

УДК 621.391

Д.Ф. ДЯДИК, С.В. ГАРКУША, О.Ю. СТРЮК

Полтавський військовий інститут зв'язку, Україна

## АДАПТИВНИЙ МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ КОЛЬОРОВИХ КООРДИНАТ ВІДЕОДАНИХ

Розроблено метод зміни кольорового представлення, на основі адаптації моделі до енергії кольорів конкретного зображення. Представлено результати порівняння статистичних властивостей даних при застосуванні розробленого алгоритму і відомих методів. На основі порівняльного аналізу результатів експерименту доведена можливість підвищення ефективності методів стиску зображень без втрат інформації.

**відеодані, кольорова модель, ентропія, енергія кольору**

### Постановка проблеми

Одним з важливих завдань вдосконалення цифрових систем обробки і передачі відеоданих є скорочення надмірності вихідних даних, з метою зменшення їх об'єму. Це викликано вимогами, що висуваються до оперативності передачі відеоданих, зменшення об'єму інформації та навантаження на канали передачі даних. Постає проблема необхідності розробки ефективних методів стиску відеоданих, використання яких дозволяє здійснити передачу зображень по каналам зв'язку в реальному часі [1 – 3].

На даний момент при розробці методів стиску, одним з напрямків розвитку є використання адаптивного підходу до побудови алгоритмів, що дозволить враховувати широкий спектр статистичних властивостей зображень.

### Аналіз літератури

Найпростішою кольоровою моделлю представлення повнокольорових зображень є модель RGB (red, green, blue – червоний, зелений, синій), в якій кожен з кольорів представлений 8 бітами, що в сукупності складає 24 біт на піксель зображення. Дана модель є надмірною, адже людське око розрізняє лише декілька десятків тисяч кольорів, в той час, як сама модель описує більше одного десятку мільйонів кольорів. Всі три RGB компоненти мають рівну

смугу пропускання, щоб згенерувати певний колір. В результаті цього зображення займає не тільки значний об'єм, але і вимагає порівняно великих обчислювальних ресурсів для роботи з ним. Збільшення швидкості обробки та зменшення ентропії інформації може бути досягнуто шляхом перетворення кольорової моделі RGB в іншу кольорову модель [2, 4].

Пряме і зворотне перетворення виконується таким чином:

Пряме перетворення

$$\begin{pmatrix} Y(i, j) \\ X(i, j) \\ Z(i, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R(i, j) \\ G(i, j) \\ B(i, j) \end{pmatrix}.$$

Зворотне перетворення

$$\begin{pmatrix} R'(i, j) \\ G'(i, j) \\ B'(i, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}^{-1} & c_{12}^{-1} & c_{13}^{-1} \\ c_{21}^{-1} & c_{22}^{-1} & c_{23}^{-1} \\ c_{31}^{-1} & c_{32}^{-1} & c_{33}^{-1} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} Y(i, j) \\ X(i, j) \\ Z(i, j) \end{pmatrix},$$

де  $Y, X, Z$  – матриці значень кольорних координат точок зображення в новій кольоровій моделі;  $C$  – матриця прямого перетворення;  $C^{-1}$  – матриця зворотного перетворення;  $R, G, B$  – матриці значень кольорних координат точок зображення в кольоровій моделі RGB.

На практиці використовується досить багато кольорових моделей представлення зображень, які орієнтовані на певний клас зображень та виконують певні специфічні функції. До моделей, використання

яких дозволяє зменшити ентропію для подальшого стиску зображень можна віднести моделі YUV, YIQ, YCbCr, YDbDr. Деякі з них знаходять застосування в телебаченні: YIQ – у системі NTSC, YUV – у системі PAL, YDbDr у системі SECAM; кольорова модель YCbCr використовується в форматі стиску JPEG [2, 4, 5]. Але всі ці моделі використовують перетворення інформації в не цілочисловому вигляді, що не дозволяє застосовувати їх в алгоритмах стиску зображень без втрат інформації [4].

Кольорова модель RCT, яка застосовується в форматі стиску JPEG-2000 для стиску зображень без втрат інформації, є єдиною найбільш розповсюдженою моделлю перетворення без втрат. Цілочислове перетворення кольорової моделі RGB може бути представлено в наступному вигляді:

пряме перетворення:

$$Y = \left\lfloor \frac{R + 2G + B}{4} \right\rfloor, U = R - G, V = B - G; \quad (1)$$

обернене перетворення:

$$G = Y - \left\lfloor \frac{U + V}{4} \right\rfloor, R = U + G, B = V + G, \quad (2)$$

де  $R, G, B$  – значення кожного з кольорів в діапазоні  $[0...255]$ ;  $Y, U, V$  – кольорові компоненти зміненої моделі.

