

## РОЗРОБКА СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ СТИСНЕННЯ ВІДЕОДАНИХ

**Вступ**

Суттєвим недоліком графічних файлів є їхній значний об'єм. Якщо знехтувати заголовками файлу і іншими неграфічними даними, то його розмір є пропорційним кількості пікселів в зображенні і кількості бітів, потрібних для представлення кожного піксела. Повнокольорова картинка розміром 1024x768 пікселів займає більше двох мегабайт пам'яті, а одна секунда відеофільму телевізійної якості в растровому вигляді – близько тридцяти мегабайт. Таким чином графічними файлами дискову пам'ять можна заповнити миттєво. Виходом з даної ситуації є використання методу, що називається стисненням зображень. При стисненні графічної інформації використовуються прийоми, що зменшують кількість байтів, необхідних для представлення зображення. Звичайно багато що залежить від методу стиснення і вмісту графічного файлу, але цілком звичним є випадок, коли великий графічний файл стискається в п'ять і більше разів. Існують методи, які стискають ще ефективніше, – приблизно в 20 разів і більше, – але з втратами якості, при відновленні зображення втрачається деяка частина колірної інформації. З огляду на вищесказане стиснення даних є одним з найбільш актуальних напрямків сучасної теорії інформації, і цілком справедливо можна говорити про методи компресії як про один з найважливіших засобів забезпечення оптимального і ефективного функціонування інформаційно-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.

В [1] описаний принцип стиснення зображень, побудованого на базі методу двоозначного структурного кодування (ДСК). Структурно-логічна модель кодера ДСК включає наступні етапи:

1. Кольорове зображення переводиться у формат представлення для моделі RGB. Пікселі, кожної компоненти формують в блоки 8x8, що називаються сегментами зображення. Якщо число рядків або стовпців вихідного зображення не кратно 8, то верхній рядок і правий крайній стовпець, повторюють потрібну кількість разів.

2. До кожного сегменту зображення застосовують ДКП. В результаті трансформації матриці зображення на базі ДКП, отримують блоки 8x8 частот одиниць даних.

3. Кожен з 64 елементів частот одиниць даних ділять на число – коефіцієнт квантування і округляють до цілої частини. На даному етапі відбувається необоротна втрата інформації. Оскільки на даному етапі квантовані сегменти містять від'ємні значення, доцільно сформулювати матриці знаків за правилом:

$$s_{k,\ell} = \begin{cases} 0, & \rightarrow c_{k,\ell} \geq 0; \\ 1, & \rightarrow c_{k,\ell} < 0. \end{cases}$$

Тут  $s_{k,\ell}$  -  $(k;\ell)$ -й елемент матриці знаків, що надає інформацію про знак компоненти  $c_{k,\ell}$ .

$k=1, \overline{q_\ell}$ ;  $\ell=1, \overline{q_c}$ , де  $q_\ell$ ;  $q_c$  - кількість рядків та стовпців растру зображення відповідно.

5. На цьому етапі застосовують базовий метод стиснення даних – кодування методом ДСК [2]. Завданням даного етапу є формування кода-номера методом ДСК для двійкових послідовностей, які складають структуру зображення, згідно виявлених структурних надмірностей з урахуванням структурних ознак сегменту зображення. У результаті здійснення даного кроку кодером формують масив значень кодів-номерів для зображення, а також таблиці параметрів структурних ознак ДСК, що містять значення векторів обмежень на позиції з допустимою появою одиниць і числа серій одиниць в кожній з допустимих зон, які необхідні декодеру для подальшого однозначного декодування даних.

6. На цьому етапі застосовують кодування послідовностей кодів-номерів методом RLE з метою збільшення ступеня стиснення початкового зображення. Також на даному етапі за таким же принципом проводять кодування таблиці, що містить значення числа серій одиниць

в кожній з допустимих зон двійкових послідовностей, для яких сформовано код-номер та матриці знаків.

Структурна схема кодера ДСК наведена на рис. 1.

