні  $[0, L-1]$  називається дискретна функція:

$$h(r_k) = n_k, \quad (8)$$

де  $r_k \in k$  - ий рівень яскравості, а  $n_k$  — число пікселів на зображенні, що мають яскравість  $r_k$ .

Загальною практикою є нормалізація гістограми шляхом ділення кожного з її значень на загальне число пікселів в зображенні  $n$ . Тим самим, значення нормалізованої гістограми будуть:

$$p(r_k) = n_k/n. \quad (9)$$

для  $k = 0, 1, \dots, L - 1$ .

У загальному  $p(r_k)$  є оцінкою ймовірності появи пікселя із значенням яскравості  $r_k$ . Відзначимо, що сума всіх значень нормалізованої гістограми дорівнює одиниці.

Гістограми є основою для численних методів просторової обробки [2—3]. Видозміна гістограми (гістограмна обробка) може успішно використана для поліпшення зображень. Окрім отримання корисної статистики про зображення, інформація, що міститься в гістограмі, також дуже корисна і в інших завданнях, таких як ущільнення і сегментація зображень. Гістограми достатньо прості як для програмного обчислення, так і для апаратної реалізації, що робить їх зручним інструментом для обробки зображень в реальному часі.

На гістограмі темного зображення ненульові рівні сконцентровані в області низьких (темних) значень діапазону яскравості. Аналогічно, значущі рівні гістограми яскравого зображення зміщені до верхньої частини діапазону. Зображення з низьким контрастом має вузьку гістограму, розташовану поблизу центру діапазону яскравості. Для одноколірального зображення це означає сірий, «виліялий» вигляд. Ненульові рівні гістограми високо контрастного зображення покривають широку частку діапазону яскравості та мають розподіл значень пікселів, що не занадто відрізняється від рівномірного, за винятком невеликого числа пік-факторів, що підносяться над рештою значень. Інтуїтивно можна зробити висновок, що зображення, розподіл значень елементів якого близький до рівномірного і займає весь діапазон можливих значень яскравості, виглядатиме високо контрастним і міститиме велику кількість півтонів. Ґрунтуючись тільки на інформації, що утримується в гістограмі початкового зображення, можна побудувати функцію перетворення, яка дозволить автоматично добиватися такого ефекту.

## ЛІНІЙНА ТА НЕЛІНІЙНА ФІЛЬТРАЦІЯ ПРИ ПОКРАЩЕННІ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Деякі локальні перетворення оперують одночасно як із значеннями пікселів в околиці, так і з відповідними їм значеннями деякої матриці, що має ті ж розміри, що і околиця. Таку матрицю називають фільтром, маскою, ядром, шаблоном або вікном, причому перші три терміни є найбільш поширеними. Значення елементів матриці прийнято називати коефіцієнтами. Тут операції фільтрації виконуються безпосередньо над елементами зображення.

Для подібних операцій використовується термін просторова фільтрація, на відміну від більш традиційної фільтрації в частотній області. Процес заснований на простому переміщенні маски фільтру від точки до точки зображення; у кожній точці  $(x, y)$  відгук фільтру обчислюється з використанням попередніх заданих зв'язків. В разі лінійної просторової фільтрації відгук задається сумою добутків коефіцієнтів фільтру на відповідні значення пікселів в області, що покрита маскою фільтру.

Фільтрація зображення  $f$ , що має розміри  $M \times N$ , за допомогою фільтру розмірами  $p \times m$  задається таким виразом [2, 4]:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t), \quad (10)$$

де, як випливає з попереднього абзацу,  $a = (m-1)/2$  і  $b = (n-1)/2$ .

При фільтрації всього зображення дана формула має бути обчислена для всіх поєднань  $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$  і  $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ . Це означає, що всі елементи зображення будуть оброблені по заданій масці. Процедура лінійної фільтрації, що задається рівнянням (10), в частотній області аналогічна операції згортки. З цієї причини лінійну просторову фільтрацію часто називають «згорткою маски із зображенням». Аналогічно, маску фільтру інколи називають маскою згортки або ядром згортки.

