

## ВИКОРИСТАННЯ ГІСТОГРАМ КОЛЬОРУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПРИ МАСШТАБУВАННІ ТА ОБЕРТАННІ ЗОБРАЖЕНЬ

Ю. Фургала<sup>1</sup>, А. Вельгош<sup>1</sup>, С. Вельгош<sup>1</sup>, Б. Русин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна  
[yuriy.furhala@lnu.edu.ua](mailto:yuriy.furhala@lnu.edu.ua), [serhiy.velhosh@lnu.edu.ua](mailto:serhiy.velhosh@lnu.edu.ua)

<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, 79060 Львів, Україна  
[rusyn@ipm.lviv.ua](mailto:rusyn@ipm.lviv.ua)

Робота присвячена аналізу можливості використання гістограм кольорових зображень, сформованих у колірних моделях  $HS^*$  для задач класифікації та розпізнавання. Встановлено, що використання  $H$ -гістограми дозволяє успішно ідентифікувати об'єкт за його колірними характеристиками при масштабуванні та повороті зображень.

*Ключові слова:* гістограми кольору, коефіцієнт взаємної кореляції,  $HS^*$  колірні системи, системи пошуку зображень за вмістом.

### Вступ.

Ідентифікація об'єктів на зображеннях здійснюється за набором їхніх ознак, характер яких є дуже різним. Загалом ці особливості поділяються на три рівні: нижній, який включає колір і текстуру; середній - контури і межі та верхній - семантичні і статистичні характеристики [1-4]. Залежно від реалізації способу отримання атрибутів, це може бути геометрична конфігурація особливих точок, гістограма орієнтацій градієнтів, набір просторових частот та багато інших. Належне місце серед них займають методи, засновані на аналізі гістограм інтенсивності окремих об'єктів як у монохромному, так і в кольоровому представленні. У цифровій обробці зображень найчастіше використовуються гістограми кольорів у системі  $RGB$ , однак є роботи, які показують можливість використання для ідентифікації зображень гістограми в кольоровому просторі  $CLE L^*a^*b^*$  [5-8]. Однак найближчим до спектрального подання кольору є системи, які здійснюють опис кольору в циліндричній системі координат, де колір є кутовою координатою. Представниками таких систем є простори кольору  $HSL$ ,  $HSV$  та  $HSI$  (загальне позначення  $HS^*$ ), кожен з яких має свої особливості, і які, на наш погляд, можуть бути придатними для кольорової ідентифікації об'єктів на зображенні.

### Результати і дискусія.

У роботі проведено аналіз можливості використання гістограм кольорових зображень у випадку формування опису кольорових координат пікселів у просторах  $HSL$ ,  $HSV$  та  $HSI$ . Спільною рисою цих систем опису кольору  $HSL$ ,  $HSV$  та  $HSI$  є спосіб визначення кольорової координати  $H$  (*hue*), яка в усіх трьох системах є кутовою координатою у циліндричній системі координат і має зміст положення на шкалі зміни

кольору від червоного через жовтий до зеленого, далі через блакитний до синього і далі через малиновий знову до червоного. Координата  $S$  (*saturation*) має зміст насиченості і відповідає віддаленості від осі циліндра. Незважаючи на спільне позначення, у всіх цих кольорових системах  $S$  визначається по-різному. Рухомі вздовж осі циліндра відповідає зміна яскравості  $I$  (*intensity*),  $V$  (*value*) або  $L$  (*lightness*) від нуля до максимуму, тобто зміна кольорів від темного до світлого через відтінки даного кольору. Очевидно, що спосіб обчислення цих величин у кожній системі є іншим. Таким чином в усіх цих системах  $H$  має зміст спектрального складу кольору, а дві інші координати лише визначають його яскравість та насиченість. Отож  $H$ -гістограма може бути використана у ролі спектрального ідентифікатора зображення чи окремого об'єкта на ньому.