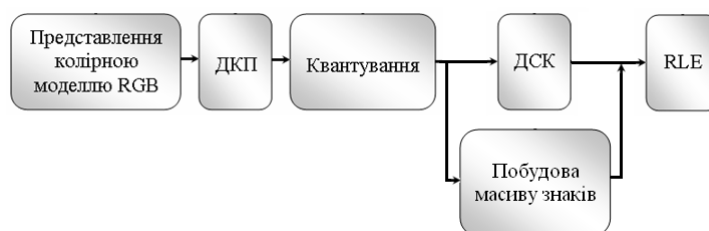


Рис. 1. Блок-структурна схема реалізації процедури стиснення на основі методу ДСК

Сформований спосіб стиснення зображень дозволяє підвищити значення коефіцієнту стиснення  $k_{\text{нб}}$  в порівнянні з відомими методами в 1,3-4,2 рази для більш широких класів джерел повідомлень

### Постановка задачі

Мета та завдання роботи: створення математичної і структурно-логічної моделі декодера даних, стиснених з урахуванням методів (ДСК). При цьому до задач статті відноситься:

- визначення основних етапів процедури відновлення інформації декодером при формуванні декодованого потоку даних;
- оцінка розбіжності відновлених та вихідних зображень.

### Опис основних принципів методу двоозначового структурного декодування

Двоозначове структурне кодування відноситься до методів стиснення без втрат якості інформації. Даний метод заснований на усуненні структурної надмірності шляхом виявлення закономірностей в двійкових послідовностях за деякою ознакою [2,3].

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

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

1. Вектор  $A$  заборон на появу на певній позиції одиничного елемента ( $A = \{A_s\}, s = 1..m;$   $A_i$  – ознака появи на  $i$ -й позиції одиничного елемента, якщо  $A_i=1$ , то на  $i$ -й позиції заборонено поява одиничного елемента, якщо  $A_i=2$  – навпаки);
2. кількість серій одиниць  $\mathcal{G}$  в двійковій послідовності (ДП).

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

$$\begin{cases} 0 \leq a_{ij} \leq s_i, i = 1..m; \\ \mathcal{G} = \sum_{z=1}^Z \mathcal{G}_z; \\ \mathcal{G}_z^{(x)} = \mathcal{G}_{zj}, z = 1..Z. \end{cases} \quad (1)$$

де,  $s_i$  – обмеження на позиції одиниць;  $\mathcal{G}_z^{(x)}$  - допустиме обмеження на число серій одиниць в  $z$ -й зоні;  $\mathcal{G}_{z,j}$  - число серій одиниць в  $z$ -й зоні для певної  $j$ -ї ДП, що обробляється.

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

1. позиції з допустимою появою одиниць (перша структурна ознака задається вектором  $A$ );
2. сумарне число серій одиниць  $\mathcal{G}$  всієї досліджуваної ДП;
3. число серій одиниць  $\mathcal{G}_{z,j}$  в кожній допустимій зоні (друга структурна ознака, задається вектором  $\Theta(x)$  значень величини  $\mathcal{G}_z^{(x)}$ ) – називається множиною двоозначових структурних чисел.

Код-номер ДП, яка належить до множини двоозначових структурних чисел, формується згідно наступної теореми:

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

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

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

$$r_{izj}^{(x)} = \frac{(m_z - i + 1)!}{(\beta_{izj}^{(x)})! (m_z - i + 1 - \beta_{izj}^{(x)})!}; \beta_{0zj}^{(x)} = 2\mathcal{G}_z^{(x)}; a_{0zj} = 0; \quad (4)$$

де  $a_{izj}$  –  $ij$ -й елемент  $z$ -ї допустимої зони в ДП;

$\beta_{izj}^{(x)}$  – рекурентний параметр, що дорівнює кількості двійкових перепадів (переходів між «0» та «1») для ДП, що складаються з  $(m_z - i + 1)$  необроблених елементів:

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

$\beta_{0zj}^{(x)}$  – початкове значення параметру  $\beta_{izj}^{(x)}$ , що дорівнює  $\beta_{0zj}^{(x)} = 2\mathcal{G}_z^{(x)}$ . При цьому вважається, що  $a_{0zj} = 0$ ;

$V(\mathcal{G}_z^{(x)})$  – кількість допустимих ДП, отриманих для  $z$ -ї допустимої зони по кількості одиниць  $\mathcal{G}_z^{(x)}$  для вектора  $\Theta(x)$ .