Найчастіше при покращенні якості зображень лінійні фільтри застосовують для видалення шуму та розфокусування зображення. В спектрі шуму містяться високі просторові частоти, тому проста низькочастотна фільтрація зменшує шум. Приклади згладжувальних масок [1, 3]:

$$1) H = \frac{1}{9} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}; \quad 2) H = \frac{1}{10} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}; \quad 3) H = \frac{1}{16} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}.$$

Перша маска дає суму значень яскравості по околиці  $3 \times 3$ . Після закінчення процесу додавання отримане значення ділиться на 9, що зменшує погрішності в порівнянні з фільтром з коефіцієнтами  $1/9$ .

Тобто на вихід поступають середні значення по околиці. Такий фільтр називають *однорідним усереднюючим фільтром*.

Друга і третя маска, дають зважене середнє. Цей термін підкреслює, що коефіцієнти фільтру мають різну «важливість» (вагу). Розглянемо маску три. Центр маски має саме більше значення (вагу), тим самим даючи відповідному елементу велику важливість при обчисленні середнього. Значення решти коефіцієнтів в масці зменшуються у міру віддалення від центру маски. Діагональні члени, в порівнянні з ортогональними, розташовані від центру далі, і таким чином «важать» менше, ніж найближчі сусіди центрального елемента. Основна стратегія привласнення центральному пікселю найбільшої ваги, а іншим — обернено пропорціональна їх відстані, має на меті зменшення розфокусування при згладжуванні. Можна було б вибрати і інші значення коефіцієнтів маски для досягнення поставленої мети, але сума коефіцієнтів у масці три рівна 16, що зручно при комп'ютерній реалізації, оскільки це степінь двійки. Слід зауважити, що на практиці достатньо важко помітити різницю між зображеннями, згладженими фільтрами по одній з цих масок або якимись іншими, аналогічними по конструкції, оскільки розміри області, що покривається маскою при фільтрації одного елемента, дуже малі.

Недоліком цих трьох масок є те, що наряду з тим, що зменшується шум, згладжуються різкі переходи яскравості, тому в деяких випадках застосовуються методи нелінійної обробки, прикладом чого є медіанний фільтр. Нелінійні просторові фільтри також працюють по околиці, причому механізм переміщення маски по зображенню той же, що був тільки що описаний. Схема дії операції нелінійної фільтрації залежить від значень елементів околиці, що аналізується, і не обов'язково повинна використовувати коефіцієнти лінійної комбінації, як це було у формулі (10). Видалення шуму може бути, наприклад, ефективно здійснено за допомогою нелінійною фільтра, основна функція якого полягає в обчисленні медіани значень елементів аналізованої околиці. Обчислення медіани є нелінійною операцією.

Нехай є ряд яскравості елементів: 1, 2, 3, 100, 4, 5, 6, 200, 7, 8, 8... Тут шум це значення яскравості 100 і 200, які можуть проявлятися на зображенні як білі точки. Застосуємо маску розміром  $1 \times 3$ . Послідовність із трьох значень розміщується в порядку зростання (або убуття), на вихід передається середній елемент кожної підпослідовності:

0, 1, 2 → 0, 1, 2;  
 1, 2, 3 → 1, 2, 3;  
 2, 3, 100 → 2, 3, 100;  
 3, 100, 4 → 3, 4, 100;  
 100, 4, 5 → 4, 5, 100;  
 4, 5, 6 → 4, 5, 6;  
 5, 6, 200 → 5, 6, 200;  
 6, 200, 7 → 6, 7, 200;  
 200, 7, 8 → 7, 8, 200

Вихід: **1, 2, 3, 4, 5, 5, 6, 7, 8...**

Цей фільтр усуває імпульсний шум без згладжування границь [3].

### ПІДКРЕСЛЕННЯ ГРАНИЦЬ ЗОБРАЖЕНЬ

Підкреслення границь підвищує різкість зображення. Головна мета підвищення різкості полягає в тому, щоб підкреслити дрібні деталі зображення або поліпшити ті деталі, які були розфокусовані унаслідок помилок або недосконалості самого методу зйомки. Підвищення різкості зображень використовується достатньо широко — від електронного друку і медичної інтроскопії до технічного контролю в промисловості і системах автоматичного наведення у військовій сфері.

Розфокусування зображення може бути досягнуто просторовою операцією усереднювання значень точок по околиці. Оскільки усереднювання аналогічно інтеграції, то логічно прийти до висновку, що підвищення різкості, будучи явищем, зворотним по відношенню до розфокусування, може бути досягнуто просторовим диференціюванням. Це дійсно так, що і показано нижче.

