

**В. В. Гармаш; О. В. Васьковський**

## **ВИКОРИСТАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ БЛОКІНГ-ЕФЕКТУ**

*Представлено новий алгоритм, розроблений у просторово-частотній області. Цей алгоритм базується на діадному вейвлет-перетворенні та на методі оптимальної інтерполяції. Основна перевага цього алгоритму – це простота та легка реалізація. Відсутні будь-які “порогові методики” у процесі розробки. Запропонований алгоритм може покращити візуальну якість зображення та пікове відношення сигнал/шум (PSNR).*

**Ключові слова:** артефакти, зображення, стиснення, блокінг-ефект, дискретне косинусне перетворення, вейвлет, діадне вейвлет-перетворення, якість зображень.

### **Актуальність**

Значна частина задач обробки інформації й аналізу даних пов'язана із зображеннями. Прикладами можуть слугувати обробка й аналіз даних дистанційного зондування Землі з супутників, об'ємні зображення об'єктів, отримані за допомогою голографічних пристроїв, результати застосування методів неруйнуючих досліджень і контролю в промисловості, розробка “органів зору” роботів і сучасних медичних систем діагностики (рентгенографія, машинна томографія, ендоскопія і т. д.). Для успішного вирішення задач пошуку й ідентифікації об'єктів, визначення різного роду їх кількісних характеристик необхідно, щоб первинні зображення характеризувалися високою візуальною якістю, яка втрачається через незадовільні умови отримання зображень, недосконалість систем передачі відеоінформації й її відображення, впливу перешкод і т. п. [1].

Тому актуальною є задача перетворення зображень з метою поліпшення їх візуальної якості й підвищення інформативності.

### **Аналіз останніх досліджень**

Дискретне косинусне перетворення (ДКП) відіграє важливу роль у методах стиснення статичних зображень та відео. З розвитком відеокомунікацій ДКП привертає все більше уваги. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) використовує його як стандартний компонент для стиснення зображень та відео у стандартах JPEG та MPEG [2].

Згідно теорії кодування з перетворенням та деяким стандартам зображення розділяється на маленькі  $p \times q$  прямокутні блоки. Звичайно блок вибирається квадратним, тобто  $p=q$ . Введемо позначення розміру кожного блоку як  $B \times B$ . Обробка блоку ДКП відома як блочне дискретне косинусне перетворення (БДКП). Процес розділення всього зображення на блоки забезпечує ефективну розробку апаратних засобів та зменшує час обчислення. Однак, оскільки БДКП використовується блок за блоком без розгляду кореляції між двома сусідніми блоками, це призводить до виникнення блочних артефактів, які з'являються на багатьох межах між двома сусідніми блоками. Це явище відоме як блокінг-ефект. Він погіршує якість декодованого зображення. блокінг-ефекти очевидні, коли швидкість передачі двійкових даних продовжує зменшуватися або у випадку більш високого стиснення.

Відомі методи вирішення проблеми блокінг-ефекту в просторово-частотній області. Такими методами є деякі ефективні методи, які використовують вейвлет-представлення та методи порогової обробки. У 1994 році був представлений алгоритм постобробки на основі вейвлетів, який ґрунтувався на припущенні для шумів [3]. У 1995 році були запропоновані два методи оптимізації, засновані на методі граничної ортонормованої функції [4, 5]. У 1997 році був представлений метод, заснований на коефіцієнті кореляції поперечного масштабу

надповного вейвлет-представлення, перетворюючи проблему в очищення шуму [6]. У 1998 році був представлений новий метод, який використовував вейвлет-перетворення модуля максимального значення [7]. Пізніше був запропонований алгоритм, який міг адаптивно вибирати поріг для різних зображень [8]. Головною перевагою цих методів було те, що вони могли покращити візуальну якість та пікове відношення сигнал/шум (PSNR) шляхом правильного вибору порогу. Головним недоліком усіх методів, заснованих на вейвлет-представленні є необхідність правильного вибору порогу, тому що тільки в цьому разі отримують гарні результати зменшення блокінг-ефекту.

### Постановка задачі

Отже, методи, які існують для вирішення проблеми блокінг-ефекту, є або надто складними для реалізації, або не можуть впоратися з проблемою блокінг-ефекту достатньою мірою. Тому необхідно продовжити дослідження в напрямку визначення чинників, які впливають на зменшення блокінг-ефекту та підвищення якості стиснутих зображень. У результаті необхідно розробити метод, що ефективно зменшує блокінг-ефект і при цьому має низьку обчислювальну складність, просту реалізацію та покращує якість стиснутого зображення.

### Метод зменшення блокінг-ефекту

Використаємо діадне вейвлет-перетворення та оптимальну інтерполяційну методику для обробки кожного рядка та кожного стовпчика для стисненої матриці “блочного” зображення. Отже, проблема зменшення блокінг-ефекту у двомірній обробці сигналів зображення перетворюється в оброблення одномірних сигналів.

Вейвлет-перетворення для  $f(x)$  в масштабі  $2^j$  та позиції  $x$  визначається згортокою

$$W_{2^j} f(u) = (f(x) * \psi_{2^j}(x))(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{x-u}{2^j}\right) dx.$$

Це означає, що масштаб для неперервного вейвлет-перетворення дискретний вздовж діадної послідовності  $\{2^j\}$ , де  $j$  належить цілочисленій множині  $Z$ .

Діадне вейвлет-перетворення – це послідовність функцій

$$Wf = (W_{2^j} f(x))_{j \in Z},$$

де  $W$  – оператор діадного вейвлет-перетворення.

Нехай функція  $\phi(x)$  – згладжуюча функція вейвлет-функції  $\Psi(x)$  та  $S_{2^j}$  згладжуючий оператор визначений як згортка

$$S_{2^j} f(u) = (f(x) * \phi_{2^j}(x))(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \frac{1}{2^j} \phi\left(\frac{x-u}{2^j}\right) dx,$$

де  $\phi_{2^j}(x)$  визначений як

$$\phi_{2^j}(x) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \phi\left(\frac{x}{2^j}\right).$$

Тоді з вищезгаданого визначення можна бачити, що більше деталей  $f(x)$  видалені  $S_{2^j}$ , коли масштаб  $2^j$  стає більшим.

Якщо оригінальний сигнал є дискретною послідовністю  $f = (f(n))_{n \in Z}$  та кінцевою енергією, припускаємо, що фрагменти  $a_0(n)$  вхідного дискретного сигналу не зовсім дорівнюють  $f(n)$ , але локальне середнє  $f$  по сусідству  $t = n$ . Отже,  $a_0(n)$  може бути записане

наступною формулою:

$$a_0(n) = \langle f(t), \phi(t-n) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi(t-n) dt.$$

Для кожного  $j > 0$  зазначаємо

$$S_{2^j} f = a_j(n) = \langle f(t), \phi_{2^j}(t-n) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi_{2^j}(t-n) dt.$$

Діадне вейвлет перетворення – це

$$W_{2^j} f = d_j(n) = Wf(n, 2^j) = \langle f(t), \psi_{2^j}(t-n) \rangle.$$

Для кожного масштабу  $2^j$  послідовність дискретних сигналів  $(S_{2^j} f, (W_{2^j} f)_{1 \leq j \leq J})$  називається дискретним діадним вейвлет-перетворенням  $f = (f(n))$ .

Отже, діадне вейвлет-перетворення  $(S_{2^j} f, W_{2^j} f)$  як  $(Sf, Wf)$  для функції  $f(n)$ , де  $Sf$  виражає низькочастотну інформацію  $f(n)$ , а  $Wf$  – для високочастотної інформації  $f(n)$ .

Декодована матриця  $N \times N$  зображення  $X$  з блокінг-ефектами може бути виражена в підматричній формі:

$$X = \begin{pmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,n} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,n} \\ \dots & & & \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,n} \end{pmatrix},$$

де  $X_{i,j}$  – це підматриця  $B \times B$ ,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$  та  $n = N/B$  і є цілим числом. Кожний елемент  $X_{i,j}$  називається блоком. Існують блочні артефакти між кожними суміжними межами блоків. Такі артефакти називаються блокінг-ефектами.

Також можна виразити блочне  $N \times N$  зображення  $X$  як  $X = (x(i, j))$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Блокінг-ефекти збільшуються між кожними суміжними межами блоків, тобто між кожними  $j = pB$  та  $j = pB + 1$  стовпчиків та  $i = qB$  та  $i = qB + 1$  рядків, де  $p, q \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ .

Для даного цілого числа  $i$  визначимо вектор стрічки  $x_i \stackrel{def}{=} (x(i, j))$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$ . Вектор  $x_i$  може бути розцінений як дискретний сигнал з кінцевою енергією.  $j$ -й елемент у векторі  $x_i$  є  $x_i(j)$ , що еквівалентно  $x(i, j)$ . Блочні-ефекти роблять кожні дві точки  $x_i(pB)$  та  $x_i(pB+1)$  розривними, де  $p = 1, 2, \dots, n-1$ . Отже, є високі частоти навколо позицій цих точок, де сигнал  $x_i$  перетворюється в просторово-частотну область. Головна ідея методу – використання діадного вейвлет-перетворення для перетворення сигналу  $x_i$  на дві субсмуги: одна – низькочастотна субсмуга  $x_i^l \stackrel{def}{=} Sx_i$ , яка виражає низькочастотну інформацію сигналу  $x_i$  та друга високочастотна субсмуга  $x_i^h \stackrel{def}{=} Wx_i$ , яка виражає високочастотну інформацію сигналу  $x_i$ . Далі використовуємо таке ж перетворення для високочастотної субсмуги  $x_i^h$ , отримуємо дві субсмуги – одна високо-низькочастотна субсмуга  $x_i^{hl} \stackrel{def}{=} SWx_i$  та друга високо-високочастотна  $x_i^{hh} \stackrel{def}{=} WWx_i$ . Обидві з яких представляють відповідно низькочастотну інформацію та високочастотну інформацію сигналу  $x_i^h$ . Після цього дозволяємо сигналу  $x_i^{hh} = (x_i^{hh}(j))$  для даного  $i$  пройти через розроблений оптимальний інтерполяційний фільтр  $F_{opt}$ , який може згладжувати сигнал на межах блоку та зберігати оригінальну інформацію

для інших позицій. Отриманий сигнал  $\overset{-hh}{x}_i \stackrel{def}{=} F_{opt}(x_i^{hh})$  разом з високо-низькочастотним сигналом  $x_i^{hl}$  перетворюються назад в нову високочастотну субсмугу сигналу  $\overset{-h}{x}_i = \left( \overset{-h}{x}_i(j) \right)$ , який відповідає високочастотній субсмугі сигналу  $x_i^h$ . Дозволимо сигналу нової високочастотної субсмуги  $\overset{-h}{x}_i$  також пройти через той самий інтерполяційний фільтр  $F_{opt}$  та позначимо новий сигнал високочастотної субсмуги як  $\hat{x}_i^h(j) \stackrel{def}{=} F_{opt}(\overset{-h}{x}_i(j))$ . Беручи зворотне перетворення цього сигналу з сигналом низькочастотної субсмуги  $x_i^l$ , ми нарешті отримаємо новий сигнал  $\hat{x}_i$ , який відповідає оригінальному сигналу  $x_i$  зі зменшеними блокінг-ефектами. Весь процес проілюстрований на рис 1.

