

一种利用颜色词检索图像的方法

孟祥增¹⁾ 王玲¹⁾ 李海霞¹⁾ 钟义信²⁾

¹⁾(山东师范大学传播学院, 济南 250014) ²⁾(北京邮电大学智能中心, 北京 100867)

摘要 在基于内容的图像检索中, 图像的内容包括图像的低层视觉特征和高层语义。通常, 前者是通过图像分析得到的数据, 后者是用自然语言表示的概念词, 但两者没有明显的联系。为了能够对彩色图像进行更有效的检索, 试图将彩色图像的主色调数据与自然语言检索中的颜色词相结合, 用于图像检索, 并首先通过分析常用的颜色模型, 提出了一种新的颜色模型和一种颜色相似度计算方法, 然后在此基础上提出了一种提取图像主色调的方法, 最后通过分析颜色命名系统, 提出了一种利用颜色词检索彩色图像的方法, 同时给出了初步实验结果。实验表明, 这种方法在彩色图像检索中是有效的。

关键词 颜色模型 主色调 颜色词 图像检索

中图分类号: TP391.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2005)03-0349-05

A Method of Image Retrieval with Color Names

MENG Xiang-zeng¹⁾, WANG Ling¹⁾, LI Hai-xia¹⁾, ZHONG Yi-xin²⁾

¹⁾(School of Communications, Shandong Normal University, Jinan 250014)

²⁾(Research Center of Intelligence, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

Abstract The contents of image include low-level visual features and high-level semantic in image retrieval based on content. Generally, the former is data obtained from image analysis and the latter is keywords describing concepts in nature language, but they are not related to each other simply. The paper presents a trial with combining the main colors of color image and color names in Chinese language in color image retrieval. A new color model and a method of calculating the similarity between two colors are proposed after a few of color models are analyzed, on which a method of extracting the main colors of an image is given. The color names are discussed and a method of retrieving color images with color names is proposed. The preliminary retrieving results obtained on trial are discussed, which shows that the method is quite helpful in color images retrieval.

Keywords color model, main color, color name, image retrieval

1 引言

颜色是彩色图像的重要特征, 在基于内容的图像检索中起了重要的作用。图像的内容一般包括3个层次, 即原始的像素数据、图像的视觉特征和图像表示的意义(图像语义)^[1]。目前, 基于内容的图像检索研究主要针对图像的视觉特征(颜色、纹理、形状), 通常利用已有的例图或绘制的草图, 通过检索

视觉特征相似的图像来实现“以图找图”的功能^[2]。但从检索习惯上看, 由于人们仍习惯用文字来描述检索要求, 即用关键词、短语或自然语言句子来描述检索图像, 因此, 基于图像语义的检索是最为理想的一种图像检索方式, 但限于目前图像理解的技术水平, 图像语义的自动提取还存在很多困难, 还需要做大量的工作。

图像的颜色分析相对纹理和形状分析简单, 而且又是彩色图像纹理和形状分析的基础。本文在分

基金项目: 国家自然科学基金项目(69982001)

收稿日期: 2003-11-03; 改回日期: 2004-08-02

第一作者简介: 孟祥增(1962~), 男, 2004年毕业于北京邮电大学信息工程学院, 获博士学位。现为山东师范大学教授、硕士研究生导师。主要研究方向为多媒体检索、图像识别、计算机辅助教学。发表论文40余篇, 编著5部。E-mail: MXZ@sohu.com

析颜色空间的视觉效果基础上,首先对 HSI 模型做了改进,即对颜色空间进行了椭圆化,并利用量化的颜色空间提取图像的主色调;然后,分析了颜色的命名系统,并组织了 243 个常用中文颜色词作为中文自然语言检索中可能用到的颜色关键词。检索时,首先从用户输入的对检索目标图像的自然语言描述中提取出颜色词,并将其转化为颜色空间的数值;然后计算与数据库中图像的主色调的相似度。本文最后,还给出了初步的实验结果。实验表明,这种方法对改善检索结果的相关性具有较好的效果。

