

4-ВИМІРНІ ІНТЕГРАЛЬНІ ТА РОЗПОДІЛЕНІ СТРУКТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ПОШУКУ ЗОБРАЖЕНЬ

© Мельник Р., Тушницький Р., 2009

Представлена методика отримання інтегральних та розподілених структурних властивостей образів на основі алгоритму їх триступеневої кластеризації. Формування ключів зображення за представленими властивостями образів рекомендуються для застосування в автоматизованих системах пошуку зображень.

An approach to determine integral and distributed pattern structural features based on 3-stages clustering algorithm is considered. It is suggested to use these structural features for images classification and searching.

Вступ

Системи знаходження зображень за їх вмістом (Content-based image retrieval – CBIR) [1] працюють у два етапи: індексування та пошук. На етапі індексування кожний образ у базі даних представляється вектором властивостей. Існуючі універсальні системи CBIR відносять до однієї із трьох категорій залежно від підходу отримання властивостей образу: гістограма, кольорове розташування і пошук за регіонами. Такими властивостями, зокрема, є: колір [2 – 3], форма [4 – 5], структура [6] і розташування [7]. Отримані властивості зберігаються в окремій базі даних візуальних властивостей. На етапі пошуку обчислюються властивості із образу-запиту користувача. Використовуючи критерії подібності, отриманий вектор властивостей порівнюється з векторами у базі даних візуальних властивостей. Користувач у відповідь отримує образи, які максимально відповідають запиту.

Системи пошуку за регіонами використовують локальні властивості регіонів (ідеальних об'єктів) на протигагу глобальним властивостям повного зображення. Прикладом такої системи є SIMPLIcity [8]. Якщо об'єкти в межах зображення сегментовані і кожна властивість об'єкта отримана автоматично, то такі особливості роблять можливою систему пошуку зображень за регіонами [9]. Представлення візуального образу адекватним числом кластерів (об'єкти у зображенні) може краще відобразити його вміст, однак цей підхід є часозалежним.

У роботі [11] запропоновано навчальний компонент для CBIR системи. Він передбачає контролююче тренування системи на різних фрагментах образу. Szummer та Picard [10] розвинули систему класифікації внутрішніх та зовнішніх сцен. Інші приклади семантичної класифікації зображень включають працю порівняння міста та ландшафту [1] і знаходження обличчя [12]. Wang та Fischler [13] показали, що точне семантичне представлення є корисним для задач порівняння зображень.

В роботі запропонована методика отримання структурних властивостей та коефіцієнтів для CBIR.

1. Інтегральні характеристики образу

Структурні властивості (1-D). Візуальний образ розбиваємо і розглядаємо як сукупність об'єктів, які мають свою власну комплексну структуру, представлену триступеневим ієрархічним деревом (рис. 1). Позначаємо об'єкти в порядку від найвищого до найнижчого ступеня як: зв'язні області (їх кількість позначаємо IA), замкнені регіони (CR), кластери (MC), мікрокластери (MC). Об'єкти із різних ступенів характеризуються розмірами, яскравістю, топологією тощо. Ієрархічна структура об'єктів представлена описом образу як зв'язні області замкненими регіонами, замкнені регіони – кластерами-прямокутниками, і прямокутники – мікрокластерами.

