

УДК 621.3

**В. В. Гармаш; А. Я. Кулик, д. т. н., проф.; А. С. Васюра, к. т. н., проф.;
А. В. Васьковский**

ОПТИМАЛЬНЫЙ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ БЛОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Представлен оптимальный интерполяционный фильтр для уменьшения артефакта блочной структуры, который появляется на изображениях, сжатых с использованием дискретного косинусного преобразования. Предложенный метод эффективно и относительно просто уменьшает блочную структуру, не вызывая искажений других характеристик качества изображения.

Ключевые слова: изображение, сжатие, артефакты, блочная структура, дискретное косинусное преобразование, качество изображений, фильтрация, интерполяция, PSNR.

Актуальность

Цифровая обработка изображений (ЦОИ) в наше время широко используется в системах телекоммуникаций, радио- и гидролокаций, сейсмологии, робототехнике, радиоастрономии, медицине и т. д. Переход на цифровое телерадиовещание, широкое использование сетей разного назначения, в том числе и сети Интернет, также способствуют развитию данного направления обработки сигналов.

На сегодняшний день для устройств ЦОИ является характерной **проблемой** постоянное возрастание объема обрабатываемой информации, повышение требований к качеству обработки, работа в сложных условиях низкого соотношения сигнал/шум. Все это стимулирует появление новых методов и более сложных алгоритмов, используемых в системах ЦОИ. Среди них можно выделить нелинейные алгоритмы фильтрации и восстановления изображений, вейвлет-обработку, а также системы, построенные на нечеткой логике, генетических алгоритмах, нейронных сетях [1]. Поэтому **задача** улучшения качества изображений является актуальной.

Анализ последних исследований

Большинство методов кодирования изображений или видеоинформации заключаются в делении изображения или кадра на квадратные блоки с последующим кодированием каждого блока с использованием дискретного косинусного преобразования (ДКП). Такой метод называется блочным ДКП [2, 3]. Размер каждого блока в большинстве случаев составляет 8 x 8 пикселей, но в некоторых случаях он может быть 4 x 4 пикселя, 16 x 16 пикселей [4, 5, 6]. Блочное дискретное косинусное преобразование (БДКП) используют в стандартах JPEG и MPEG и в стандартах кодирования видео ITU (H.261, H.263) [4]. Вместе с тем, в случае высокой степени сжатия результаты БДКП приводят к визуальным искажениям изображения после декодирования. Одно из таких искажений – блочная структура.

Согласно [3] блочная структура представляет собой вертикальные и горизонтальные ложные контуры, которые периодически возникают на изображении, особенно на однородных областях (где яркость пикселей одинакова или почти одинакова).

Зрительная система человека чувствительна к контурам, особенно к вертикальным и горизонтальным, в частности в однородных областях изображения [7]. Согласно [8] блочную структуру можно рассматривать как высокочастотный шум, который менее заметен на участках изображения с высокой детализацией, но значительно заметен на однородных участках изображения. Проблема блочной структуры усложняется ее нелинейным характером и сильной зависимостью от поведения зрительной системы человека, которая

также является нелинейной [7].

В [9] и [10] авторами предложен метод для уменьшения блочной структуры с использованием вейвлет-преобразования без применения «пороговых методов». Недостатком этого метода является возможность возникновения различных дополнительных искажений на изображении, например, сильное размытие изображения, снижение резкости изображения и т. д.

Постановка задачи

Было проведено много исследований для эффективного решения **проблемы** блочной структуры без искажений других характеристик качества сжатого изображения [6, 11]. В общем, разные предложенные методы для устранения этого недостатка отличаются разной эффективностью, скоростью и вычислительной сложностью. Поэтому **необходимо разработать** метод, который эффективно уменьшает блочную структуру, имеет небольшую вычислительную сложность, простую реализацию и не вносит дополнительных искажений.

Метод уменьшения блочной структуры

Уменьшение блочной структуры происходит за счет использования адаптивной низкочастотной пространственной фильтрации сжатого изображения, принимая во внимание то, что низкочастотная пространственная фильтрация может исказить резкость деталей изображения и контуры. Таким образом, операции фильтрации адаптируются к локальным свойствам изображения. Учитывают следующие три наблюдения [11]. Во-первых, зрительная система человека более чувствительна к блочной структуре в нерезких областях или однородных областях, чем в областях, содержащих детали изображения и контуры (сложные области). Таким образом, можно использовать относительно сильную фильтрацию в этих областях. Во-вторых, в менее однородных областях необходимо уменьшать силу фильтрации, а в сложных областях использовать слабую фильтрацию с целью сохранения резкости деталей изображения и контуров. В-третьих, при кодировании видеoinформации фильтрацию в однородных областях необходимо применять внутри блоков так же, как и на границе блоков [11].

Вместо достаточно сложной фильтрации, предложенной в [8, 11], используются следующие функции, которые применяют в [6] и используются в [11] с другой целью:

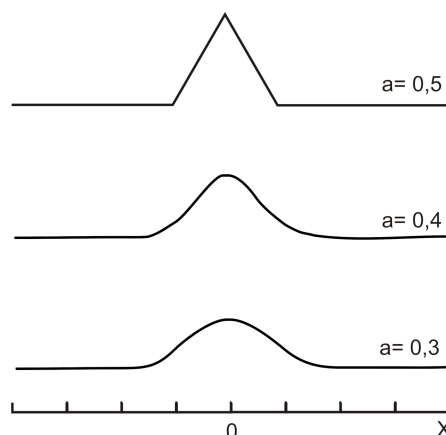
$$h(n) = \begin{cases} a, & n = 0, \\ \frac{1}{4}, & n = \pm 1, \\ \frac{1}{4} - \frac{a}{2}, & n = \pm 2. \end{cases} \quad (1)$$

Функция $h(n)$ является «импульсной характеристикой», которую используют для фильтрации. Она соответствует эквивалентной взвешенной функции $h(x)$, как показано на рис. 1, для трех значений a [13]. Допустим $h(n) = h(x)$ для $x = n$.

Сначала функция $h(n)$ применяется по горизонтали для фильтрации вертикальных границ согласно дискретной пространственной свертке, которая выражается следующим уравнением [14]:

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

где $z(x, y)$ – значение пикселя (x, y) .


 Рис. 1. Эквивалентная взвешенная функция $h(x)$

Потом $h(n)$ применяется вертикально для фильтрации горизонтальных границ, используя уравнение [14]:

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

Области изображения классифицируются в соответствии с позициями пикселей в каждом блоке, как показано на рис. 2, вычисляя функции, используемые в [6, 8]:

$$C = \Phi(z0 - z1) + \Phi(z1 - z2) + \Phi(z2 - z3) + \Phi(z4 - z5) + \Phi(z5 - z6) + \Phi(z6 - z7), \quad (4)$$

где $\Phi(\Delta) = 1$, если $|\Delta|$ меньше, чем порог $th1$, и $\Phi(\Delta) = 0$ в другом случае. Величина $th1 = 3$. Величина $\Phi(\Delta)$ для $\Delta = z4 - z3$ не определяется в уравнении (4) потому, что она соответствует пикселям $z3$ та $z4$, которые лежат на границе блоков.



Рис. 2. Пример позиций пикселей

Функция C соответствует «однородности» локальной области изображения вокруг границы блока [8, 11]. Разделим области изображения на однородные, почти однородные и сложные по следующим правилам:

1. Если величина C равняется 5 или 6, граница находится в однородной или очень сглаженной области. Фильтруются пиксели от $z1$ до $z6$ (рис. 2). Применяется сильная

фильтрация для пикселей $z3$ и $z4$ с использованием функции $h(n)$ с $a = 0,3$. Применяется умеренная фильтрация для пикселей $z2$ и $z5$ с использованием функции $h(n)$ с $a = 0,4$. Применяется слабая фильтрация для $z1$ и $z6$ с использованием функции $h(n)$ с $a = 0,5$.

2. Если величина C равняется 2, 3 или 4, граница считается почти однородной. Фильтруются пиксели от $z2$ до $z5$. Используется $h(n)$ с $a = 0,4$ для пикселей $z3$ и $z4$ с использованием функции $h(n)$ с $a = 0,5$ для пикселей $z2$ и $z5$.

3. Если величина C равняется 0 или 1, граница считается сложной [11]. Применяется слабая фильтрация с использованием функции $h(n)$ с $a = 0,5$ для пикселей $z3$ и $z4$.

Предлагается использовать следующий алгоритм с использованием интерполяционных функций вместо уравнения (1) для повышения быстродействия метода (рис. 3).

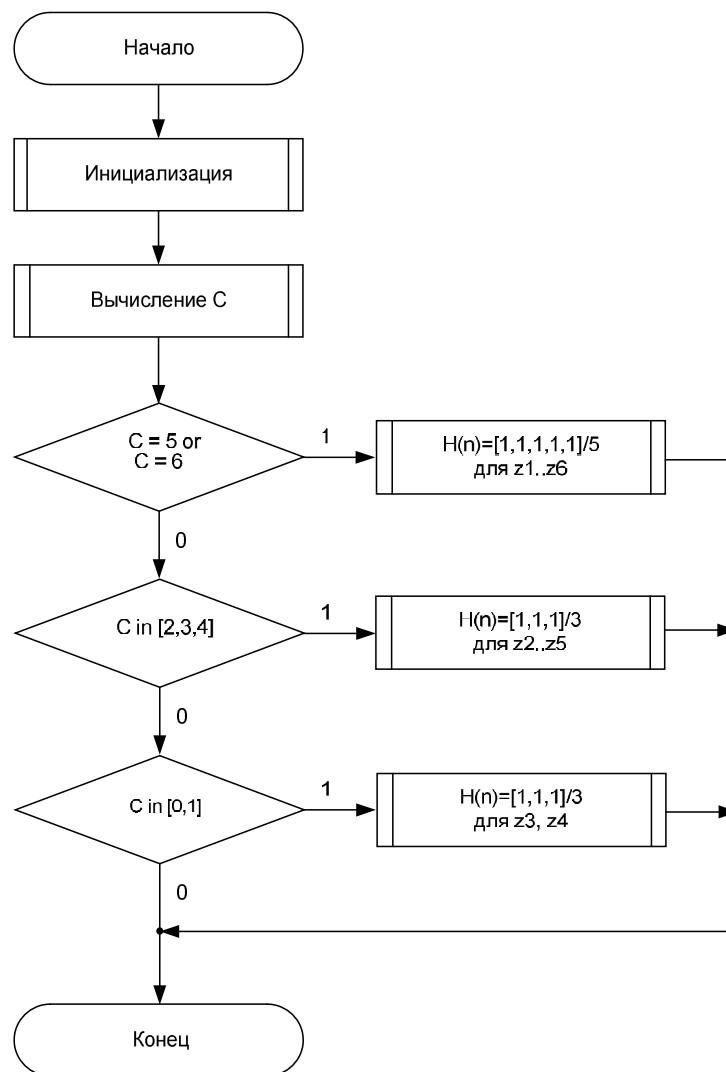


Рис. 3. Алгоритм фильтрации с использованием интерполяционных функций

Экспериментальные исследования

Сжатое изображение с блочной структурой приведено на рис. 4. Пиковое соотношение сигнал/шум (PSNR) данного изображения – 27,77 дБ. На рис. 5 приведен результат обработки изображения предложенным методом. Можно наблюдать улучшение визуального качества изображения, обработанного предложенным методом. PSNR обработанного изображения – 28,25 дБ.

В таблице 1 приведены значения PSNR при использовании различных методов для пяти

тестовых изображений.

Таблица 1

Значения PSNR для разных методов

Без обработки	Метод из [6]	Метод из [11]	Предложенный 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. Сжатое изображение (PSNR = 27,77 дБ)



Рис. 5. Результат обработки предложенным методом (PSNR = 28,25 дБ)

Выводы

Предложен относительно простой и эффективный метод, который использует адаптивную фильтрацию и адаптивную интерполяцию. Эффективность предложенного метода лучше в случаях большой степени сжатия. Значение PSNR, полученные с использованием предложенного адаптивного метода, лучше в большинстве случаев, чем значения,

полученные в [6], и значительно лучше, чем значения, полученные в [11] (таблица 1).

В целом, результаты, полученные с использованием предложенного метода, демонстрируют высокую эффективность алгоритма, учитывая относительно небольшую вычислительную сложность (например, по сравнению с методом фильтрации в [8]), что важно для использования в приложениях реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавель И. М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / И. М. Журавель. Режим доступа : <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 блокувального 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 блокувальної 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 Владимир Владимирович – ассистент кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники, e-mail: vv2211@ukr.net, тел.: (0432)-598141.

Кулик Анатолий Ярославович – д. т. н., профессор кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники.

Васюра Анатолий Степанович – к. т. н., профессор кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники.

Васьковский Александр Викторович – аспирант кафедры автоматизации и информационно-измерительной техники.

Винницкий национальный технический университет.