$N(\mathcal{G}_z^{(x)})$  – кількість комбінацій довжиною  $m_z$  елементів з числом серій одиниць  $\mathcal{G}_z^{(x)}$  вектора  $\Theta(x)$ , що передують  $z$ -ї зоні послідовності.

$p_{izj}^{(x)} = (r_{i-1,zj}^{(x)} - r_{izj}^{(x)})$  – ваговий коефіцієнт  $ij$ -го елемента  $z$ -ї допустимої зони послідовності, що обробляється.

За допомогою описаної 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 елементів і обмеження на число серій одиниць в допустимих зонах), в той же час по заданому значенню 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 [3].

Згідно теореми про взаємооднозначність [2] двоозначового структурного представлення за заданим значенням кода-номера  $N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j$  можна без внесення похибки відновити лише одну ДП  $A(m, \Theta^{(x)})$ . Система виразів, що забезпечує безпомилкове відновлення, описується теоремою про відновлення двоозначових структурних чисел (ДСЧ) [2]: ДП  $A(m, \Theta^{(x)})_j = \{a_{izj}\}_{i=1..m}$ , що задовольняє системі обмежень (1) можна відновити без внесення похибки на основі значення кода-номера  $N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j$ , враховуючи значення величин: довжини ДП  $m$ , вектора обмежень на позиції одиниць  $\Lambda = \{\lambda_i\}_{i=1..m}$  та вектора  $\Theta^{(x)}$  обмежень на число серій одиниць в допустимих зонах – згідно системи виразів:

$$a_{izj} = \text{sign}(1 + \text{sign}(Q_{i-1,zj} - f_{izj}^{(x)})); \quad (5)$$

$$f_{izj}^{(x)} = \frac{(m_z - i + 1)!}{(\rho_{i-1,zj}^{(x)})! (m_z - i + 1 - \rho_{i-1,zj}^{(x)})!} \prod_{\phi=z+1}^Z \frac{(m_\phi + 1)!}{(2\mathcal{G}_\phi^{(x)})! (m_\phi + 1 - 2\mathcal{G}_\phi^{(x)})!}, \quad (6)$$

де  $a_{izj}$  –  $ij$ -й елемент  $z$ -ї допустимої зони ДСЧ;

$\rho_{i-1,zj}^{(x)}$  – рекурентний параметр, що розраховується на основі системи виразів (4);

$\rho_{0zj}^{(x)}$  – початкове значення параметру  $\rho_{izj}^{(x)}$ , що дорівнює  $\rho_{0zj}^{(x)} = 2\mathcal{G}_z^{(x)}$ ;

$Q_{izj}$  – залишкове значення кода-номера  $N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j$ , отримане для ДП  $A(i+1, z)_j$ , що складається з  $\left( (m_z - i) + \sum_{\phi=z+1}^Z m_\phi \right)$  двійкових елементів:

$$A(i+1, z)_j = \{a_{i+1,zj}, \dots, a_{m_z,zj}, a_{1,z+1,j}, \dots, a_{m_{z+1},z+1,j}, \dots, a_{1Zj}, \dots, a_{m_Z,Zj}\}. \quad (7)$$

Значення величини  $Q_{izj}$ :

$$Q_{izj} = Q(i+1, z)_j = \left( a_{i+1,zj} (r_{i,zj}^{(x)} - r_{i+1,zj}^{(x)}) + \dots + a_{m_z,zj} (r_{m_z-1,zj}^{(x)} - r_{m_z,zj}^{(x)}) \right) \prod_{\phi=z+1}^Z V(g_\phi^{(x)}) + N(g_{z+1}^{(x)}) \prod_{\phi=z+2}^Z V(g_\phi^{(x)}) + N(g_{z-1}^{(x)}) V(g_z^{(x)}) + N(g_z^{(x)}). \quad (8)$$

