

УДК 621.327:681.5

ТЕХНОЛОГІЯ ДЕКОМПРЕСІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ЗАДАНИМ РІВНЕМ ЯКОСТІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ**О. К. Юдін**, д-р техн. наук, проф.; **Ю. П. Бойко**

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

Удосконалено інформаційну технологію відновлення цифрових зображень, що забезпечує їх декомпресію з обмеженими втратами якості візуалізації, а також обґрунтовано виключення неконтрольованих втрат інформації за умови зниження кількості службових даних. Неконтрольовані втрати виключаються в результаті усунення або обмеження таких параметрів: неправильного визначення границь кодових слів, що містять значення кодів адаптивних одноосновних позиційних (АОП) чисел; помилкового позиціонування кодограм суміжних трансформант; помилок у процесі отримання довжин серій двійкових елементів, які несуть основну інформацію про компоненти трансформант, у тому числі про низькочастотні складові спектрального представлення цифрових зображень.

Ключові слова: зображення, відновлення трансформованих зображень, адаптивне одноосновне кодування, серії двійкових елементів.

Information technology creates image restoration, providing them with limited decompression loss of quality imaging and exclude uncontrolled loss of information provided decline in ancillary data. Uncontrolled losses are eliminated as a result of the removal of the following cases: incorrect definition of the boundaries of code words that contain values applicable adaptive embedding monobasic positional numbers; false positioning coded representation related transformant; errors in the process of obtaining lengths of series of binary elements which have the primary transformant information about the components, including the low-frequency components of the spectral representation.

Keywords: image, restoration transformed image, adaptive coding monobasic.

Вступ

У сучасних інформаційно-комунікаційних системах (ІКСМ) для зниження обсягів відеоінформації використовуються технології компресії зображень [1–2], які дають змогу проводити стиснення зображень без втрати або з втратами якості.

Одним із перспективних напрямів стиснення інформаційних потоків є впровадження сучасних методів кодування та декодування даних із заданим рівнем регулювання якості або з фіксованим рівнем втрат.

В умовах упровадження існуючих стандартних методів та характеристик компресії спостерігається технічне гальмування розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та їх складової — систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Організація відеоінформаційного обслуговування СППР суттєво ускладнюється через те, що в сучасних умовах швидкість зростання обсягів відеоданих на декілька порядків перевищує темпи збільшення швидкості передачі даних каналами зв'язку [3].

Це протиріч зумовлено технічними обмеженнями та високою ціною політикою комутаційного обладнання ІКСМ.

Залежно від доступної швидкості передачі даних у СППР, ступінь стиснення необхідно підвищити в середньому на 10–50 %.

Таким чином, удосконалення технологій компресії на базі процедур кодування джерела повідомлень з обмеженням регульованих втрат якості візуалізації, що впроваджуються з метою підвищення ефективності процесу доставки відеоінформації високої роздільної здатності, є актуальною науково-прикладною тематикою досліджень.

Сучасні базові варіанти розвитку технологій стиснення запропоновано в працях [4].

Даний підхід дозволяє скоротити обсяги реалістичних зображень за наявності обмежених втрат їх якості та враховувати в процесі стиснення можливість скорочення психо-візуальної надлишковості.

Надлишковість зумовлено особливостями сприйняття зображень особою, що приймає остаточне рішення, а також з урахуванням просторової надлишковості, викликаній наявністю когерентних областей зображення.

Мета досліджень — удосконалення інформаційної технології відновлення зображень, що забезпечує декомпресію з обмеженими втратами якості візуалізації та базується на умовах

зниження або обмеження кількості службових даних і виключення неконтрольованих втрат інформації.

Основний матеріал

Для забезпечення заданої якості візуалізації зображень, що формуються в результаті декомпресії, необхідно в умовах скорочення кількості службових даних забезпечити виключення:

- неконтрольованих втрат інформації як у результаті неправильного визначення границь кодових слів, що містять значення кодів АОП чисел, так і в результаті помилкового позиціонування кодограм суміжних трансформант;
- помилок у процесі одержання довжин серій двійкових елементів, які несуть основну інформацію про компоненти трансформант, у тому числі про низькочастотні складові спектрального представлення цифрових зображень.

У процесі відновлення зображень у рамках технологій обробки їх трансформованого представлення потрібно передбачити такі відмінності вбудованої технології кодування бінарного опису, як:

1) формування для послідовностей довжин серій двійкових елементів адаптивних одноосновних позиційних чисел рівномірної довжини залежно від розмірів трансформанти та довжини машинного слова;

- 2) побудова кодів АОП чисел;
- 3) неповністю заповнений останній стовпець масиву довжин серій двійкових елементів (СДЕ);
- 4) рівномірну довжину кодових слів, що залежить від значення адаптивної основи АОП чисел для оброблюваного масиву СДЕ.

У зв'язку з цим, метод відновлення компресованих зображень для забезпечення обмеженої втрати якості візуалізації повинен містити в собі такі етапи (рис. 1).

Визначення характеристик кодограм стислого представлення масиву відеоданих.

Така процедура містить у собі:

- знаходження початку й кінця кодового представлення відновлюваної трансформанти у всьому стислому представленні зображення;
- визначення довжини кодових слів V_c , що використовується для представлення кодів $C(p)_k$ адаптивних одноосновних позиційних чисел, утворених для бітового опису поточної трансформанти.

Початкова позиція кодограми поточної трансформанти, тобто позиція початкового біта першого кодового слова, оцінюється відносно кінця кодограми попередньої трансформанти.

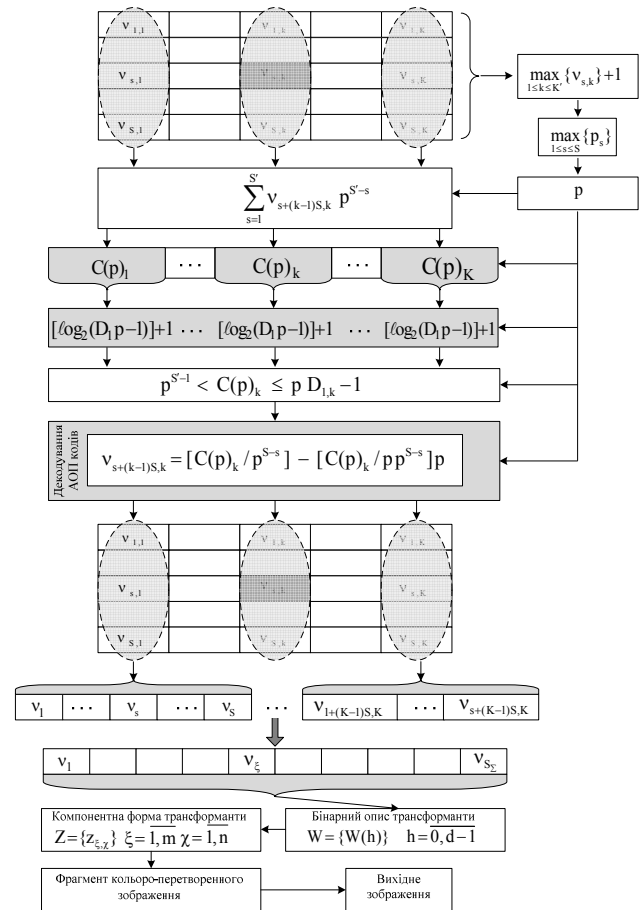


Рис. 1. Схема відновлення фрагменту зображення

Довжина кодограми трансформанти обчислюється на основі інформації про кількість K кодових слів і їх довжини. При цьому в процесі відновлення потрібно враховувати, що кількість кодових слів заздалегідь невідома. Тому процес визначення кількості кодових слів пропонується організувати на основі рекурентної схеми в міру заповнення бітового опису трансформанти. Тоді ознака останнього кодового слова буде відповідати відновленню кількості довжин серій двійкових елементів, достатньої для заповнення молодших бітових площин бінарного опису трансформант (БОТ).

Визначимо кількість \bar{S}_k елементів бінарного опису трансформанти, яка на момент декодування коду $C(p)_k$ для k -го АОП числа залишається не відновленою, як

$$\bar{S}_k = S_\Sigma - \sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma}$$

де $\sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma}$ — кількість двійкових елементів

БОТ, відновлених у результаті декодування $(k-1)$ -ї кількості кодів АОП чисел.