Психофізичні експерименти показують, що фотографічне або телевізійне зображення з підкресленими границями часто виявляється суб'єктивно приємнішим, ніж фотометрично здійснена репродукція. Метод підкреслення границь можна реалізувати декількома способами.

У системах електронного сканування зображень отриманий відеосигнал можна пропустити через електричний фільтр верхніх частот. Інший спосіб обробки сканованих зображень полягає у використанні нерізкого маскування [1—2]. При цьому зображення як би сканується двома апертурами, що перекриваються, одна з яких відповідає нормальній роздільній здатності, а інша — пониженої.

В результаті отримують відповідно масив нормального зображення  $F(j, k)$  і масив нечіткого зображення  $F_c(j, k)$ . Потім електронним способом формують масив маскованого зображення:

$$F_M(j, k) = cF(j, k) - (l - c)F_L(j, k), \quad (11)$$

де  $c$  — коефіцієнт пропорційності, нерізкаго маскуванню.

Зазвичай значення  $c$  знаходяться в межах від  $3/5$  до  $5/6$ , тобто відношення складових нормальної і зниженої чіткості змінюється від 1,5 до 5.

На рис. 3 схематично показано результати підкреслення границь. Сигнал, отриманий в результаті маскуванню, має два викиди, відсутні в початковому сигналі (високої роздільної здатності). Тривалість фронту стала дещо більше. Суб'єктивна різкість маскованого зображення підвищується. Перше і третє зображення можуть сприйматися людиною однаковим чином.

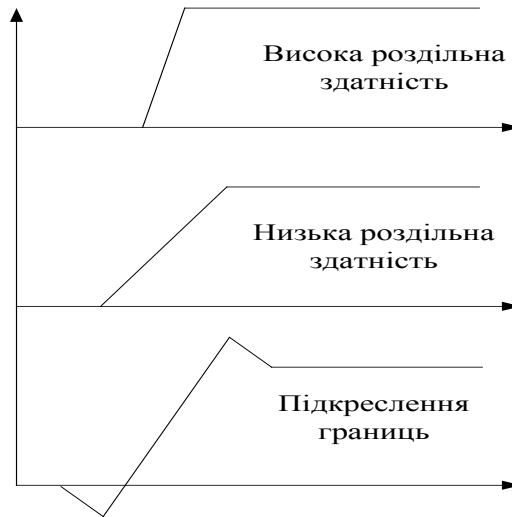


Рис. 3. Підкреслення границь

Підкреслення границь можна також здійснити, виконуючи дискретну фільтрацію згідно співвідношення (10) з використанням високочастотного імпульсного відгуку  $H$  [4]. Нижче представлено три типові маски для виконання підкреслення границь (високочастотної фільтрації):

$$1) H = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}; \quad 2) H = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}; \quad 3) H = \begin{vmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{vmatrix}.$$

## МОДЕЛЮВАННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ

Серед найбільш відомих програмних засобів для роботи з фотографічними зображеннями, поліпшення їх якості є пакет Adobe Photoshop. Однак, недоліком цього пакету є його багатофункціональність, висока вартість, жорстка детермінованість реалізованих алгоритмів поліпшення якості зображень. Тому для моделювання алгоритмів поліпшення якості зображень розроблено програмне забезпечення, орієнтоване тільки на поліпшення якості зображень, яке дозволяє досліджувати поліпшення якості зображень різними методами з можливістю завдання довільних фільтруючих масок.

Основні функції програми такі:

- лінійне масштабування;
- зменшення шуму на зображенні з використанням лінійної фільтрації;
- зменшення шуму на зображенні з використанням медіанної фільтрації;
- підкреслення границь.

Лінійне масштабування або лінійне контрастування виконується згідно формули (7). З цієї формули видно, що виконання масштабування вимагає двох проходів зображення. Під час першого проходу визначається мінімальне і максимальне значення яскравості в зображенні, а під час другого проходу виконуються обчислення яскравості кожної точки згідно з виразом (7).

Для кольорових зображень цей алгоритм застосовується окремо до кожної компоненти кольорового зображення. Оскільки таких компонент три ( $R$  — червона складова;  $G$  — зелена;  $B$  — синя),



то необхідно шість проходів початкового зображення, що вимагає значних обчислювальних ресурсів. Спрощена граф-схема алгоритму приведена на рис. 4.

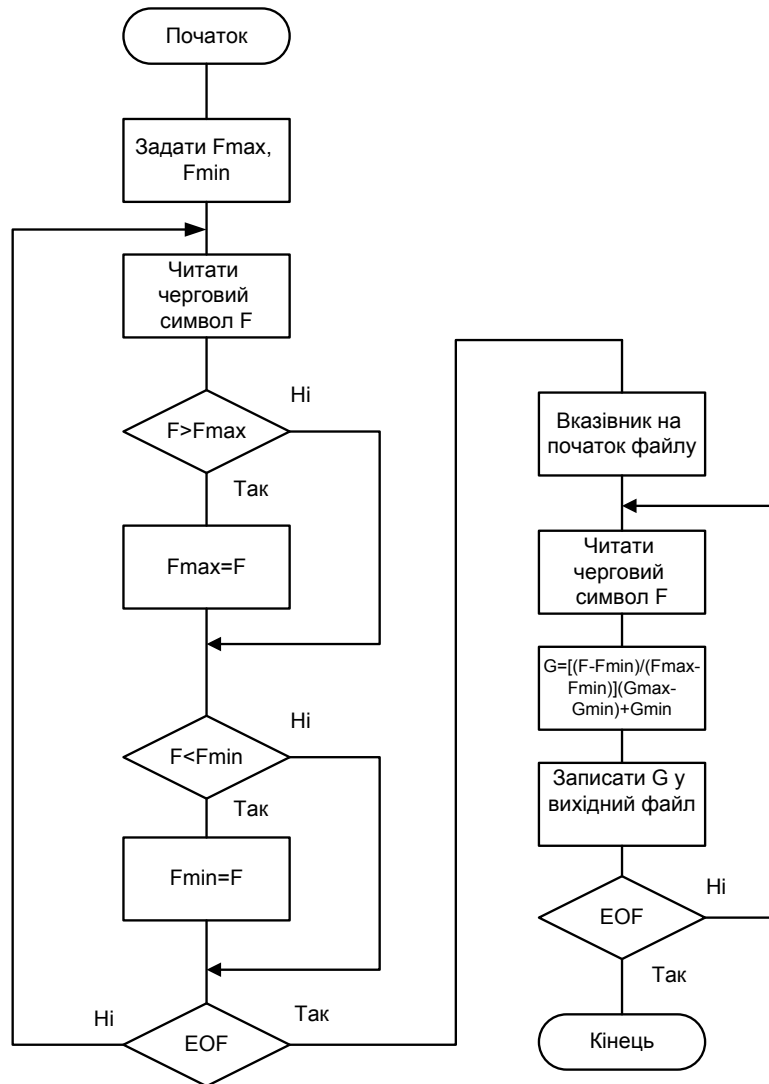


Рис. 4. Граф-схема алгоритму виконання лінійного масштабування

Задача зменшення шуму на зображенні з використанням лінійної фільтрації та підкреслення границь з точки зору програмної реалізації одна і та ж задача — відмінність тільки в коефіцієнтах маски. Вона полягає у прямому множенні коефіцієнтів маски на значення пікселів зображення та знаходженні їх суми, яка записується у вихідний файл. Після цього маска зсувається на один піксель і операція повторюється. Розмір маски 3x3, в результаті кожний піксель у вихідному зображенні замінюється сумою пікселів в околиці 3x3, включаючи центральний піксель:

$$g(i, j) = \frac{1}{k} \cdot \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 a(1-m, 1-n) \cdot f(i-m, j-n), \quad (12)$$

де  $f(i-m, j-n)$  — значення пікселів вхідного зображення;  $a(1-m, 1-n)$  — значення коефіцієнтів маски;  $g(i, j)$  — значення пікселів вихідного зображення,  $k$  — коефіцієнт, задається користувачем.

Найчастіше значення коефіцієнта  $k$  — це сума елементів маски:

$$k = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 a(1-m, 1-n). \quad (13)$$

Основна задача цього коефіцієнта забезпечити у вихідному зображенні після обчислень значення, які знаходяться в межах одного байта на кожному компоненту кольорового зображення. Але можуть бути і

інші значення, якщо це покращує якість зображення і в програмі передбачено вихідні дані після обчислень записувати у масив типу float з наступним приведення результату з використанням лінійного масштабування до стандартного динамічного діапазону для кожної компоненти RGB — 0—255.

Для кольорових зображень цей алгоритм застосовується окремо до кожної компоненти кольорового зображення. Спрощену граф-схему алгоритму наведено на рис. 5.

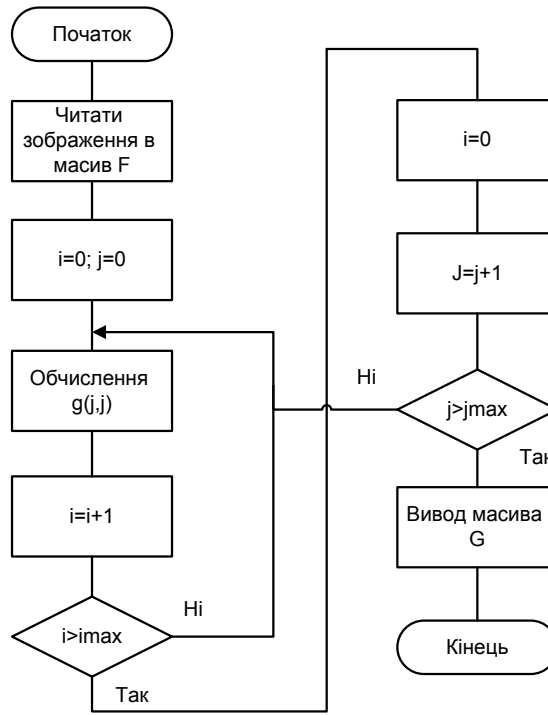


Рис. 5. Граф-схема алгоритму виконання лінійної фільтрації

Медіанна фільтрація — це приклад нелінійної обробки зображень. Її суть полягає в заміні значення кожного пікселя середнім значенням масиву відсортованого за зростанням або спаданням значень пікселів, що оточують даний. Достатньо одновимірному масиву, тобто в програмі, що розробляється пікселі вибираються один за одним без врахування двовимірності зображення. Розмір області, що аналізується 1x3. Алгоритм виконання цієї операції достатньо детально наведений на прикладі вище.

Розробка програми виконана мовою програмування C# [7]. Для роботи програми потрібна операційна система Windows з установленною платформою Microsoft.NET Framework 4.0.

Щоб запустити програму на виконання потрібно вибрати файл ImageFilters.exe, що знаходиться у папці ImageFilters. Одразу після запуску програми з'явиться головне вікно програми (рис. 6). Для початку роботи необхідно завантажити зображення клацнувши мишею по кнопці «Відкрити». З'явиться стандартне вікно вибору файлу, де можна вибрати необхідний файл. Після цього вибирається тип фільтра в полі «Фільтри» — медіанний або лінійний. Якщо вибрано «Лінійний», то необхідно задати коефіцієнти фільтра в полі маска і значення множника. Крім того, можна додатково встановити опцію «Масштабування». При встановленні «Масштабування» в активний стан можна задати нижню і верхню межу для масштабування або залишити ці поля так як вони встановлені за замовчуванням. Якщо вибрано «Медіанний», то необхідно встановити опцію V/H в заданий стан, оскільки медіанний фільтр одновимірний: активний стан — фільтрація виконується в вертикальному напрямку; пасивний стан — фільтрація виконується в горизонтальному напрямі. При виборі кнопки «Застосувати фільтр» виконується фільтрація згідно з вибраними параметрами і результат виводиться в поле «Оброблене зображення». Якщо необхідно зберегти оброблене зображення, то на панелі «Керування» вибирається кнопка «Зберегти» і результат записується у файл в форматі .BMP.

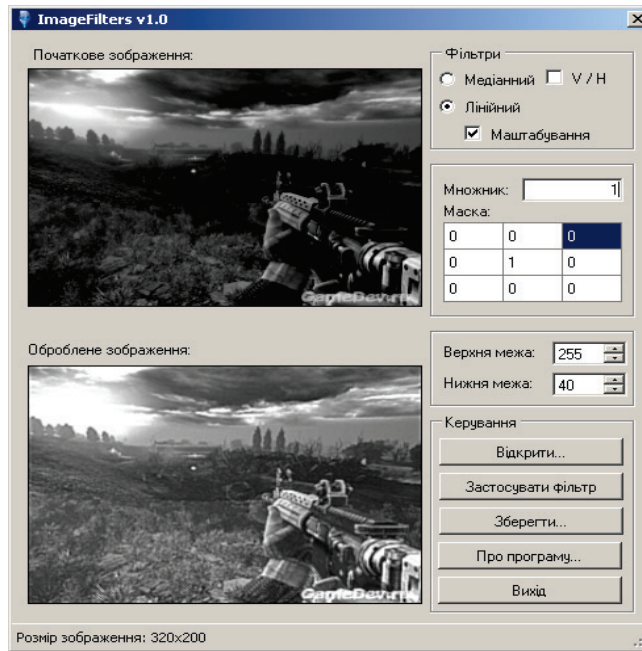


Рис. 6. Головне вікно програми після виконання масштабування

Дослідимо працездатність програми в таких режимах:

- масштабування зображення;
- згладжування зображення;
- підкреслення границь;
- медіанна фільтрація.

Оскільки відсутня можливість виконання масштабування окремо від лінійної фільтрації, то для виконання масштабування задамо таку маску:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Після обробки такою маскою початкове зображення не зміниться. Тепер необхідно, змінюючи межі масштабування, досягти кращої якості зображення. Виберемо файл зображення дуже низької якості Stalker.bmp. Це зображення з низькою яскравістю, тому при лінійному масштабуванні піднімемо нижню межу масштабування на 40 одиниць, множник встановимо в 1. Результати наведені на рис. 6 свідчать, що модуль масштабування повністю працездатний. Зображення покращилось, його яскравість збільшилась, добре видно деталі, які раніше були темними. Але все ж трохи розмите, що добре видно по напису внизу.

Для підкреслення границь використаємо таку маску:

$$\begin{matrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix}$$

Результат роботи цього фільтра наведено рис. 7. Аналіз цього зображення показує, що воно стало більш різким і яскравим.

Для перевірки роботи медіанного фільтра створимо три зображення з різними видами спотворень: горизонтальні лінії, вертикальні лінії та точковий випадковий шум і поспробуємо виправити ці спотворення з використанням медіанного фільтра. Перше зображення з нерегулярними вертикальними лініями. Щоб виправити такі спотворення необхідно задати режим роботи медіанного фільтра в горизонтальному напрямку. Для горизонтальних смуг фільтр повинен працювати в вертикальному напрямку, а для точкового шуму в будь-якому. Результати роботи медіанного фільтра та його налаштування (параметр V/H) для даних типів зображень

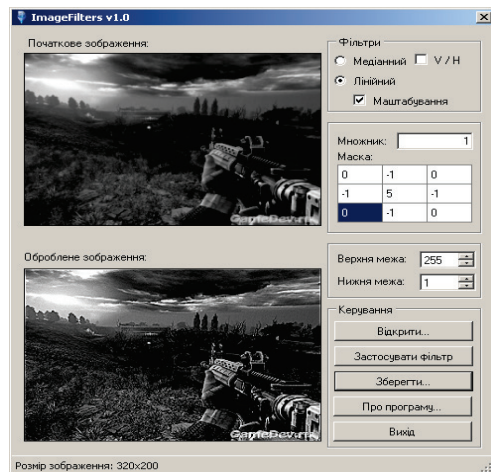


Рис. 7. Головне вікно програми після підкреслення границь та лінійного масштабування

наведені на рис. 8—10.

Візуальний аналіз зображень після виконання медіанної фільтрації показує повну працездатність цього фільтра.

На зображенні рис. 8 наведено зображення, де шум це вертикальні лінії в один піксель (верхнє зображення). Тому застосуємо медіанний фільтр з фільтрацією в горизонтальному напрямі. В даній програмі реалізована маска з розмірами 1x3. Така маска повинна вилучати точковий шум та лінії в один піксель. Саме для цього вона призначена. Виберемо «Медіанний фільтр» та встановимо перемикач V/H в неактивний стан. Цей стан відповідає горизонтальній фільтрації. Після цього виберемо команду «Застосувати фільтр». Зображення після фільтрації виводиться в поле «Оброблене зображення» і не містить вертикальних ліній, що говорить про коректну роботу фільтра в горизонтальному напрямку.



