

УДК 618.3

О. М. Рейда, к. т. н.; Ю. В. Олійник; А. О. Панчук; М. Л. Синенький

**МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ТА
ВІДНОВЛЕННЯ ЙОГО СТРУКТУРИ**

У статті розглянуто способи поліпшення якості цифрових зображень, принципи обробки цифрових зображень у частотній області за допомогою перетворень Фур'є. Запропоновано використовувати нелінійну фільтрацію для розв'язання таких завдань, як усунення шуму, відновлення пошкоджених частин зображення.

Ключові слова: цифрове зображення, поліпшення якості зображення, частотні методи обробки, перетворення Фур'є, алгоритм фільтрації зображення, нелінійні методи фільтрації.

Вступ

Сьогодні набули широкого розвитку галузі науки і техніки, у яких застосовують системи обробки інформації з використанням даних у цифровому вигляді. Базовими складниками таких систем є системи цифрового перетворення інформації, призначені для переведення в цифровий вигляд природних або штучних об'єктів, які є носіями інформації в аналоговому вигляді. Дані у цифровому вигляді використовують для збереження, передачі, аналізу й обробки в системах цифрової обробки інформації.

Одним з основних типів інформаційних систем, що використовують цифрові дані, є геоінформаційні системи, у яких широко застосовують методи дистанційного зондування Землі, природних або штучних об'єктів. Методи дистанційного зондування ґрунтуються на реєстрації електромагнітного випромінювання в широкому спектральному діапазоні електромагнітного випромінювання й подальшому їхньому аналізі. Основним завданням обробки є усунення дефектів, зменшення впливу спотворень і шумів, перетворення зображення зручне для спостереження людиною-оператором. Особливо, важливе значення мають методи обробки аерокосмічних зображень. Ефективність аерокосмічних методів вивчення земної поверхні, поверхні інших планет значною мірою визначається якістю цифрових матеріалів. Підвищення якості таких зображень має велике економічне значення, тому що знижує вартість виконання робіт за рахунок зменшення масштабу зйомки.

Аналіз існуючих підходів розв'язання завдань поліпшення цифрового зображення та відновлення його структури

Існуючі підходи щодо розв'язання завдань поліпшення цифрового зображення та відновлення його структури поділяють на дві категорії:

- 1) методи обробки в просторовій області (просторові методи), які ґрунтуються на прямому маніпулюванні пікселями зображення;
- 2) методи обробки в частотній області (частотні методи), які ґрунтуються на модифікації (фільтрації) сигналу, що формується шляхом застосування до зображення перетворення Фур'є.

Просторова обробка застосовується, коли єдиним джерелом викривлень є адитивний шум. Частотна фільтрація може використовуватися для нечітких зображень з дефектами освітлення, також вона враховує й шум [1]. Тому частотна обробка є найбільш універсальним і поширеним методом поліпшення якості цифрового зображення.

Опис методу обробки зображень у частотній області

Суть цього методу полягає в представленні зображення як двовимірної функції $f(x, y)$, де x та y – координати в просторі (конкретно, на площині). Значення f у будь-якій точці, що

задається парою координат (x, y) , називається інтенсивністю, або рівнем сірого в цій точці.

Загальновідомим є твердження, що будь-яка функція, яка періодично повторює свої значення, може бути представлена у вигляді суми синусів та косинусів різних частот, помножених на деякі коефіцієнти. Таке представлення функції називається представленням у вигляді ряду Фур'є. Коли функція не є періодичною, але площа під її графіком є кінцевою, це – перетворення Фур'є.

Функція, задана як рядом, так і перетворенням Фур'є, може бути повністю, без втрати інформації, відновлена за допомогою алгоритму перетворення. Ця властивість є надзвичайно важливою, оскільки дозволяє працювати у «Фур'є-просторі», а потім повернутися в початкову область визначення функції без втрати якої-небудь інформації [2]. На рис. 1 а зображено складну функцію, яка є сумою чотирьох синусоїд та косинусоїд рис. 1 б.

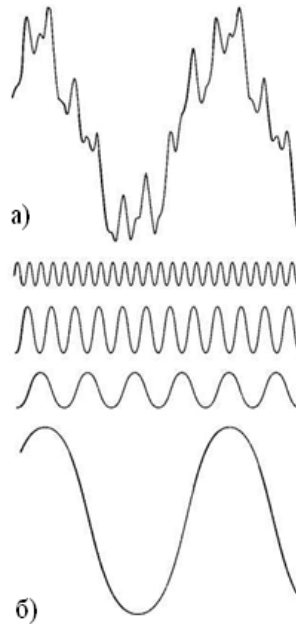


Рис. 1. Розкладання функції на складники: а) функція; б) її складники

Оскільки цифрові зображення описують двовимірними дискретними функціями, то розглянемо дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) саме для таких функцій.