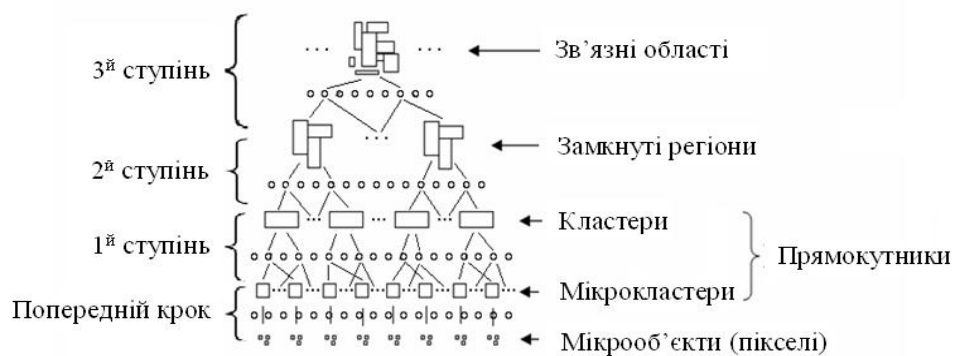


Рис. 1. Фрагмент ієрархічного дерева

У результаті роботи алгоритму кластеризації з образу отримуємо різні типи структурних об'єктів: мікрокластери, кластери-прямокутники, замкнені регіони та зв'язні області. На рис. 2 зображено вихідне зображення медичного образу, покрите кластерами, замкненими регіонами та зв'язними областями.

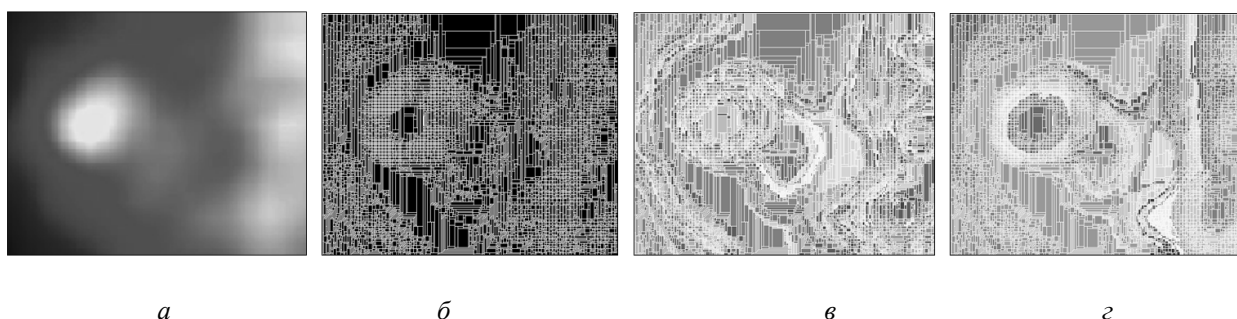


Рис. 2. Медичний образ (а), покритий кластерами (б), регіонами (в) та зв'язними областями (г)

Для оцінки ступеня структуризації зображення або частини, що підлягає декомпозиції, введемо ряд параметрів, якими характеризуємо зображення з погляду його структурних властивостей, зокрема (індекс позначає рівень):

1) структурні коефіцієнти ступеня трансформації між сусідніми рівнями:

$$K_s^1 = C / MC, \quad K_s^2 = CR / C, \quad K_s^3 = IA / CR \quad (1)$$

2) структурні коефіцієнти ступеня трансформації через один сусідній рівень:

$$K_s^{12} = CR / MC, \quad K_s^{23} = IA / C. \quad (2)$$

3) структурні коефіцієнти ступеня трансформації через два сусідні рівні:

$$K_s^{123} (MC) = IA / MC. \quad (3)$$

Обернені до коефіцієнтів ступеня трансформації величини назвемо коефіцієнтами ступеня розмитості зображення на різних рівнях ієрархії розбиття зображення, наприклад:

$$K_f^{123} (MC) = MC / IA. \quad (4)$$

Також розглядаємо коефіцієнти ступеня трансформації щодо всієї кількості пікселів PX , наприклад:

$$K_s^{123} (PX) = IA / PX. \quad (5)$$

Крім формування структурних особливостей, щоб характеризувати структуру об'єктів (MC , C , CR , IA), введемо функції питомого об'єму кластера у мікрокластерах або обернену функцію питомої густини кластерів:

$$K_v_j (CR) = C_j / MC_j, \quad K_r_j (CR) = MC_j / C_j, \quad j \in J(CR) = \overline{1 - CR}. \quad (6)$$

Ці коефіцієнти як питомі характеристики обчислюємо лише для регіонів. Для зв'язних областей вводимо питомі значення як зважені суми відповідних функцій:

$$K_{V_i}(IA) = \sum_j w_j \cdot K_{V_j}(CR), \quad K_{R_i}(IA) = \sum_j w_j \cdot K_{R_j}(CR), \quad i \in I(IA) = \overline{1-IA}, \quad j \in J, \quad (7)$$

де $w_i = S_i(CR) / S(IA)$, $S_i(CR)$ – площа регіона, $S(IA)$ – площа зв'язної області.