2 颜色模式选择

在计算机图像处理中,有多种颜色模式(表色系统)可供选择,如 RGB、CMYK、CIE XYZ、CIE Luv、CIE Lab、YUV、HSV、HSI 等^[3]。其中三基色 R、G、B 是最简单的颜色模式,即图像中每个像素的颜色可以由 R、G、B 值直接在显示器上显示出来,但 RGB 模式与人们习惯的颜色感觉不相符,且人们习惯用颜色三要素,即色调、饱和度和亮度来表示颜色,因为用颜色三要素表示的颜色模式比较接近人们的心理颜色。

明亮度指人视觉对光感觉的明亮程度,其虽可用 R、G、B 三刺激值计算,但在不同的颜色模式中,则计算方式不同,如

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad \text{HSI 模型} \quad (1)$$

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad \text{YUV 模型} \quad (2)$$

$$V = \max(R, G, B) \quad \text{HSV 模型} \quad (3)$$

$$L = \begin{cases} 1.16 \times \sqrt[3]{Y} - 0.16 & Y > 0.008856 \\ 9.033 \times Y & Y \leq 0.008856 \end{cases} \quad \text{Luv 模型} \quad (4)$$

饱和度指颜色的纯度,其可用公式 $S = I_1/I = (I - I_2)/I$ 表示,其中 S 为饱和度, I 为总亮度, I_1 为纯色的亮度, I_2 为包含的白光的亮度。饱和度 S 也可用 R、G、B 三刺激值计算,如

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad \text{HSI 模型} \quad (5)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{V} \quad \text{HSV 模型} \quad (6)$$

色调指颜色的类别,可根据可见光的色谱排列,将不可见光(红外线和紫外线)合并,形成 360° 循环。若用角度表示,设红色为 0°,绿色为 120°,蓝色

为 240°,则其他颜色在 0°~360° 之间。色调值 H 也可用 R、G、B 三刺激值计算,如

在 HSI 模型中,当 R、G、B 不全相同时,则

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (7)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}(R - G) + (R - B)}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$

在 HSV 模型中,当 R、G、B 不全相同时,则

$$H = \begin{cases} \frac{60 \times (G - B)}{\Delta} & R = \max(R, G, B) \\ 120 + \frac{60 \times (G - B)}{\Delta} & G = \max(R, G, B) \\ 240 + \frac{60 \times (R - G)}{\Delta} & B = \max(R, G, B) \end{cases} \quad (8)$$

其中, $\Delta = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$ 。

通过实验比较,式(5)和式(6)、式(7)和式(8)视觉效果差别不大,但式(1)、式(2)、式(3)、式(4)视觉差别却较大。由此可见,选择合适的明亮度公式在彩色图像的颜色分析和灰度图像转换中至关重要。通过观察发现,在心理上某种颜色的明亮度与颜色的相对明亮度有关,本文将式(2)修正为

$$\hat{B} = Y \times (Y/Y_{\max}) \quad (9)$$

式中, \hat{B} 为心理上的明亮度, Y_{\max} 是 Y 在色调和饱和度一定时的最大值。此外,考虑任何色调和饱和度的黑色或白色都应归结为一点,因此应对饱和度再做椭圆化,并将其缩小在半径为 0.5 的圆内,则

$$\hat{S} = \begin{cases} \sqrt{0.5^2 - (\hat{Y}_{\max} - 0.5)^2} \sqrt{1 - \left(\frac{\hat{B}}{\hat{Y}_{\max}} - 1\right)^2} & Y < \hat{Y}_{\max} \\ \sqrt{0.5^2 - (\hat{Y}_{\max} - 0.5)^2} \sqrt{1 - \left(\frac{\hat{B} - \hat{Y}_{\max}}{1 - \hat{Y}_{\max}}\right)^2} & Y \geq \hat{Y}_{\max} \end{cases} \quad (10)$$