Дана модель була побудована як альтернатива нецілочислового методу перетворення YCbCr для алгоритму стиску JPEG-2000. В методі YCbCr головна частина енергії зосереджена в кольоровій компоненті  $Y$ , адже вона несе інформацію про всі 3 кольори зображення, тому є найбільш значущою. Компоненти  $Cb$  і  $Cr$  несуть допоміжну інформацію, яка необхідна для відновлення вихідних значень кольорів. Тому в методах стиску з втратами інформації проводять грубе квантування значень компонент  $Cb$  і  $Cr$ . Але RCT є досить грубим наближенням до класичної нецілочислової моделі, що в недостатній мірі враховує всі статистичні властивості кольорових компонент для їх подальшого кодування. Постає проблема вдосконалення даного алгори-

тму, та створення більш оптимального методу кольорового перетворення зображень без втрат інформації [6, 7].

На даний момент при розробці методів стиску, одним з напрямків розвитку є використання адаптивного підходу до побудови алгоритмів, що дозволить враховувати широкий спектр статистичних властивостей конкретних зображень.

**Метою статті** є розробка методу перетворення кольорових координат фотореалістичних зображень, на основі створення адаптивної моделі перетворення та оцінка розробленої моделі по відношенню до існуючих.

### Розробка адаптивного алгоритму

Розробка адаптивного алгоритму перетворення базується на знаходженні кольорової компоненти, що має найменше значення ентропії і використання її в якості основної кольорової компоненти. Знаходження такої кольорової компоненти було проведено за допомогою порівняння енергій кольорів конкретного зображення, на основі чого і проводиться вибір моделі перетворення. Знаходження та порівняння енергій дасть змогу визначити кольорову складову, що має найменшу ентропію, при цьому забезпечить спрощення складності обчислень.

Енергія кольору обчислюється як сума квадратів значень певного кольору всіх пікселів зображення:

$$Er = \sum_{i=0}^{vs} \sum_{j=0}^{sh} K^2[i,j], \quad (3)$$

де  $Er$  – абсолютна енергія кольору;  $K[i,j]$  – значення кольору в пікселі  $[i,j]$ ;  $vs$  – розмір зображення по вертикалі;  $sh$  – розмір зображення по горизонталі.

Для визначення співвідношення енергій кольорів достатньо використовувати спрощення – абсолютну суму значень кольору без квадрату, що дозволить зменшити кількість операцій обчислення.

Дослідження було проведено на вихідному пакеті зображень, що складається з 150 зображень розміром 600 на 800 пікселів та частотою кольорового перепадку від 0,1 до 0,99.

В результаті дослідження, було виявлено, що в 91,3% зображень найменшу енергію кольору в області червоного та синього кольору. Це викликано тим, що зелений колір є найбільш яскравим, адже люмінесцентна функція ефективності досягає максимуму в зеленій області спектру. Червоний та синій кольори являються менш яскравими, а отже мають меншу енергію кольору.

Дослідження показали, що один з кольорів в зображенні має значно менше значення енергії по відношенню до інших. Було сформувано припущення, що в більшості випадків значення енергії вказує на найменше значення ентропії кольору. Це можна пояснити тим, що більше значень кольору пікселя зосереджена в зоні менших значень і мають невисоку дисперсію. Це лягло в основу побудови адаптивної моделі, яка спирається на знаходженні кольору з найменшим значенням ентропії.

За основу побудови методу було взято метод RCT, як основного алгоритму перетворення кольорових координат без втрат інформації.

Аналіз значення ентропії знайденої компоненти  $Y$  показав, що в більшості випадків ентропія однієї з вихідної кольорової складової має менше значення, ніж компоненти  $Y$ . Це вказує на недосконалість і недоцільність знаходження компоненти  $Y$  для її подальшого кодування без надлишковими алгоритмами.

Тому замість обчислення компоненти  $Y$  за класичною формулою, їй було присвоєно значення одного з кольору, що має найменшу ентропію. Порівняння значень ентропії буде проведено адаптивною моделлю, на основі визначення енергії кольору. Інші компоненти  $U$  і  $V$  обраховувались за класичними формулами, що як показало дослідження, є найбільш оптимальними за статистичними показниками.

Загальна формула кольорового перетворення має вигляд:

$$Y = K, \quad U = R - G, \quad V = B - G, \quad (4)$$

де  $K$  – один з кольорів зображення, що має найменше значення ентропії.