З рис. 2, в видно, що регіони відрізняються між собою за розмірами і визначеними значеннями функції. Маючи функцію $K_{V_i}(IA)$ для зв'язної області вводимо питомі функції об'єму та густини для всього образу:

$$K_V(P) = \sum_j w_i \cdot K_{V_i}(IA), \quad K_R(P) = \sum_j w_i \cdot K_{R_i}(IA), \quad i \in I(IA), \quad (8)$$

де $w_i = S_i(IA) / S(P)$, $S_i(IA)$ – площа зв'язної області, $S(P)$ – площа образу.

Просторові властивості (2-D). Розглядаємо статистичні просторові властивості, основані на структурних властивостях. Для зменшення кількості формул введемо змінну CL (*cluster*), яка для конкретного ступеня набуває значення CR або IA . Введемо чотири просторові властивості:

1) середній розмір регіону і зв'язної області:

$$M_S(CL) = (1 / CL) \cdot \sum S_i(CL) \quad (9)$$

2) середнє квадратичне відхилення розміру регіону і зв'язної області:

$$D_S(CL) = \sqrt{(1/CL) \cdot \sum (S_i(CL) - M_S(CL))^2} \quad (10)$$

Властивості яскравості (1-D). Кожний елементарний квадрат – піксель набуває значення у діапазоні від чорного до білого, яке позначимо як b – яскравість мікрооб'єкта.

Значення яскравості мікрооб'єкта (процент заповнення) обчислюється за формулами відносного заповнення клітинки у відсотках від чорного:

$$b = (256 - c) \times 100 / 256 \quad (11)$$

або у відсотках від білого:

$$b = c \times 100 / 256,$$

де c – значення однієї із компонент R (G або B) кольору сірого пікселя.

Формуємо 8 коефіцієнтів яскравості (4×2) – 4 для кожного ступеня розгляду образу:

1) середня точкова яскравість регіону і зв'язної області:

$$BP_M(CL) = (1 / CL) \cdot \sum B_i(CL),; \quad (12)$$

2) точкове середнє квадратичне відхилення яскравості регіону і зв'язної області:

$$BP_D(CL) = \sqrt{(1/CL) \cdot \sum (B_i(CL) - BP_M(CL))^2} \quad (13)$$

3) інтегральна середня зважена яскравість регіону та зв'язної області:

$$BI_M(CL) = \sum w_i B_i(CL) \quad (14)$$

4) інтегральне середнє квадратичне відхилення зваженої яскравості регіону і зв'язної області:

$$BI_D(CL) = \sqrt{(1/CL) \cdot \sum (w_i B_i(CL) - BI_M(CL))^2} \quad (15)$$

Матриця інтегральних структурних властивостей. Усі вищерозглянуті структурні властивості, отримані в результаті роботи розробленого алгоритму триступеневої кластеризації [15], розташовуємо у *матрицю інтегральних структурних властивостей*:

$$\begin{pmatrix} MC & K_S^1 & K_S^2 & K_S^3 \\ M_S(CL) & C & K_S^{12} & K_S^{23} \\ D_S(CL) & BP_D(CL) & CR & K_S^{123} \\ BP_M(CL) & BI_D(CL) & BI_M(CL) & IA \end{pmatrix} \quad (16)$$

Матриця планується для застосування в алгоритмах класифікації зображень.

2. Розподілені характеристики образу

Розподілені структурні коефіцієнти. Для формування розподілених характеристик образу використовуємо гістограмну модель, використовуючи, наприклад, 8 позицій. Спочатку введемо кількість розподілених структурних параметрів CR_D і IA_D як залежність їх від яскравості (тут також замість позначень структурних об'єктів та їх кількостей CR, IA використаємо змінну CL):

$$CL_d(BI_M) = \{CL_{d1}(BI_M), CL_{d2}(BI_M), \dots, CL_d(BI_M)\}, \quad (17)$$

де $\Delta CL(BI_M) = 256/8$.

