

**В. В. Гармаш; А. В. Васьковский**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ БЛОКИНГ-ЭФФЕКТА**

*Представлен новый алгоритм, разработанный в пространственно-частотной области. Этот алгоритм основывается на диадном вейвлет-преобразовании и на методе оптимальной интерполяции. Главное преимущество этого алгоритма – простота и легкая реализация. Отсутствуют «пороговые методики» в процессе разработки. Предложенный алгоритм может улучшать визуальное качество изображения и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR).*

**Ключевые слова:** артефакты, изображения, сжатие, блокинг-эффект, дискретное косинусное преобразование, вейвлет, диадное вейвлет-преобразование, качество изображений.

### **Актуальность**

Значительная часть задач обработки информации и анализа данных связана с изображениями. Примерами могут служить обработка и анализ данных дистанционного зондирования Земли со спутников, объемные изображения объектов, полученные с помощью голографических приборов, результаты использования методов неразрушающих исследований и контроля в промышленности, разработка “органов зрения” роботов и современных медицинских систем диагностики (рентгенография, машинная томография, эндоскопия и т. д.). Для успешного решения задач поиска и идентификации объектов, определения различного рода их количественных характеристик необходимо, чтобы первичные изображения характеризовались высоким визуальным качеством, которое падает из-за неудовлетворительных условий получения изображений, несовершенства систем передачи видеoinформации и ее отображения, влияния помех и т. п. [1]

Поэтому актуальной является задача преобразований изображений с целью улучшения их визуального качества и повышения информативности.

### **Анализ последних исследований**

Дискретное косинусное преобразование (ДКП) играет важную роль в методах сжатия статических изображений и видео. С развитием видеокommunikаций ДКП привлекает все большее внимание. Международная организация по стандартизации (ISO) использует его как стандартный компонент для сжатия изображений и видео в стандартах JPEG та MPEG [2].

Согласно теории кодирования с преобразованиями и некоторым стандартам изображение разделяется на маленькие  $p \times q$  прямоугольные блоки. Обычно блок выбирается квадратным, то есть  $p=q$ . Введем обозначение размера каждого блока как  $B \times B$ . Обработка блока ДКП известна как блочное дискретное косинусное преобразование (БДКП). Процесс деления всего изображения на блоки обеспечивает эффективную разработку аппаратных средств и уменьшает время вычислений. Но, так как БДКП используется блок за блоком без рассмотрения корреляции между двумя соседними блоками, это приводит к появлению блочных артефактов, которые появляются на многих границах между двумя соседними блоками. Это явление известно как блокинг-эффект. Он ухудшает качество декодированного изображения. Блокинг-эффекты очевидны, когда скорость передачи двоичных данных продолжает уменьшаться или в случае более высокого сжатия.

Известны методы решения проблемы блокинг-эффекта в пространственно-частотной области. Такими методами являются некоторые эффективные методы, использующие вейвлет-представление и методы пороговой обработки. В 1994 году был представлен алгоритм постобработки на основе вейвлетов, основанный на предположении для шумов [3].

В 1995 году были предложены два метода оптимизации, основанные на методе граничной ортонормированной функции [4, 5]. В 1997 году был предложен метод, основанный на коэффициенте корреляции поперечного масштаба сверхполного вейвлет-представления, преобразовывая проблему в очистку от шума [6]. В 1998 году был представлен новый метод, использующий вейвлет-преобразование модуля максимального значения [7]. Позднее был предложен алгоритм, который мог адаптивно выбирать порог для разных изображений [8]. Главным преимуществом этих методов было то, что они могли улучшить визуальное качество изображения и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR) путем правильного выбора порога. Главный недостаток всех методов, основанных на вейвлет-представлении, – это необходимость правильного выбора порога, потому что только в этом случае получают хорошие результаты уменьшения блокинг-эффекта.

### Постановка задачи

Итак, методы, которые существуют для решения проблемы блокинг-эффекта, являются или слишком сложными для реализации, или не справляются с проблемой блокинг-эффекта в достаточной мере. Следовательно, необходимо продолжить исследования в направлении определения факторов, влияющих на уменьшение блокинг-эффекта и повышения качества сжатых изображений. В результате необходимо разработать метод, который эффективно уменьшает блокинг-эффект и при этом имеет низкую вычислительную сложность, простую реализацию и улучшает качество сжатого изображения.

