

УДК 621.3

В. В. Гармаш; А. Я. Кулик, д. т. н., проф.; А. С. Васюра, к. т. н., проф.;
О. В. Васьковський

ОПТИМАЛЬНИЙ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ БЛОЧНОЇ СТРУКТУРИ ЗОБРАЖЕНЬ

Представлено оптимальний інтерполяційний фільтр для зменшення артефакту блочної структури, яка виникає на зображеннях, стиснутих із використанням дискретного косинусного перетворення. Запропонований метод ефективно та відносно просто зменшує блочну структуру, який не приводить до спотворень інших характеристик якості зображення.

Ключові слова: зображення, стиснення, артефакти, блочна структура, дискретне косинусне перетворення, якість зображень, фільтрація, інтерполяція, PSNR.

Актуальність

Цифрове оброблювання зображень (ЦОЗ) широко використовується в системах телекомунікацій, радіо- та гідролокації, сейсмології, робототехніці, радіоастрономії, медицині тощо. Перехід на цифрове телерадіомовлення, широке використання мереж різного призначення, в тому числі й мережі Інтернет, також сприяють розвитку цього напрямку оброблювання сигналів.

На сьогоднішній день для пристроїв ЦОЗ є характерною **проблема** постійного зростання обсягу оброблюваної інформації, підвищення вимог до якості оброблювання, робота при складних умовах низького співвідношення сигнал/шум. Все це стимулює появу нових методів та більш складних алгоритмів, що використовуються в системах ЦОЗ. Серед них можна виділити нелінійні алгоритми фільтрації та відновлення зображень, вейвлет-оброблення, а також системи, побудовані на нечіткій логіці, генетичних алгоритмах, нейронних мережах [1]. Тому **задача** поліпшення якості зображення є актуальною.

Аналіз останніх досліджень

Більшість методів кодування зображень або відеоінформації полягає в поділі зображення чи кадру на квадратні блоки з подальшим кодуванням кожного блоку із використанням дискретного косинусного перетворення (ДКП). Такий метод називається блочним ДКП [2, 3]. Розмір кожного блоку в більшості випадків становить 8 x 8 пікселів, але в деяких випадках він може бути 4 x 4 пікселя, 16 x 16 пікселів [4, 5, 6]. Блочне дискретне косинусне перетворення (БДКП) використовують у стандартах JPEG і MPEG та у стандартах кодування відео ITU (H.261, H.263) [4]. Разом із тим у випадку високого ступеня стиснення результати БДКП приводять до візуальних спотворень зображення після декодування. Одним із таких спотворень є блочна структура.

Відповідно до [3] блочна структура являє собою вертикальні та горизонтальні хибні контури, які періодично виникають на зображенні, особливо на однорідних областях (де яскравість пікселів однакова або майже однакова).

Зорова система людини чутлива до контурів, особливо до вертикальних та горизонтальних, зокрема в однорідних областях зображення [7]. Згідно з [8] блочну структуру можна розглядати як високочастотний шум, який менш помітний на ділянках зображення з високою деталізацією, але значно помітний на однорідних ділянках зображення. Проблема блочної структури ускладнюється її нелінійним характером та сильною залежністю від поведінки зорової системи людини, яка також є нелінійною [7].

У [9] та [10] авторами запропоновано метод для зменшення блочної структури з використанням вейвлет-перетворення без застосування «порогових методів». Недоліком

цього методу є можливість виникнення різноманітних додаткових спотворень на зображенні, наприклад, сильне розмиття зображення, зниження різкості зображення тощо.

Постановка задачі

Було проведено багато досліджень для ефективного вирішення **проблеми** блочної структури без спотворень інших характеристик якості стиснутого зображення [6, 11]. Загалом, різні запропоновані методи для усунення цього недоліку відрізняються різною ефективністю, швидкістю та обчислювальною складністю. Тому **необхідно розробити** метод, що ефективно зменшує блочну структуру, має невелику обчислювальну складність, просту реалізацію і не вносить додаткових спотворень.

Метод зменшення блочної структури

Зменшення блочної структури відбувається за рахунок використання адаптивної низькочастотної просторової фільтрації стиснутого зображення, приймаючи до уваги те, що низькочастотна просторова фільтрація може спотворити різкість деталей зображення та контури. Таким чином, операції фільтрації адаптуються до локальних властивостей зображення. Беруть до уваги наступні три спостереження [11]. По-перше, зорова система людини більш чутлива до блочної структури в нерізких областях або однорідних областях, ніж у областях, які містять деталі зображення та контури (складні області). Отже, можна використовувати відносно сильну фільтрацію в цих областях. По-друге, у менш однорідних областях необхідно зменшувати силу фільтрації, а в складних областях використовувати слабку фільтрацію з метою збереження різкості деталей зображення та контурів. По-третє, при кодуванні відеоінформації фільтрацію у однорідних областях необхідно застосовувати всередині блоків так само, як і на межі блоків [11].

Замість достатньо складної фільтрації, запропонованої в [8, 11], використовуються наступні функції, які застосовують у [6] та використовують у [11] з іншою метою:

$$h(n) = \begin{cases} a, & n = 0, \\ \frac{1}{4}, & n = \pm 1, \\ \frac{1}{4} - \frac{a}{2}, & n = \pm 2. \end{cases} \quad (1)$$

Функція $h(n)$ є «імпульсною характеристикою», яку використовують для фільтрації. Вона відповідає еквівалентній зваженій функції $h(x)$, як показано на рис. 1, для трьох значень a [13]. Припустимо $h(n) = h(x)$ для $x = n$.

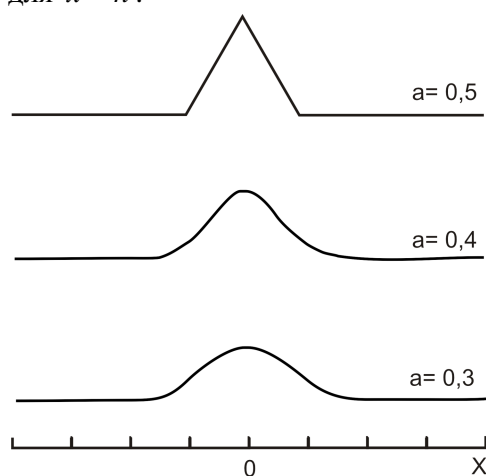


Рис. 1. Еквівалентна зважена функція $h(x)$

Спочатку функція $h(n)$ застосовується по горизонталі для фільтрації вертикальних границь відповідно до дискретної просторової згортки, яка виражається наступним рівнянням [14]:

$$Z_x(x, y) = h(-2) \cdot z(x-2, y) + h(-1) \cdot z(x-1, y) + h(0) \cdot z(x, y) + h(1) \cdot z(x+1, y) + h(2) \cdot z(x+2, y), \quad (2)$$

де $z(x, y)$ – значення пікселя (x, y) .

Потім $h(n)$ застосовується вертикально для фільтрації горизонтальних границь, використовуючи рівняння [14]:

$$Z_y(x, y) = h(-2) \cdot z(x, y-2) + h(-1) \cdot z(x, y-1) + h(0) \cdot z(x, y) + h(1) \cdot z(x, y+1) + h(2) \cdot z(x, y+2). \quad (3)$$

Області зображення класифікуються відповідно до позицій пікселів у кожному блоці, як показано на рис. 2, обчислюючи функції, які використовуються у [6, 8]:

$$C = \Phi(z_0 - z_1) + \Phi(z_1 - z_2) + \Phi(z_2 - z_3) + \Phi(z_4 - z_5) + \Phi(z_5 - z_6) + \Phi(z_6 - z_7), \quad (4)$$

де $\Phi(\Delta) = 1$, якщо $|\Delta|$ менше, ніж поріг $th1$, та $\Phi(\Delta) = 0$ в іншому випадку. Величина $th1 = 3$. Величина $\Phi(\Delta)$ для $\Delta = z_4 - z_3$ не визначається у рівнянні (4), тому що вона відповідає пікселям z_3 та z_4 , які лежать на межі блоків.

Функція C відповідає «однорідності» локальної області зображення навколо границі блока [8, 11]. Розділимо області зображення на однорідні, майже однорідні та складні за наступними правилами:

1. Якщо величина C дорівнює 5 чи 6, межа знаходиться в однорідній або в дуже згладженій області. Фільтруються пікселі від z_1 до z_6 (рис. 2). Застосовується сильна фільтрація для пікселів z_3 та z_4 з використанням функції $h(n)$ з $a = 0,3$. Застосовується помірна фільтрація для пікселів z_2 та z_5 з використанням функції $h(n)$ з $a = 0,4$. Застосовується слабка фільтрація для z_1 та z_6 з використанням функції $h(n)$ з $a = 0,5$.

2. Якщо величина C дорівнює 2, 3 чи 4, межа вважається майже однорідною. Фільтруються пікселі від z_2 до z_5 . Використовується $h(n)$ з $a = 0,4$ для пікселів z_3 та z_4 та $h(n)$ з $a = 0,5$ для пікселів z_2 та z_5 .

3. Якщо величина C дорівнює 0 чи 1, межа вважається складною [11]. Застосовується слабка фільтрація з використанням функції $h(n)$ з $a = 0,5$ для пікселів z_3 та z_4 .

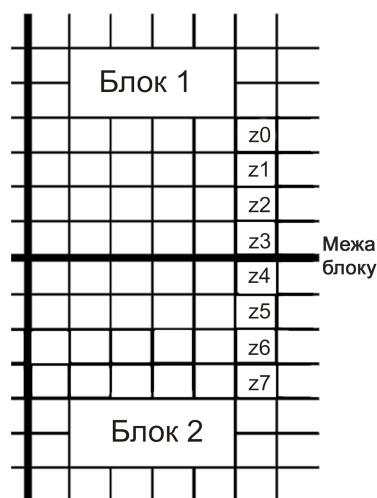


Рис. 2. Приклад позицій пікселів

Пропонується використовувати такий алгоритм із використанням інтерполяційних функцій замість рівняння (1) для підвищення швидкодії методу (рис. 3).

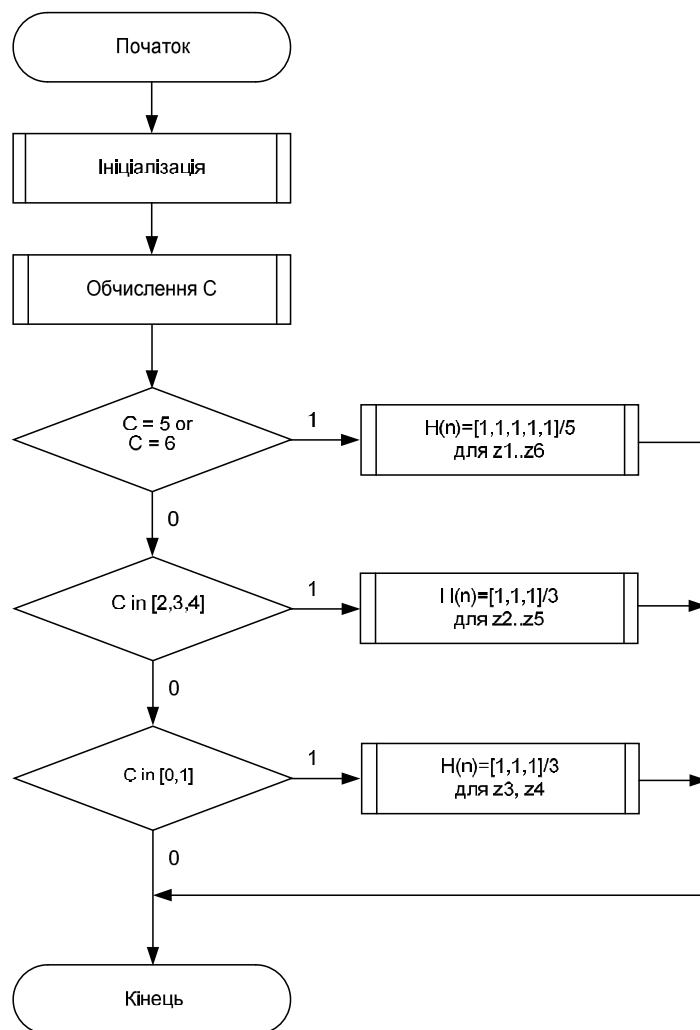


Рис. 3. Алгоритм фільтрації з використанням інтерполяційних функцій

Експериментальні дослідження

Стиснуте зображення з блочною структурою наведено на рис. 4. Пікове відношення сигнал/шум (PSNR) цього зображення – 27,77 дБ. На рис. 5 наведено результат обробки зображення запропонованим методом. Можна спостерігати покращення візуальної якості зображення, обробленого запропонованим методом. PSNR обробленого зображення – 28,25 дБ.

У таблиці 1 наведено значення PSNR при використанні різних методів для п'яти тестових зображень.

