

Кластеризація кольорових зображень, отриманих при капілярному контролі

Наталія Опир, Роман Воробель

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, Львів

nopyr@ipm.lviv.ua, vorobel@ipm.lviv.ua

Abstract

Clusterization method of color images obtained in capillary testing is developed. Color space CIEAM97s are proposed to image transform. This space allows to use minimum parameters that control the clustering. There are some examples which illustrate clusterization method for capillary testing images.

1. Вступ

Для досліджень діагностики фізичного стану виробів, матеріалів та елементів конструкцій при їх неруйнівному контролі, часто використовують зображення відповідних ділянок виробів чи матеріалів, отриманих певним методом неруйнівного контролю. Одним з найбільш вживаних методів є капілярний контроль якості виробів [1]. Капілярний неруйнівний контроль (КНК) базується на капілярному проникненні (переважно на сорбції і дифузії) рідких речовин в поверхневі дефекти під дією капілярного тиску, в результаті чого підвищується світло- і кольороконтрастність дефектної ділянки відносно непошкодженої (ГОСТ 23349–84) [2]. Штучне підвищення контрастності дефектної і непошкодженої ділянок, що дозволяє неозброєним оком виявити поверхневі дефекти, досягається зміною світловіддачі дефектних ділянок поверхні при нанесенні спеціальних речовин – пенетрантів. Такому контролю піддаються металеві вироби, неметалічні матеріали, а також їх композиції і напівфабрикати, об'єкти довільної форми у процесі виготовлення та експлуатації. При цьому виявляють відкриті зварні, термічні, шліфувальні, втомні, крихкі та деформаційні тріщини; пористість і тріщини на фоні пористості та ін. Результати контролю можна представити в вигляді кольорового зображення. Мета даної роботи розробити алгоритм сегментації об'єктів певного кольору і його відтінків на фоні, що має менш насичений колір. Краї об'єктів розмиті. Вирішити таке завдання можна застосувавши методи кластеризації [3-5]. Кластеризація – процес заміни набору даних кластерами, що є множиною зв'язних інформаційних ознак. Вибір критерію згідно якого буде проводитись кластеризація залежить від поставленої задачі. Оскільки зображення об'єктів, які необхідно виділити, є з розмитими краями, то ні гістограмні методи [4,6,7], ні методи виділення границь [4,8,9] непридатні для вирішення поставленої задачі. Одним із простих способів виділення об'єктів на фоні може бути вирізання певного діапазону кольорів [10]. Однак, оскільки значення кольорового пікселя це n -мірний вектор, то функції перетворення для вирізання кольорового діапазону досить складні і кожна компонента перетворення пікселя залежить від всіх n компонент вхідного пікселя. Крім того, для операції вирізання

необхідно задавати багато порогових параметрів, які визначаються експериментально. В даній роботі дослідимо яким чином можна зменшити кількість параметрів, знехтувавши тими параметрами, які не суттєво впливають на вирішення поставленої задачі і дозволять ефективно провести кластеризацію з метою виділення дефектних областей.

2. Зменшення розмірності простору параметрів представлення зображень

Колір сприймається людиною як зважена комбінація червоного (R), зеленого (G) і синього (B) кольорів. З системи RGB ми можемо отримати інші види представлення (простори), використовуючи лінійні чи нелінійні перетворення. Відповідне перетворення кольору є необхідним і корисним у задачах обробки кольорових зображень для виявлення певних кольорових особливостей об'єктів чи зменшення надлишковості даних. Дослідимо кольорові зображення, отримані при капілярному контролі з використанням пенетранту – MR-68 (червоний) і проявника – MR-70 (зображення в гамі кольорів від блідо-рожевого до коричнево-червоного) у різних просторах кольорів. Колір фону плавно переходить в колір дефекту і чітко розділити зображення на фон і дефект важко. Приклад такого зображення наведено на рис.1. Необхідно знайти такий спосіб представлення інформації про зображення, щоб полегшити розбиття зображення на дефектні ділянки і фон.