Рекурентне співвідношення для визначення величини  $Q_{izj}$  на  $i$ -ому кроці обробки через значення залишкового кода-номера  $Q_{i-1,zj}$  на  $(i-1)$ -ому кроці обробки має вигляд:

$$Q_{izj} = Q_{i-1,zj} - a_{izj} f_{izj}^{(x)}; \quad Q_{0zj} = N(m, \Lambda, \Theta^{(x)})_j; \quad (9)$$

$$Q_{0,z+1,j} = Q_{m_z z j};$$

$Q_{0zj}$ ,  $Q_{0,z+1,j}$  – початкові значення залишкових кодів-номерів відповідно для  $z$ -ї та  $(z+1)$ -ї допустимих зон;

$f_{izj}^{(x)}$  – кількість двоозначових ДП  $A(i, z)_j$ , у яких  $i$ -й елемент дорівнює нулю;

$V(g_z^{(x)})$  – кількість ДП, отриманих для  $z$ -ї допустимої зони за кількістю серій одиниць  $g_z^{(x)}$  для вектора  $\Theta^{(x)}$ :

$$V(g_z^{(x)}) = \frac{(m_z + 1)!}{(2g_z^{(x)})! (m_z + 1 - 2g_z^{(x)})!};$$

$N(g_z^{(x)})$  – кількість комбінацій довжиною  $m_z$  з числом серій одиниць  $g_z^{(x)}$  вектора  $\Theta^{(x)}$ , що передують  $z$ -й зоні оброблюваної послідовності.

### Блок-структурна схема декодера зображень на базі методу двоозначового структурного кодування

Розглянемо докладніше ітерації процедури відновлення.

*Перша ітерація.* Згідно процедури кодування, описаної в [1], на вхід декодера подаються дані: значення кодів-номерів ДСК, значення числа серій одиниць в кожній з допустимих зон ДП, для яких сформовано код-номер, матриці знаків - всі закодовані згідно методу RLE.

Тому на першому етапі процедури відновлення відбувається декодування RLE (Рис. 2).

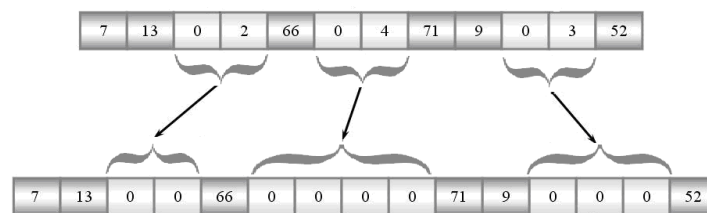


Рис. 2. Графічна модель алгоритму декодування RLE

Принцип декодування RLE полягає в наступному: якщо декодер отримує нуль (прапор), то це означає, що має бути відновлена послідовність нульових елементів, довжина відновлюваної послідовності визначається числом, що слідує за прапором, далі декодер переходить до елемента, що слідує за значенням довжини послідовності нулів. Якщо на вхід декодера подається ненульовий елемент, то він записується у відновлену послідовність без змін і відбувається перехід до наступного елемента.

Оскільки кодування RLE застосовувалося порядково для кожного сегмента матриці з кодами-номерами, то при послідовному відновленні 64 елементів буде сформовано сегмент  $8 \times 8$  матриці кодів-номерів. Також на даному етапі за таким же принципом проводиться

відновлення таблиці, що містить значення числа серій одиниць в кожній з допустимих зон ДП, для яких сформовано код-номер, та матриці знаків.

*Друга ітерація.* На даному етапі застосовується базовий метод декодування – ДСК. Завданням даного етапу є відновлення певної ДП у структурі зображення згідно кода-номера та відповідних структурних ознак. Суть даної процедури детально розглядається в попередньому підрозділі та джерелі [2]. Уточнимо, які саме складові структури зображення будуть відновлені (рис. 3).

Квантоване 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 складає 8 біт, а ширина і висота дорівнюють розмірності сегменту  $8 \times 8$ ). Кожен сегмент складається з восьми шарів. До складу кожного шару входить по 8 стовпців розмірністю в 8 біт. На рис. 3 зображено описаний вище принцип просторової структуризації на прикладі Сегменту<sub>1,8</sub> із наведенням змісту кожного із шарів.

При кодуванні ДСК код-номер формувався для кожного стовпця кожного шару сегментів зображення [1]. Отже на цьому етапі декодування з кожного кода-номера буде відновлений один з восьми стовпців кожного з восьми шарів сегменту зображення. 64 коди-номери, що складають блок  $8 \times 8$  у матриці кодів-номерів, визначатимуть відповідний сегмент квантованого зображення.

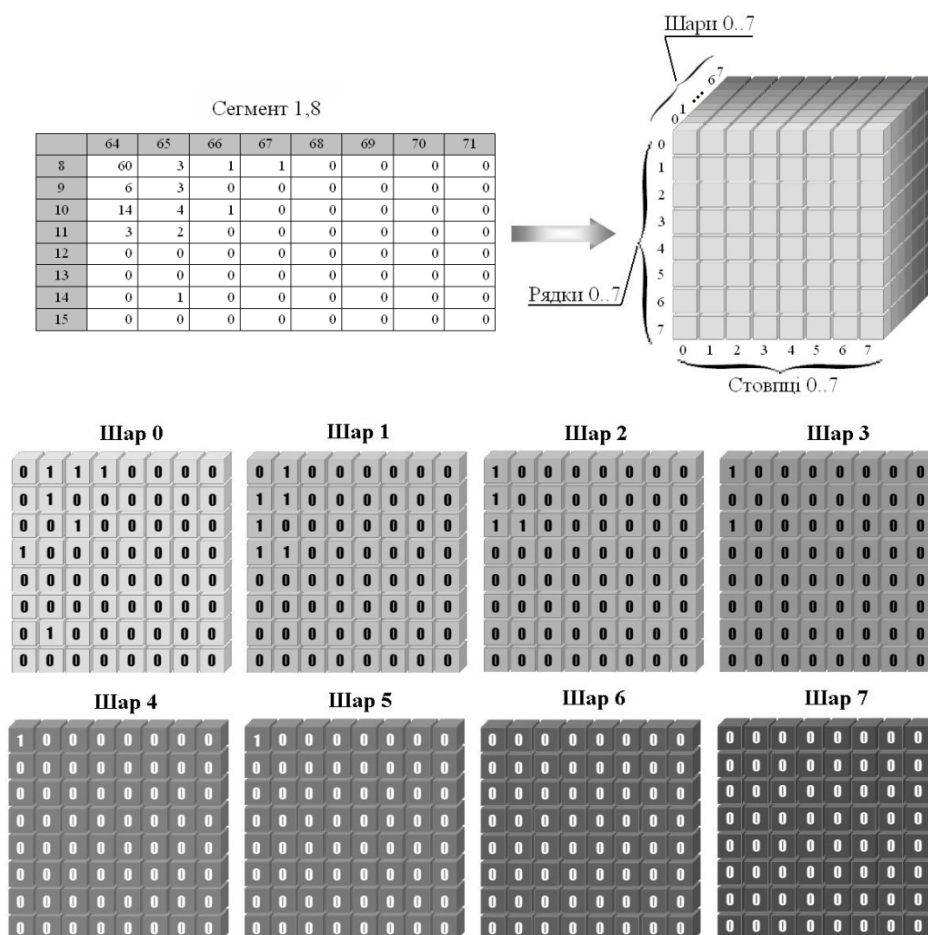


Рис. 3. Графічна модель структуризації зображень з урахуванням методу ДСК

*Третя ітерація.* На даному етапі відновлюються від'ємні значення компонент квантованих сегментів. Відновлення відбувається згідно вмісту матриць знаків за правилом:

$$c_{k,\ell} = \begin{cases} c'_{k,\ell}, & \rightarrow s_{k,\ell} = 0; \\ -c'_{k,\ell}, & \rightarrow s_{k,\ell} = 1. \end{cases}$$

