



УКРАЇНА

(19) UA (11) 44773 (13) U

(51) МПК (2009)

H04N 7/06

H04N 9/00

H04N 9/78

H04N 9/79

H04N 9/80

G06K 9/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ КОДУВАННЯ ЦИФРОВИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

1

2

(21) u200905200

(22) 25.05.2009

(24) 12.10.2009

(46) 12.10.2009, Бюл.№ 19, 2009 р.

(72) ВОРОБІЄНКО ПЕТРО ПЕТРОВИЧ, ЗАГРЕБ-  
НЮК ВІКТОР ІВАНОВИЧ, ЛЕНІК ДМИТРО ДМИТ-  
РОВИЧ(73) ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗ-  
КУ ІМ. О.С. ПОПОВА(57) Спосіб кодування цифрових кольорових зо-  
бражень з використанням емпіричних коефіцієнтів

при визначенні компоненти яскравості та хромати-  
чних компонент для передавання телевізійних  
сигналів в системах NTSC, PAL, SECAM, а також  
перетворення яскравості у системах реставрації  
зображень, який **відрізняється** тим, що при ви-  
значенні хроматичних компонент та яскравості  
використовуються нормовані власні значення ко-  
варіаційної матриці, розраховані для кожного зо-  
браження або кадру відеопотоку окремо.

Запропонована корисна модель відноситься  
до галузі збереження цифрових зображень з вико-  
ристанням формату JPEG, а також передавання  
телевізійних сигналів в системах NTSC, PAL,  
SECAM, зокрема до кодування характеристик ко-  
льору цифрових зображень та перетворення їх  
яскравості.

Відомими способами кодування кольорів циф-  
рових зображень є системи RGB, HLS, XYZ, Lab  
[1-4]. Найближчим аналогом до запропонованого  
способу є система кодування YCrCb. У цій системі  
використовується три компоненти - компонента  
яскравості Y, та дві хроматичні компоненти: хро-  
матичний червоний - Cr та хроматичний синій - Cb.  
Оскільки при реєстрації та відтворенні зображень  
використовується адитивна система кольорів  
RGB, то у рекомендаціях ITU-R, а саме ITU BT.601  
[5] та ITU BT.709 [6] наводяться перетворення з  
sRGB у YCrCb та обернене перетворення, які ма-  
ють наступний вид [5]:

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y \\ r - Y \\ b - Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} \quad (1)$$

- обернене перетворення

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -0.509369 & 0.194207 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{pmatrix} \quad (2)$$

У цих перетвореннях використовуються зна-  
чення g, g, b системи sRGB, які обчислюються на-  
ступним чином  $g=R/255$ ,  $g=G/255$ ,  $b=B/255$ , де R, G  
та B одно байтові компоненти кольору системи  
RGB.

Система кольорів YCrCb використовується та-  
кож для редагування яскравості зображення за  
рахунок зміни лише однієї компоненти Y. Розраху-  
нок хроматичних компонент та яскравості Y у цій  
системі здійснюється з використанням емпіричних  
коефіцієнтів що враховують особливості людсько-  
го зору [7], а саме чутливість зору при сприйнятті  
червоного, зеленого та синього кольорів. При та-  
кому визначенні яскравості є колориметричною  
величиною. Як наслідок, серед множини кольорів  
RGB існує така підмножина кольорів, що відрізня-  
ються один від одного, але мають однакову яскра-  
вість у системі YCrCb. На Фіг.1, для прикладу, на-  
ведені деякі з таких кольорів. Не зважаючи на те,  
що кольорові квадрати з верхнього рядку сприй-  
маються як більш яскраві у порівнянні з квадрата-  
ми у нижньому рядку, однак у системі YCrCb вони  
всі мають однакову яскравість (сірий стовпчик з  
правого боку). Ця невідповідність не приводить до

(13) U

(11) 44773

(19) UA

погіршення якості візуального сприйняття при відтворенні зображень на екрані телевізора, або монітора комп'ютера лише тоді, коли яскравість не змінюється. При перетворенні яскравості  $Y$  у системі YCrCb обернене перетворення у систему RGB супроводжується суттєвими змінами кольорового тону, що знижується якість візуального сприйняття зображень. Серед недоліків, при оберненому перетворенні після зміни яскравості у системі YCrCb, слід навести такі:

- прийняте визначення яскравості  $Y$  у системі YCrCb не відповідає дійсному розподілу яскравості по зображенню;
- перетворення кольорового зображення у зображення в градаціях сірого з використанням  $Y$  супроводжується втратами інформації важливої для контурного аналізу зображення;
- перетворення яскравості приводить до виникнення спотворень кольорів (Фіг.2);
- при зміні яскравості погіршується якість візуального сприйняття при перетворенні у систему RGB телевізійних та статичних зображень.