Отже, кількість $\bar{S}_{k,s'}$ елементів БОТ, не відновлених після відтворення s' -го елемента k -го АОП числа, буде дорівнювати

$$\bar{S}_{k,s'} = \bar{S}_k - \sum_{\gamma=1}^{s'} v_{s,\gamma} = S_{\Sigma} - \sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma} - \sum_{s=1}^{s'} v_{s,k}, \quad (1)$$

де $\sum_{s=1}^{s'} v_{s,k}$ — кількість елементів БОТ, отриманих після відновлення s' -го елемента k -го стовпця масиву довжин серій СДЕ.

Якщо виконується співвідношення

$$S_{\Sigma} = \sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma} + \sum_{s=1}^{s'} v_{s,k}, \quad (2)$$

то

$$\bar{S}_{k,s'} = 0.$$

Звідси $k=K$ і $s'=S_K$, а бінарний опис трансформанти вважається повністю сформованим. Тому вираз (2) пропонується використовувати як критерій того, що відновлено останній елемент крайнього, тобто K -го стовпця масиву довжин двійкових серій.

Як видно з аналізу виразу (2), для безпомилкової побудови БОТ на стороні приймання не потрібно знати кількість стовпців K у масиві довжин СДЕ. Навпаки, головною умовою реалізації такого критерію є можливість відновлення елементів АОП числа на основі інформації тільки про адаптивну основу.

Для визначення довжини V_c кодового слова, що відповідає відновлювальній трансформанті, необхідно й достатньо мати адаптивну основу p елементів одноосновного позиційного числа.

Тоді величина V_c знаходиться як $V_c = [\log_2(p^S - 1)] + 1$, де S — довжина АОП числа, що розраховується на основі заздалегідь відомої на стороні приймання інформації про довжину машинного слова $V_{m.c}$ і розмірів трансформанти $m \times n$.

Для цього використовується формула $S = V_{m.c} / ([\log_2 m n] + 1)$. З урахуванням даного виразу довжина кодового слова буде

$$V_c = [\log_2(p^{V_{m.c}/([\log_2 m n] + 1)} - 1)] + 1.$$

Отримання границі першого кодового слова для кодограми стислого представлення трансформанти дозволяє визначити довжину і зміст двійкової послідовності, що містить інформацію про код $C(p)_1$ (рис. 1).

Після цього стає можливим провести відновлення елементів першого стовпця $A_v^{(1)} = \{v_{s,1}\}$, $s=1, \bar{S}$ масиву довжин серій СДЕ.

Пропонується використовувати двоетапну схему на основі таких співвідношень:

– перший етап полягає в перевірці нерівності $D_{1,k} = p^{S'-1} < C(p)_k \leq p D_{1,k} - 1 = p^{S'} - 1$.

З урахуванням цього, якщо дана нерівність виконується, то довжина позиційного числа буде рівна S' і $k=K$;

– другий етап полягає в реалізації такої формули:

$$v_{s,1} = [C(p)_1 / p^{S-s}] - [C(p)_1 / p p^{S-s}] p.$$

При цьому перехід на відновлення елемента s' , де $1 \leq s' \leq S$, здійснюється, якщо виконується нерівність

$$S_{\Sigma} > \sum_{s=1}^{s'-1} v_{s,1},$$

тобто у випадку, коли побудова бінарного опису трансформанти ще незакінчена.

Якщо правильно, що $S_{\Sigma} > \sum_{s=1}^S v_{s,1}$, то

проводиться перехід на відновлення другого стовпця масиву довжин СДЕ. Для цього з кодограми виділяється кодове слово відповідної довжини (рис. 1).

За аналогією на відновлення елемента s' -го елемента k -го стовпця необхідно переходити, якщо виконується нерівність

$$S_{\Sigma} > \sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma} + \sum_{s=1}^{s'-1} v_{s,k}, \quad (3)$$

тобто $\bar{S}_{k,s'} > 0$.

Для цього пропонується використовувати співвідношення для адаптивного одноосновного позиційного декодування

$$v_{s',k} = [C(p)_k / p^{S-s'}] - [C(p)_k / p p^{S-s'}] p.$$

Як видно з даного співвідношення, одержання поточного елемента $v_{s',k}$ адаптивного одноосновного позиційного числа проводиться з використанням локально фіксованої величини p . Така властивість адаптивного одноосновного позиційного декодування забезпечує визначення останнього елемента для останнього стовпця масиву СДЕ. Дійсно, якщо після відновлення s' -го елемента k -го стовпця масиву довжин серій двійкових елементів буде виконуватися співвідношення $S_{\Sigma} = \sum_{\gamma=1}^{k-1} \sum_{s=1}^S v_{s,\gamma} + \sum_{s=1}^{s'} v_{s,k}$, то й бінарний опис трансформанти буде повністю сформованим.

Отже, поточний стовпець є останнім, тобто $k=K$, отриманий елемент відповідає позиції $s'=S_K$.

У результаті масив $A_v = \{A_v^{(k)}\}$, $k = \overline{1, K}$ довжин серій двійкових елементів буде повністю сформованим.

Безпомилкове визначення появи події $k = K$ й $s' = S_K$ дозволяє:

- 1) відновити бінарний опис трансформанти без втрати інформації;
- 2) визначити останнє кодове слово в кодограмі стислого представлення поточної трансформанти, і відповідно початкову позицію першого кодового слова відповідного черговій трансформанті ДКП

Отримання бітового опису трансформанти $W(h)$, $h = \overline{0, d-1}$, де d — глибина оцифрування компоненти трансформанти ДКП, дає змогу сформулювати її компонентний опис $Z = \{z_{\xi, \chi}\}$, $\xi = \overline{1, m}$, $\chi = \overline{1, n}$ (рис. 2).

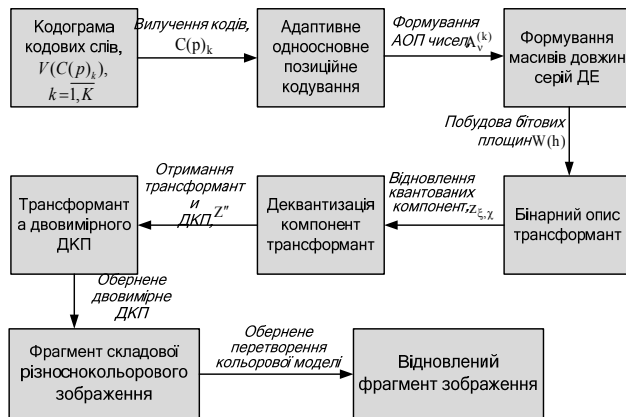


Рис. 2. Структурно-функціональна схема методу відновлення зображень

Використання співвідношення (4) забезпечує відновлення всієї трансформанти дискретного косинусного перетворення, що містить абсолютні значення квантованих компонент. Тому перед етапом виконання оберненого двовимірного ДКП потрібно виконати такі дії:

- провести деквантування компонент $z_{\xi, \chi}$;
- відновити інформацію про знак компонентів ДКП.

Деквантування здійснюється на основі використання матриці квантизації $Q(f) = \{q_{\xi, \chi}\}$, і задається формулою

$$z_{\xi, \chi}''' = z_{\xi, \chi}'' q_{\xi, \chi}. \quad (5)$$

Значення $z_{\xi, \chi}'''$ компоненти за рахунок операцій округлення може відрізнитися від вихідного значення $z_{\xi, \chi}''$. Причому, чим більше значення елемента матриці квантизації $q_{\xi, \chi}$ (тобто збільшується значення фактора якості f), тим

більше буде величина помилки $e_{\xi, \chi}$, $e_{\xi, \chi} = |z_{\xi, \chi}''' - z_{\xi, \chi}''|$.

Матриця знаків компонент трансформанти ДКП формується в результаті декодування кодів позиційних чисел, сформованих для довжин серій елементів матриць знаків.

Після цього значення компоненти $z_{\xi, \chi}'''$ з урахуванням її знака утворюється як

$$z_{\xi, \chi}''' = \begin{cases} z_{\xi, \chi}'' & \rightarrow \alpha_{\xi, \chi} = 0; \\ -z_{\xi, \chi}'' & \rightarrow \alpha_{\xi, \chi} = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Тут $\alpha_{\xi, \chi}$ інформація про знак компоненти $z_{\xi, \chi}'''$. Величина $\alpha_{\xi, \chi}$ набуває значення на двійковій множині, тобто $\alpha_{\xi, \chi} = \{0, 1\}$ та визначається як:

- якщо $z_{\xi, \chi}'' \geq 0$, то $\alpha_{\xi, \chi} = 0$;
- якщо $z_{\xi, \chi}'' < 0$, то $\alpha_{\xi, \chi} = 1$.

Наступним етапом процесу відновлення зображень є виконання оберненого блокового двовимірного дискретного косинусного перетворення (рис. 2). Така обробка у випадку програмної реалізації здійснюється в два етапи.

На першому етапі формується проміжний масив $Z(i, j)^*$. Для цього виконується одновимірне зворотне дискретне косинусне перетворення стовпців трансформанти $Z'''(\xi, \chi)$:

$$Z(i, j)^* = F(i) Z'''(\xi, \chi)_{i, j},$$

де $F(i)$ — вектор дискретних значень базисних функцій ДКП.

На другому етапі виконується одновимірне зворотне ДКП для рядків проміжного масиву $Z(i, j)^*$. У результаті отримуємо масив відеоданих $X'(i, j)$:

$$X'(i, j) = Z(i, j)^* F(j)^{(-1)},$$

де $F(j)^{(-1)}$ — транспонований вектор дискретних значень базисних функцій ДКП.

Оскільки в загальному випадку в результаті квантування компонент трансформанти виконується нерівність $z_{\xi, \chi}''' \neq z_{\xi, \chi}''$, то відновлення значення $x'_{i, j}$ масиву $X'(i, j)$ може відрізнитися від вихідного значення $x_{i, j}$ масиву відеоданих $X(i, j)$, тобто $x'_{i, j} \neq x_{i, j}$. Звідки з'являються втрати якості щодо сприйняття відновлених зображень.

Масив $X'(i, j)$ належить одній зі складових різноскольорового представлення вихідного зображення, тобто $Y' = \{y'_{ij}\}$, $U' = \{u'_{ij}\}$, $V' = \{v'_{ij}\}$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

На завершальному етапі на основі різноскольорового опису отримується фрагмент зображення, що відповідає моделі RGB , $R' = \{r'_{ij}\}$, $G' = \{g'_{ij}\}$, $B' = \{b'_{ij}\}$, $i=1, m$, $j=1, n$.

Виконуються такі зворотні перетворення:

$$r'_{ij} = u'_{ij} + g'_{ij}; \quad g'_{ij} = y'_{ij} - \lfloor (u'_{ij} + v'_{ij}) / 4 \rfloor;$$

$$b'_{ij} = v'_{ij} + g'_{ij}.$$

На даному етапі додаткові похибки не вносяться. У результаті одержуємо фрагмент відновленого зображення для кольорового представлення основи з використанням моделі RGB . Усе зображення формується після виконання перерахованих вище перетворень для всіх кодограм стисненого представлення трансформант.

Висновок

Набула подальшого розвитку розробка технології відновлення зображень, яка забезпечує їх відновлення з обмеженими втратами якості візуалізації, і за умови зниження кількості службових даних виключення неконтрольованих втрат інформації в результаті усунення таких недоліків та обмежень:

- неправильного визначення границь кодових слів, що містять значення кодів АОП чисел;
- помилкового позиціонування кодограм суміжних трансформант;
- помилок у процесі одержання довжин серій двійкових елементів, які несуть основну інформацію про компоненти трансформант, у тому числі про низькочастотні складові спектрального представлення.

Уперше розроблено метод декомпресії зображень, який складається з таких етапів:

- аналітичного опису кодограми стислого представлення трансформанти;
- процедури адаптивного одноосновного позиційного відновлення стовпців масиву довжин серій ДЕ;
- нового аналітичного представлення бітового опису трансформанти на основі серій двійкових елементів;
- формування вихідного представлення трансформанти в результаті процесу деквантизації та обліку додавання знакових характеристик;
- зворотного блокового двовимірного дискретного косинусного перетворення;
- оберненого перетворення колірної моделі одержаного зображення в RGB формат.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Орищенко В. И.* Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / В. И. Орищенко, В. Г. Сонников, В. А. Свириденко. — М. : Радио и связь, 1985. — 184 с.
2. *Методы передачи изображений.* Сокращение избыточности; под ред. У. К. Прэтта. — М. : Радио и связь, 1983. — 263 с.
3. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение; пер. с англ. / Б. Скляр. — М. : Изд. дом Вильямс, 2004. — 1104 с.
4. *Юдін О. К.* Технологія компресії для скорочення обсягу трансформант на основі кодування їх бінарного представлення / О. К. Юдін, Ю. П. Бойко // Наукоємні технології, 2014. — №1 (21). — С. 84–89.

Стаття надійшла до редакції 25.02.2015