Перехід від загальнопоширеної системи  $RGB$  до систем  $HS^*$  здійснюється за такими співвідношеннями.

$$H = 60^\circ \cdot \begin{cases} \text{невизначено} \dots C = 0 \\ \frac{G-B}{C} \bmod 6 \dots M = R & M = \max(R, G, B) \\ \frac{B-R}{C} + 2 \dots M = G & \text{де } m = \min(R, G, B); \\ \frac{R-G}{C} + 4 \dots M = B & C = M - m \end{cases}$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

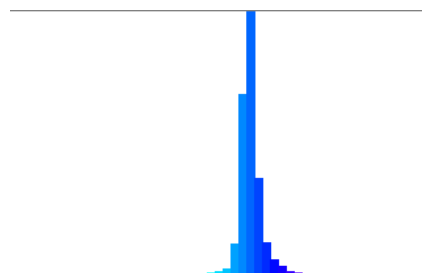
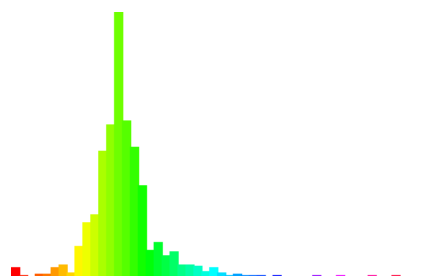
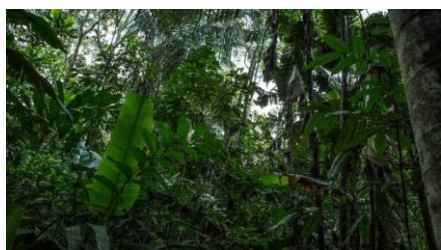
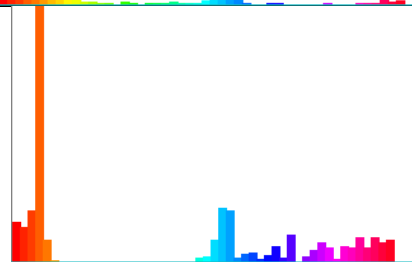
$$V = M \quad ;$$

$$L = \frac{1}{2}(M + m)$$

$$S_{HSI} = \begin{cases} 0, & I = 0 \\ 1 - \frac{m}{I}, & I \neq 0 \end{cases}, \quad S_{HSV} = \begin{cases} 0, & V = 0 \\ \frac{C}{V}, & V \neq 0 \end{cases}, \quad S_{HSL} = \begin{cases} 0, & L = 1 \\ \frac{C}{1 - |2L - 1|}, & L \neq 1 \end{cases}$$

На сьогодні існують стандартні набори даних (*dataset*), які широко використовуються для різних цілей в області дослідження зображень. До них, зокрема, належать: *Brodatz texture dataset*, *OUTex texture dataset*, *Coil-100 dataset*, *ETH-80 dataset*, *Caltech 101 dataset*, *PASCAL VOC dataset* тощо. Ці самодостатні набори даних також можуть бути використані для розпізнавання образів. У нашому дослідженні, для чисельної оцінки схожості гістограм, були використані зображення, показані на рис. 1 у форматах *\*.bmp*, *\*.png* та *\*.jpg*, а також набори зображень з бази даних *Caltech 101 dataset* [9].

Вибір згаданих форматів зображень пов'язаний з принципово різними способами зберігання інформації про розподіл яскравості пікселів. Найменший лінійний розмір вихідних зображень становив щонайменше 1024 пікселі. В ході експериментів було встановлено, що результати для форматів *\*.bmp* та *\*.png* є ідентичними, отже, надалі, дані дослідження будуть подані лише для формату *\*.bmp*.