Нехай $f(x, y)$, при $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ і $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, позначає зображення $M \times N$. Двовимірне дискретне перетворення Фур'є зображення $f(x, y)$, яке позначається $F(u, v)$, задається рівнянням (1).

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)}, \quad (1)$$

де $u=0, 1, 2, \dots, M - 1$ і $v=0, 1, 2, \dots, N - 1$; M і N – парні числа.

Координатна система, задаючи аргументи $F(u, v)$ частотними змінними u і v , називається частотною областю. У цьому випадку можна виявити аналогію із завданням аргументів $f(x, y)$ просторовими змінними x і y . Прямокутну область розміру $M \times N$, при $u=0, 1, 2, \dots, M - 1$ і $v=0, 1, 2, \dots, N - 1$, прийнято називати частотним прямокутником. Він має ті ж розміри, що й початкове зображення.

Навіть якщо зображення $f(x, y)$ дійсне, його перетворення Фур'є є, як правило, комплексним. Основний метод візуального аналізу цього перетворення полягає в обчисленні його спектру (тобто абсолютної величини $F(u, v)$) і його відображення на дисплеї. Нехай $R(u, v)$ і $I(u, v)$ позначають дійсну й уявну компоненти $F(u, v)$, тоді спектр Фур'є задається виразом (2).

$$|F(u, v)| = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{1/2}. \quad (2)$$

Кожен елемент фур'є-образу $F(u, v)$ містить усі відліки функції $f(x, y)$, помножені на значення експоненціальних членів, тому зазвичай неможливо встановити пряму відповідність між характерними деталями зображення і його образом. Проте можна зробити деякі спільні висновки щодо взаємозв'язку частотних складників фур'є-образу і просторових характеристик зображення. Наприклад, оскільки частота прямо пов'язана із швидкістю зміни сигналу, то зрозуміло, що частоти в перетвореннях Фур'є пов'язані з варіацією яскравості на зображенні. Найбільш повільно змінюваний (постійний) частотний складник ($u=v=0$) збігається з середньою яскравістю зображення. Низькі частоти, що відповідають точкам поблизу початку координат фур'є-перетворення, відповідають повільно змінним компонентам зображення. На зображенні кімнати, наприклад, вони можуть відповідати плавним змінам яскравості стін і підлоги. Із віддаленням від початку координат вищі частоти починають відповідати все більшим змінам яскравості деталей зображення та їх меж.

Алгоритм фільтрації зображення в частотній області

Процедура алгоритму фільтрації в частотній області проста і складається з таких кроків:

1. Початкове зображення множиться на $(-1)^{x+y}$, відповідно до виразу (3). Це робиться для того, щоб його перетворення Фур'є виявилось центрованим, тобто початок координат для образу функції буде в центрі частотного прямокутника в точці $(M/2; N/2)$;

$$\xi[f(x, y)(-1)^{x+y}] = F(u - M/2, v - N/2). \quad (3)$$

2. Обчислюється пряме ДПФ $F(u, v)$ зображення, отриманого після кроку 1;

3. Функція $F(u, v)$ множиться на деяку функцію фільтру $H(u, v)$;

4. Обчислюється зворотне ДПФ від результату кроку 3;

5. Виділяється потрібна частка результату кроку 4;

6. Результат кроку 5 множиться на $(-1)^{x+y}$.

Причина, через яку множник $H(u, v)$ називається фільтром (часто використовують також термін передаточна функція фільтра), полягає в тому, що він пригнічує деякі «зайві» частоти перетворення, залишаючи при цьому інші майже без зміни. Питання знаходження передаточної функції фільтра і є ключовим, адже воно визначає метод фільтрації і вказує, які саме частоти будуть відфільтровуватися [3].

Нехай $f(x, y)$ позначає вхідне зображення після кроку 1, а $F(u, v)$ є його фур'є-образом. Тоді фур'є-образ вихідного зображення визначається виразом (4).

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v). \quad (4)$$

Множення функцій двох змінних H і F здійснюють поелементно. Фільтроване зображення отримують обчисленням зворотного перетворення Фур'є від фур'є-образу $F(u, v)$, обчислюючи за формулою (5).

$$\text{Покращене зображення} = \xi^{-1}[G(u, v)]. \quad (5)$$

Знайдене зображення отримуємо, виділивши дійсну частину з останнього результату і множення на $(-1)^{x+y}$, щоб компенсувати ефект від множення вхідного зображення на ту ж величину.

Описано процедуру алгоритму фільтрації схематично зображена на рис. 2 в більш загальному вигляді, який містить стадії попередньої й завершальної обробки.

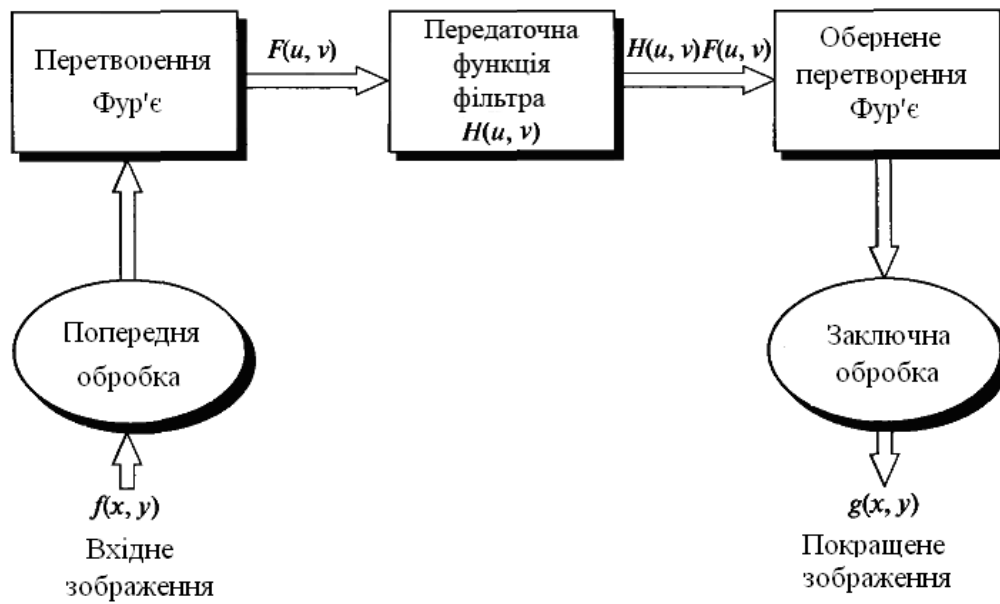


Рис. 2. Основні етапи фільтрації в частотній області

Ця схема фільтрації може мати деякі зміни, пов'язані з необхідністю зменшення вхідного зображення, масштабування яскравості і тощо.

Прикладом фільтрації в частотному діапазоні є обробка аерокосмічних зображень для геоінформаційних систем та людини-оператора. Результати фільтрації зображення в частотному діапазоні наведено на рис. 3, де у відфільтрованому зображенні зменшується початкове освітлення.

Недоліком і предметом досліджень усіх методів фільтрації в частотній області є неможливість створення ідеального фільтра, що відкидав би всі «зайві» частоти, відновлюючи при цьому якість зображення.

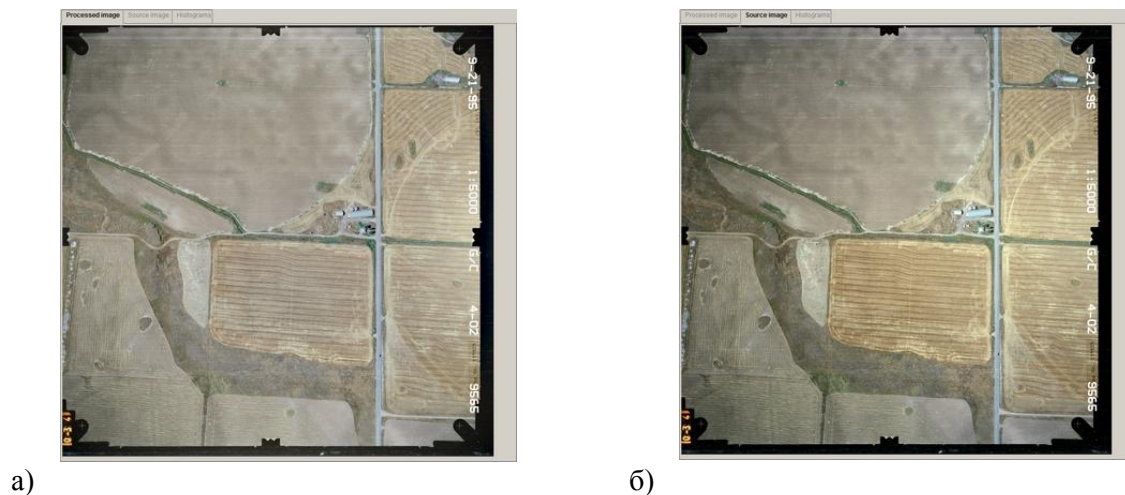


Рис. 3. Результати фільтрації в частотному діапазоні:
а) фільтроване зображення; б) оригінальне зображення

Нелінійні методи фільтрації

Нелінійні методи фільтрації належать до одного із видів методів обробки зображень в частотній області. Клас нелінійних цифрових фільтрів є дуже широким для того, щоб проводити їхній опис у загальному вигляді. Розглянемо одні з найвідоміших методів із родини нелінійних цифрових фільтрів.

Під час фільтрації реальних зображень обмеженого розміру виникає гранична проблема одержання оцінок у точках нульового рядка й нульового стовпчика. Природним рішенням є використання звичайної (одномірної) калмановської фільтрації.

Уолкап і Чоенс запропонували використовувати вінерівську фільтрацію для боротьби із шумом зернистості фотоплівки в моделі системи зображення, що описує формула (6).

$$\tilde{y}_{i,j} = y_{i,j} + \alpha [y_{i,j}]^{1/3} n_{i,j}, \quad (6)$$

де α – постійна величина.

Для цієї моделі було отримано частотну характеристику реставруючого фільтра, що відповідає випадку нескінченного зображення, яке описує рівність (7).

$$H_R(\omega_x, \omega_y) = \frac{W_{F_1}(\omega_x, \omega_y)}{W_{F_1}(\omega_x, \omega_y) + \alpha^2 E \left\{ [F_1(\omega_x, \omega_y)]^{2/3} \right\}}, \quad (7)$$

де $W_{F_1}(\omega_x, \omega_y)$ – енергетичний спектр ідеального зображення, E – позначення математичного прогнозу.

Надер і Савчук розробили процедуру вінерівського оцінювання дискретних зображень на основі моделі фотографічного запису зображення. Ця модель враховує хімічні ефекти фотографічного процесу такі як нелінійність характеристичної кривої й прикордонні ефекти, зобумовлені дифузією проявника, а також шум зернистості фотоплівки. Перевага розглянутої вінерівської оцінки полягає в тому, що вона ґрунтується на моделі загального виду: (завдяки властивій їй адаптивності вона здатна модифікуватися відповідно до змін першого і другого моментів випадкового поля представленого ідеальним зображенням [4]).

Цвейг розробив евристичний нелінійний метод реставрації малоконтрастних зображень з метою послаблення шуму зернистості фотоплівки. Під час використання цього методу вхідне зображення розгортається з високою роздільною здатністю, а кожний його елемент квантується великим числом рівнів. Потім одержують зображення зниженої чіткості, об'єднуючи елементи у фрагменти, що не перетинаються, розміром 2×2 . Звичайно, чітке зображення має більш різкі межі, ніж зображення зі зниженою чіткістю, проте дисперсія шуму останнього виявляється меншою. У випадку білого шуму дисперсія нечіткого зображення в чотири рази менша, ніж для чіткого зображення, що є наслідком просторового усереднення елементів. Усереднене зображення повторно квантується з використанням рівномірної шкали, причому крок квантування вибирається таким, що дорівнює значенню середньоквадратичного відхилення шуму, збільшеному в чотири рази. Завдяки такому вибору, забезпечується помилка квантування 5% при гаусовому шумі. Отримані квантовані елементи нечіткого зображення досліджують в області розміром 3×3 елементи [5].

Якщо центральний елементи нечіткого зображення лежить на межі (рис. 4), він розділяється на чотири елемента, що відповідають повній роздільній здатності; цим новим елементам приписуються рівні, що залежать як від рівнів, що відповідають вихідним елементам чіткого зображення, так і від рівнів найближчих елементів нечіткого зображення.

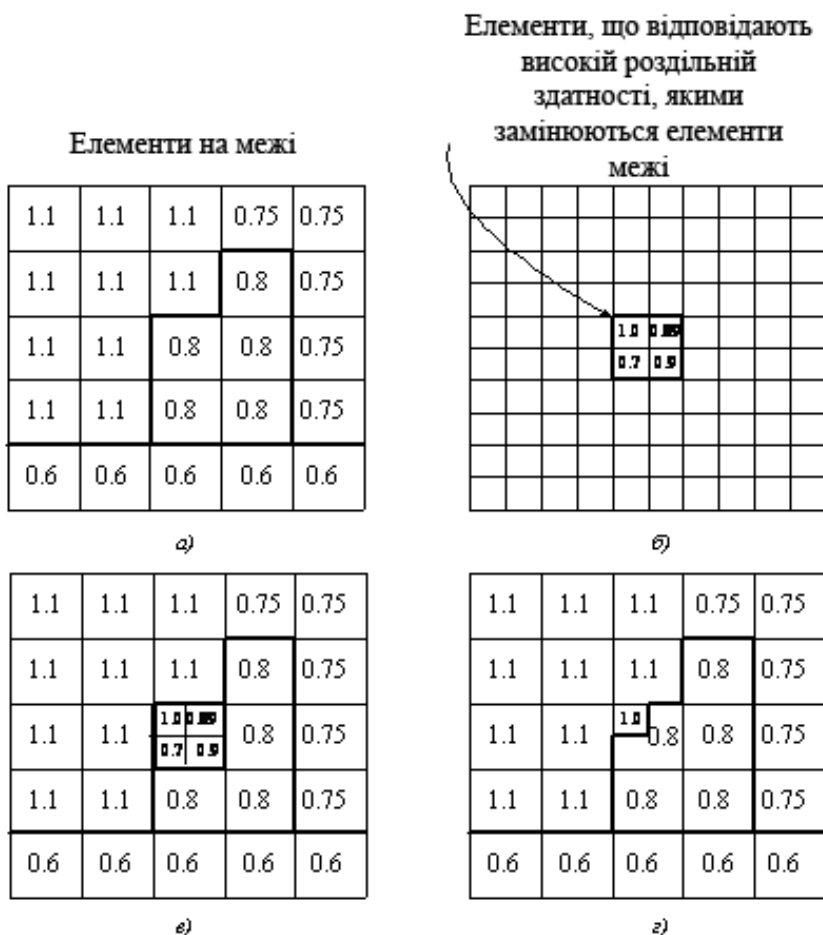


Рис. 4. Приклад алгоритму пригнічення шуму за Надері:

а) масив, що відповідає зниженій роздільній здатності; б) масив, що відповідає високій роздільній здатності; в) заміна елемента, що належить до межі; г) остаточний результат

Може виявитися, що всі вісім периферійних елементів проквантовано з одним рівнем, а центральний елемент – з іншим рівнем. У цьому випадку вважають, що ізолюваний центральний елемент містить помилку, обумовлену шумом, і приписують йому середній рівень периферійних елементів. Простий алгоритм полягає в тому, що елементу, який відповідає високій роздільній здатності, приписують рівень одного з чотирьох пов'язаних елементів (елементи «північ» і «схід» або «північ» і «захід» і т. д.), найближчий до рівня знайденого елемента.

Висновки

Розглянуто основні існуючі підходи щодо розв'язання завдання поліпшення цифрового зображення та відновлення його структури. Проаналізовано метод обробки зображення в частотній області та його математичну модель. Запропоновано алгоритм фільтрації в частотній області та зображено по - крокову схему його роботи для покращення якості зображення. Наведено один із видів методів обробки зображень у частотній області – нелінійну фільтрацію. Розглянуто одні із найвідоміших методів нелінійної фільтрації для усунення завад та поліпшення оригінального зображення. Нелінійні фільтри можуть використовуватися для вирішення таких проблем, як усунення завад, шуму, відновлення пошкоджених зображень, поліпшення контрасту та виділення контурів зображення тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грузман И. С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие. / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых, Г. И. Перетягин, А. А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.
2. Фурман Я. А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. / Я. А. Фурман, А. Н. Юрьев, В. В. Яншин. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 248 с.
3. Хуанг Т. С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т. С. Хуанг, Дж.-О. Эклуид, Г. Дж. Нуссбауер и др.; пер. с англ.; под ред. Т. С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
4. Богнер Р., Введение в цифровую фильтрацию. / Р. Богнер, А. Константи́нидис. – Москва.: Мир, 1976. – 216 с.
5. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд; пер. с англ.; под ред. Ю. Н. Александрова. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

Рейда Олександр Миколайович – к. т. н., старший викладач кафедри програмного забезпечення, тел.+380977882493, e-mail: AlexReyda@hotmail.com.

Олійник Юрій Володимирович – студент 4-го курсу факультету комп'ютерного інтелекту інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, тел. +380967205759, e-mail: Oliynuk_Y_V@mail.ru.

Панчук Анна Олександрівна – студентка 4-го курсу факультету комп'ютерного інтелекту інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, тел. +380989411135, e-mail: Ann1988@bk.ru.

Синенький Михайло Любомирович – студент 4-го курсу факультету комп'ютерного інтелекту інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, тел. +380971320283, e-mail: mistermishka@meta.ua.

Вінницький національний технічний університет.