

## КОДЕР СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ НА БАЗІ ДВООЗНАКОВОГО СТРУКТУРНОГО КОДУВАННЯ

М. Г. Луцький, О. К. Юдін, К. О. Курінь

Національний авіаційний університет

kszi@ukr/net

*Розроблено математичну та структурну модель кодера стиснення зображень із урахуванням методу двоозначового структурного кодування двійкових послідовностей. Визначено основні етапи процесу стиснення. Результати розрахунку коефіцієнтів стиснення, проведені для різних типів зображень, дають змогу стверджувати, що запропонований метод стиснення є ефективнішим, ніж відомі методи стиснення зображень без втрат.*

*The mathematical and structural model of compression codec of images that includes the method of double signed structural coding of binary sequences has been developed. The basic stages of procedure of compression have been defined. Results of calculation of compression coefficient  $s$  for the different types of images, allow asserting that the method of compression that is offered is more effective, than known methods of compression without losses.*

### Вступ

Економічна, політична і соціальна активність сучасного суспільства значною мірою залежить від надійних, інтегрованих інформаційно-комунікаційних систем, в яких циркулюють великі обсяги інформації. З метою забезпечення якісного та ефективного функціонування інформаційних засобів сполучення розробляється та впроваджується в інформаційні системи широкий спектр сучасних технічних засобів і програмно-апаратних комплексів. Усі ці засоби створюються задля вирішення завдання надійної і швидкісної передачі інформаційних потоків даних від джерела повідомлення до абонентів (споживачів інформації). Найбільш ефективним методом з економічного та практичного погляду з умов вирішення встановлених завдань є сучасні методи стиснення даних — кодування джерела інформації. Метою кодування джерела — створення компактного і стислого представлення інформації, тому цей метод також ототожнюють з поняттям стиснення даних або економного стиснення даних джерела повідомлення.

### Постановка задачі

Цілком справедливо можна говорити про методи компресії як про один з найважливіших засобів забезпечення оптимального й ефективного функціонування комунікаційних систем. Таким чином одним з найважливіших завдань сучасної теорії інформації є розробка і реалізація нових методів стиснення, що забезпечують максимальний ступінь компресії з одночасною мінімізацією рівня спотворень даних у відновленій інформаційній структурі.

**Мета** роботи — створення математичної і структурно-логічної моделі кодера стиснення даних джерела повідомлень з урахуванням методів двоозначового структурного кодування (ДСК). До завдань статті належать визначення основних

етапів процедури обробки інформації кодером при формуванні стислого потоку даних.

### Аналіз існуючих методів стиснення даних та структурно-логічних схем сучасних кодерів

Одними з найпоширеніших на сьогодні кодерів стиснення зображень є *JPEG* та *JPEG-2000*, що розроблені об'єднаною міжнародною групою експертів з обробки відеозображень (*Joint Photographic Experts Group*) спільно з комітетом *CCITT* і міжнародною організацією стандартизації *ISO* в 1991 році.

Перший кодер *JPEG* було розроблено як алгоритм стиснення для неперервно-тонових 24-бітових зображень.

Основні кроки стиснення за методом *JPEG* подано у вигляді структурно-логічної схеми на рис. 1 [2].

Основний підготовчий етап процедури стиснення даних забезпечується дискретно-косинусним перетворенням (ДКП), вживаним для трансформації матриці зображення з умов здобуття деякої нової матриці коефіцієнтів. Таке перетворення забезпечує подальший вииграш в стисненні з умови використання поступової лінійки стиснення на базі методів *RLE* та статистичного стиснення за Хаффманом.

ДКП розкладає зображення на амплітуди деяких частот, унаслідок чого одержуємо матрицю, в якій більшість коефіцієнтів наближені до нуля, що якісно впливає на кодування методом Хаффмана.

Завдяки неідеальності людського зорового апарату, ці коефіцієнти можна апроксимувати більш грубими значеннями без відчутної втрати якості зображення для користувача.

Однак у цьому випадку слід розділяти два варіанти стиснення даних: без втрат інформації й з втратами.

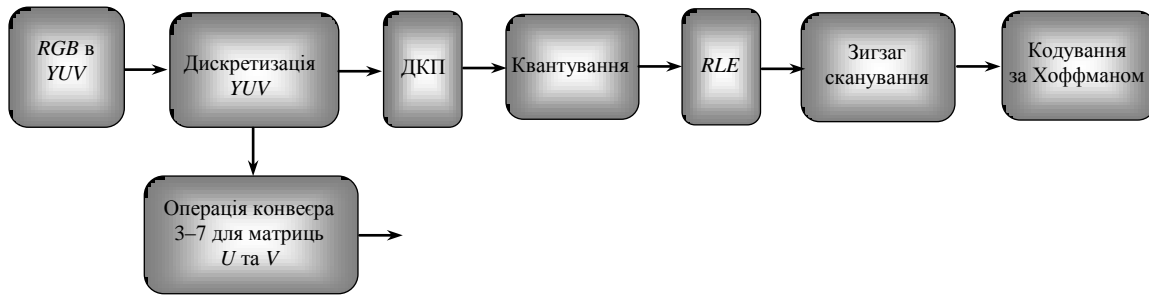


Рис. 1. Структурно-логічна схема реалізації методу JPEG

Апроксимація коефіцієнтів забезпечується подальшою процедурою квантування. У найпростішому випадку використовується побітний зсув управо. На даному етапі відбувається необоротна втрата частини інформації. Метод JPEG дає змогу досягти коефіцієнта стиснення інформації до 1,3—1,4 без істотних втрат.

Як результат удосконалення алгоритму JPEG тією самою групою розробників у 2000 році був створений алгоритм JPEG-2000. Блок-структурну схему цього алгоритму подано на рис. 2 [2].

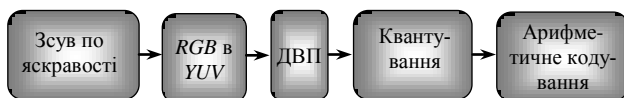


Рис. 2. Блок-структурна схема реалізації методу JPEG-2000

Згідно з блок-структурною схемою, основні етапи методу JPEG-2000 не істотно відрізняються від етапів методу JPEG. Основні відмінності полягають у такому [2]:

- передбачається зсув по яскравості (*DC level shift*) кожного компоненту моделі RGB перед перетворенням у стандарт YUV. Це робиться для вирівнювання динамічного діапазону, що дає змогу досягти збільшення ступеня стиснення;
- замість ДКП використовується дискретне вейвлет-перетворення (ДВП);
- замість кодування за методом Хаффмана, використовується арифметичне стиснення.
- не використовується явно дискретизація компонентів U і V, оскільки ДВП дозволяє досягти тих же результатів, але менш грубо.

Метод JPEG-2000 дозволяє досягти коефіцієнта стиснення відеоданих 1,4—2,0 без істотних втрат для конкретного типу зображень.

**Описання принципу двоозначового структурного кодування**

Двоозначове структурне кодування належить до методів стиснення без втрат. Цей метод заснований на усуненні структурної надмірності шляхом виявлення структурних закономірностей у двійкових послідовностях за деякою ознакою.

Суть цього методу полягає у формуванні кода-номера двійкової послідовності із заданим значенням структурної ознаки.

До структурних ознак, на основі яких формується код-номер ДСК, належать:

1. Вектор S заборон на появу на певній позиції одиничного елемента ( $\Lambda = \{\Lambda_s\}$ ,  $s = 1..m$ ;  $\Lambda_i$  — ознака появи на i-й позиції одиничного елемента, якщо  $\Lambda_i = 1$ , то на i-й позиції заборонена поява одиничного елемента, якщо  $\Lambda_i = 2$  — навпаки), позиції, на яких заборонена поява одиниць, розбивають вихідну ДП на так звані допустимі зони;
2. Кількість серій одиниць  $\vartheta$  у двійковій послідовності (ДП).

Приклади ДП для різних значень числа серій одиниць у ДП  $\vartheta$  та вектора  $\Lambda = \{2; 2; 2; 1; 2\}$  наведено в таблиці.

**Приклади значень структурних ознак для різних ДП**

Індекс розряду	Структурні ознаки					
	$\vartheta$					$\Lambda$
	1	2	1	3	1	
1	0	0	0	1	1	2
2	1	1	1	0	0	2
3	0	0	1	1	0	2
4	0	0	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	2

Допустимі ДП, для яких формується код-номер ДСК — це такі комбінації двійкових елементів  $a_{ij}$ , які задовольняють обмеженням, що задані системою виразів:

$$\begin{cases} 0 \leq a_{ij} \leq \Lambda_i - 1, i = 1..m; \\ \vartheta = \sum_{z=1}^Z \vartheta_z; \\ \vartheta_z^{(x)} = \vartheta_{z,j}, z = 1..Z. \end{cases} \quad (1)$$

тут  $\Lambda_i$  — обмеження на позиції одиниць;  $\vartheta_z^{(x)}$  — допустиме обмеження на число серій одиниць у z-й зоні;  $\vartheta_{z,j}$  — число серій одиниць у z-й зоні для певної j-ї ДП, що обробляється.

ДП, що задовольняють систему обмежень (1) називаються двоозначовими двійковими структурними числами, а множина, складена з ДП, що задовольняють систему обмежень на:

1) позиції з допустимою появою одиниць (перша структурна ознака задається вектором  $\Lambda$ );

2) сумарне число серій одиниць  $\mathfrak{Z}$  усієї досліджуваної ДП;

3) число серій одиниць  $\mathfrak{Z}_{z,j}$  у кожній допустимій зоні (друга структурна ознака, задається вектором  $\Theta(x)$  значень величини  $\mathfrak{Z}_z^{(x)}$ ) — називається множиною двоозначових структурних чисел.

Код-номер ДП, яка належить до множини двоозначових структурних чисел, формується згідно з такою теоремою:

Для ДП  $A(j) = \{a_{ij}\}_{i=1..m}$  з урахуванням системи обмежень та заданих параметрів послідовності: числа  $m$ , вектора обмежень на позиції одиниць  $\Lambda = \{\lambda_i\}_{i=1..m}$  і вектора  $\Theta(x)$  обмежень на число серій одиниць  $k$  допустимих зонах можна сформулювати код-номер  $N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j$ , що розраховується на основі виразів:

$$N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j = \sum_{z=0}^{Z-1} \sum_{i=1}^{m_z} a_{i,zj} (r_{i-1,zj}^{(x)} - r_{i,zj}^{(x)}) \prod_{\phi=z+1}^Z V(\mathfrak{Z}_\phi^{(x)}); \quad (2)$$

$$V(\mathfrak{Z}_\phi^{(x)}) = \frac{(m_\phi + 1)!}{(2\mathfrak{Z}_\phi^{(x)})! (m_\phi + 1 - 2\mathfrak{Z}_\phi^{(x)})!}; \quad (3)$$

$$r_{i,zj}^{(x)} = \frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{i,zj}^{(x)})! (m_z - i + 1 - \beta_{i,zj}^{(x)})!}; \quad (4)$$

$$\beta_{0zj}^{(x)} = 2\mathfrak{Z}_z^{(x)};$$

$$a_{0zj} = 0,$$

де  $a_{ij}$  —  $ij$ -й елемент  $z$ -ї допустимої зони в ДП;  $\beta_{i,zj}^{(x)}$  — рекурентний параметр, що дорівнює кількості двійкових перепадів (переходів між «0» та «1») для ДП, що складаються з  $(m_z - i + 1)$  необроблених елементів:

$$\beta_{i,zj}^{(x)} = \beta_{i-1,zj}^{(x)} - |a_{i-1,zj} - a_{i,zj}|,$$

$\beta_{0zj}^{(x)}$  — початкове значення параметра  $\beta_{i,zj}^{(x)}$ , що дорівнює  $\beta_{0zj}^{(x)} = 2\mathfrak{Z}_z^{(x)}$ .

При цьому вважається, що  $a_{0zj} = 0$ ;  $V(\mathfrak{Z}_z^{(x)})$  — кількість допустимих ДП, отриманих для  $z$ -ї допустимої зони по кількості одиниць  $\mathfrak{Z}_z^{(x)}$  для вектора  $\Theta(x)$ ;  $N(\mathfrak{Z}_z^{(x)})$  — кількість комбінацій довжиною  $m_z$  елементів з числом серій одиниць  $\mathfrak{Z}_z^{(x)}$  вектора  $\Theta(x)$ , що передують  $z$ -ї зоні послідовності;  $p_{i,zj}^{(x)} = (r_{i-1,zj}^{(x)} - r_{i,zj}^{(x)})$  — ваговий коефіцієнт  $ij$ -го елемента  $z$ -ї допустимої зони послідовності, що обробляється.

За допомогою наведеної системи виразів (2—4) можна сформулювати лише один код-номер двоозначового структурного числа із заданими параметрами (довжина послідовності, обмеження на позиції з допустимою появою одиничних еле-

ментів і обмеження на число серій одиниць у допустимих зонах), у той же час за заданим значенням кода-номера і значенням структурних ознак можна однозначно відновити елементи вихідного двоозначового структурного числа, тобто процес кодування-декодування методом ДСК не вносить жодних спотворень у структуру ДП, що кодується.

### Блок-структурна схема кодера стиснення даних на базі методу двоозначового структурного кодування

Принципово важливим завданням цього розділу є процедура визначення ітерацій моделі кодера зображень. Проблема включає декілька питань:

- вибір алгоритму трансформації матриці зображення таким чином, щоб досягти найбільш сприятливих умов для подальшого стиснення даних з урахуванням упровадженого методу структурного кодування;

- забезпечення мінімального рівня спотворення даних на етапах трансформації та квантування;

- урахування можливості додаткового стиснення даних коду номера (після стиснення даних методом двоозначового структурного кодування) з метою підвищення рівня коефіцієнта стиснення інформації без втрат якості;

- досягнення найбільших значень коефіцієнта стиснення порівняно з існуючими методами.

Далі наведемо ітерації процедури стиснення.

*Перша ітерація.* Кольорове зображення необхідно перетворити у формат представлення для моделі *RGB*. Пікселі кожної компоненти формуються в блоки  $8 \times 8$ , що називаються сегментами зображення. Якщо кількість рядків або стовпців вихідного зображення не кратно 8, то верхній рядок і правий крайній стовпець повторюються потрібну кількість разів.

Операції за стиснення проводяться з чергуванням кольорних компонентів: спочатку перший ряд сегментів червоної компоненти, потім перший ряд сегментів зеленої і синьої компоненти, і так далі. Цей етап можна назвати «підготовчим» до загальної процедури стиснення.

*Друга ітерація.* Далі за кожним сегментом зображення застосуємо ДКП [3]. Оскільки ДКП використовує як базисну функцію косинус, то на цьому етапі відбувається незначна втрата інформації внаслідок представлення заданого зображення рядом Фур'є та обмеженості машинних обчислень, тобто відбувається досить слабе спотворення. У результаті трансформації матриці зображення на базі ДКП отримуємо блоки  $8 \times 8$  частот одиниць даних.

Оскільки пікселі корельовано за двома напрямками, при стисненні використовується двовимірне ДКП, що задається формулою:

$$G_f = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 p_{xy} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right),$$

де  $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, f = 0; \\ 1, f > 0. \end{cases}$

Тут  $p_{xy}$  — числові значення пікселів зображення, що містяться в сегментах розмірністю  $n \times n$  (у цьому випадку  $n = 8$ ). Значення  $i$  та  $j$  змінюються в межах від 0 до  $n-1$ .

*Третя ітерація.* Кожен з 64 елементів частот одиниць даних ділиться на число (коефіцієнт) квантування і округляється до цілої частини. На цьому етапі відбувається необоротна втрата інформації. Але цей крок і ДКП забезпечують істотне підвищення ступеня стиснення, оскільки в результаті в блоці елементів кожного сегменту залишаються лише декілька ненульових елементів.

*Четверта ітерація.* На цьому етапі застосовується базовий метод стиснення даних — ДСК. Кожен сегмент далі кодується за допомогою методу ДСК. Суть цього методу детально розглянуто в попередньому підрозділі та в праці [1]. Перш ніж перейти до описання даної ітерації, з'ясуємо структуру представлення початкових даних. Як уже згадувалося, початкове зображення розбивається на одиниці даних у вигляді сегментів розмірністю  $8 \times 8$ .

Кожне з числових значень представляється у вигляді 8-бітового двійкового числа (тобто кожним сегментом є паралелепіпед, довжина якого становить 8 біт, а ширина і висота дорівнюють розмірності сегмента  $8 \times 8$ ). Кожен сегмент складається нібито з восьми шарів. До складу кожного шару входить по 8 стовпців розмірністю в 8 біт.

На рис. 3, а зображено принцип просторової структуризації матриці *RGB*, що містить числові значення колірних компонентів, які формують уявлення тестового зображення моделлю *RGB* на прикладі сегмента<sub>1,8</sub> із наведенням змісту кожного з шарів (рис. 3, б).

*П'ята ітерація.* На цьому етапі застосовується кодування послідовностей кодів-номерів методом *RLE* [3] з метою збільшення ступеня стиснення початкового зображення. Цей прийом є досить доцільним, якщо врахувати те, що в результаті кроку 4 буде сформована велика кількість нульових кодів-номерів. Сканування кодів-номерів буде проводитися для кожного сегмента по чергово. Принцип кодування методом *RLE* полягає в такому: ненульові елементи знаходяться без змін, а послідовності нулів кодуються стандартно двома числами, перше з яких — 0 — прапор (позначає початок послідовності нулів), другий — розмір довжини даної послідовності. Графічну модель алгоритму кодування подано на рис. 4.

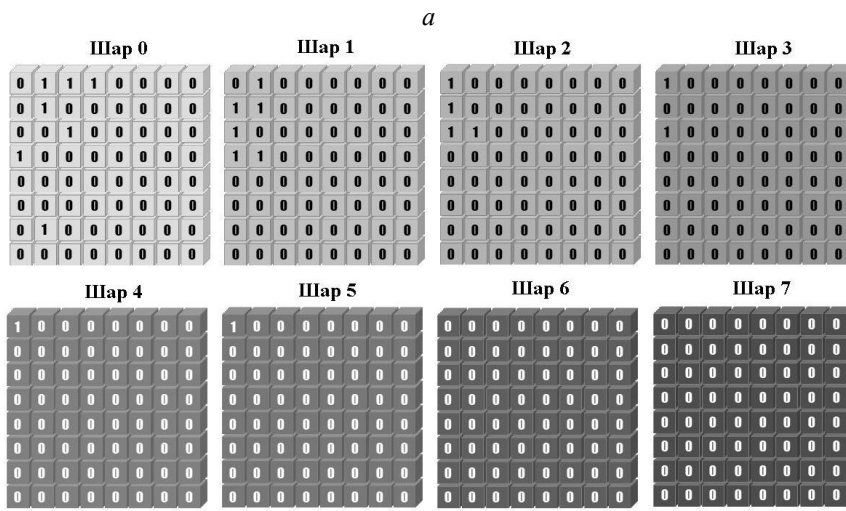
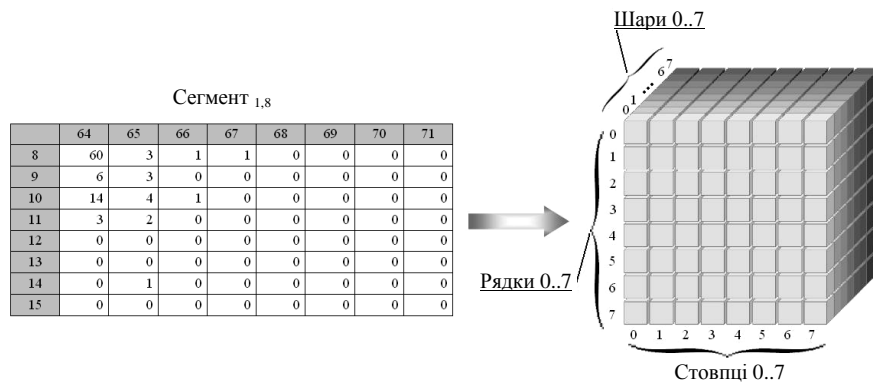


Рис. 3. Графічна модель структуризації зображень

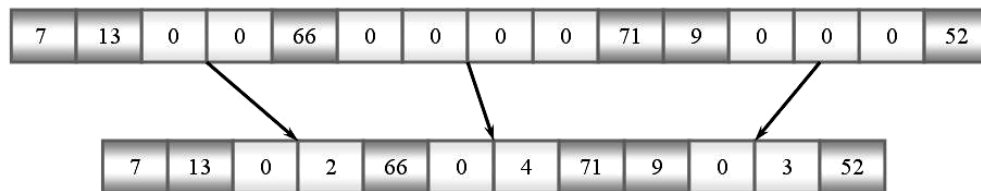


Рис. 4. Графічна модель алгоритму кодування методом RLE

Також на цьому етапі за таким самим принципом проводиться кодування таблиці, що містить значення числа серій одиниць у кожній з допустимих зон двійкових послідовностей (ДКП), для яких сформовано код-номер.

Блок-структурну модель визначеного процесу стиснення даних на базі методу структурного двоозначкового кодування подано на рис. 5.

Сформована модель кодера відеозображень дає змогу значно підвищити ступінь коефіцієнта стиснення порівняно з відомими методами.

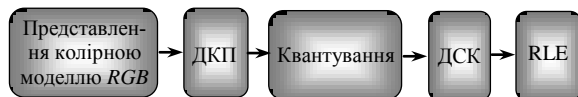


Рис. 5. Блок-структурна схема реалізації процедури стиснення на основі методу ДСК

### Висновки

Розроблено математичну і структурно-логічну модель кодера стискання даних джерела повідомлень з урахуванням методів двоозначкового структурного кодування двійкових даних.

Визначено основні етапи обробки інформації кодером.

Сформовано процедуру стиснення даних, оснований на двійковому структурному кодуванні з умови усунення структурної надмірності інформаційного потоку. Цей метод дає змогу підвищити ступінь стиснення порівняно з існуючими методами, завдяки введенню після кроку квантування етапу формування кодів-номерів двійкових послідовностей базових сегментів зображення. Кодування методом ДСК не вносить додаткових спотворень до відновлюваного зображення, оскільки декодер ДСК абсолютно однозначно відновлює початкові двійкові послідовності.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Юдін О. К. Методи структурного кодування даних в автоматизованих системах управління / О. К. Юдін. — К. : НАУ, 2007.
2. Юдін О. К. Кодування в інформаційно-комунікаційних ятерах / О.К. Юдін. — К. : НАУ, 2007. — 308 с.
3. Фомін А. А. Основи стиснення інформації / А. А. Фомін. — С.Пб. : СПГТУ, 1998. — С. 27—30.
4. Селомон Д. Стиснення даних, зображень і звуку / Д. Селомон. — М. : Техносфера, 2006. — 386 с.

Стаття надійшла до редакції 14.12.09.