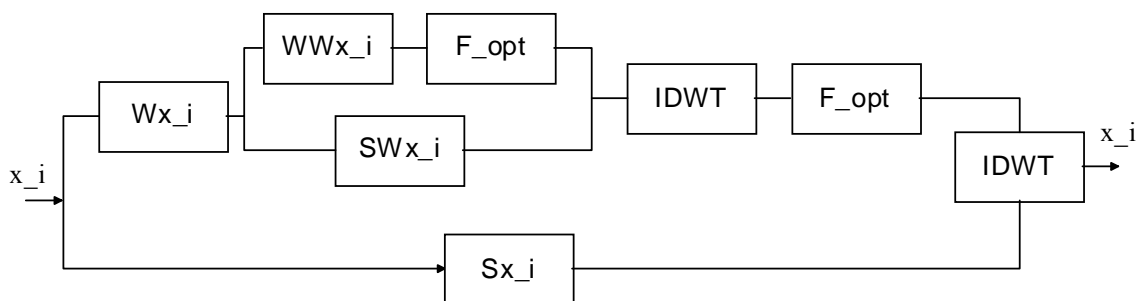


Рис. 1. Процес деблокіну

### Результати

Для експерименту використовувалось зображення, наведене на рис. 2. Зображення було стиснуте за стандартом JPEG з якістю  $q = 10$ , PSNR стиснутого зображення 26,5125 дБ. Після цього до стиснутого зображення було застосовано запропонований метод для покращення PSNR. Новий показник PSNR становить 27,0533 дБ, тобто він підвищився на 0,5408 дБ. Нове зображення наведене на рис. 3, з якого й видно покращення візуальної якості.



Рис. 2. Стиснуте зображення (PSNR = 26,5125 дБ)



Рис. 3. Зображення після процесу деблокінгу (PSNR = 27,0533 дБ)

### Висновки

Представлений новий алгоритм для усунення блокінг-ефекту, розроблений у просторово-частотній області. Цей алгоритм базується на дискретному вейвлет-перетворенні та на методі оптимальної інтерполяції. Основна перевага цього алгоритму – це простота та легка реалізація в порівнянні з існуючими методами. Немає жодних “порогових методик” у процесі розробки. Експерименти показують, що новий запропонований алгоритм може покращити візуальну якість зображення та пікове відношення сигнал/шум (PSNR).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / Журавель И. М. // Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2>
2. Ватолин Д., Рагушняк А., Смирнов М. Методы сжатия данных.- М.: "Диалог-МИФИ", 2003. – 381 с.
3. R. A. Gopinath, Wavelet Based Post Processing of Low Bit Rate Transform Coded Images, Proc. ICIP'94, Nov. 1994. – p. 913 – 917.
4. B. Jeon, J. Jeong and J. Jo, Locking artifacts reduction in image coding based on minimum block boundary discontinuity, Visual Communications Proceedings, Image Processing, May 1995. – p. 198 – 209.
5. J. Jeong and B. Jeon, Use of a class of two dimensional funtions for blocking artifacts reduction in image coding, Proceedings of the International Conference on Image Processing, October 1995. – p. 478 – 481.
6. Zixiang Xiong, M. T. Orchard and Yaqin Zhang, A Deblocking Algorithm for JPEG Compressed Images Using Overcomplete Wavelet Representations, IEEE Trans. Circuits Syst. [Video Technol.], vol. 7, no. 2, April 1997. – p. 433 – 437.
7. T. C. Hsung, D. P. K. Lun and W. C. Siu, A Deblocking Technique for Block Transform Compressed Image Using Wavelet Transfor Modulus Maxima, IEEE Trans. Image Processing, vol. 7, no. 10, Oct. 1998. – p. 1488 – 1496.
8. S. Wu, H. Yan and Z. Tan, An Efficient Wavelet Based Deblocking Algorithm for Highly Compressed Images, IEEE Trans. Circuits Syst. [Video Technol.], vol. 11, no. 11, Nov. 2001. – p. 1193 – 1198.

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

**Васьковський Олександр Вікторович** – магістр кафедри автоматики та інформаційно-виміральної техніки, e-mail: [112358s4s3@mail.ru](mailto:112358s4s3@mail.ru), тел.: (0432)-433112.

Вінницький національний технічний університет.