### Метод уменьшения блокинг-эффекта

Используем диадное вейвлет-преобразование и оптимальную интерполяцию для обработки каждой строчки и каждого столбца для сжатой матрицы “блочного” изображения. Таким образом, проблема уменьшения блокинг-эффекта в двумерной обработке сигналов изображения превращается в обработку одномерных сигналов.

Вейвлет-преобразование для  $f(x)$  в масштабе  $2^j$  и позиции  $x$  определяется сверткой

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

Это значит, что масштаб для непрерывного вейвлет-преобразования дискретный на протяжении диадной последовательности  $\{2^j\}$ , где  $j$  принадлежит целочисленному множеству  $Z$ .

Диадное вейвлет-преобразование – это последовательность функций

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

где  $W$  – оператор диадного вейвлет-преобразования.

Пусть функция  $\phi(x)$  – сглаживающая функция вейвлет-функции  $\Psi(x)$  и  $S_{2^j}$  сглаживающий оператор определенный как свертка

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

где  $\phi_{2^j}(x)$  определенный как

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

Тогда из вышеуказанного определения можно видеть, что больше деталей  $f(x)$  удалены  $S_{2^j}$ , когда масштаб  $2^j$  становится большим.

Если оригинальный сигнал является дискретной последовательностью  $f = (f(n))_{n \in \mathbb{Z}}$  и конечной энергией, предположим, что фрагменты  $a_0(n)$  входного дискретного сигнала не совсем равны  $f(n)$ , но локальное среднее  $f$  по соседству  $t = n$ . Таким образом,  $a_0(n)$  может быть записано следующей формулой:

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

Для каждого  $j > 0$  отметим

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

Диадное вейвлет-преобразования – это

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

Для каждого масштаба  $2^j$  последовательность дискретных сигналов  $(S_{2^j} f, (W_{2^j} f)_{1 \leq j \leq J})$  называется дискретным диадным вейвлет-преобразованием  $f = (f(n))$ .

Итак, диадное вейвлет-преобразование  $(S_2 f, W_2 f)$  как  $(Sf, Wf)$  для функции  $f(n)$ , где  $Sf$  выражает низкочастотную информацию  $f(n)$ , а  $Wf$  – высокочастотную информацию  $f(n)$ .

Декодированная матрица  $N \times N$  изображения  $X$  с блокинг-эффектами может быть выражена в субматричной форме:

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

где  $X_{ij}$  – это субматрица  $B \times B$ ,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$  и  $n = N/B$  и является целым числом. Каждый элемент  $X_{ij}$  называется блоком. Существуют блочные артефакты между каждыми смежными границами блоков. Такие артефакты называются блокинг-эффектами.

Также можно выразить блочное  $N \times N$  изображение  $X$  как  $X = (x(i, j)), i, l \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Блокинг-эффекты увеличиваются между каждыми смежными границами блоков, то есть между каждыми  $j = pB$  и  $j = pB + 1$  столбцами и  $i = qB$  и  $i = qB + 1$  строчек, где  $p, q \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ .

Для данного целого числа  $i$  определим вектор строчки  $x_i = (x(i, j)), j = 1, 2, \dots, N$ . Вектор  $x_i$  может быть расценен как дискретный сигнал с конечной энергией.  $j$ -й элемент в векторе  $x_i$  является  $x_i(j)$ , что эквивалентно  $x(i, j)$ . “Блочные” эффекты делают каждые две точки  $x_i(pB)$  и  $x_i(pB+1)$  разрывными, где  $p = 1, 2, \dots, n-1$ . Таким образом, есть высокие частоты около позиций этих точек, где сигнал  $x_i$  преобразовывается в пространственно-частотную область. Главная идея метода – использование диадного вейвлет-преобразования для преобразования сигнала  $x_i$  на две субполосы: одна – низкочастотная субполоса  $x_i^l \stackrel{def}{=} Sx_i$ , которая выражает низкочастотную информацию сигнала  $x_i$  и другая высокочастотная субполоса  $x_i^h \stackrel{def}{=} Wx_i$ , которая выражает высокочастотную информацию сигнала  $x_i$ . Далее используем такое же преобразование для высокочастотной субполосы  $x_i^h$ , получим две субполосы – одна высоко-низкочастотная субполоса  $x_i^{hl} \stackrel{def}{=} SWx_i$  и другая высоко-высокочастотная  $x_i^{hh} \stackrel{def}{=} WWx_i$ . Обе из которых представляют соответственно низкочастотную информацию и высокочастотную информацию сигнала  $x_i^h$ . После этого разрешаем сигналу  $x_i^{hh} = (x_i^{hh}(j))$  для данного  $i$  пройти

через разработанный оптимальный интерполяционный фильтр  $F_{opt}$ , который может сглаживать сигнал на границах блока и сохранять оригинальную информацию для других позиций. Полученный сигнал  $\bar{x}_i^{-hh} \stackrel{def}{=} F_{opt}(x_i^{hh})$  вместе с высоко-низкочастотным сигналом  $x_i^{hl}$  преобразовывается обратно в новую высокочастотную субполосу сигнала  $\bar{x}_i^{-h} = (\bar{x}_i^{-h}(j))$ , соответствующему высокочастотной субполосе сигнала  $x_i^h$ . Разрешим сигналу новой высокочастотной субполосы  $\bar{x}_i^{-h}$  также пройти через тот же интерполяционный фильтр  $F_{opt}$  и обозначим новый сигнал высокочастотной субполосы как  $\hat{x}_i^h(j) \stackrel{def}{=} F_{opt}(x_i^{-h})$ . Взяв обратное преобразование этого сигнала с сигналом низкочастотной субполосы  $x_i^l$ , наконец получим новый сигнал  $\hat{x}_i$ , который соответствует оригинальному сигналу  $x_i$  с уменьшенными блокинг-эффектами. Весь процесс проиллюстрирован на рис 1.

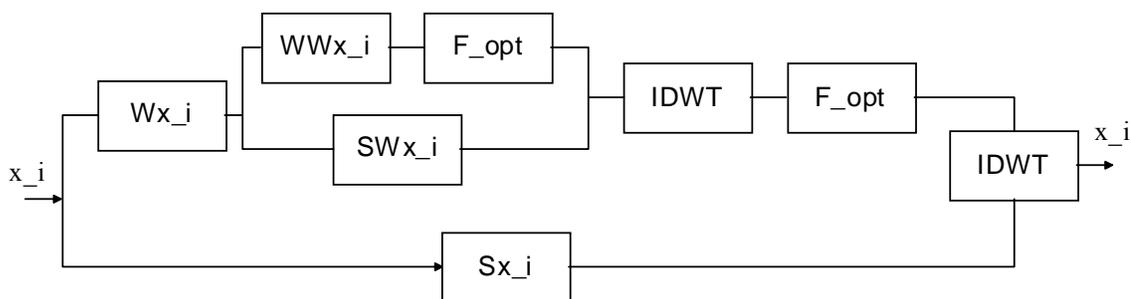


Рис. 1. Процесс деблокинга

### Результаты

Для эксперимента использовалось изображение, приведенное на рис. 2. Изображение было сжато по стандарту JPEG с качеством  $q = 10$ , PSNR сжатого изображения 26,5125 дБ. После этого к сжатому изображению был применен предложенный метод для улучшения PSNR. Новый показатель PSNR равен 27,0533 дБ, то есть он увеличился на 0,5408 дБ. Новое изображение приведено на рис. 3, по нему видно улучшение визуального качества.



Рис. 2. Сжатое изображение (PSNR = 26,5125 дБ)



Рис. 3. Изображение после процесса деблокинга (PSNR = 27,0533 дБ)

### Выводы

Представлен новый алгоритм для устранения блокинг-эффекта, разработанный в пространственно-частотной области. Этот алгоритм основывается на дискретном вейвлет-преобразовании и на методе оптимальной интерполяции. Основное преимущество этого алгоритма – это простота и легкая реализация по сравнению с существующими методами. Отсутствуют “пороговые методики” в процессе разработки. Эксперименты показывают, что новый предложенный алгоритм может улучшить визуальное качество изображения и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / Журавель И. М. // Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2>
2. Ватолин Д., Ратушняк 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 functions 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 Transform 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 Владимир Владимирович** – ассистент кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники, e-mail: [vv2211@ukr.net](mailto:vv2211@ukr.net), тел.: (0432)-598141.

**Васьковський Александр Викторович** – магистр кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники, e-mail: [112358s4s3@mail.ru](mailto:112358s4s3@mail.ru), тел.: (0432)-433112.

Винницкий национальный технический университет.