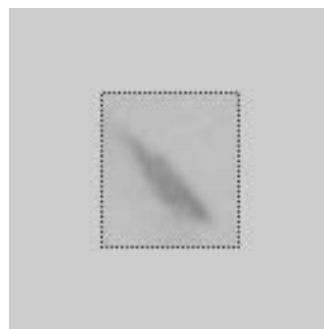


Рис.1. Зображення дефектної ділянки при капілярному методі контролю.

Кожна точка простору кольорів відповідає певному кольору. Щоб орієнтуватись про характер залежності складових G-B (рис.2а), R-B (рис.2б), наведено полігон кольорів для зображення, показаного на рис.1 в двомірних системах. Як бачимо з наведених прикладів область фону плавно переходить в область об'єкту

(відокремлена більша область) і виділити дефектну область користуючись двовимірним полігоном кольорів в RGB просторі не можливо.

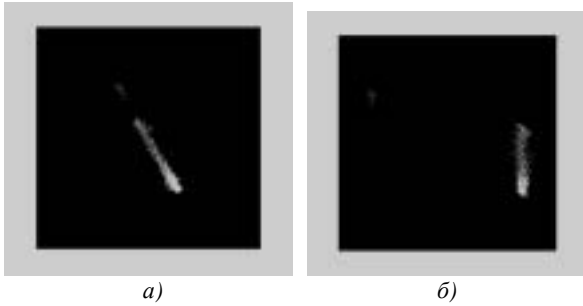


Рис.2. Розподіл кольорів для зображення представленого на рис.1.: G-B (а) та R-B (б)

При зменшенні розмірності простору параметрів часто використовують метод головних компонент для переходу до нової системи координат з ортогональними і максимально некорельованими осями [11-12]. Проведені нами дослідження показали неефективність застосування методу головних компонент для розв'язку поставленої задачі.

Оскільки для зображень які ми розглядаємо актуально чіткіше виділити параметр кольору, то логічно використовувати ті системи представлення які оперують поняттями колір-насиченість-інтенсивність (HSI), і є стандартизовані CIE (Commision International de l'Eclairage) та були розроблені для представлення інформації з врахуванням особливостей людини-спостерігача [4,10]. При сегментації зображень використовуються різні простори кольорів, такі як RGB, HIS, CIEluv, CIElab і інші, але жоден з них не може бути універсальним для всіх зображень [10]. Вибір найкращого простору кольорів для певного виду зображень є однією з найважливіх задач сегментації [4].

Зупинимось на моделі CUEluv:

$$L^* = 116 * (Y / Y_0)^{1/3} - 16, \text{ для } Y / Y_0 > 0,008856,$$

$$L^* = 903,3 * (Y / Y_0), \text{ для } Y / Y_0 > 0,008856,$$

$$u^* = 13 * (u - u_0),$$

$$u_0 = \frac{4X}{(X + 15Y + 3Z)},$$

$$v^* = 13 * (v - v_0),$$

$$v_0 = \frac{9Y}{(X + 15Y + 3Z)},$$

$$h_{uv}^* = \arctan(u^* / v^*),$$

$$C_{uv}^* = (u^{*2} + v^{*2})^{1/2},$$

де X,Y,Z - координати кольору, що перераховуються зі значень R,G,B з врахуванням колориметричними характеристиками технічних пристроїв [4];

(Y_0, u_0, v_0) - Координати еталона білого кольору, такого білого кольору до якого адаптується око. В більшості випадків стандартне джерело світла типу Д65 використовується як еталон білого.

Для тестового зображення (рис.1) гістограма розподілу $hist(u^*, v^*)$ представлена на рис.3, а гістограма параметру що відповідає за колір, $hist(h_{uv}^*)$

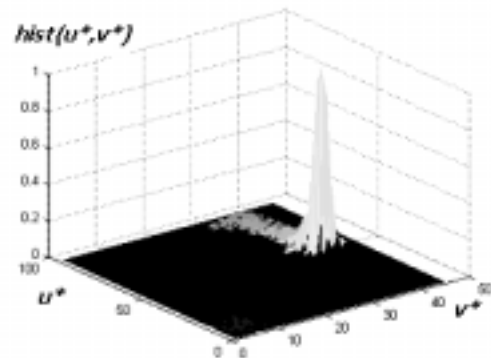


Рис.3. Гістограма розподілу $hist(u^*, v^*)$

зображена на рис.4.

Як бачимо з наведених гістограм, максимальне значення гістограми $hist(u^*, v^*)$ і $hist(h_{uv}^*)$ відповідає відповідним параметрам u^*, v^* і h_{uv}^* що характеризують колір фону. Значення параметру h_{uv}^O для кольору об'єкту є дуже близьким до кольору фону h_{uv}^F . Визначимо значення величини h_{uv}^F , для якого $hist(h_{uv}^*)$ максимальне:

$$\max_{(h_{uv}^*)} (hist(h_{uv}^*)) = hist(h_{uv}^F).$$

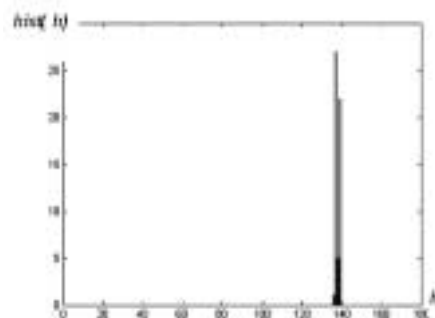


Рис.4 Гістограма розподілу $hist(h_{uv}^*)$

В системі координат (u^*, v^*) побудовано полігон кольорів (рис.5) для зображення (рис.1). Локалізувати область кольорів, що відповідають досліджуваному об'єкту, можна в районі прямої, проведеного з центру координат під кутом h_{uv}^F (рис. 5). Задаючи значення відповідної насиченості радіусом C^O , можна провести

сегментацію зображення. На рис.6 показана сегментація зображення (рис.1) для $C^0=40$.

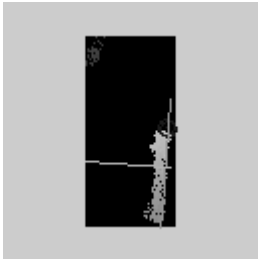


Рис.5. Полігон кольорів в системі координат (u^*, v^*) для зображення (рис.1)

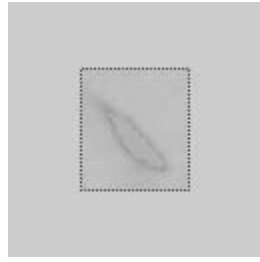


Рис.6 Сегментоване зображення (рис.1) для $C^0=40$

Як бачимо з наведених рисунків, в системах CIE_{Luv} не вдається зменшити кількість параметрів простору кольорів (полігон кольорів для даного типу зображень представлений в вигляді розмитої хмарки). Дослідимо можливість використання системи CIECAM97 [13-15] для вирішення поставленої задачі.

Якщо умови спостереження відрізняються від стандартних колориметричних умов, то для отримання адекватних координат XYZ для зразка, який нас цікавить, необхідні деякі поправки, що враховують хроматичну адаптацію по джерелу, безпосереднє оточення стимулу, загальне оточення. Математичні вирази, які враховують ці поправки відображені в CIECAM97 та CIECAM002. Модель кольору CIECAM97 може бути використана для перетворення тристимульних величин (L колбочки, M-колбочки, S-колбочки) в величини сприйняття [16]. В більшості просторів кольорів канали кольорів корельовані (такі як YCrCb; RGB; HSV), однак в CIECAM97s канали лінійно некорельовані [16]. Для побудови CIECAM97s каналів використовується матриця перетворення RGB в LMS [17]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Матриця перетворення LMS в CIECAM97s наступна [17]

$$\begin{bmatrix} A \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.00 & 1.00 & 0.05 \\ 1.00 & -1.09 & 0.09 \\ 0.11 & 0.11 & -0.22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}$$

Канали C_1 і C_2 є хроматичними каналами.

Покажемо розподіл кольорів по координатах C_1 і C_2 (рис.7) для тестового зображення (рис.1). Використовуючи представлення зображення в просторі CIECAM97s, залежність $C_1 = \alpha C_2$ - лінійна, можна легко проводити сегментацію зображень, задаючи поріг

сегментації $p_{c1} = C_1$ і вираховуючи відповідно $p_{c2} = \alpha C_1$, де $\alpha = \max(C_2) / \max(C_1)$.

На рис.7 кружечком на прямій позначено вибраний поріг для сегментації зображення $p_{c1} = 30$ (рис.7). Сегментоване зображення (рис.1) для $p_{c1} = 30$ показане на рис.8.

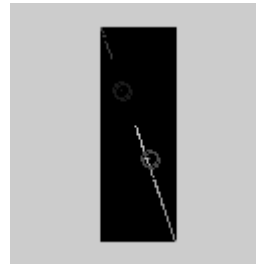


Рис.7. Полігон кольорів в системі координат (C_1, C_2) ,

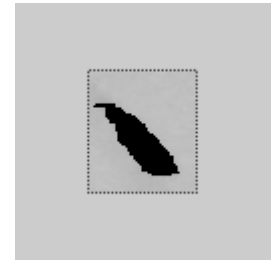


Рис.8. Сегментоване зображення (рис.1) для $p_{c1} = 30$

3. Кластеризація в просторі кольорів CIECAM97s

Зробимо припущення, що кожна однорідна область формує кластер в просторі ознак. Послідовність виявлених кластерів можна відобразити певним чином на зображенні і вони будуть джерелом для сегментації. Досить часто використовують алгоритм сегментації по гістограмах [7]. Для типу зображень які ми досліджуємо, він є непридатний, оскільки об'єкти які виділяємо мають розмиті краї. За ознаки виберемо значення параметрів (C_1, C_2) в просторі CIECAM97s. Проведемо кластеризацію зображення при різних значеннях C_1 і C_2 , які мінятимуться з певним кроком r в межах $P_{C_1 \min} \leq p_{c1} \leq P_{C_1 \max}$ ($p_{c2} = f(p_{c1})$). Таким чином

отримаємо $\frac{(P_{C_1 \max} - P_{C_1 \min})}{r}$ кластерів.

Для зображення (рис.9) показано його кластеризацію (рис.10), коли поріг p_{c1} міняється з кроком 1 та

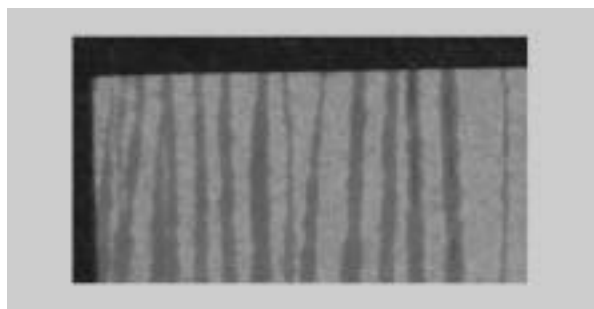


Рис.9. Зображення фрагменту тестового зразка з дефектами при капілярному методі контролю.

$P_{C_{1max}} = C_{1max}$ і $P_{C_{1min}} = 2$. Різним кластерам для яких $P_{c_{i+1}} - P_{c_i} = 1$ відповідають градації сірого з кроком 10 одиниць. Для кращої візуальної достовірності проведеної кластеризації кластеризоване зображення накладено на вхідне зображення.

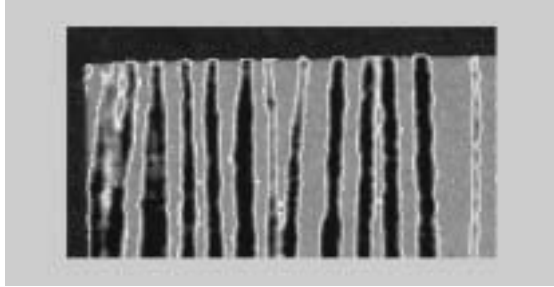


Рис.10. Кластеризоване зображення.

Ефективна кластеризація забезпечується правильно вибраним граничним значенням p_{cl} . Максимальне значення p_{cl} для досліджуваних зображень співпадає з C_{1max} , а мінімальне значення вибираємо з умови $p_{cl} > 0$, що визначається діапазоном досліджуваних кольорів. Наступний етап обробки – об'єднання кластерів і виділення об'єктів на фоні. Для розв'язку цієї задачі можна використати відомі методи сегментації напівтонових зображень.

4. Висновки

Проаналізувавши зображення, отримані при капілярному методі контролю, запропоновано використовувати систему CIEAM97s для кластеризації кольорових зображень, що дозволило звести кількість керованих параметрів до одного. Задаючи різні значення параметру, будуються кластери для певного тону кольору. Подальший процес злиття сусідніх кластерів з порогами $P_{c_{i+1}}$ і P_{c_i} , використовуючи певні критерії та алгоритми, дозволить виділити об'єкти на фоні [19-21] у повному обсязі.

5. Література

[1] Боровиков А.С. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. – Минск: Наука и техника, 1983. – 256 с.
 [2] ГОСТ–23349–84. Контроль неразрушающий. Дефектоскопы капиллярные. Общие технические требования и методика испытаний. – М.: 1984.
 [3] Chen, T.Q. and Y. Lu, Color Image Segmentation--An Innovative Approach. //PatternRecognition, 2001. 35: p. 395-405.
 [4] Cheng, H.D., et al., Color Image Segmentation: Advances and Prospects. //Pattern Recognition, 2001. 34: p. 2259-2281.
 [5] Iwata, H. and H. Nagahashi, Active Region Segmentation of Color Image Using Neural Networks. //Systems Comput. J., 1998. 29(4): p. 1-10.

[6] Kurugollu, F., B. Sankur, and A.E. Harmani, Color Image Segmentation Using Histogram Multithresholding and Fusion. // Image and Vision Computing, 2001. 19: p. 915-928.
 [7] Sural, S., G. Qian, and S. Pramanik. Segmentation and Histogram Generation Using the HSV Color Space for Image Retrieval. //International Conference on Image Processing (ICIP). 2002: p. 589-592.
 [8] Fukunaga, K. and L.D. Hostetler, The Estimation of the Gradient of a Density Function with Applications in Pattern Recognition. IEEE Trans. Info. Theory, 1975. IT-21: p. 32-40.
 [9] Nevatia R., A Color Edge Detector and Its Use in Scene Segmentation. IEEE TRans. System Man Cybernet, 1977. SMC-7(11): p. 820-826.
 [10] Гонзалес Р., Вудс Р, Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. –1072с.
 [11] Cheng Y., Hao P. Optimal Transform in Perceptually Uniform Color Space and its Application in Image Retrieval. // Processing (ICSP'04). 2004: p. 109-112.
 [12] Schettini R. A segmentation algorithm for color images. Pattern Recognition Letters 14, 1993, p.499-506.
 [13] Luo M.R. and Hunt R.W.G. The Structure of The CIE 1997 Colour Appearance Model (CIECam97s), Col.Res.& Appl.23, pp138-146(1998).
 [14] Comaniciu, D. and P. Meer, Robust Analysis of Feature Spaces: Color Image Segmentation.in Proceedings of 1997 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Juan, PR, 1997: p. 750-755.
 [15] Comaniciu, D. and P. Meer, Mean Shift: A Robust Approach towards Feature Space A Analysis. //IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002. 24(5): p. 603-619.
 [16] Klinker, G.J., S.A. Shafer, and T. Kanade, A Physical Approach to Color Image Understanding. //International Journal of Computer Vision, 1990. 4: p. 7-38.
 [17] Reinhard E., Ashikhmi M., Gooch B. and Shirley P. Colour Transfer between Images // J. IEEE Computer Graphics and Applications, Applied perception, September/October 2001, pp. 34 - 41.]
 [18] Koepfler G., Lopez C., Morel J.M., A Multiscale Algorithm for Image Segmentation by Variational Method // SIAM Jornal on Numerical Analysis. – 1994 – V.31 –N.1.-P.282-299.
 [19] Adams, R. and L. Bischof, Seeded Region Growing.// IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994. 16: p. 641-647.
 [20] Cheng, H.D. and Y.Sun, A Hierarchical Approach to Color Image Segmentation Using Homogeneity. //IEEE Trans. Image Processing, 2000. 9(12): p. 2071-2082.
 [21] Миченков М.В., Юрин Д.В., Хельвас А.В. Алгоритм автоматической сегментации изображений на основе релеевого детектора границ двумерных объектов. //В сб. Труды конференции 12-я Международная Конференция по Компьютерной Графике и Машинному Зрению ГрифиКон'2002 –С. 243-250. Нижний Новгород, 16-21 сентября 2002 г.