Зазначені недоліки приводять до зниження показників якості телевізійних зображень та статичних зображень у системах реставрації зображень та контурного аналізу.

Поставлена задача полягає у розробці такого способу кодування кольорів при якому, в першу чергу, компонента  $Y$  адаптивно та більш точно відображає характеристики яскравості зображення і, як наслідок, не виникають суттєві спотворення кольорів при перетворенні яскравості та зберігається висока якість візуального сприйняття кольорових зображень, а також забезпечується відтворення усіх деталей кольорового зображення при його перетворенні у напівтонове.

Технічно задача вирішується шляхом використання нормованих власних значень коваріаційної матриці у якості коефіцієнтів при визначенні характеристики яскравості (позначимо її  $B$ ), що дозволяє адаптивно визначати внесок кожного кольору у формування характеристики яскравості.

Для реалізації запропонованого способу, по всьому зображенню розраховуються елементи коваріаційної матриці  $\Sigma$  за наступною формулою:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{n} \cdot \sum (x_i - \mu_i) \cdot (x_j - \mu_j) \quad (3)$$

де  $x_i$  - значення компонент кольору у системі RGB;  $\mu_i$  - відповідні середні значення. Знаходять власні значення  $\lambda_i$  коваріаційної матриці з розв'язку характеристичного рівняння

$$\Sigma - \lambda E = 0 \quad (4)$$

де  $E$  - одинична матриця. Розв'язок цього характеристичного рівняння зводиться до знаходження коренів кубічного рівняння виду:

$$\lambda^3 - \text{Sp}(\Sigma)\lambda^2 + (M_{rr} + M_{gg} + M_{bb})\lambda - \det(\Sigma) = 0 \quad (5)$$

Тут  $\text{Sp}(\Sigma)$  - слід коваріаційної матриці;  $M_{rr}, M_{gg}, M_{bb}$  - мінори коваріаційної матриці.

Оскільки коваріаційна матриця є симетричною, то характеристичне рівняння має три різних

дійсних корені, позначимо їх  $\lambda'_r, \lambda'_g, \lambda'_b$ . Знайдемо нормовані значення власних чисел коваріаційної матриці

$$\lambda_r = \frac{\lambda'_r}{\lambda'_r + \lambda'_g + \lambda'_b}, \lambda_g = \frac{\lambda'_g}{\lambda'_r + \lambda'_g + \lambda'_b}, \lambda_b = \frac{\lambda'_b}{\lambda'_r + \lambda'_g + \lambda'_b} \quad (6)$$

При цьому  $\lambda_r + \lambda_g + \lambda_b = 1$ . Нормовані власні числа визначають частку компонент кольору  $r, g, b$  у формуванні зображення. Виходячи з цього характеристики яскравості будемо визначати зі співвідношення

$$B = \lambda_r \cdot r + \lambda_g \cdot g + \lambda_b \cdot b \quad (7)$$

На Фіг.3 наведені результати обчислення яскравості кольорового зображення у системі YCrCb та відповідної характеристики запропонованим способом. У системі YCrCb усі частини вхідного зображення мають однакову яскравість (Фіг.3 а)). При обчисленні запропонованим способом, частини зображення з різними кольорами мають різні значення характеристики яскравості (Фіг.3 б)).

При обчисленні  $B$  запропонованим способом, в межах зображення що кодується, практично не можливо підібрати декілька різних кольорів таким чином, щоб вони мали однакову характеристику яскравості, що особливо важливо у системах контурного аналізу зображень, коли контури визначаються за градієнтом яскравості.

Враховуючи формулу (7) отримаємо співвідношення для кодування кольорів запропонованим способом. Вони будуть мати вид:

$$\begin{pmatrix} B \\ X_r \\ X_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B \\ r - B \\ b - B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_r & \lambda_g & \lambda_b \\ 1 - \lambda_r & -\lambda_g & -\lambda_b \\ -\lambda_r & -\lambda_g & 1 - \lambda_b \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} \quad (8)$$

- обернене перетворення:

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -\frac{\lambda_r}{\lambda_g} & -\frac{\lambda_b}{\lambda_g} \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B \\ X_r \\ X_b \end{pmatrix} \quad (9)$$

де  $X_r, X_b$  - компоненти хроматичного червоного та хроматичного синього кольору, відповідно.

Розглянемо результати перетворення яскравості у запропонованій системі кодування кольорів та порівняємо їх з результатами перетворення яскравості у системі YCrCb. На Фіг. 4 наведені результати підвищення яскравості у системі YCrCb (а) та у запропонованій BXRb (б). Як видно з наведених результатів при підвищенні яскравості у запропонованій системі, на відміну від YCrCb, не спостерігаються суттєві зміни кольорового тону та відсутні спотворення кольорів. Це зумовлено тим, що визначення яскравості запропонованим способом відображає відмінності у яскравості частин різного кольору вхідного зображення.