Застосуємо вісім інтервалів для інтегральної яскравості BI_M : $0 \div 31, 32 \div 63, 64 \div 95, \dots, 224 \div 255$.

Гістограмна модель для структурних коефіцієнтів залежить від їх розміру так:

$$CL_d(S) = \{CL_{d1}(S), CL_{d2}(S), \dots, CL_d(S)\}, \quad (18)$$

де інтервал гістограми є $\Delta = S(P)/8$.

Властивості, розподілені в просторі. Для формування розподілених характеристик образу за гістограмною моделлю покриваємо регіонами або зв'язними областями образ сіткою із кроком, наприклад, 4×2 . На рис. 3 представлено розбиття образу на 8 прямокутників (для кращого розуміння процедури прямокутники рознесені). На рис. 3, б пунктирними лініями виділено 8 прямокутників, на які розбито образ.

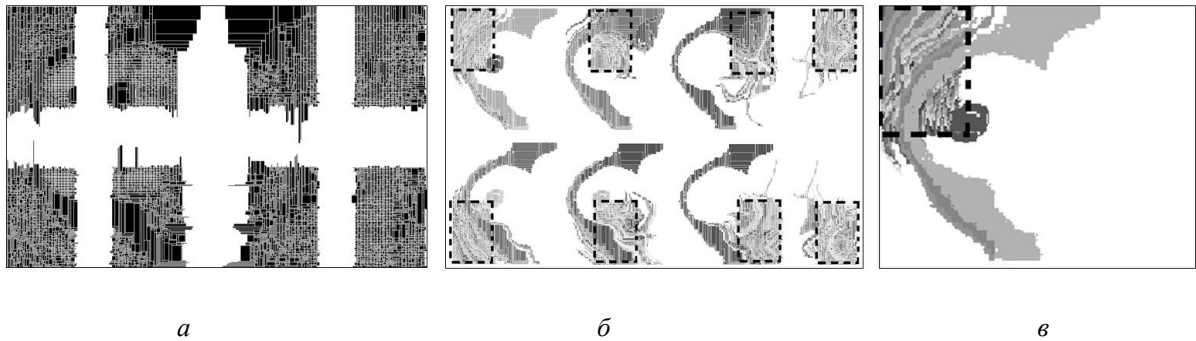


Рис. 3. Розбиття образу на 8 прямокутників: кластери (а) і регіони (б), що входять до відповідного прямокутника; в – збільшений фрагмент першого прямокутника із регіонами, що входять до нього

Для кожного кроку сітки обчислюємо кількість регіонів або зв'язних областей, що покривають його. Так отримуємо розподілені в просторі кількісні характеристики структурних об'єктів:

$$CL_d(XY) = \{CL_{d1}(XY), CL_{d2}(XY), \dots, CL_{d8}(XY)\}, \quad (19)$$

Обчислюючи інтегральні яскравості для кожного кроку сітки з відповідним структурним об'єктом, отримуємо для образу його розподілені в просторі характеристики яскравостей:

$$BI_d(CL, XY) = \{BI_{d1}(CL, XY), BI_{d2}(CL, XY), \dots, BI_{d8}(CL, XY)\}, \quad (20)$$

де $\Delta XY = S(P)/8$,

$$BI_M(CL) = (1 / CL) \cdot \sum w_i B_i(CL), \quad i \in I_p(CL),$$

$I_p(CL)$ – підмножина індексів відповідних структурних об'єктів.

Обчислюючи кількість структурних об'єктів, що покривають крок сітки, отримуємо розподілені в просторі кількісні структурні властивості – кількість відповідних структурних об'єктів в кожному підпросторі:

$$K_{vd}(P) = \{K_{vd1}(CL, XY), K_{vd2}(CL, XY), \dots, K_{vd8}(CL, XY)\}, \quad (21)$$

де $\Delta XY = S(P)/8$,

$$K_{vd}(CL_p) = (1 / CL_p) \cdot \sum w_i K_{vi}(CL-1), \quad i \in I_p(CL_p - 1),$$

$I_p(CL_p - 1)$ – підмножина індексів структурних об'єктів, що формують кластери рівня CL_p .