Зелена кольорова складова в 91,3% зображень має найбільше значення ентропії, серед всіх кольорів моделі RGB. Це вказує на недоцільність використання в процесі порівняння адаптивного алгоритму зеленої складової. Тому в адаптивній моделі порівнювались лише червона та синя кольорові складові. На основі цього формули оберненого перетворення матимуть вигляд:

$$R = Y, \quad G = Y - U, \quad B = V + G, \quad (5)$$

– для зображення з найменшою ентропією червоного кольору;

$$B = Y, \quad G = Y - V, \quad R = G + U, \quad (6)$$

– для зображення з найменшою ентропією синього кольору.

**Отримані результати** необхідно перевірити за загальними показниками, що висуваються до алгоритмів стиску. Головні з них: статистичні показники та показники складності обчислень.

Статистичний показник був перевірений шляхом оцінки середнього значення ентропії компонент. Середня ентропія кольорових компонент визначалась для джерела з нерівномірними та взаємозалежними відліками, при цьому дане значення приблизне і використовується лише для порівняльної кількісної оцінки інформації, яку несуть в собі кольорові складові зображення. Обчислення проводилося за формулою:

$$H = - \sum_{i=-128}^{255} p(x_i) \log_2 p(x_i),$$

де  $p(x_i)$  – частота появи значення кольорової компоненти, рівної  $x_i$ .

Значення середньої ентропії наведені в табл. 1.

Як бачимо з таблиці, середнє значення ентропії для вихідного пакету зображень дорівнює 5,21 біт/відлік для всього діапазону частот кольорового перепаду. Розроблений алгоритм має значення ентропії 4,34 біт/відлік, що показує зменшення ентропії на 16,64%. Це дає змогу підвищити ефективність алгоритмів стиску зображень при подальшому застосуванні алгоритмів без надлишкового кодування.

Таблиця 1  
Значення ентропії

Частота кольорового перепадку	Y-компонента	
	RCT- алгоритм	Розроблений алгоритм
0,1	1,9831	1,4112
0,2	2,9824	2,1366
0,3	4,3131	3,0145
0,4	4,607	3,1616
0,5	5,4786	4,9554
0,6	6,3961	4,5346
0,7	6,7959	6,1066
0,8	7,0824	6,8205
0,9	7,258	6,9492
<b>Середнє значення</b>	<b>5,2106</b>	<b>4,3433</b>

Разом з цим, розроблений алгоритм має меншу обчислювальну складність, адже виключена операція ділення, множення і дві операції складання для кожного пікселя при прямому і оберненому перетворенні кольорової компоненти Y. Для реалізації алгоритму адаптації було додано лише одну операцію складання для кожного пікселя зображення.

Складність обчислень було визначено для алгоритму RCT та розробленого алгоритму, для обчислення компоненти Y [8]:

$$28 \times \frac{vs \times sh}{3} \text{ операцій для RCT-алгоритму;}$$

$$4 \times \frac{vs \times sh}{3} \text{ операцій для розробленого алгоритму,}$$

де  $vs$  – кількість пікселів зображення по вертикалі;  
 $sh$  – кількість пікселів зображення по горизонталі.

Складність обчислення компонент  $U$  та  $V$  не змінилась, адже формули їх знаходження залишилися незмінними.

### Висновок

За результатами проведеної роботи розроблено адаптивний алгоритм перетворення кольорових координат, що визначає кольорову складову з найменшим значенням ентропії, порівнюючи, при цьому, їх значення енергій. Розроблений алгоритм вра-

ховує статистичні властивості конкретного зображення, що забезпечує зменшення ентропії компоненти Y на 16,64 % по відношенню до найбільш розповсюдженої моделі зміни кольорових координат RCT, яка застосовується в алгоритмі стиску JPEG - 2000. Було досягнуто меншу обчислювальну складність по відношенню до RCT алгоритму в 7 разів, за рахунок спрощення формули визначення компоненти Y. В результаті аналізу властивостей алгоритму доведено доцільність застосування розробленого методу в алгоритмах стиску зображень без втрат інформації.

### Література

1. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Рагушняк и др. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 384 с.
2. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений: Кн.2. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
3. Ваторин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. – Лаборатория компьютерной графики МГУ. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http:// graphics.cs.msu.su/library/our\\_publications/fractal/index.htm](http://graphics.cs.msu.su/library/our_publications/fractal/index.htm).
4. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
5. Шагурин И.И., Бродин В.Б., Мозговой Г.Г. 80386: Описание и система команд. – М., 1992. – 458 с.
6. Стрюк А.Ю., Бохан К.А. Цветовые модели в системах сжатия видеоданных // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 1 (18). – С. 18-22.
7. Резуненко А.А., Стрюк А.Ю. Методы целочисленного преобразования цветowych координат видеоданных // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – № 1. – С. 34-36.

Надійшла до редакції 21.02.2006

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. С.І. Шульга, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна.