

十种基于颜色特征图像检索算法的比较和分析*

刘忠伟 章毓晋

(清华大学电子工程系)

[摘要]在基于内容的图像检索中,颜色特征已得到广泛应用。本文对十种利用颜色特征进行图像检索的算法利用同一图像库进行了实验比较。实验结果表明,无论在HSI空间或MTM空间,累加直方图法均优于一般直方图法,对这一点本文还首次给出了严格的理论证明。实验结果还表明,加权距离法比欧氏距离法总体上没有明显改善,MTM空间比HSI空间也没有显出优势,而中心矩法算法简单,检索速度快,通过调整加权系数,检索精度可以接近累加直方图法。本文的实验和分析对选择和优化检索算法有一定的参考价值。

关键词: 图像检索 累加直方图 彩色空间 欧氏距离

一、引言

基于内容的图像检索技术由于具有传统的文本检索技术所无法比拟的优越性,近年来已成为人们研究的热点。颜色作为图像的一种重要视觉信息,已广泛用于图像检索。到目前为止,利用颜色特征进行检索的方法主要基于直方图,如:直方图相交法^[1],比例直方图法^[2],距离法,参考颜色表法和聚类算法^[3,4],累加直方图法^[5],此外还有HSI(H代表色度,S代表饱和度,I代表亮度值)中心矩法^[6]。现代色视觉理论认为,RGB值表示颜色是没有直感的,而HSI模型从人心理感知来说比RGB更容易接受,对传统的HSI空间还可改进成更符合视觉的MTM空间(它是对CIE于1976年组织制定的颜色空间的一个改进,见第二节)^[6],彩色图像检索也可用上列算法在HSI或MTM空间进行^[7]。

以上各种算法分别基于不同的应用背景提出,没有进行比较和评价。本文对十种典型的利用颜色特征进行图像检索的算法,利用同一图像库进行了实验比较。在下一节中,先给出有关数学计算,第三节给出实验结果,第四节对实验结果进行分析和讨论,最后一节是结束语。

二、十种实验算法及有关计算

1. 实验算法及编号

本实验采用的算法包括:分别在HSV和MTM空间,采用直方图法和中心矩法,直方图法又分一般直方图和累加直方图法,而一般直方图法的相似度量又分别采用相交法,欧氏距离法和加权距离法。这些算法及其编号如表1所示。

表1 实验算法及其编号

算法简述		编号	
HSI空间	一般直方图	欧氏距离	HIS-NH-ED
		加权距离	HIS-NH-WD
		相交法	HIS-NH-ID
	累加直方图	欧氏距离	HIS-CH-ED
	中心矩	欧氏距离	HIS-M-ED
MTM空间	一般直方图	欧氏距离	MTM-NH-ED
		加权距离	MTM-NH-WD
		相交法	MTM-NH-ID
	累加直方图	欧氏距离	MTM-CH-ED
	中心矩	欧氏距离	MTM-M-ED

* 本工作得到国家高技术计划和国家自然科学基金支持。

2. 彩色空间变换

(a) RGB 空间到 HSI 空间变换

已知图像中某个像素的 R, G, B 值, 由下面变换可得到该像素在 HSI 空间的 H, S, I 值^[5]:

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \quad R \neq G \text{ 或 } R \neq B$$

若 $B > G$ $H = 2\pi - H$

$$S = \text{Max}(R, G, B) - \text{Min}(R, G, B)$$

$$I = (R + B + G) / 3 \quad (1)$$

(b) RGB 空间到 MTM 空间变换

已知图像中某个像素的 R, G, B 值, 由下面变换可得到 MTM 空间的 H_m, S_m, V_m 值^[6]. 记:

$$\begin{cases} X = 1.020 \cdot (0.608R + 0.174G + 0.2B) \\ Y = 0.299R + 0.587G + 0.144B \\ Z = 0.8472 \cdot (0.066G + 1.112B) \end{cases}$$

设函数 $V(x) = 11.6x^{1/3} - 1.6$, 记:

$$\begin{cases} M_1 = V(X) - V(Y) \\ M_2 = 0.4 \cdot [V(Z) - V(Y)] \\ M_3 = V(Y) \end{cases}$$

又记:

$$\begin{cases} S_1 = (a + b \cdot \cos\theta) \cdot M_1 \\ S_2 = (c + d \cdot \sin\theta) \cdot M_2 \end{cases}$$

其中: $\theta = \tan^{-1}(M_1/M_2)$, $a = 8.880$, $b = 0.966$, $c = 8.025$, $d = 2.558$, 最后可得:

$$\begin{cases} H_m = \tan^{-1}(S_1/S_2) \\ S_m = (S_1^2 + S_2^2)^{1/2} \\ V_m = M_3 \end{cases} \quad (2)$$

3. 两种直方图的计算

(a) 一般直方图的计算

记 $\text{Sum}(P, x_i)$ 为图像 P 中某一特征(如 Hue)值为 x_i 为像素数, N 为 P 中的总像素数, 则 P 的该特征的直方图为:

$$H(P) = (h_{x_1}, h_{x_2}, h_{x_3}, \dots, h_{x_i} \dots h_{x_n})$$

$$\text{其中 } h_{x_i} = \frac{\text{Sum}(P, x_i)}{N} \quad i, N \text{ 均为整数} \quad (3)$$

(b) 累加直方图的计算

已知图像某一特征的一般直方图为 $H(P) = (h_{x_1}, h_{x_2}, \dots, h_{x_i} \dots h_{x_n})$, 则该特征的累加直方图可有由下式计算:

$$\lambda(P) = (\lambda_{x_1}, \lambda_{x_2}, \lambda_{x_3}, \dots, \lambda_{x_i} \dots \lambda_{x_n}) \quad \text{其中 } \lambda_{x_i} = \sum_{j=1}^i h_{x_j} \quad j \text{ 为整数} \quad (4)$$

4. 中心矩的计算^[5]

以计算 HSI 或 MTM 空间的 Hue 分量为例, 如果记 $\text{Hue}(p_i)$ 为图像 P 的第 i 个像素的 Hue 值, 则其前三阶中心矩分别为:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Hue}(p_i) \\
 M_2 &= \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Hue}(p_i) - M_1)^2 \right]^{1/2} \\
 M_3 &= \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Hue}(p_i) - M_1)^3 \right]^{1/3}
 \end{aligned} \tag{5}$$

5. 三种距离度量函数

设 $(h_1^Q, h_2^Q, \dots, h_N^Q)$, $(h_1^I, h_2^I, \dots, h_N^I)$ 分别为图像 Q 和 I 的归一化直方图,

(a) 一般欧氏距离函数

$$D_E(Q, I) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (h_i^Q - h_i^I)^2} \tag{6}$$

(b) 加权距离函数

$$D_w(Q, I) = \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i (h_i^Q - h_i^I)^2} \quad \text{其中 } w_i = \begin{cases} h_i^Q & \text{if } h_i^Q, h_i^I > 0 \\ 1 & \text{if } h_i^Q \text{ 或 } h_i^I = 0 \end{cases} \tag{7}$$

由于采用的是归一化直方图, $w_i \leq 1$, 故加权距离要小于欧氏距离。

(c) 相交法度量函数

$$D_I(Q, I) = \sum_{i=1}^N \min(h_i^Q, h_i^I) / \sum_{i=1}^N h_i^Q \tag{8}$$

6. 中心矩法的度量函数^[4]

设 $M_{H^i}^Q, M_{S^i}^Q, M_{V^i}^Q$ 分别为图像 Q 的 H-色度, S-饱和度, V-亮度的 $i(i \leq 3)$ 阶中心矩, $M_{H^i}^I, M_{S^i}^I, M_{V^i}^I$ 分别为图像 I 的 H-色度, S-饱和度, V-亮度的 $i(i \leq 3)$ 阶中心矩, 则距离度量函数为:

$$D(Q, I) = \sqrt{w_H \sum_{i=1}^3 (M_{H^i}^Q - M_{H^i}^I)^2 + w_S \sum_{i=1}^3 (M_{S^i}^Q - M_{S^i}^I)^2 + w_V \sum_{i=1}^3 (M_{V^i}^Q - M_{V^i}^I)^2} \tag{9}$$

其中 w_H, w_S, w_V 为加权系数。

三、十种算法的实验结果

本实验的图像库由 180 多幅国旗图案和 10 多幅航空公司标志, 共计 200 多幅图像组成, 图像大小一般为 $(120 \sim 160) \times (70 \sim 100) \times 24\text{bits}$ 。系统软件是在 Microsoft Visual C++ 4.0 集成环境下开发的, 系统先对库中图像进行特征抽取, 所有图像的特征向量构成特征数据库, 对检索图像先计算其特征向量, 再与特征库中的所有特征向量进行相似度量, 检索输出最相似的 $N(1 \sim 20)$ 幅图像。

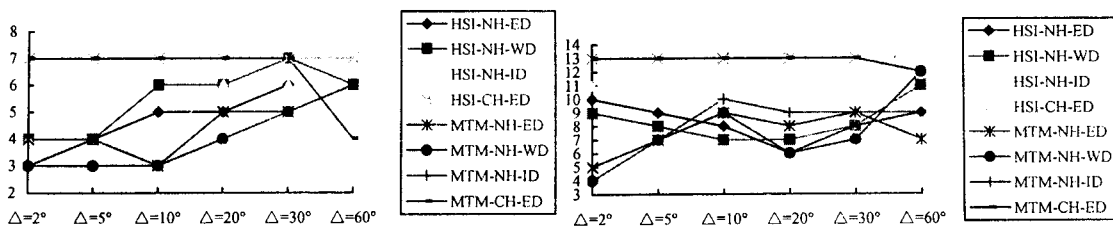


图 1 各种方法检索 Andorra 图的输出图像数 图 2 各种方法检索 Bolivian 图的输出图像数

为了比较算法和验证结果先进行了人工检索。对给定的查询图像, 从图像库中选出认为颜色相似的所有图像, 然后与实验结果进行比较。下面介绍利用十种算法对 Andorra, Bolivian, Bulgarian 三国国旗进行检索的结果。对 Andorra 国旗, 库中只有 7 幅相近图像, 故实验输出前 10 幅图像, 而对 Bolivian Bulgarian 国旗, 库中分别有 13 幅和 17 幅相近图像, 故实验输出 20 幅图像。图 1 到图 3 给出直方图法的结果, 图中横轴表示 H(色度) 量化间

隔, 竖轴表示实验输出的相似图像的个数; 图 4 到图 6 给出中心矩法的结果, 图中横轴表示式 (9) 中加权系数 w_H, w_S, w_V 的比, 竖轴表示实验输出的相似图像个数。

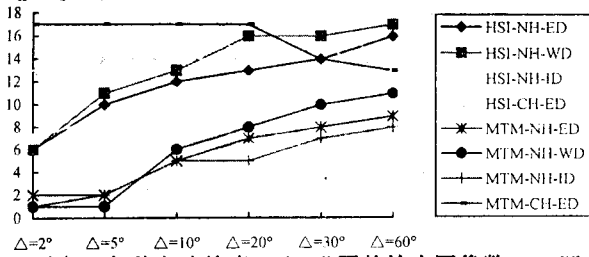


图 3 各种方法检索 Bulgaril 图的输出图像数

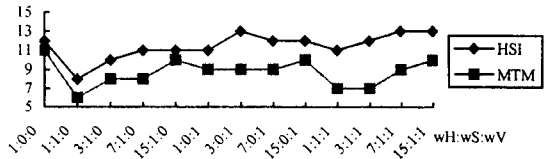


图 4 矩方法在两种空间检索 Andorra 图的输出图像数

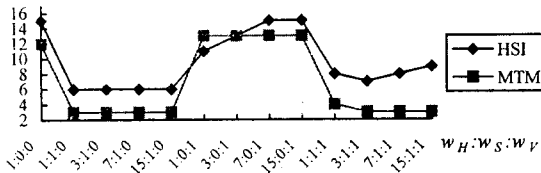


图 5 矩方法在两种空间检索 Bolivial 图的输出图像数

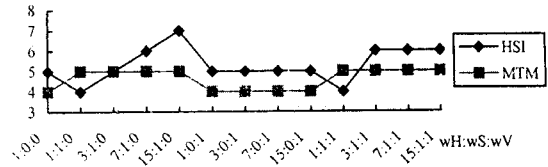


图 6 矩方法在两种空间检索 Bulgaril 图的输出图像数

四、实验结果分析和讨论

1. 实验结果分析

从实验结果可以看出:

(1) 在 MTM 空间的检索比之 HSI 空间没有什么改善, 在图 1, 图 3 中, 对一般直方图算法 MTM 空间不如 HSI 空间的检索效果好, 在图 2 中二者相同。对累加直方图算法, 在图 2 中 MTM 空间优于 HSI 空间, 而在图 1 和图 3 中二者不分伯仲。

(2) 一般直方图法对量化参数敏感, 在图 1, 图 2 和图 3 中一般直方图的四个算法曲线随着量化间隔的变化均有较大起伏, 可以看出当量化间隔 $\Delta Hue \geq 20^\circ$ 时, 检索效果明显改善。

(3) 在图 1, 图 2 和图 3 中累加直方图的两种算法曲线幅值最大且平坦, 说明累加直方图算法的效果和鲁棒性均优于一般直方图, 对量化参数的变化, 检索结果比较稳定。

(4) 采用中心矩的方法, 在合适的加权系数下, 如: 图 4 在 15:1:0, 图 5 在 15:1:1, 图 6 在 15:0:1 下, 可以取得与累加直方图相近的效果。

(5) 从图 1 到图 3 还可以看出相交法和加权距离与欧氏距离相比, 检索效果有提高, 但提高不大。

2. 讨论和证明

在许多应用中, 图像检索结果只能由人来做主观评价。人眼对色彩的分辨能力是有限的, 例如对 Hue 值的微小变化不敏感。换言之, 在相同亮度和饱和度下, 色调 (Hue) 在一定范围的变化, 人眼无法觉察。如何适应人的这个视觉特性, 人们首先想到了加大量化间隔, 将相近的颜色量化到 Hue 轴同一坐标上, 从实验结果很明显看出, 采用一般直方图, 当量化间隔 $\Delta Hue \geq 20^\circ$ 时, 检索效果有很大改善。但这种简单量化存在两个严重问题, 首先, 对两个相近颜色, 这种量化既可能将它们量化到同一个 Hue 坐标上, 也可能量化到不同的两个 Hue 坐标上, 即量化可以拉近它们的距离也可以拉大它们的距离。这种弊病出现在量化间隔的边界附近, 由量化本身造成。这便是导致 4.1 中 (1) 的原因, 举例如图 7: 在 $\Delta = 1^\circ$ 时, 显然 B 要比 C 更接近 A, 但在 $\Delta = 10^\circ$ 时结果正好相反。可见, 简单的加大量化间隔会导致误检。再者, 色调 (Hue) 信号的分布有其自身的特殊性, 从视觉角度来看, 其相似性的分布并非均匀分布, 如兰色的相近色的分布范围要比黄色的更宽些, 简单的等间隔量化并不适合 Hue 信号。

为克服简单量化的固有缺陷,人们引入了累加直方图法^[5]。在以欧氏距离,马氏距离等为相似度量时,累加直方图的优点在于它体现了两种颜色在 Hue 轴上的距离与相似性之间的关系,即分布轴上距离小的两点要比距离大的两点更相似,关于这一点,我们给出如下的数学证明。

设 Q 为待检索图像, P 和 R 为图像库中两幅图像,它们的归一化的一般直方图如图 8。已知:

$$H(Q) = (h_{x_1}^Q, h_{x_2}^Q, \dots, h_{x_k}^Q, h_{x_{k+1}}^Q, \dots, h_{x_n}^Q), h_{x_i}^Q \neq 0 \quad x_i = x_1, x_2, \dots, x_i, k, x_j \dots x_n \quad (10)$$

$$H(P) = (h_{x_1}^P, h_{x_2}^P, \dots, h_{x_L}^P, h_{x_{L+1}}^P, \dots, h_{x_n}^P), h_{x_i}^P \neq 0 \quad x_i = x_1, x_2, \dots, x_i, L, x_j \dots x_n \quad (11)$$

$$H(R) = (h_{x_1}^R, h_{x_2}^R, \dots, h_{x_K}^R, h_{x_{K+1}}^R, \dots, h_{x_n}^R), h_{x_i}^R \neq 0 \quad x_i = x_1, x_2, \dots, x_i, K, x_j \dots x_n \quad (12)$$

$$(M - K) > (L - K) \quad (13)$$

$$h_{x_i}^Q = h_{x_i}^P = h_{x_i}^R, \quad x_i \neq K, L, M \quad (14)$$

$$h_K^Q = h_L^P = h_M^R = \xi, \quad 0 < \xi < 1 \quad (15)$$

显然一般直方图的欧氏距离满足: $Dis_H(Q, P) = Dis_H(Q, R)$ 。设三幅图像的累加直方图分别为:

$$\begin{aligned} \lambda(Q) &= (\lambda_1^Q, \lambda_2^Q, \dots, \lambda_{K-1}^Q, \lambda_K^Q, \dots, \lambda_M^Q, \dots, \lambda_N^Q) \\ \lambda(P) &= (\lambda_1^P, \lambda_2^P, \dots, \lambda_{K-1}^P, \lambda_K^P, \dots, \lambda_M^P, \dots, \lambda_N^P) \\ \lambda(R) &= (\lambda_1^R, \lambda_2^R, \dots, \lambda_{K-1}^R, \lambda_K^R, \dots, \lambda_M^R, \dots, \lambda_N^R) \end{aligned} \quad (16)$$

由已知条件(10~15)及累加直方图的计算方法(4)式易得:

$$\begin{cases} \lambda_i^Q = \lambda_i^P = \lambda_i^R, & 1 \leq i \leq K-1 \text{ 或 } M \leq i \leq N \\ \lambda_{K-1}^Q = \lambda_{K-1}^P = \dots = \lambda_{L-1}^P = \lambda_{K-1}^R = \dots = \lambda_{M-1}^R \triangleq C \\ \lambda_K^Q = \dots = \lambda_L^Q = \dots = \lambda_M^Q = \lambda_K^P = \dots = \lambda_M^P \triangleq C + \xi \end{cases} \quad (17)$$

如图 9 所示,以欧氏距离作为相似度量,易得:

$$\begin{aligned} Dis_x(Q, P) &= \sqrt{\sum_{i=1}^N (\lambda_i^Q - \lambda_i^P)^2} = \xi \sqrt{(L - K)} \\ Dis_x(Q, R) &= \sqrt{\sum_{i=1}^N (\lambda_i^Q - \lambda_i^R)^2} = \xi \sqrt{(M - K)} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\therefore Dis_x(Q, P) < Dis_x(Q, R)$$

对其它距离度量函数如马氏距离、加权距离以及 K, L, M 在横轴上的其他位置分布情况,同理可证:只要 $(M - K) > (L - K)$ 就有 $Dis_x(Q, P) < Dis_x(Q, R)$ 。

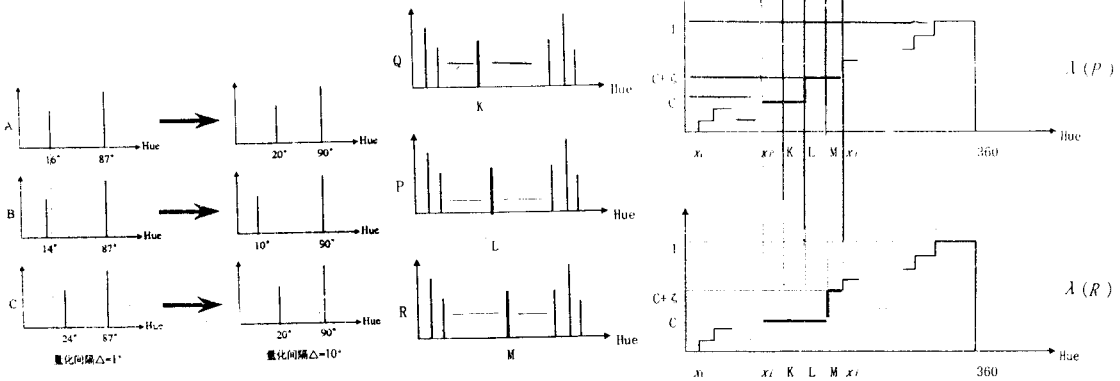


图 7 加大量化间隔会导致误检 图 8 图像归一化一般直方图示例 图 9 图像归一化累加直方图示例

五、结束语

本文用同一个图像库对十种利用颜色特征进行图像检索的典型算法进行了实验比较,得到了一些有意义的结果,总结如下:从检索结果看,MTM空间与HSI空间相比没有表现出什么优势,但这可能与本实验的图像颜色较简单有关;一般直方图法对量化参数敏感,加大量化间隔检索结果有所改善;累加直方图法要优于一般直方图法,该法对量化参数的变化不敏感,鲁棒性强,比较有前途^[9];中心矩法通过调整H、S、V的加权系数可以取得与累加直方图相近的实验效果,但加权系数的确定还无章可循,比较困难,对复杂图像是否实用也有待进一步验证;量化存在的固有缺陷,使得相交法和加权距离法与欧氏距离法相比并没有什么改善。这些结果对选择和优化检索算法有一定的参考价值。

参考文献

- [1] M.J.Swain and D.H.ballard. "Color indexing". Intl. J.Comput. Vis, 7(1), pp.11-32, 1991.
- [2] B.V.Frunt and G.D. Finlayson. "Color constant indexing". Technical Report 91-09, Simon Fraser University, Canada, 1991
- [3] B.M.Mehetre, M.S.Kankanhalli et al., "Color matching for image retrieval", Pattern Recognition Lett., V.16, 325-331, 1995
- [4] M.S.Kankanhalli, B.M.Mehetre et al., "cluster-based color matching for image retrieval", Pattern Recognition, V.29, n4, pp.701-708, 1996
- [5] M.Stricker and M.Orengo, "Similarity of color images", SPIE, V.2420, pp.381-392, 1995
- [6] M.Miyahara and Y.Yoshida, "Mathematical transform of (R,GB) color data to Munsell (H,V,C) color data", SPIE, V.1001, pp.650-657, 1988.
- [7] Y.Yaginuma and M.Sakauchi, "Multi-purpose interface for sstill/moving image retrieval," SPIE, V.2298, pp.260-267, 1994.
- [8] R.C.Gonzalez, R.E.Woods, Digital Image Processing. Addison-wesley, 3rd.ed., 1992
- [9] Y.J.Zhang, Z.W.Liu, Y.He, "Comparison and Improvement of color-based Image Retrieval Techniques", SPIE V.3312, 371-382, 1998.

A Comparitive and Analysis Study of Ten color Feature-based Image Retrieval Algorithms

Liu Zhongwei Zhang Yujin

(Department of electronic Engineering, Tsinghua University)

Abstract: In content-based image retrieval ,color features are widely used. This paper reports a comparative sstudy of ten algorithms using images of a common database. The experimental result shows that whether in HSI or in MTM color space the cumulative histogram based algorithm is much better than the traditional histogram based algorithm, a mathematical prove is also trovided for the first time. the results also show that MTM color space has no apparent advantage over HSI color space, and using weighted distance as the similarity measure is just a little better than using Euclidean distance. In addition, the results show that the algorithms based on central moments are not only simple but also comparable in performance with the algorithms based on coummulative histogram, by suitably adapting the weighing coefficients. This work would be helpful for selecting and optimizing retrieval algorithms.

Key words: Image Retrieval Cumulative Histogram Color Space Euclidean Disstance