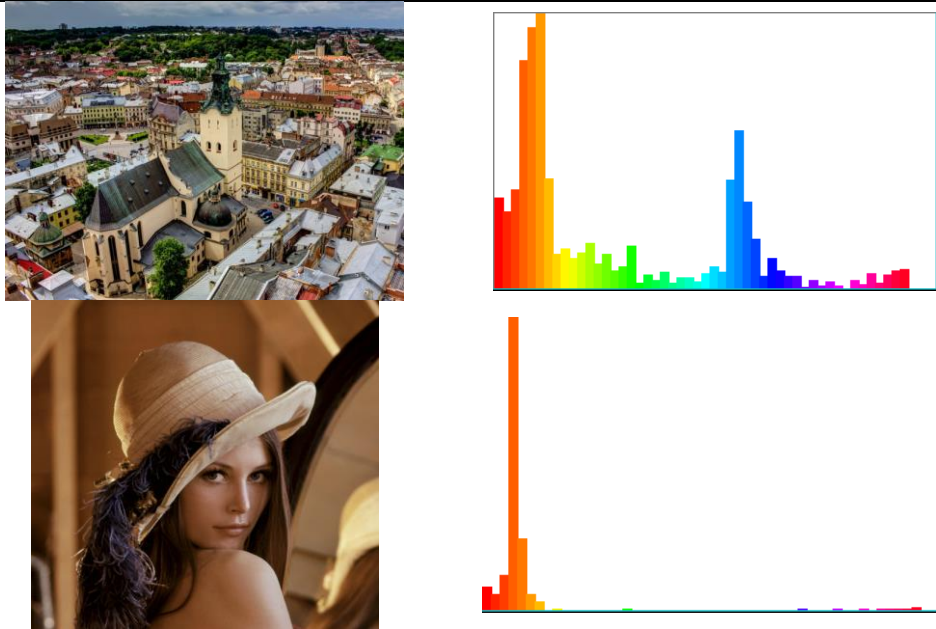


Рис. 1. Тестові, не масштабовані зображення та їх  $H$ -гістограми: „Desert1”, „Desert2”, „Jungle”, „Snow”, „Lviv”, „Lena”. По осі абсцис значення колірної координати  $H$  змінюється в межах повного циклу. По осі ординат – нормована кількість пікселів зображення для даного кольору ( $H$ -координати).

Порівняння гістограм здійснювалося на основі розрахунку коефіцієнта взаємної кореляції  $R$ :

$$R(H_1, H_2) = \frac{\sum_i (H_1(i) - \bar{H}_1)(H_2(i) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_i (H_1(i) - \bar{H}_1)^2 (H_2(i) - \bar{H}_2)^2}},$$

де  $H_1(i)$ ,  $H_2(i)$  – значення функції розподілу на  $i$ -му відліку гістограми,  $\bar{H}_1$ ,  $\bar{H}_2$  – середнє за розподілом 1-ої та 2-ої гістограм, відповідно. Значення коефіцієнту взаємної кореляції  $R(H_1, H_2)$  лежить у межах  $[-1; 1]$ , де верхня і нижня межа визначають максимальну і мінімальну кореляцію відповідно, а значення 0 – її відсутність.

Перед порівнянням гістограм проводилася їх нормалізація, для того, щоб сума всіх відліків дорівнювала одиниці. Цей метод визначає умовну відстань, тобто рівень схожості між гістограмами – розподіл пікселів. Варто наголосити, що побудова і порівняння гістограм здійснювалась лише по параметру *Hue*.

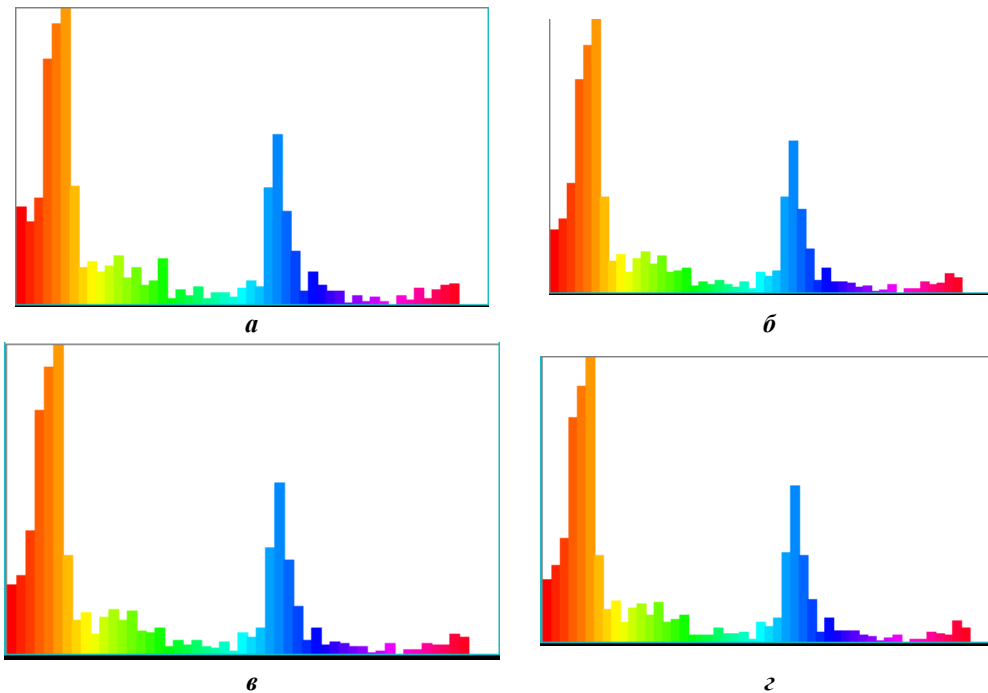
Очевидна різниця між гістограмами різних зображень дає можливість стверджувати допустимість отриманих чисельними методами відмінностей між кольоровими характеристиками зображень або окремих об'єктів на них. Проведені дослідження набору тестових зображень, представлених на рис. 1 і стандартних зображень з набору даних *Caltech 101 dataset*, показує, що максимальне значення коефіцієнта кореляції для більшості не масштабованих зображень становить 0,89 і спостерігається для випадку

різних кутів спостереження. В інших випадках коефіцієнт взаємної кореляції  $R$  не перевищує значення 0,60. Тобто, між значеннями коефіцієнта взаємної кореляції  $R$  для ідентичних і різних зображень є суттєва різниця, що дозволяє забезпечити надійне розділення об'єктів.

Відомо, що в задачах обробки та розпізнавання зображень надзвичайно важливою процедурою є вибір таких систем ознак, які будуть інваріантними до афінних перетворень, а саме масштабування та повороту [2, 3]. Так, при вирішенні проблеми розпізнавання об'єктів, їх розмір у зображенні, як правило, відрізняється від розміру шаблону, іноді, досить суттєво. Тому окремою задачею було проведення оцінки меж використання  $H$ -гістограм для порівняння зображень при широких варіаціях їх розмірів.

Тому були проведені дослідження зміни коефіцієнта  $R$ , при зменшенні розміру зображення у  $2^n$  разів ( $n = 1 \dots 9$ ). Еволюція гістограм для зображення „Lviv” при зменшенні їхнього розміру показана на рис. 2. Візуальна подібність  $H$ -гістограм зберігається, доки розмір зображення зменшується до 64 разів.

На рис. 3 наведені числові значення ступеня подібності зображень при їхньому масштабуванні для форматів \*.jpg та \*.bmp, відповідно.



