

УДК 004.932.1

О.А. Кушніренко, спеціаліст,  
А.В. Садченко, канд. техн. наук, доц.,  
О.В. Троянський, канд. техн. наук, доц.,  
Одес. нац. політехн. ун-т

## АЛГОРИТМ КОДУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ КІЛЬКІСТЮ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

*О.А. Кушніренко, А.В. Садченко, О.В. Троянський.* Алгоритм кодування зображень зі зменшеною кількістю арифметичних операцій. Запропоновано новий алгоритм швидкого стиснення зображень із втратами. Наведено порівняння запропонованого алгоритму із алгоритмами на підставі дискретного вейвлет-перетворення та дискретного косинусного перетворення. Запропоновано галузі застосування швидкого алгоритму кодування зображень.

*Ключові слова:* стиснення зображень, алгоритм стиснення із втратами.

*О.А. Кушніренко, А.В. Садченко, А.В. Троянський.* Алгоритм кодирования изображений с уменьшенным количеством арифметических операций. Предлагается новый алгоритм быстрого сжатия изображений с потерями. Приведено сравнение предложенного алгоритма с алгоритмами на основе дискретного вейвлет-преобразования и дискретного косинусного преобразования. Предложены области применения быстрого алгоритма кодирования изображений.

*Ключевые слова:* сжатие изображений, алгоритм сжатия с потерями.

*О.А. Kushnirenko, A.V. Sadchenko, A.V. Troyansky.* The image coding algorithm with a reduced number of arithmetic operations. A new algorithm for fast lossy image compression is proposed. The proposed algorithm is compared with the algorithms based on discrete wavelet transform and discrete cosine transform. Application areas for fast image coding algorithm are suggested.

*Keywords:* image compression, lossy compression algorithm.

Кодування зображень служить для зменшення обсягу даних, ефективного використання засобів зберігання і трафіку при передачі каналом зв'язку [1].

Актуальною є задача розробки алгоритмів кодування зображень зі зменшеною кількістю необхідних арифметичних операцій. Розробка таких алгоритмів дозволить спростити апаратну реалізацію систем кодування зображень в галузях застосування, які не передбачають посиленних вимог до якості зображень, що використовуються.

Скорочення часових витрат при невеликих коефіцієнтах стиснення з втратами можна досягти використовуючи алгоритм зниження роздільної здатності з подальшим відновленням за рахунок апроксимації значень сусідніх пікселів зображення. Такий підхід дозволив при малих коефіцієнтах стиснення (від 2 до 8) запропонувати такий алгоритм кодування зображень.

*Алгоритм стиснення зображення з фіксованим коефіцієнтом стиснення*

Розглянемо для прикладу стиснення зображення, вихідний розмір якого складає  $8 \times 8 = 64$  пікселі.

— Будуємо двовимірний масив  $\mathbf{I}$  вихідного зображення з округленням до найближчого цілого числа (рис. 1, а).

— Виконуємо проріджування за правилом:  
для непарних рядків

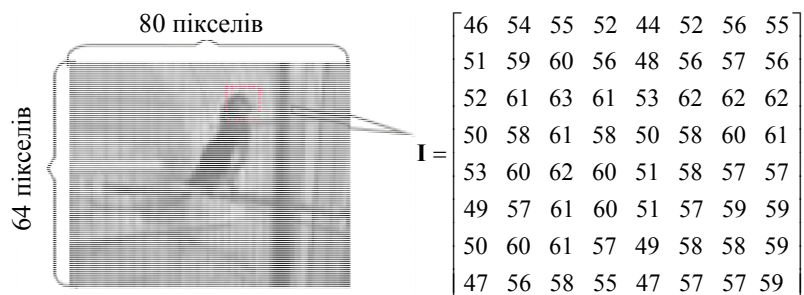
$$\mathbf{I}(l, k) = \begin{cases} 0, & \text{для } k = 1, 3, 5, 7; \\ \mathbf{I}(l, k), & \text{для } k = 2, 4, 6, 8; \end{cases} \quad (1)$$

для парних рядків

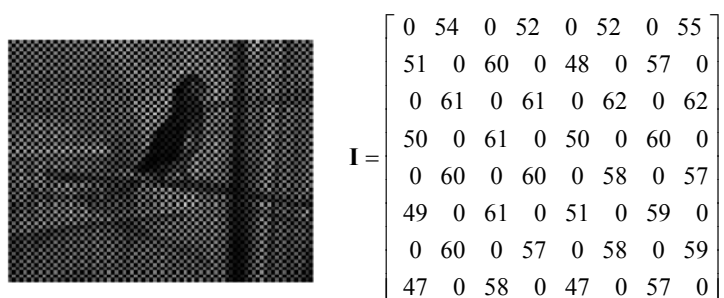
$$\mathbf{I}(l, k) = \begin{cases} 0, & \text{для } k = 2, 4, 6, 8; \\ \mathbf{I}(l, k), & \text{для } k = 1, 3, 5, 7. \end{cases} \quad (2)$$

В результаті отримаємо масив з 32-ма нульовими елементами (рис. 1, б).

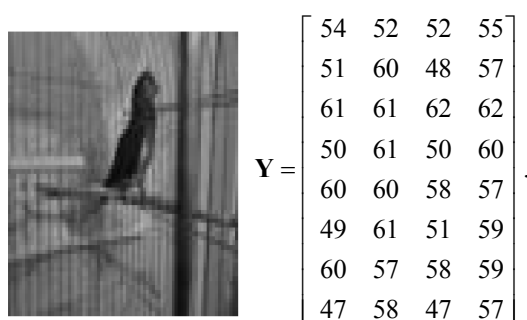
— Виконуємо видалення нульових елементів і створюємо переіндексований двовимірний масив. Масив  $\mathbf{Y}$  складається з ненульових елементів і має розмір  $8 \times 4 = 32$  пікселі (рис. 1, в).



а



б



в

Рис. 1. Вихідне зображення (а), вихідне зображення зі вставкою нульових елементів (б) та з видаленими нульовими елементами (в)

Таким чином, коефіцієнт стиснення складає

$$K_{comp} = \frac{size(\mathbf{I})}{size(\mathbf{Y})} = \frac{8 \times 8}{8 \times 4} = \frac{64}{32} = 2. \quad (3)$$

Алгоритм відновлення вихідного зображення в декодері.

— Виконуємо заповнення масиву нульовими елементами за правилом:  
для непарних рядків

$$\mathbf{I}(l, k) = \begin{cases} 0, & \text{для } k = 1, 3, 5, 7; \\ \mathbf{Y}(l, \frac{k}{2}), & \text{для } k = 2, 4, 6, 8; \end{cases} \quad (4)$$

для парних рядків

$$\mathbf{I}(l, k) = \begin{cases} 0, & \text{для } k = 2, 4, 6, 8; \\ \mathbf{Y}(l, \frac{k+1}{2}), & \text{для } k = 1, 3, 5, 7. \end{cases} \quad (5)$$

В результаті отримаємо масив з 32-ма нульовими елементами

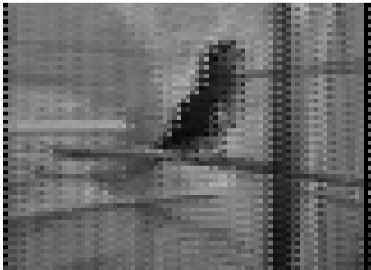
$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 0 & 54 & 0 & 52 & 0 & 52 & 0 & 55 \\ 51 & 0 & 60 & 0 & 48 & 0 & 57 & 0 \\ 0 & 61 & 0 & 61 & 0 & 62 & 0 & 62 \\ 50 & 0 & 61 & 0 & 50 & 0 & 60 & 0 \\ 0 & 60 & 0 & 60 & 0 & 58 & 0 & 57 \\ 49 & 0 & 61 & 0 & 51 & 0 & 59 & 0 \\ 0 & 60 & 0 & 57 & 0 & 58 & 0 & 59 \\ 47 & 0 & 58 & 0 & 47 & 0 & 57 & 0 \end{bmatrix}.$$

— Виконуємо відновлення вихідного масиву усереднюванням елементів, сусідніх з нульовим в кожному рядку

$$\mathbf{J}(l, k) = \mathbf{I}(l, k-1)/2 + \mathbf{I}(l, k+1)/2, \quad (6)$$


де  $k$  — номер нульового елемента в рядку.

В результаті отримаємо масив (рис. 2, а).



$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} 53 & 54 & 53 & 52 & 52 & 52 & 53 & 55 \\ 51 & 55 & 60 & 54 & 48 & 52 & 57 & 54 \\ 61 & 61 & 61 & 61 & 61 & 62 & 62 & 62 \\ 50 & 55 & 61 & 55 & 50 & 55 & 60 & 57 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 59 & 58 & 57 & 57 \\ 49 & 56 & 61 & 56 & 51 & 54 & 59 & 57 \\ 59 & 60 & 59 & 57 & 57 & 58 & 58 & 59 \\ 47 & 54 & 58 & 54 & 47 & 52 & 57 & 54 \end{bmatrix}.$$

а



$$\hat{\mathbf{I}} = \begin{bmatrix} 51 & 55 & 60 & 57 & 49 & 55 & 58 & 58 \\ 51 & 59 & 61 & 57 & 49 & 57 & 58 & 57 \\ 51 & 60 & 62 & 60 & 52 & 61 & 61 & 62 \\ 50 & 58 & 61 & 58 & 50 & 58 & 60 & 61 \\ 52 & 59 & 62 & 60 & 51 & 58 & 57 & 57 \\ 49 & 57 & 61 & 60 & 51 & 57 & 59 & 59 \\ 49 & 59 & 60 & 56 & 49 & 58 & 58 & 59 \\ 47 & 56 & 58 & 55 & 47 & 57 & 57 & 59 \end{bmatrix}.$$

б

Рис. 2. Зображення після усереднювання сусідніх елементів в рядку (а) та відновлене зображення (б)

— Виконуємо відновлення вихідного масиву усереднюванням стовпців в ковзаючому вікні розміром 2

$$\mathbf{J}(l, k) = \mathbf{J}(l-1, k)/2 + \mathbf{J}(l, k)/2. \quad (7)$$

В результаті отримаємо відновлений масив (рис. 2, б).

Оцінку якості відновленого зображення проведемо за критерієм середньоквадратичного відхилення  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} [I(i) - I'(i)]^2}{\sum_{i=0}^{N-1} [Y(i)]^2}}, \quad (8)$$

де  $I$  — відліки вихідного сигналу;

$Y$  — відліки відновленого зображення.

Для даного прикладу  $\sigma = 5,9$ . За допомогою даного алгоритму можна стискати вихідне зображення з коефіцієнтом стиснення, кратним 2.

*Алгоритм стиснення зображення в 4 рази.*

Використаєм базовий алгоритм для стиснення в два рази.

— Будуємо двовимірний масив вихідного зображення  $I(H \times V)$  з округленням до найближчого цілого числа.

— Застосовуємо алгоритм стиснення в два рази до  $I(H \times V)$ . Отримуємо масив  $Y(H/2 \times V)$ .

— Перевіряємо виконання умови  $H/2 > V$ . Якщо умова виконується, то переходимо на наступний крок, інакше виконуємо операцію транспонування масиву  $Y = Y^T$ .

— Застосовуємо алгоритм стиснення в два рази до масиву  $Y$ .

Для з'ясування залежності середньоквадратичного відхилення від рівня стиснення зображення виконаємо тестування даного алгоритму з використанням стандартного зображення "Олена" [2] з роздільною здатністю  $512 \times 512$  пікселів.

Загальний об'єм інформації, необхідний для представлення даного зображення, складає

$$V = L \times C = 512 \times 512 = 262144 \text{ біта}, \quad (9)$$

де  $L$  — кількість рядків,

$C$  — кількість стовпців.

Ентропія даного об'єкта складає

$$H = -\sum_{i=1}^{255} p(i) \log_2 p(i) = 7,6 \text{ біт/симв}, \quad (10)$$

де  $p(i)$  — функція імовірності.

Після виконання алгоритму проріджування відліків в два рази об'єм інформації, необхідний для представлення даного зображення, залишився незмінним

$$V = L \times C = 512 \times 512 = 262144 \text{ біта}, \quad (11)$$

однак ентропія зменшилась  $H=4,28$  біт/симв.

Після видалення всіх нульових значень пікселів об'єм інформації, необхідний для представлення зображення, становить

$$V_1 = L \times C = 512 \times 256 = 131072. \quad (12)$$

Таким чином, коефіцієнт стиснення

$$K_{comp} = \frac{V}{V_1} = \frac{262144}{131072} = 2. \quad (13)$$

Застосовуючи до стислого в два рази зображення кодування методом Хафмана отримаємо масив об'ємом

$$V_h = 30840 \text{ біт}. \quad (14)$$

Таким чином, підсумковий коефіцієнт стиснення

$$K_{comp} = \frac{V}{V_h} = \frac{262144}{30840} = 8,5 \text{ раз.} \quad (15)$$

Узагальнена схема системи передачі кодованого зображення представлена на рис. 3.

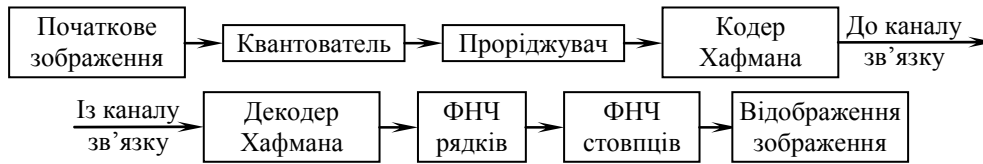


Рис. 3. Узагальнена структурна схема системи передачі кодованого зображення

Після декодера коду Хафмана, переіндексації масиву і усереднення значення сусідніх елементів зображення по рядках і по стовпцях отримуємо декодоване (відновлене) зображення із значенням  $\sigma = 4,1$ .

Вейвлет-обробка даного зображення при тому ж значенні коефіцієнта стиснення дозволяє набути значення  $\sigma = 2,1$  [3]. Проте вейвлет-обробка ідентична запропонованому алгоритму за кількістю операцій додавання та потребує виконання такої ж кількості операцій множення. Запропонований алгоритм не потребує виконання операцій множення взагалі.

Залежність  $\sigma$  від коефіцієнта стиснення представлена на рис. 4.

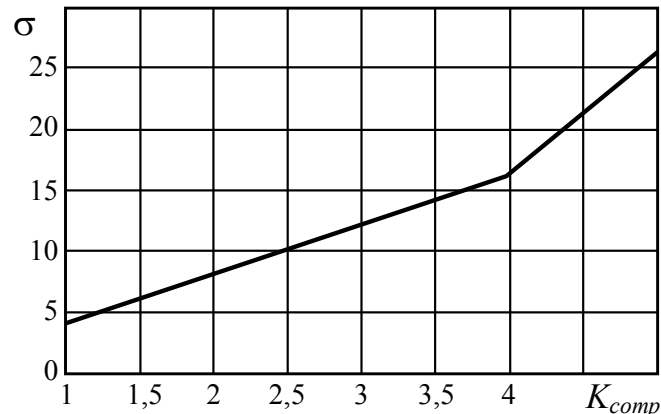


Рис. 4. Залежність  $\sigma$  від коефіцієнта стиснення

Проведемо порівняння запропонованих алгоритмів кодування зображень з відомими алгоритмами на основі дискретного вейвлет-перетворення і дискретного косинусного перетворення [3, 4]. Отримані результати на кожному кроці кодування згідно з системою кодування (див. рисунок 3) зведемо на рис. 5.

Порівняння алгоритмів показує, що найкращі показники відновленого зображення має алгоритм з використанням дискретного вейвлет-перетворення на основі стандарту JPEG 2000 (див. рисунок 5). Програш алгоритмів проріджування за критерієм  $\sigma$  (MSE) росте з ростом коефіцієнта стиснення.

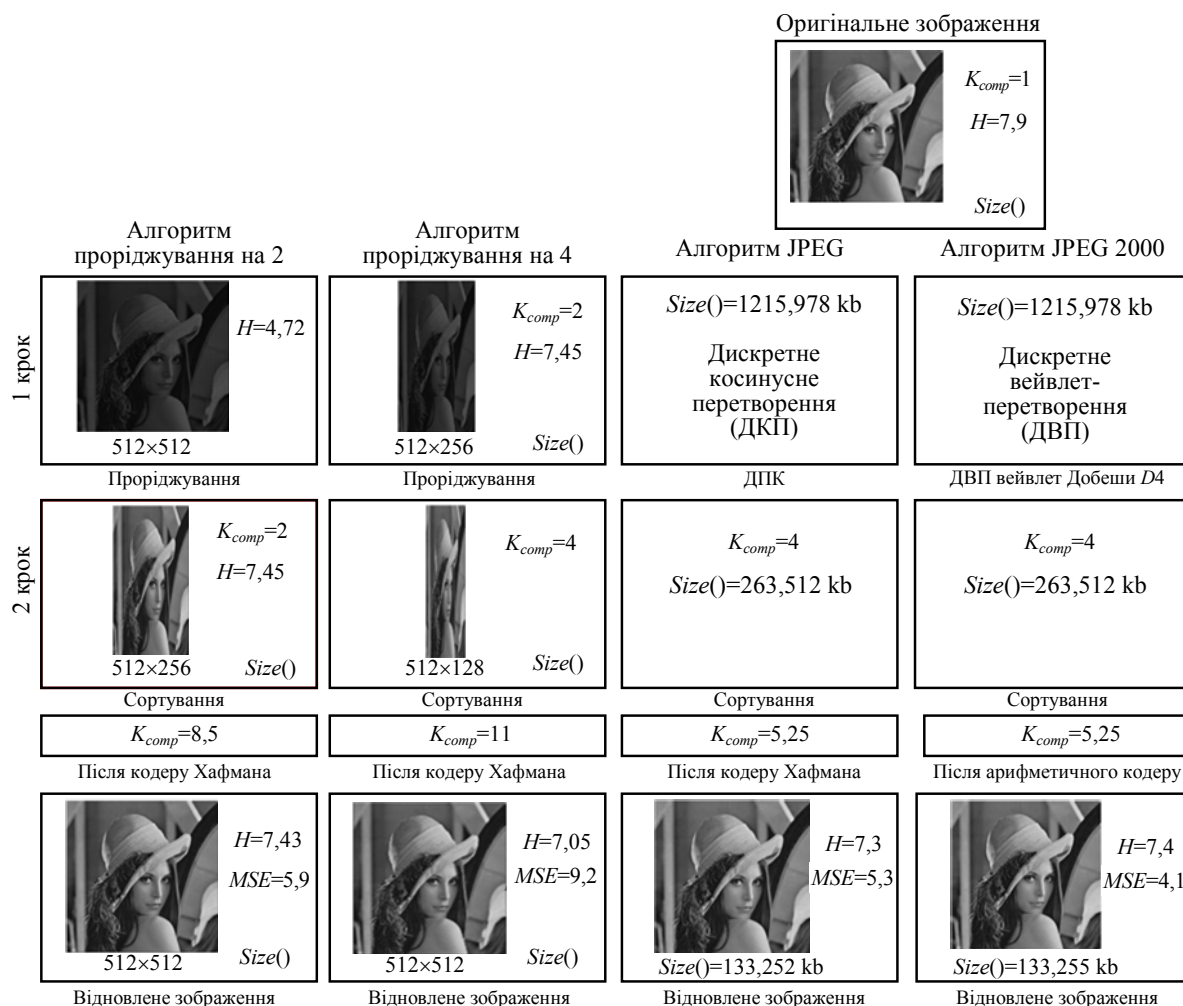


Рис. 5. Порівняльний аналіз ефективності різних алгоритмів стиснення зображень

Таким чином, запропонований в роботі новий алгоритм стиснення зображення на основі методу проріджування відліків може конкурувати за якісними показниками відновленого зображення з відомими алгоритмами стиснення зображень з втратами при невеликих значеннях коефіцієнта стиснення.

При цьому запропонований алгоритм передбачає суттєве зниження складності апаратної або програмної реалізації та може бути рекомендований до застосування в переносних та мобільних пристроях, які характеризуються низькою потужністю блоків обробки інформації та наявністю засобів відображення інформації з невисокою роздільною здатністю.

### Література

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигналов: пер. с англ. / С. Малла. — М.: Мир, 2005. — 671 с.
3. Дьяконов, В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В. Дьяконов, И. Абраменкова. — СПб: Питер, 2002. — 608 с.
4. Столниц, Э. Вейвлеты в компьютерной графике: пер. с англ. / Э. Столниц, Т. ДеРоуз, Д. Салезин. — Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. — 272 с.

**References**

1. Gonsales, R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing] / R. Gonsales, R. Vuds. — Moscow, 2005. — 1072 pp.
2. Malla, S. Veyvlety v obrabotke signalov [A wavelet tour of signal processing] / S. Malla. — Moscow, 2005. — 671 pp.
3. D'yakov, V. MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazheniy. Spetsialnyy spravochnik [MATLAB. Signal and image processing. Special handbook] / V. D'yakov, I. Abramenkova. — St.-Petersburg, 2002. — 608 p.
4. Stolnits, E. Veyvlety v komp'yuternoy grafike [Wavelets for computer graphics] / E. Stolnits, T. DeRouz, D. Salezin. — Moscow, Izhevsk [Res.Center "Regular and Chaotic Dynamics"], 2002. — 272 pp.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Крилов В.М.

Надійшла до редакції 17 листопада 2011 г.

УДК 517.5:004.932:004.421

Г.Н. Востров, канд. техн. наук, доц.,  
М.Г. Годынский, магистр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ БЛОКОВОЙ СТРУКТУРЫ

*Г.М. Востров, М.Г. Годынский. Побудова адаптивної сегментації зображення на основі блокової структури.* Проаналізовано проблеми побудови сегментацій зображень, досліджено особливості їх алгоритмів. Представлено алгоритми адаптивної сегментації зображень на основі блокової структури.

*Ключові слова:* методи обробки зображень, сегментація зображень, блокова структура.

*Г.Н. Востров, М.Г. Годынский. Построение адаптивной сегментации изображения на основе блоковой структуры.* Проанализированы проблемы построения сегментаций изображений, исследованы особенности их алгоритмов. Представлены алгоритмы сегментации изображений на основе блоковой структуры.

*Ключевые слова:* методы обработки изображений, сегментация изображений, блоковая структура.

*G.N. Vostrov, M.G. Godynsky. Construction of adaptive image segmentation based on the block structure.* The problems of constructing image segmentation are analyzed, the features of their algorithms are investigated. The algorithms of adaptive image segmentation based on the block structure are presented.

*Keywords:* image processing techniques, image segmentation, block structure.

В различных областях обработки изображений важно определение особенностей обрабатываемого изображения [1]. Например, при сжатии [2], классификации, интерполяции (как временной, так и пространственной) изображений часто очень важно иметь возможность выделять присутствующие в изображении объекты. Выделенные сегменты, обладающие специфическими для данной области свойствами частотостойчивости, амплитудостойчивости, дисперсионными свойствами, особенностями изменений автокорреляционной и корреляционной функций, могут быть использованы в тех или иных интернет-приложениях, программах связи, видеоконференций [3], системах слежения и других системах компьютерной обработки изображений. Особое значение такая процедура имеет в дискретном вейвлет-преобразовании, в