Рис. 8. Зображення після медіанної фільтрації в горизонтальному напрямі

Завантажимо зображення з горизонтальними лініями (рис. 9). Такий шум може бути усунутий медіанним фільтром з фільтрацією у вертикальному напрямі. Встановимо перемикач V/H в активний стан. Цей стан відповідає вертикальній фільтрації.



Рис. 9. Зображення після медіанної фільтрації у вертикальному напрямі

Після цього виберемо команду «Застосувати фільтр». Зображення після фільтрація виводиться в поле «Оброблене зображення» і не містить горизонтальних ліній, що говорить про коректну роботу фільтра в вертикальному напрямку.

При вилученні точкового шуму просторова орієнтація медіанного фільтр може бути будь-яка. Наприклад, вертикальна як на рис. 10. Результати свідчать (нижнє зображення на рис. 10), що точковий шум усунуто повністю.



Рис. 10. Фільтрація точкових завад

Тобто програма працює вірно на всіх режимах роботи, практичні результати збігаються з теоретичними, що свідчить про її повну працездатність.

Дана програма також може працювати з кольоровими зображеннями. Фільтрація здійснюється по кожній компоненті кольорового зображення окремо.

## ВИСНОВКИ

— показано, що серед методів поліпшення якості зображень методи з просторовою обробкою досить ефективні і не вимагають значних обчислювальних затрат;

— для виконання моделювання методів поліпшення якості зображення розроблено власний програмний продукт, який дозволяє виконувати дослідження і поліпшення якості зображень різними методами з можливістю завдання довільних фільтруючих масок, оскільки недоліком відомих програмних продуктів для поліпшення якості зображень є багатофункціональність, жорстка детермінованість реалізованих алгоритмів поліпшення якості зображень;

— моделювання показало відповідність практичних результатів теоретичним, що свідчить про достовірність запропонованих підходів та повну працездатність розробленого програмного продукту. Програмний продукт може знайти застосування як в наукових дослідженнях так і в навчальному процесі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. — 2-е изд., исп. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 784 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — Москва: Техносфера, 2005. — 1072 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ./ У. Прэтт. — М. : Мир, 1982. — Кн.2. — 480 с.
4. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений : учеб. пособие / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. — СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. — 192 с.
5. Небольшие заметки по поводу состояния рынка цифровых видеокамер: [сайт]. Режим

- доступу : <http://videoeditor2005.narod.ru/kamera/tendez.html> (дата звернення 20.09.2015). — Назва з екрана.
6. Майданюк В. П. Навчальний посібник. Кодування зображень / В. П. Майданюк. — Вінниця: ВДТУ, 2000. — 62 с.
  7. Троелсен. Э. С# и платформа .NET. Библиотека программиста / Э. Троелсен. — СПб. : Питер, 2004. — 796 с.

#### SPUSOK LITERATURU

1. Metody komp'juternoj obrabotki izobrazhenij / Pod red. V. A. Sojfera. — 2-e izd., isp. — M.: FIZMATLIT, 2003. — 784 s.
2. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / R. Gonsales, R. Vuds. — Moskva: Tehnosfera, 2005. — 1072 s.
3. Prjett U. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij: Per. s angl./ U. Prjett. — M.: Mir, 1982. — Kn.2. — 480 s.
4. Fisenko V. T. Komp'juternaja obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij: ucheb. posobie / V. T. Fisenko, T. Ju. Fisenko. — SPb : SPbGU ITMO, 2008. — 192 s.
5. Nebol'shie zametki po povodu sostojanija rynka cifrovyh videokamer: [sajt]. Rezhim dostupu: <http://videoeditor2005.narod.ru/kamera/tendez.html> (data zvernennja 20.09.2015). — Nazva z ekrana.
6. Majdanjuk V. P. Navchal'nij posibnik. Koduvannja zobrazhen'/ V. P. Majdanjuk. — Vinnicja: VDTU, 2000. — 62 s.
7. Troelsen. Je. S# i platforma .NET. Biblioteka programmista/ Je. Troelsen. — SPb. : Piter, 2004. — 796 s.

Надійшла до редакції 25.12.2015 р.

**МАЙДАНИЮК ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ** — к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.

**АРСЕНЮК ІГОР РОСТИСЛАВОВИЧ** — к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.