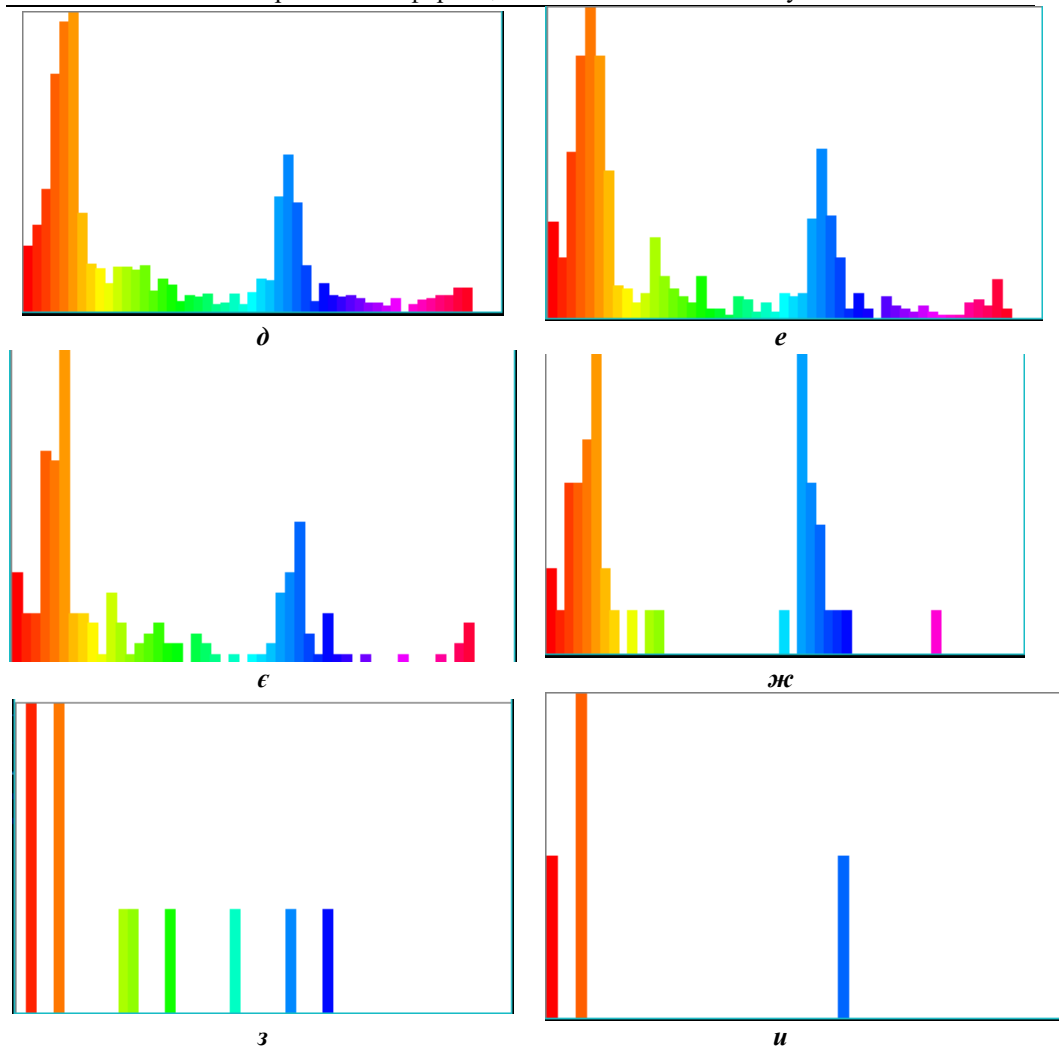


Рис. 2.  $H$ -гістограми для зображення „Lviv” при масштабуванні:  
 $a - 1/1$ ;  $b - 1/2$ ;  $v - 1/4$ ;  $z - 1/8$ ;  $d - 1/16$ ;  $e - 1/32$ ;  $e - 1/64$ ;  $ж - 1/128$ ;  $з - 1/256$ ;  $и - 1/512$ .  
По осі абсцис значення колірної координати  $H$  змінюється в межах повного циклу. По осі ординат – нормована кількість пікселів зображення для даного кольору ( $H$ -координати).

Як видно з рис. 2, для обох форматів зображення значення коефіцієнта взаємної кореляції  $R$  залишається практично постійним, доки зображення зменшується до 32 разів. Незначним є зменшення значення  $R$  і при 64-кратному масштабування, однак, з подальшим зменшенням розміру зображення, зміна коефіцієнта взаємної кореляції  $R$  є значною, що не дозволяє порівнювати зображення між собою. Слід зазначити, що при масштабуванні  $1/128$  візуальну схожість оригіналу та зменшеного зображення надзвичайно важко встановити.