3. Представлення структурних властивостей

Приклади образів у форматі JPEG із розмірами 256×384 пікселів представлено на рис. 4.

На рис. 5, *a* – *в* представлено відповідно до рис. 4 їх структурні властивості: $CR_D(BI_M)$ – кількість регіонів за зваженою яскравістю (1^{ий} ряд), $IA_D(BI_M)$ – кількість зв'язних областей за зваженою яскравістю (2^{ий} ряд), $BI_D(CR, XY)$ – розподіл зваженої яскравості регіонів за секціями зображення (3^{ий} ряд), $BI_D(IA, XY)$ – розподіл зваженої яскравості областей за секціями зображення (4^{ий} ряд), $CR_D(XY)$ – розподіл кількості регіонів за секціями зображення (5^{ий} ряд), $IA_D(XY)$ – розподіл кількості областей за секціями зображення (6^{ий} ряд).

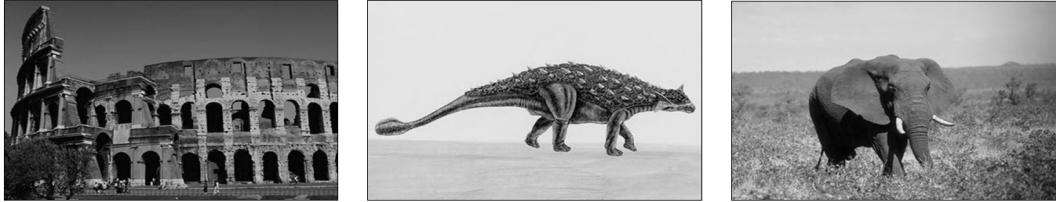
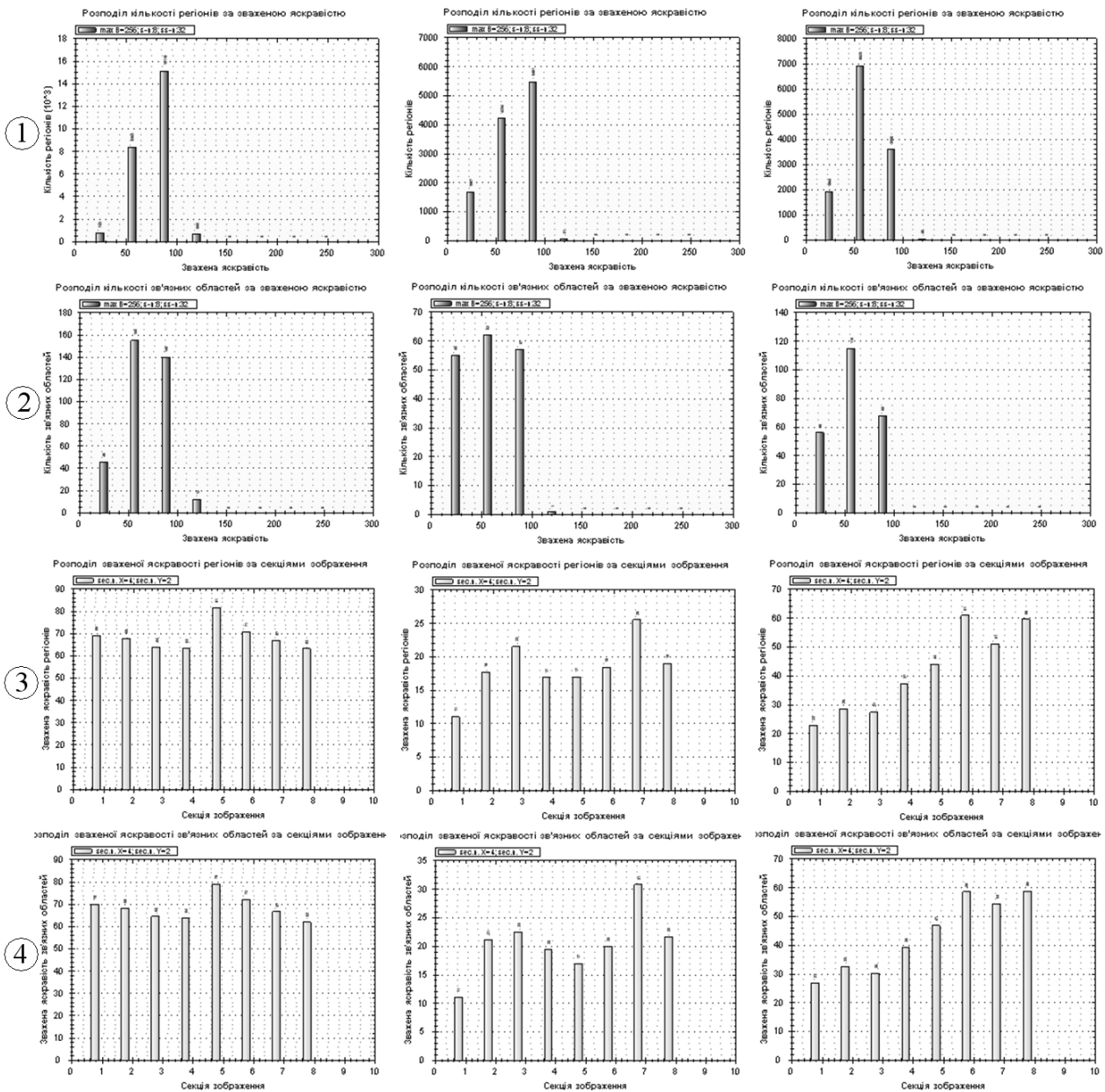