式中, \hat{Y}_{\max} 是饱和度为 1 时的 Y_{\max} 值。这样,利用式(7)或式(8)、式(10)、式(9)即可得到半径为 0.5 的球型颜色空间 $\hat{H}\hat{S}\hat{B}$ 。该颜色空间的垂直投影和红青(RC)、绿紫(GM)、蓝黄(BY)纵切面如图 1 所示。

该颜色空间中两点的颜色差用欧几里德距离表示为

$$d_{i,j} = \sqrt{(\hat{B}_i - \hat{B}_j)^2 + \hat{S}_i^2 + \hat{S}_j^2 - 2 \times \hat{S}_i \times \hat{S}_j \times \cos(H_i - H_j)} \quad (11)$$



图1 HSB颜色空间的垂直投影和纵向切面

Fig.1 Vertical projection and transverse sections of HSB color space

用下式将其转换为两种颜色的相似度 $\gamma_{i,j}$ 。

$$\gamma_{i,j} = \frac{1}{1 + (d_{i,j}(1 - d_0)/(d_0(1 - d_{i,j})))^2} \quad (12)$$

当 $d_{i,j} = d_0$ 时, $\gamma_{i,j} = 0.5$, 就可以作为相似的判断阈值。

3 图像主色调提取

在图像主色调提取时,首先对 HSB 空间进行均匀量化,即将色调均匀分成 N_h 份,饱和度均匀分成 N_s 份,明亮度均匀分成 N_b 份;然后,计算图像的颜色直方图 $K(h,s,b)$,即统计图像中落入每个颜色空间量化区域的像素数(颜色频率),其中 $h = 0, 1, 2, \dots, N_h - 1, s = 0, 1, 2, \dots, N_s, b = 0, 1, 2, \dots, N_b$ 。当 $b = 0$ 或 N_b 时,令 $s = 0$;当 $s = 0$ 时,令 $h = 0$ 。

在基于颜色特征的图像检索中,比较常用的计算两幅图像相似性的方法是颜色直方图比较法^[3]。由于颜色直方图法索引维数多,计算量大,而且容易忽略出现频率低,但却显眼的颜色(如“万绿丛中一点红”中的红色),为此,本文根据 $K(h,s,b)$ 中的极大值(而非最大值)来提取图像的主色调。具体方法如下:

(1)按 $K(h,s,b)$ 大小排列,并从大到小依次分析对应的颜色;

(2)当 $s > 1$ 时,在色调、饱和度和明亮度3个方向上与6个相邻颜色的频率进行比较,当 $s = 1$ 时,不与 $s = 0$ 的颜色(灰度颜色)比较,当 $s = 0$,即为灰度颜色时,仅在明亮度方向上与两个相邻灰度颜色的频率进行比较,若颜色频率不低于相邻颜色的频率,则视为主色调。编程时注意:色调以 N_h 为模循环,饱和度的范围是 $0 \sim N_s$,明亮度的范围是 $0 \sim N_b$,超出此范围,其频率作为0处理;

(3)将频率相同又相邻的主色调合并,作为一个主色调;

(4)重复以上操作,直到找到图像库中图像 X 的 N_x 个主色调或频率低于一定的限值 K_0 (如最大

频率的 $1/100$ 或前一频率的 $1/10$) 为止;

提取主色调后,按颜色距离最近的原则,对图像像素的颜色进行聚类,先获得图像的主色调直方图,然后将主色调 $C_j = (h_j, s_j, b_j)$ 和相对频率 $p_j = K(h_j, s_j, b_j) / (\sum_j K(h_j, s_j, b_j)), j = 1, \dots, N_x (0 \leq p_j \leq 1)$ 保存在图像特征索引库中,作为图像的颜色特征。

4 颜色词表

由于在自然语言中,有许多关于颜色的名词,这些名词在人们心目中指某种颜色,但具体指什么颜色很多人都说不清楚,因此,利用颜色词表将颜色词和颜色值(通常是 R, G, B 值)对应起来,是表示颜色概念和颜色标准的一种有效手段。有研究表明,不同语言中,颜色的基本分类和颜色词数目差别很大,基本分类有 $2 \sim 11$ 种,颜色词有几十~几千个。不同的颜色命名系统有不同的颜色命名方法和颜色数目,如 NBS/ISCC 颜色命名系统规定了 267 种质心颜色(centroid colors)^[4], Resene 颜料公司规定了 1300 种标准颜色^[5]。由于没有找到类似的中文颜色命名系统,因此,本文根据 HTML 预定义的 140 种颜色和在计算机中常用的 190 种分类颜色以及 NBS/ISCC 的 267 种质心颜色的英文翻译名,结合《知网》^[6]字典中常用的中文颜色词,组织了 243 个中文颜色词表,用于图像检索时颜色关键词或自然语言的中文颜色词的提取和颜色值转换。

在中文颜色词表中,同一种颜色可以有不同的颜色词(如紫红色和枣红色、米黄色和浅褐色、茶色和褐色等),同一个颜色词也可以有不同的颜色值(如紫罗兰色、肉色等),但后者应尽量避免。

5 相似度计算

假设检索目标图像 D 的主色调为 $C_i^D = (h_i^D, s_i^D, b_i^D), i = 1, \dots, N_D$, 图像数据库中图像 X 的主色调

为 $C_j^x = (h_j^x, s_j^x, b_j^x)$, $j=1, \dots, N_x$, 则可根据式(12) 计算两个颜色的 $\gamma_{i,j}$ 。检索目标图像和数据库中图像总的颜色相似度 Γ 用下式计算:

$$\Gamma = \sum \mu_i \gamma_i + \sum \mu_j \gamma_j \quad (13)$$

式中, $\gamma_i = \max\{\gamma_{i,j} | j=1, \dots, N_x\}$, $\gamma_j = \max\{\gamma_{i,j} | i=1, \dots, N_D\}$, μ_i 是颜色 C_i^D 的重要性, μ_j 是颜色 C_j^X 的重要性。 μ_i, μ_j 可以人为设置。分以下 3 种情况讨论: ①如果仅考虑目标图像 D 的主色调时, 令 $\mu_i = 1/N_D, \mu_j = 0$, 则 $\Gamma = (\sum \gamma_i)/N_D$; ②如果再考虑图像数据库中图像 X 的主色调时, 令 $\mu_i = \mu_j = 1/(N_D + N_X)$, 则 $\Gamma = (\sum \gamma_i + \sum \gamma_j)/(N_D + N_X)$; ③如果考虑图像 X 的主色调的相对频率时, 对于目标图像 D 的主色调, 则在图像 X 的主色调中查找距离最近的, 并将其相对频率的相对值作为目标图像 D 的主色调的相对频率, 即 $q_i = \hat{p}_i / (\sum \hat{p}_i)$, $\hat{p}_i = p_j | d_{i,j} = \min\{d_{i,j} | j=1, 2, \dots, N_X\}, i=1, \dots, N_D$, 也就是综合考虑了两图像的主色调的相对频率。由于相对频率通常差别很大, 因此为减小它们的相对差值, 需对每个相对频率增加一常数 δ , 然后将求得的相对值作为图像主色调的重要性, 即

$$\begin{cases} \mu_i = \frac{\delta + q_i}{\sum_i (q_i + \delta) + \sum_j (p_j + \delta)} = \frac{\delta + q_i}{2 + (N_D + N_X) \delta} \\ \mu_j = \frac{\delta + p_j}{\sum_i (q_i + \delta) + \sum_j (p_j + \delta)} = \frac{\delta + p_j}{2 + (N_D + N_X) \delta} \end{cases} \quad (14)$$