Враховуючи вище сказане, можна припустити, що, навіть при застосуванні одного з найпростіших числових критеріїв ступеня подібності, яким є коефіцієнт взаємної кореляції  $R$ , можна визначити його порогове значення (або діапазон значень), що дозволяє однозначно класифікувати зображення за їх гистограмами, при зміні їх розмірів аж до 128 разів.

Нарешті, порівнюючи ці значення з результатами, представленими на рис. 2, можна стверджувати, що зменшення розміру зображень навіть у 128 разів не вплине на достовірність отримання ознак кольору, а отже, і на якість розпізнавання. Слід також додати, що при застосуванні дескриптора ознак на основі  $H$ -гістограм співвідношення сторін зображення також не має значення.

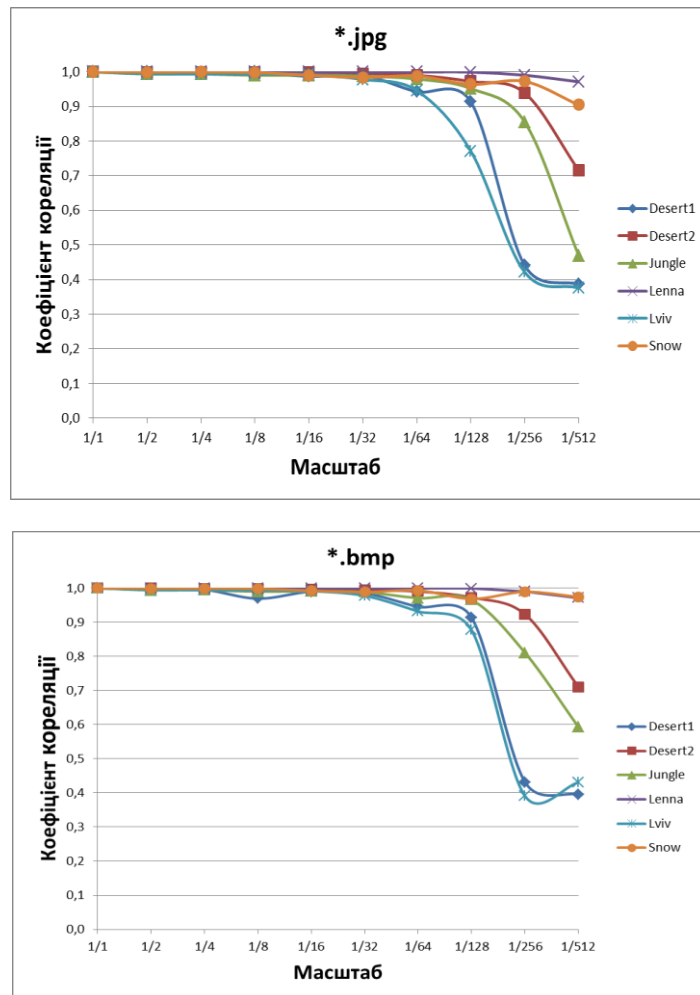


Рис. 3. Залежність коефіцієнту  $R$  взаємної кореляції  $H$ -гістограм зображень форматів \*.jpg та \*.bmp оригінального розміру та зменшеного в  $2^n$  разів ( $n = 1 \dots 9$ ).

Було проведено також дослідження залежності коефіцієнту взаємної кореляції  $R$   $H$ -гістограм тестових зображень при їх ротації. Кут обертання змінювався від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  з кроком в  $10^\circ$ . При розрахунку гістограм повернутих зображень вибиралися ділянки рівновеликої площі з центру зображення. Такі ділянки - це квадрат, вписаний у коло, яке, у свою чергу, вписане в основне зображення. Результати дослідження зображено на рис. 4. Незначне відхилення значення коефіцієнту  $R$  від одиниці для більшості тестових зразків може свідчити про можливість застосування запропонованої методики не тільки для порівняння стиснених, але повернутих зображень.

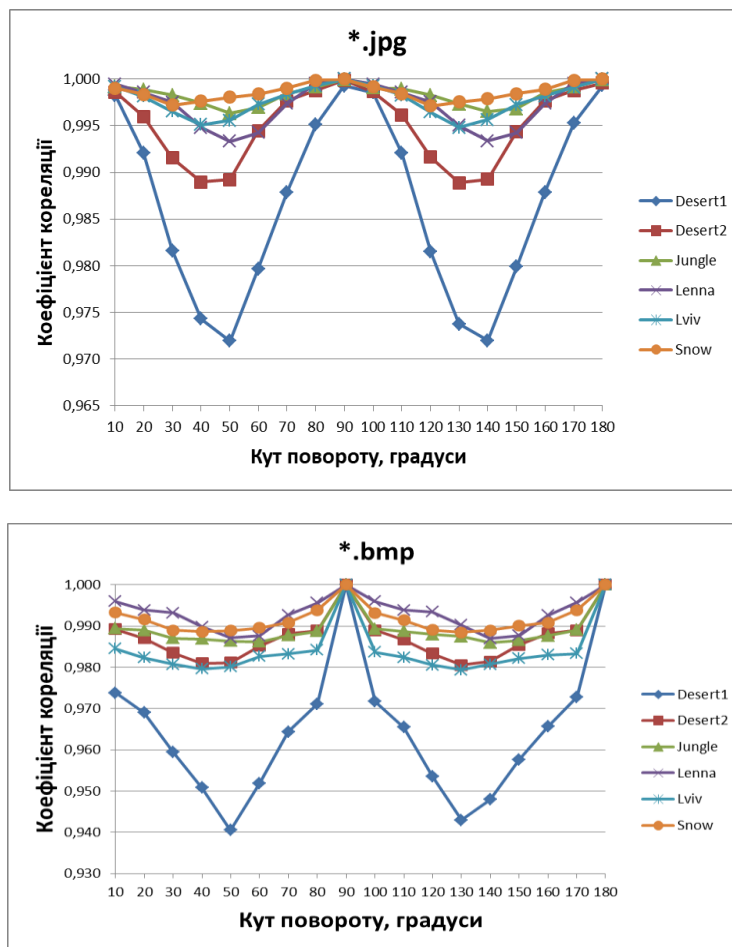


Рис. 4. Залежність коефіцієнту  $R$  взаємної кореляції  $H$ -гістограм зображень форматів \*.jpg та \*.bmp при повороті від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .



**Висновки.**

Результати досліджень свідчать про високий ступінь придатності використання *H*-гістограми для порівняння кольорових зображень і, в подальшому, розпізнавання їхніх фрагментів при впливі факторів, які погіршують якість зображення, що дозволяє використовувати цей підхід у системах пошуку зображень за вмістом (*CBIR* - *Content Based Image Retrieval*).

Показано, що при зменшенні зображення до 128 разів зберігається дуже висока ступінь подібності *H*-гістограми навіть у випадках, коли візуальна схожість встановлюється з деякими труднощами. Встановлено несуттєву зміну коефіцієнту взаємної кореляції *H*-гістограм при обертанні зображень.

Отримані результати вказують на перспективу побудови дескриптора аналізу кольорових зображень на основі *H*-гістограми, який інваріантний до масштабування та обертання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Burger W.* Principles of Digital image processing: Core Algorithms / [W. Burger, M. J. Burge]. - Springer, 2009. – 341 p.
2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / [Р. Гонсалес, Р. Вудс]. - 3-е издание. - М.: Техносфера, 2012. - 1104 с.
3. *Русин Б. П.* Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно-структурованих зображень / [Б. П. Русин]. - Л.: Вертикаль, 1997. - 264 с.
4. *Bakker E.* Semantic video retrieval using audio analysis / E. Bakker, M. Lew // International Conference on Image and Video Retrieval. Lecture Notes in Computer Science. – 2002. – Springer. - Vol. 2383. - P. 260–267.
5. *Deole P. A.* Content Based Image Retrieval using Color Feature Extraction with KNN Classification / P. A. Deole, R. Longadge // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2014. - Vol. 3, Is. 5. - P. 1274-1280.
6. *Rubner Y.* Empirical evaluation of dissimilarity measures for color and texture / Y. Rubner, J. Puzicha, C. Tomasi, J. M. Buhmann // Computer Vision and Image Understanding. – 2001. - Vol. 84, N 1. - P. 25–43.
7. *Sharma A.* Color Difference Histogram for Feature Extraction in Video Retrieval / A. Sharma, A. K. Singh // International Journal of Computer Science & Engineering Technology. – 2015. - Vol. 6, N 11. - P. 637-642.
8. *Ferman A. M.* Robust color histogram descriptors for video segment retrieval and identification / A. M. Ferman, A. M. Tekalp, R. Mehrotra // IEEE Transactions on Image Processing. – 2002. - Vol. 11, N 5. – P. 497-508.
9. *Fei-Fei L.* Learning generative visual models from few training examples: an incremental Bayesian approach tested on 101 object categories / L. Fei-Fei, R. Fergus, P. Perona // IEEE 2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop.

## USING COLOR HISTOGRAMS FOR OBJECTS DETECTION IN RESIZED AND ROTATED IMAGES

Yu. Furgala<sup>1</sup>, A. Velhosh<sup>1</sup>, S. Velhosh<sup>1</sup>, B. Rusyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ivan Franko National University of Lviv,  
107, Gen. Tarnavskogo str. UA-79017 Lviv, Ukraine  
[yuriy.furhala@lnu.edu.ua](mailto:yuriy.furhala@lnu.edu.ua), [serhiy.velhosh@lnu.edu.ua](mailto:serhiy.velhosh@lnu.edu.ua)

<sup>2</sup>Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine,  
5, Naukova str., UA-79060 Lviv, Ukraine  
[rusyn@ipm.lviv.ua](mailto:rusyn@ipm.lviv.ua)

The objects detection in images is based on a set of their features, the nature of which can be very different. In general, these features are divided into three levels: the bottom, which includes color and texture; middle - contours/outlines and upper - semantic and statistical characteristics. There are methods based on the analysis of intensity histograms of individual objects, both in monochrome and color versions. The most commonly used color histogram in digital image processing is RGB. However, those being closest to the spectral representation of color are *HSL*, *HSV*, and *HSI* (general notation *HS\**), which describe the color in a cylindrical coordinate system, where the color is an angular coordinate.

This work analyzes the possibility of using the color histograms in the *\*.bmp* and *\*.jpg* formats generated in *HS\** color spaces for content based retrieval. Histograms analysis was carried out by their comparison via the cross-correlation coefficient *R* calculation. The studies were performed for *Caltech 101 dataset* standard samples and also for a set of own test images.

In the objects recognition tasks, the size of the objects in the image is often different from the size of the template. Therefore, we attempted to evaluate the limits of using *H*-histograms for comparing images with wide variations of their sizes. Studies of the change of the cross-correlation coefficient *R* when the image size was reduced by  $2^n$  times ( $n = 1 \dots 9$ ) show that the use of the *H*-histogram allows to successfully recognize the image when its size is reduced up to 128 times.

Also, the dependence of the *H*-histograms cross-correlation coefficient *R* for the test images during their rotation was studied. The rotation angle was varied from  $0^\circ$  up to  $180^\circ$ . Slight deviation of the cross-correlation coefficient *R* value from unity for most test samples allows to assume the possibility of using the proposed method not only to compare compressed images but also rotated ones.

The research results show a possibility of the *H*-histogram using for comparing the color images and, subsequently, recognizing their fragments due to factors that impair image quality, that allows this approach to be used in Content Based Image Retrieval (CBIR) systems.

In addition, the research results indicate the further possibility of constructing a color image descriptor based on the *H*-histogram.

*Key words:* color histograms, cross-correlation coefficient, *HS\** color system, content based image retrieval.

Стаття: надійшла до редакції 06.04.2020,  
доопрацьована 13.04.2020,  
прийнята до друку 15.04.2020.