Таблиця 1

Значення PSNR для різних методів

Без обробки	Метод з [6]	Метод з [11]	Запропонований метод
22,81	23,34	23,21	23,58
26,02	26,85	26,56	26,81
27,77	28,05	27,90	28,25
28,85	29,17	29,09	29,23
29,26	29,42	29,32	29,57



Рис. 4. Стиснуте зображення (PSNR = 27,77 дБ)



Рис. 5. Результат обробки запропонованим методом (PSNR = 28,25 дБ)

Висновки

Запропоновано відносно простий та ефективний метод, який використовує адаптивну фільтрацію та адаптивну інтерполяцію. Ефективність запропонованого методу краща у випадках великого ступеню стиснення. Значення PSNR, отримані з використанням запропонованого адаптивного методу, кращі в більшості випадків, ніж значення, отримані у [6], та значно кращі, ніж значення, отримані у [11] (таблиця 1).

Загалом, результати, отримані з використанням запропонованого методу, демонструють високу ефективність алгоритму, беручи до уваги відносно невелику обчислювальну складність (наприклад, у порівнянні з методом фільтрації у [8]), що є важливим для використання у застосуваннях реального часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Журавель І. М. Краткий курс теории обработки изображений [Електронний ресурс] / І. М. Журавель. Режим доступу : <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/>.
2. Lai Yung-Kai. Removal of Blocking Artifacts of DCT Transform by Classified Space-Frequency Filtering / Yung-Kai Lai, Jin Li, C.-C. Jay Kuo // 29th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. – 1995. – 2-Volume Set. – P. 1457 – 1461.
3. Lai Y. K. Image enhancement for low bit-rate JPEG and MPEG coding via postprocessing / Y. K. Lai, J. Li, C. C. J. Kuo // Proc. SPIE. – 1996. – Vol. 2727. – P. 1484 – 1494.
4. Richardson Iain E. G. Video CODEC Design / Iain E. G. Richardson. – John Wiley & Sons, 2002. – 303 p.
5. Winkler Stefan. Color image quality on the Internet / Stefan Winkler // Proc. SPIE/IS&T Internet Imaging. – 2004. – vol. 5304. – P. 118 – 131.
6. Xiong Zixiang. A Deblocking Algorithm for JPEG Compressed Images Using Overcomplete Wavelet Representations, / Zixiang Xiong, M. T. Orchard, Yaqin Zhang // IEEE Trans. Circuits Syst. [Video Technol]. – 1997. – vol. 7. – P. 433 – 437.
7. Shen Mei-Yin. Fast compression artifact reduction technique based on nonlinear filtering / Mei-Yin Shen, C.-C. J. Kuo // Proc. of IEEE ISCAS'99. – 1999. – Vol. 4. – P. 179 – 182.
8. Jeon B. Blocking Artifacts Reduction in Image Compression with Block Boundary Discontinuity Criterion / B. Jeon, J. Jeong // IEEE Trans. Circuits And Systems for Video Technology. – 1998. – Vol. 8 (3). – P. 345 – 357.
9. Використання вейвлет-перетворення для зменшення блокінг-ефекту [Електронний ресурс] / В. В. Гармаш, О. В. Васьковський // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 4. – 2008. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-4/2008-4.files/uk/08vvgobe_uk.pdf.
10. Гармаш В. В. Метод зменшення блокової структури JPEG-зображень / В. В. Гармаш, А. Я. Кулик // Штучний інтелект. – 2010. – № 4. – С. 177 – 184.
11. Lee Y. L. Blocking effect reduction of JPEG images by signal adaptive filtering / Y. L. Lee, H. C. Kim, H. W. Park // IEEE Trans. on Image Processing. – February 1998. – № 7 (2). – С. 229 – 234.
12. Petrescu D. Efficient implementation of video post-processing algorithms on the BOPS parallel architecture / D. Petrescu // Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2001. – Vol. 2. – P. 945 – 948.
13. Burt P. J. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code / P. J. Burt, E. H. Adelson // IEEE Transactions on Communications. – 1983. – Vol. 31. – No. 4. – P. 532 – 540.
14. Kon S. K. Image Enhancement with Attenuated Blocking Artifact in Transform Domain / S. K. Kon, J. H. Yoon, Y. M. Ro // IEICE Trans. Inf. & Syst. – January 2002. – Vol. E85-D. – No. 1. – P. 293 – 297.

Гармаш Володимир Володимирович – асистент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки. e-mail: vv2211@ukr.net, тел.: (0432)-598141.

Кулик Анатолій Ярославович – д. т. н., професор кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки.

Васюра Анатолій Степанович – к. т. н., професор кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки.

Васьковський Олександр Вікторович – аспірант кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет.