

## Метод сжатия изображений на основе анализа весов детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования

*М.М. Ляшева, С.А. Ляшева, В.М. Трегубов, М.П. Шлеймович*

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ*

**Аннотация:** Многие современные системы обработки информации и управления для различных областей базируются на программно-аппаратных средствах обработки и анализа изображений. При этом часто необходимо обеспечить хранение и передачу больших наборов данных, в том числе коллекций изображений. Для уменьшения объема требуемой памяти и увеличения скорости передачи информации применяются технологии сжатия данных. К настоящему времени разработаны и применяются подходы, основанные на использовании дискретных вейвлет-преобразований. Достоинством данных преобразований является возможность локализовать точки изменения яркости на изображениях. Соответствующие таким точкам детализирующие коэффициенты вносят значимый вклад в энергию изображения. Этот вклад можно оценить количественно в виде весов, анализ которых позволяет определить способ квантования коэффициентов вейвлет-преобразования в предложенном методе сжатия с потерями. Описанный в статье подход соответствует общей схеме сжатия изображений и предусматривает этапы преобразования, квантования и кодирования. Он обеспечивает хорошие показатели сжатия и может быть использован в системах обработки информации и управления.

**Ключевые слова:** обработка изображений, сжатие изображений, избыточность в изображениях, общая схема сжатия изображений, вейвлет-преобразование, сжатие на основе вейвлет-преобразования, весовая модель, значимость детализирующих коэффициентов, квантование, энтропийное кодирование.

### Введение

Современный этап развития науки, техники, экономики и других областей человеческой деятельности характеризуется переходом к цифровому миру [1, 2]. В этом мире формируются, обрабатываются, передаются и хранятся большие объемы информации, что определяет необходимость в создании и применении соответствующих технологий, к числу которых относятся технологии сжатия изображений [3, 4].

Сжатие изображений позволяет снизить требования по скорости, емкости и стоимости к устройствам хранения и передачи информации. Это имеет большое значение для различных систем обработки информации и

управления, что обуславливает актуальность исследований в области создания новых подходов к сжатию изображений.

### **Методы сжатия на основе вейвлет-преобразований**

Современные исследования направлены на создание таких методов сжатия, которые обеспечивают оптимальное соотношение между уменьшением размеров и сохранением визуального качества изображений. Например, в медицинских приложениях, где важна точность измерений, приоритет должен отдаваться высокому качеству изображений, а для передачи информации в системе видеоконференц-связи, возможно, большее значение имеет скорость, а это означает, что приоритет будет за уменьшением размеров передаваемого файла.

Методы сжатия изображений предусматривают уменьшение их размеров за счет удаления избыточности в данных, которая бывает трех видов: избыточность кодирования, пространственная избыточность и психовизуальная избыточность [5]. Избыточность кодирования связана с представлением элементов изображения более длинными кодовыми словами, чем это нужно и возможно. Пространственная избыточность обуславливается наличием корреляции между элементами изображения, что приводит к дублированию части информации. Психовизуальная избыточность возникает, когда зрительная система человека игнорирует визуально неважные данные. В зависимости от учитываемых типов избыточности, рассматривают методы сжатия без потерь и методы сжатия с потерями.

Общую схему сжатия изображений можно представить в виде последовательности этапов снижения корреляции между элементами, квантования элементов данных, кодирования элементов данных.

С точки зрения уменьшения размеров изображений эффективные алгоритмы сжатия, реализующие общую схему, можно построить на основе дискретных вейвлет-преобразований [6]. Достоинством вейвлет-

преобразований является выявление характерных особенностей изображений, что проиллюстрировано на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведено исходное изображение Aerial из коллекции USC\_SIP1 [7] в полутоновом виде, а на рис. 2 – результат выполнения трехуровневого преобразования Хаара. Пиксели изображения на рис. 2 в верхнем левом углу соответствуют аппроксимирующим коэффициентам, а остальные пиксели – детализирующим коэффициентам (чем больше яркость, тем меньше абсолютное значение детализирующего коэффициента, и наоборот). Из рассмотрения рис. 1 и 2 видно, что вейвлет-преобразование хорошо локализует точки изменения яркости на изображении и точки областей с относительно постоянной яркостью. Это свойство может быть использовано для квантования коэффициентов.



Рис. 1. – Исходное изображение



Рис. 2. – Результат преобразования



Рис. 3. – Весовая модель

Для сжатия изображений разработано и применяется большое количество методов, базирующихся на вейвлет-преобразованиях. К таким методам относятся, например, JPEG2000, EZW, SPIHT, WDR, ASWDR, CREW, SPECK, STW [8 – 10].

Дискретное ортогональное вейвлет-преобразование позволяет представить исходное изображение  $I$  в следующем виде:

$$W = \{A_{j_0}, D_{j_0}^H, D_{j_0}^V, D_{j_0}^D, D_{j_0+1}^H, D_{j_0+1}^V, D_{j_0+1}^D, \dots, D_{J-1}^H, D_{J-1}^V, D_{J-1}^D\},$$

где  $j_0$  – начальный уровень,  $J$  – максимально возможный уровень (соответствуют исходному изображению),  $A_{j_0}$  – матрица аппроксимирующих коэффициентов (аппроксимирующие коэффициенты сохраняются только для уровня  $j_0$ ),  $D_j^H$ ,  $D_j^V$ ,  $D_j^D$  – матрицы горизонтальных ( $H$ ), вертикальных ( $V$ ) и диагональных ( $D$ ) детализирующих коэффициентов  $j$ -го уровня ( $j_0 \leq j \leq J-1$ ).

По способу обработки коэффициентов методы сжатия с использованием вейвлет-преобразований можно разделить на две группы – поддиапазонные методы, которые не учитывают взаимосвязь между коэффициентами различных уровней, и междиапазонные методы, которые учитывают такую взаимосвязь [9, 10].

Методы на основе вейвлет-преобразований показали свою эффективность для решения задачи сжатия изображений. Поэтому работы по созданию их новых модификаций в комбинации с другими подходами не прекращаются [11].

### **Предлагаемый метод сжатия изображений**

В ряде работ авторов был рассмотрен подход к анализу изображений на основе весовой модели [12, 13]. Пример весовой модели в виде полутонного изображения показан на рис. 3. Данная модель получена для изображения Aerial (рис. 1). Весовые значения данной модели соответствуют детализирующим коэффициентам уровня  $J-1$  (для рассматриваемого изображения  $J=9$ ). При отображении весовых значений более темные пиксели соответствуют большим значениям. Из рассмотрения рис. 3 видно, что относительно большие веса имеют пиксели исходного изображения, в которых наблюдаются относительно большие изменения яркости. При этом, если посмотреть на рис. 2, то видно, что эти веса соответствуют большим по абсолютному значению детализирующим коэффициентам.

---

На основе изложенного предлагается метод сжатия изображения, суть которого заключается в следующих положениях:

1. Формируется весовая модель исходного изображения;
2. Определяется матрица значимости детализирующих коэффициентов уровней  $J - 1, \dots, j_0$  – значимыми считаются коэффициенты, которые соответствуют весам со значениями больше заданного порога (значимые и незначимые коэффициенты соответствуют единичным и нулевым элементам матрицы значимости);
3. В зависимости от того, является ли коэффициент значимым или незначимым, выбирается способ его квантования – незначимые коэффициенты делятся на большие величины, чем значимые;
4. Аппроксимирующие коэффициенты, матрица значимости и квантованные детализирующие коэффициенты независимо кодируются энтропийным методом.

Характеристики описанного метода сжатия для тестовых изображений приведены в таблице № 1, где показаны значения коэффициента сжатия  $K$  и пикового отношения сигнал-шум  $PSNR$ :

$$K = \frac{V_I}{V_{\bar{I}}};$$
$$PSNR = 20 \lg \frac{I_{\max}}{\sqrt{\frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I(i, j) - \bar{I}(i, j))^2}},$$

где  $I, \bar{I}$  – исходное и восстановленное изображения;  $V_I, V_{\bar{I}}$  – объемы изображений;  $N, M$  – размеры изображений;  $I(i, j), \bar{I}(i, j)$  – яркости пикселей с координатами  $(i, j)$ ;  $I_{\max}$  – максимально возможная яркость.

Приведенные в таблице № 1 характеристики получены для полутоновых изображений размерами  $512 \times 512$  при использовании трехуровневого вейвлет-преобразования Хаара, 10-процентого порога

значимости весов (от максимального веса), величин 2 и 4 для квантования значимых и незначимых коэффициентов соответственно, метода динамического кодирования Хаффмена. Полученные значения показателей сопоставимы и, в некоторых случаях, превышают соответствующие показатели для более сложных в реализации известных и новых методов сжатия изображений на основе вейвлет-преобразований, приведенные, например, в работах [8] и [14].

Таблица № 1

Характеристики сжатия тестовых изображений

<i>I</i>	Aerial	Airplane	Boat	Bridge	Car	Couple
<i>K</i>	2,677	4,698	3,276	2,415	3,711	3,586
<i>PSNR</i>	30,084	36,974	34,135	34,112	33,824	34,326

### Заключение

В работе описан метод сжатия изображений, основанный на анализе значимости коэффициентов вейвлет-преобразования. Он прост в реализации и позволяет получить показатели, обеспечивающие соотношение между качеством сжатия и качеством восстановления, сопоставимое с соответствующим соотношением для более сложных методов, а в некоторых случаях и превышающее его. Метод предусматривает возможность изменения параметров и может быть настроен для конкретной коллекции изображений, что позволяет его использовать в различных системах обработки информации и управления.

### Литература

1. Саак А.Э., Пахомов Е.В. Ключевые технологии Индустрии 4.0, Общества 5.0, Экономики 3.0 // Инженерный вестник Дона, 2020, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6324.



2. Ханова А.А., Бондарева И.О., Нестерова Е.Т., Кинжалиева А.Р. Разработка стратегии цифровой трансформации предприятия // Инженерный вестник Дона, 2021, № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112).

3. Ungureanu V.-I., Negirla P., Korodi A. Image-Compression Techniques: Classical and «Region-of-Interest-Based» Approaches Presented in Recent Papers // Sensors. 2024. V. 24. 791.

4. Uthayakumar J., Vengattaraman T., Dhavachelvan P. A survey on data compression techniques: From the perspective of data quality, coding schemes, data type and applications // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2021. V. 33, № 2. pp. 119-140.

5. Al-jawaherry M.A., Hamid, S.Y. Image Compression Techniques: Literature Review // Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics. 2021. V. 13, № 4. pp. 10-21.

6. Pearlman W.A. Wavelet image compression // Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing. 2013. V. 13. pp. 1-92.

7. The USC-SIPI Image Database. URL: [sipi.usc.edu/database/](http://sipi.usc.edu/database/).

8. Raja S.P. Wavelet-Based Image Compression Encoding Techniques – A Complete Performance Analysis // International Journal of Image and Graphics. 2020. V. 20, № 2. 2050008.

9. Pearlman W.A., Said A. Set Partition Coding: Part I of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems // Foundations and Trends in Signal Processing. 2008. V. 2, № 2. pp. 95-180.

10. Pearlman W.A., Said A. Image Wavelet Coding Systems: Part II of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems // Foundations and Trends in Signal Processing. 2008. V. 2, № 3. pp. 181-246.

11. Ranjan R., Kumar P. An Improved Image Compression Algorithm Using 2D DWT and PCA with Canonical Huffman Encoding // Entropy. 2023. V. 25. P. 1382.

---

12. Lyasheva M., Lyasheva S., Shleymovich M. Threshold Wavelet Filtering of Images Based on Weight Model // 2023 Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, AMCSM 2023. 2023. pp. 1-5.
13. Lyasheva S., Safina R., Shleymovich M. Application of Image Weight Models to Increase Canny Contour Detector Resilience to Interference // Proceedings – 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2023. 2023. pp. 797-802.
14. Shiju T., Addapalli K., Sabeen G., Aditya K.S. A novel image compression method using wavelet coefficients and Huffman coding // Journal of Engineering Research. 2023. URL: [doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.015](https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.015).

### References

1. Saak A.Je., Pakhomov E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6324](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6324).
  2. Khanova A.A., Bondareva I.O., Nesterova E.T., Kinzhalieva A.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112).
  3. Ungureanu V.-I., Negirla P., Korodi A. Image-Compression Techniques: Classical and «Region-of-Interest-Based» Approaches Presented in Recent Papers. Sensors. 2024. V. 24. 791.
  4. Uthayakumar J., Vengattaraman T., Dhavachelvan P. A survey on data compression techniques: From the perspective of data quality, coding schemes, data type and applications. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2021. V. 33, № 2. pp. 119-140.
  5. Al-jawaherry M.A., Hamid, S.Y. Image Compression Techniques: Literature Review. Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics. 2021. V. 13, № 4. pp. 10-21.
-



6. Pearlman W.A. Wavelet image compression. Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing. 2013. V. 13. pp. 1-92.
7. The USC-SIPI Image Database. URL: [sipi.usc.edu/database/](http://sipi.usc.edu/database/).
8. Raja S.P. Wavelet-Based Image Compression Encoding Techniques – A Complete Performance Analysis. International Journal of Image and Graphics. 2020. V. 20, № 2. 2050008.
9. Pearlman W.A., Said A. Set Partition Coding: Part I of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems. Foundations and Trends in Signal Processing. 2008. V. 2, № 2. pp. 95-180.
10. Pearlman W.A., Said A. Image Wavelet Coding Systems: Part II of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems. Foundations and Trends in Signal Processing. 2008. V. 2, № 3. pp. 181-246.
11. Ranjan R., Kumar P. An Improved Image Compression Algorithm Using 2D DWT and PCA with Canonical Huffman Encoding. Entropy. 2023. V. 25. P. 1382.
12. Lyasheva M., Lyasheva S., Shleymovich M. Threshold Wavelet Filtering of Images Based on Weight Model. 2023 Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, AMCSM 2023. 2023. pp. 1-5.
13. Lyasheva S., Safina R., Shleymovich M. Application of Image Weight Models to Increase Canny Contour Detector Resilience to Interference. Proceedings – 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2023. 2023. pp. 797-802.
14. Shiju T., Addapalli K., Sabeen G., Aditya K.S. A novel image compression method using wavelet coefficients and Huffman coding. Journal of Engineering Research. 2023. URL: [doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.015](https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.08.015).

**Дата поступления: 21.09.2024**

**Дата публикации: 29.10.2024**

---