Тут  $s_{k,\ell}$  -  $(k;\ell)$ -й матриці знаків, що надає інформацію про знак компоненти  $c_{k,\ell}$ ,  $c'_{k,\ell}$  - значення компоненти до відновлення інформації про її знак.

$k = \overline{1, q_\ell}$ ;  $\ell = \overline{1, q_c}$ , де  $q_\ell$ ;  $q_c$  - кількість рядків та стовбців растру зображення відповідно. Кожен з 64 елементів у сегментах квантованого зображення множиться на число – коефіцієнт квантування і округляється до цілої частини. Вміст таблиці квантування наведено на рис. 5.

*Четверта ітерація.* Далі до кожного трансформованого сегменту зображення застосуємо обернене ДКП [4]. Оскільки пікселі корельовано по двом напрямкам, при відновленні використовується двовимірне обернене ДКП, що задається формулою:

$$p_{xy} = \frac{1}{4} C_i C_j G_{ij} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right),$$

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

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

Під час процедури стиснення на етапі квантування та ДКП відбувається необоротна втрата інформації, тому при відновленні сегментів вихідного зображення останні зазнають деяких спотворень. Але квантування і ДКП забезпечують істотне підвищення ступеня стиснення.

*П'ята ітерація.* На останньому етапі процедури відновлення відкидаються продубльовані необхідну кількість разів до кратності з вісімкою верхній рядок та крайній правий стовпець.

Блок-структурна модель, що описує основні етапи визначеного процесу відновлення даних, стиснених з урахуванням методу структурного двоозначового кодування двійкових послідовностей, представлена на рис. 4.

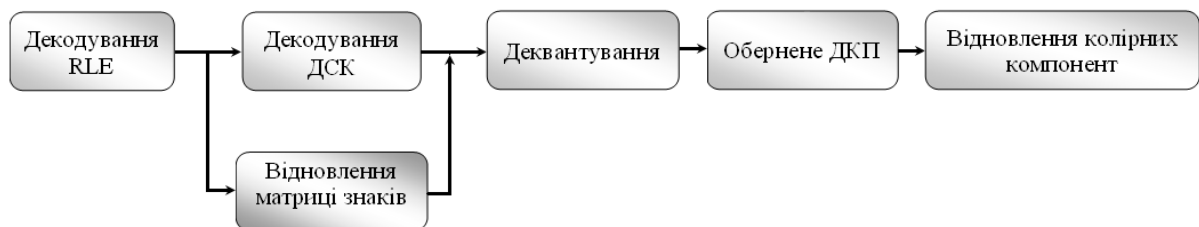


Рис. 4. Блок-структурна схема реалізації процедури відновлення даних, стиснених з урахуванням методу ДСК

Для оцінки якості відновлених зображень використовується значення пікового відношення сигнал/шум  $\delta$  [4]:

$$\delta = 20 \lg \left( 2^q \sqrt{Q_\ell Q_c} / \sqrt{\sum_{i=1}^{Q_\ell} \sum_{j=1}^{Q_c} (x_{ij} - x'_{ij})^2} \right),$$

де  $q$  - кількість двійкових розрядів, що відводиться на представлення одного елементу вихідного зображення;

$Q_\ell$ ,  $Q_c$  - відповідно кількість рядків і стовбців в зображенні.

$x_{ij}$ ,  $x'_{ij}$  - значення  $(i, j)$ -го елемента відповідно для вихідного і відновленого зображень.

Згідно розрахунків, проведених після реалізації процедури кодування-декодування у програмному середовищі, були отримані значення пікового відношення сигнал/шум для різних класів тестових зображень: 53 дБ для дискретнотонових (штучних) зображень, 60 дБ для неперервнотонових (природних) зображень. Разом з тим в [1] було розраховано коефіцієнт стиснення  $k$  для відповідних тестових зображень: 4,79 для штучних зображень, 5,62 для природних зображень. На підставі отриманих даних були побудовані діаграми (рис. 5), які описують значення коефіцієнта стиснення для різних методів компресії при вказаних значеннях пікового відношення сигнал/шум (порядка 60 Дб).

Згідно наведених діаграм досягається виграш в стисненні:

- в 2,76 разів в порівнянні з методами JPEG-LS та JPEG, та в 2,2 рази в порівнянні з методом JPEG-2000 для природних зображень;
- в 2,35 рази в порівнянні з методами JPEG-LS та JPEG-2000, та в 2,6 разів в порівнянні з методом JPEG-2000 для штучних зображень.

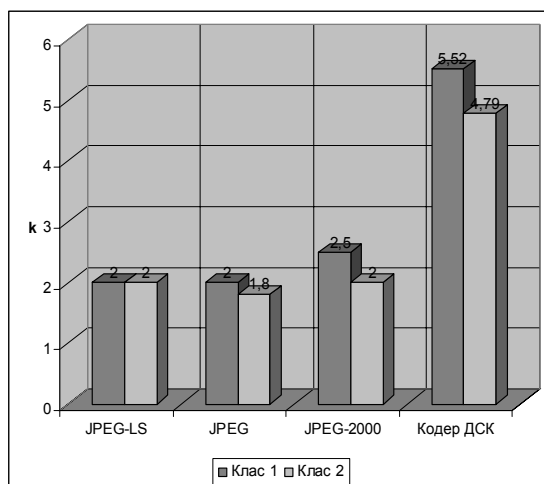


Рис. 5. Діаграми залежності величини  $k$  при обробці різних видів зображень: 1 клас – реалістичні контрастні, 2 клас – штучні

### Висновки

Розроблено математичну і структурну модель процедури декодування зображень, стиснених за допомогою методу, що враховує двоозначове структурне кодування двійкових послідовностей в структурі зображення. Визначено основні етапи процедури обробки інформації декодером. Розроблена процедура відновлення базується на виконанні наступних функцій:

1. Відновлення квантованих трансформант дискретного косинусного перетворення за методом двоозначового структурного кодування. Вміст відновлених трансформант не зазнає жодних спотворень, оскільки декодер ДСК абсолютно однозначно відновлює початкові двійкові послідовності.

2. Виконання процедури деквантування.

3. Виконання оберненого дискретного косинусного перетворення.

4. Отримання кольорних компонент вихідного зображення.

Проведено оцінку розходження відновлених та вихідних зображень. В якості метрики для оцінки похибки використано пікове значення відношення сигнал/шум. Для розробленого методу значення цієї величини склало близько 60 Дб для широкого класу зображень. Вдалося досягти збільшення ступеня стиснення у порівнянні з існуючими методами в середньому в 2,5 рази для штучних та природних зображень.

### Список літератури

1. *Юдін О.К.* Структурно-логічна модель кодера стиску інформаційного потоку даних / Юдін О.К., Чеботаренко Ю.Б., Курінь К.О. // Вісник Інженерної академії України. – К., 2010. – 4 вид. – с. 151-157.
2. *Юдін О.К.* Кодування в інформаційно-комунікаційних мережах: – Монографія. – К.: НАУ, 2007.-308с
3. *Yudin O.K.* The parallel bi-indication encoding end renewal of data in binary polyadic space// Вісник НАУ. – 2006. – №4.– С. 3-7
4. *Д. Селомон.* Стиснення даних, зображень і звуку. – М.:Техносфера, 2006. – 386с.

*Рецензент: д.т.н., проф. Коначович Г.Ф.  
Надійшла 25.02.2010 р.*