Рис. 4. Приклади образів для аналізу



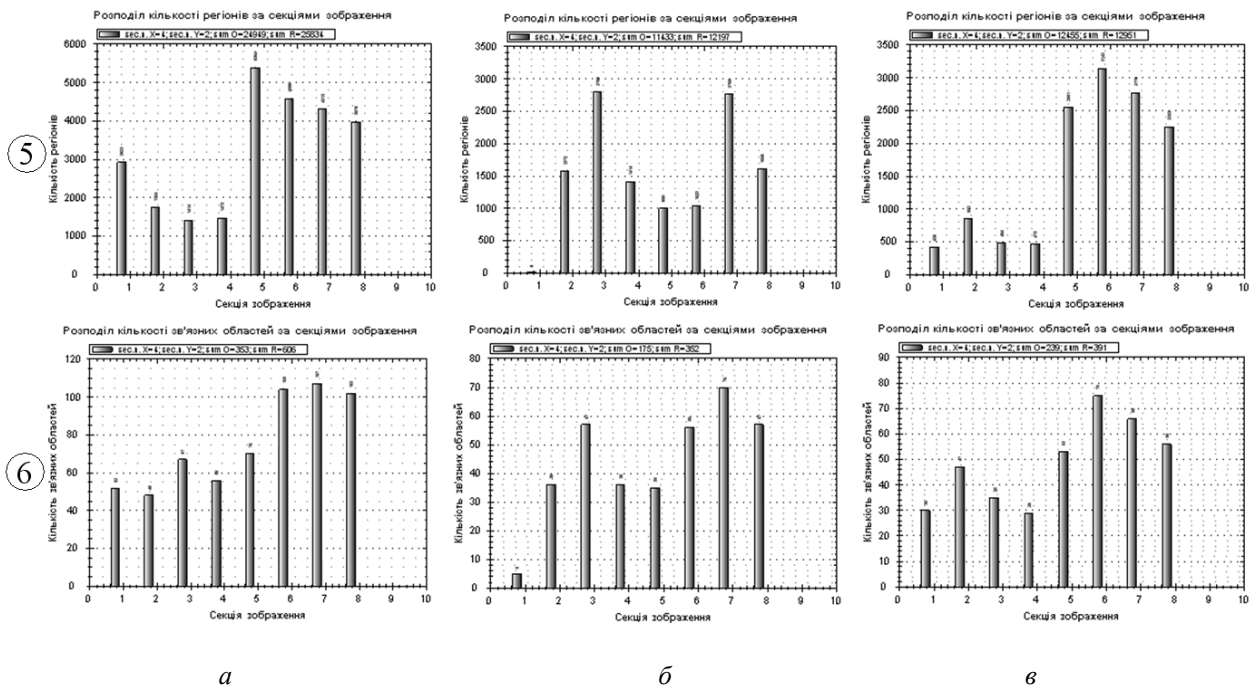


Рис. 5. Графічні представлення гістограмних моделей образів

У таблицю зведено інтегральні та розподілені характеристики для першого образу.

Структурні характеристики образу

| Інтегральні структурні характеристики образу | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|------|---------|---------|---------|------------|------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|
| PX | MC | C | CR | IA | K_s^1 | K_s^2 | K_s^3 | K_s^{12} | K_s^{23} | $K_s^{123}(MC)$ | $M_S(CR)$ | $D_S(CR)$ | |
| 23750 | 23747 | 15425 | 13282 | 132 | 0,6496 | 0,8611 | 0,0099 | 0,5593 | 0,0086 | 0,0056 | 1,7879 | 39,5683 | |
| Розподілені в просторі структурні характеристики образу | | | | | | | | | | | | | |
| Секції | PX | MC | C | CR | IA | K_s^1 | K_s^2 | K_s^3 | K_s^{12} | K_s^{23} | $K_s^{123}(MC)$ | $M_S(CR)$ | $D_S(CR)$ |
| 1 | 2968.75 | 3353 | 1746 | 1443 | 35 | 0,5207 | 0,8265 | 0,0243 | 0,4304 | 0,0201 | 0,0104 | 5,2065 | 119,8750 |
| 2 | 2968.75 | 3296 | 1087 | 883 | 30 | 0,3298 | 0,8123 | 0,0339 | 0,2679 | 0,0276 | 0,0091 | 7,3466 | 152,9238 |
| 3 | 2968.75 | 3432 | 1404 | 1201 | 40 | 0,4091 | 0,8554 | 0,0333 | 0,3499 | 0,0285 | 0,0117 | 5,4463 | 131,0601 |
| 4 | 2968.75 | 3222 | 1305 | 1159 | 38 | 0,4050 | 0,8881 | 0,0328 | 0,3597 | 0,0291 | 0,0118 | 5,3649 | 133,1993 |
| 5 | 2968.75 | 3077 | 2676 | 2340 | 35 | 0,8697 | 0,8744 | 0,0149 | 0,7605 | 0,0131 | 0,0114 | 1,3295 | 1,1678 |
| 6 | 2968.75 | 3147 | 2667 | 2327 | 43 | 0,8475 | 0,8725 | 0,0185 | 0,7394 | 0,0161 | 0,0137 | 1,3687 | 1,3930 |
| 7 | 2968.75 | 3148 | 2614 | 2260 | 46 | 0,8304 | 0,8646 | 0,0204 | 0,7179 | 0,0176 | 0,0146 | 1,4035 | 1,9537 |
| 8 | 2968.75 | 3146 | 2701 | 2357 | 42 | 0,8586 | 0,8726 | 0,0178 | 0,7492 | 0,0156 | 0,0134 | 1,3623 | 1,6453 |

Висновки

Розроблено алгоритм триступеневої кластеризації візуальних образів, який, крім виділення фрагментів різної ієрархії підпорядкованості, дає змогу отримати їх кількісні та якісні характеристики та відношення між ними. Запропоновано коефіцієнти структуризації та нечіткості зображення, інтегральні та розподілені структурні властивості. Експерименти підтвердили доцільність використання структурних коефіцієнтів та характеристики фрагментів для класифікації зображень. Формування ключів зображення за представленими властивостями образів рекомендуються для застосування в автоматизованих системах пошуку зображень.

1. A. Vailaya, A.K. Jain, H.J. Zhang. On image classification: city vs. landscape // Pattern Recognition, vol. 31, p. 1921-1935, 1998. 2. M.J. Swain, D.H. Ballard. Color indexing // International journal of Computer Vision, vol. 7, n. 1, p. 11-32, 1991. 3. H. Nezamabadi-pour, E. Kabir. Image retrieval using histograms of unicolor and bicolor blocas and direccional changes in intensity gradient // Pattern

Recognition Letters, vol. 25, n. 14, p. 1547-1557, 2004. 4. F. Mokhtarian, S. Abbasi. Shape similarity retrieval under affine transforms // *Pattern Recognition*, vol. 35, p. 31-41, 2002. 5. A.K. Jain, A. Vailaya. Image retrieval using color and shape // *Pattern Recognition*, vol. 29, n. 8, p. 1233-1244, 1996. 6. B.S. Manjunath, W.Y. Ma. Texture feature for browsing and retrieval of image data // *IEEE PAMI*, vol. 8, n. 18, p. 837-842, 1996. 7. J.R. Smith, C.S. Li. Image classification and quering using composite region templates // *Academic Press, Computer Vision and Understanding*, vol. 75, p. 165-174, 1999. 8. J.Z. Wang, J. Li, G. Wiederhold. SIMPLcity: semantic sensitive integrated matching for picture libraries // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, n. 9, p. 947-963, 2001. 9. H.W. Yoo, S.H. Jung, D.H. Jang, Y.K. Na. Extraction of major object features using VQ clustering for content-based image retrieval // *Pattern Recognition*, vol. 35, p. 1115-1126, 2002. 10. M. Szummer, R.W. Picard. Indoor-outdoor image classification // *IEEE International Workshop on Content-Based Access of Image and Video Database (ICCV'98)*, p. 42-51, 1998. 11. T.P. Minka, R.W. Picard. Interactive learning using a society of models // *Pattern Recognition*, vol. 30, n. 3, p. 565, 1997. 12. M.C. Burl, M. Weber, P. Perona. A probabilistic approach to object recognition using local photometry and global geometry // *Proc. European Conf. Computer Vision*, p. 628-641, 1998. 13. J.Z. Wang, M.A. Fishler. Visual similarity, judgmental certainty and stereo correspondence // *Proc. DARPA Image Understanding Workshop*, 1998. 14. Мельник Р., Тушиницький Р. Керування яскравістю кластера при декомпозиції зображень спектрів // *Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. – 2007. – №598. – С. 3–8. 15. Мельник Р., Тушиницький Р. Керування параметрами кластера в алгоритмі декомпозиції зображень // *Відбір і обробка інформації*. – 2007. – № 27 (103). – С. 58–62.

УДК 681.322

П. Тимощук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ АНАЛОГОВИХ ЧАСТОТОНЕЗАЛЕЖНИХ ФАЗООБЕРТАЧІВ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ

© Тимощук П., 2009

Пропонуються структурно-функціональні схеми аналогових фазообертачів гармонічних сигналів. Схеми є точними для довільних скінченних значень амплітуд і частот вхідних сигналів. Амплітуда вихідних сигналів та фазовий зсув між вхідними та вихідними сигналами таких схем не залежать від частоти, перетворення сигналів виконується лінійно, без спотворень амплітуди та частоти, тобто схеми не породжують гармонік. Отримані схеми не потребують додаткового фільтрування вихідних сигналів.

Structure-functional schemes of analog phase shifters of harmonic signals are proposed. The schemes are precise for any finite values of input signals. Amplitude of output signals and phase shift between input and output signals of such schemes are independent on a frequency, a signal transformation is fulfilled linearly without amplitude and frequency distortion. Derived schemes do not need in additional filtering of output signals.

1. Вступ

Фазообертачі гармонічних сигналів широко використовуються для керування амплітудою, неперервного вимірювання пікових значень гармонічних сигналів, визначення спектральних складових гармонічних сигналів та в інших застосуваннях [1]. Існують різні методи отримання зсуву фаз між гармонічними сигналами. Однак більшість відомих методів передбачають побудову