当 $\delta = 0$ 时, $\mu_i = q_i/2, \mu_j = p_j/2, S = (\sum q_i s_i + \sum p_j s_j)/2$; 当 $\delta = \infty$ 时, $\mu_i = \mu_j = 1/(N_D + N_X)$, $\Gamma = (\sum \gamma_i + \sum \gamma_j)/(N_D + N_X)$, 与情况②相同。

6 图像检索实验

为了验证本文方法的有效性, 本文选择了 128 幅自然风景、植物和花卉的图像进行了图像检索实验。在实验中, 可设图像的主色调数 N_x 最多为 8, 取 $N_H = 18, N_S = 4, N_B = 10, H\hat{S}\hat{B}$ 颜色空间量化后有效的颜色数为 579 个。通过实验对比发现, 若有效颜色数太多, 即颜色直方图中的极大值太分散, 则不利于图像的主色调提取; 而有效颜色数太少, 则又不能反映图像的关键颜色。实验时, 首先利用第 3 节中的方法, 提取每幅图像的主色调, 并保存在图像特征索引库中, 再根据用户输入的检索要求(关键词、短语或自然语言描述), 从名词和形容词中提取颜色词, 并利用颜色词表将其转换为检索目标图像的主色调; 然后, 利用式(11)、式(12)、式(13)、式(14)来计算检索目标图像和索引库中每幅图像的颜色相似度, 并按相似度大小排列显示(如图 2 所示)。图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)分别为按第 5 节中讨论的第①、②、③种情况计算的总颜色相似度(在式(12)中取 $d_0 = 0.3$, 在式(14)中取 $\delta = 1$)而搜索到的“具有红花绿叶和蓝天白云的风景图片”的检索结果。

从实验结果看, 当图像中有“红, 绿, 蓝, 白”4 种颜色时, 相似度最大, 而仅有其中的 1~2 种颜色时, 相似度明显减小; 第②、③种情况相差较小, 似乎第③种情况效果更好一些。如果将总相似度大于 0.5 的图像作为检索结果, 则这 3 种情况的召回率分别为 50%、65%、80%, 查准率分别为 80%、77%、81%。由此可见, 利用颜色词检索图像不仅方便, 而且可行。



(a) 按第①种情况计算总的相似度的检索结果



(b) 按第②种情况计算总的相似度的检索结果



(c) 按第③种情况计算总的相似度的检索结果

图 2 相似度计算方法不同的检索结果

Fig.2 Results of retrieving with deferent methods of calculating similarity

7 结论

完全基于图像语义(图像的主题,图像对象的名称、颜色、纹理、形状、姿态、位置关系以及意义约束等)的图像搜索目前还很困难,但图像的颜色意义相对简单。由于自然语言的颜色词可以看作图像的颜色语义的一种表示方法,因此利用颜色词进行图像检索,可以看作是一种初级的图像语义检索,如果配合图像主题、图像主体及其属性进行图像检索,检索效果会大有改善,这是作者今后的一个研究方向。

参考文献 (References)

1 Wasfi Al-Khatib, Day Y Francis, Arif Chafoor, et al. Semantic

modeling and knowledge representation in multimedia database[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1999, 11(1):64 ~ 80.

2 Rui Y, Huang T S, Chang S F. Image retrieval: Current techniques, promising directions and open issues [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1999, 10(4):39 ~ 62.

3 Gevers T, Smeulders A W M. A comparative study of several color models for color image invariant retrieval[A]. In: Proceedings of the First International Workshop on Image Database & Multimedia Search [C], Amsterdam, Netherlands, Aug. 1996:17 ~ 26.

4 David A Mundie. The NBS/IBCC color system[EB/OL]. <http://www.anthus.com/Colors/NBS.html>.

5 Resene Paints Limited. Color swatches online [EB/OL]. <http://www.resene.co.nz/swatches/index.htm>.

6 Dong Zheng-dong, Dong Qiang. Hownet [EB/OL]. http://www.keenage.com/zhiwang/c_zhiwang.html. [董振东, 董强. 知网 [EB/OL]. http://www.keenage.com/zhiwang/c_zhiwang.html.]