Для об'єктивної порівняльної оцінки якості редагування яскравості у системах YCrCb та BXRb використовувалось середньоквадратична помилка:

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i,j}^n (x_{i,j} - y_{i,j})^2 \quad (10)$$

де  $n$  - кількість пікселів на зображенні,  $x_{i,j}$  та  $y_{i,j}$  - значення кольору пікселів вхідного зобра-

ження та зображення з підвищеною яскравістю. У табл. 1 наведені результати порівняння вхідного зображення та зображень з лінійно збільшеною яскравістю за значеннями MSE.

Таблиця 1

№п/п	MSE1 YCrCb	MSE2 BxRxb	MSE1/MSE2
1	8882,917	2137,166	4,15
2	8655,833	841,833	10,28
3	14241,83	1738,5	8,19
4	16100,58	2030,08	7,93
5	8765,75	548,416	15,98
6	11005	2597,75	4,24
7	7524,83	2394,33	3,14
8	11805,66	1686,66	6,99
9	7655,66	2575,42	2,98
10	10972,664	320,830	34,20

Як свідчать наведені результати підвищення яскравості з використанням запропонованої системи кодування кольорів має значно менші значення MSE та відповідно кращу якість візуального сприйняття обробленого зображення.

Можливими варіантами застосування запропонованого способу кодування кольорів цифрових зображень є

- редагування та реставрація зображень з використанням перетворення яскравості;
- перетворення кольорів зображення у градації сірого у задачах контурного аналізу, або для подальшої бінаризації зображень;
- передавання телевізійних сигналів в системах NTSC, PAL, SECAM.

Запропонований спосіб кодування кольорів має наступні переваги:

- незалежно від складу палітри кольорів конкретного зображення кожен колір має своє значення характеристики яскравості;
- підвищення точності контурного аналізу зображень;
- відсутність суттєвих зміни кольорового тону на зображеннях та спотворення кольорів;
- збереження якості візуального сприйняття телевізійний та статичних зображень у порівнянні з системою YCrCb при лінійному підвищенні яскравості, або при використанні гама-корекції яскра-

вості.

Перелік фігур зображень:

Фігура 1 - Яскравість різних кольорів у системі YCrCb.

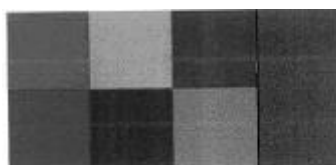
Фігура 2 - Результат підвищення яскравості у системі YCrCb: а) вхідне зображення; б) зображення з підвищеною яскравістю.

Фігура 3 - Характеристики яскравості кольорового зображення: а) YCrCb; б) запропонований спосіб.

Фігура 4 - Результат підвищення яскравості для кольорового зображення: а) у системі YCrCb; б) у системі BxRxb.

Джерела інформації:

1. RGB color model  
<http://en.wikipedia.org/wiki/RGB>
2. HSL and HSV  
[http://en.wikipedia.org/wiki/HSL\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_color_space)
3. CIE 1931 color space  
[http://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space)
4. Lab color space  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Lab\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space)
5. ITU-R Rec. BT.601-5, 1995. Section 3.5.3
6. ITU-R Rec. BT.709-5 page 18, items 1.3 and 1.4
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Книга 1, Москва, 1982



Фіг. 1

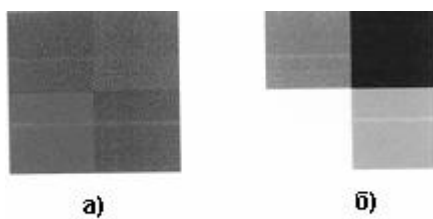


Fig. 2

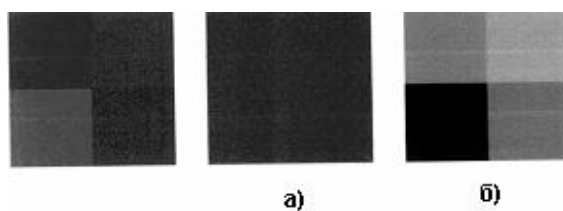


Fig. 3

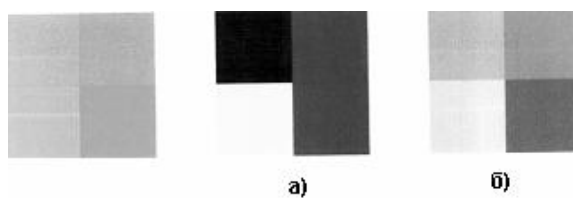


Fig. 4