

基于颜色-空间特征的图像检索*

王涛, 胡事民, 孙家广

(清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

E-mail: wangtao@ncc.cs.tsinghua.edu.cn

http://ncc.cs.tsinghua.edu.cn

摘要: 虽然基于颜色直方图特征的图像检索方法简单、高效,但却丢失了颜色的空间分布信息.提出了一种基于颜色-空间特征的图像检索方法.该方法将图像内容看成由若干对象组成的集合,首先利用图像分割得到主要对象,然后根据对象的颜色、位置和形状特征计算图像间内容的相似度,再进行检索.实验结果表明,当图像中有明显的物体时,该方法与颜色直方图相比,能够更加准确和高效地查找出用户所需内容的图像,明显地提高了检索精度.

关键词: 基于内容的图像检索(CBIR); HSV 颜色模型;图像分割;图像相似度

中图分类号: TP311 文献标识码: A

随着多媒体和网络技术的迅速发展,图像数据的来源不断扩大.为了能够从大量的图像数据中快速、准确地找到用户所需内容的图像,基于内容的图像检索(CBIR)技术正越来越成为人们研究的焦点.目前,比较著名的CBIR系统有:QBIC(query by image content),VisualSeek,PhotoBook,MARS(multimedia analysis and retrieval system)等.这些系统主要使用图像的颜色、纹理、形状和空间关系等特征进行检索.由于图像内容的特征很难准确地提取和描述,特征的相似度计算与人眼的感知存在一定的差异,CBIR还有许多问题需要解决.

颜色是图像的重要特征之一.目前,很多基于颜色特征进行图像检索的方法已经被提出.最常用的检索技术是颜色直方图相交方法^[1].该方法具有特征提取和相似度计算简便的优点,但也存在一些问题.首先,颜色量化会丢失颜色信息.凡是被量化到一级的颜色均被视为无差别,而位于量化分界处两边的颜色则其实际差别可能很小.同时,全局彩色直方图只记录了全局的颜色统计信息,丢失了颜色的空间分布信息并混入了不感兴趣物体的颜色信息.因此,两个颜色直方图相似的图像由于颜色的空间分布差别很大,图像的内容可能很不相同.改进颜色直方图特征的方法包括:累加直方图方法^[2,3],这种方法通过累加方式增加了直方图的鲁棒性,但仍丢失了颜色空间分布信息;主颜色方法^[4],该方法提取图像中的主要颜色,从而有效去除了不重要物体带来的颜色干扰,但仍丢失了颜色的空间分布信息;为了增加颜色特征的空间信息,又提出了颜色相关矢量CCV(color coherence vector)^[5]和类似纹理共生矩阵的Color Correlograms^[6]方法,但仍没有准确地描述图像中物体的颜色、位置和形状等特征.最新的方法是基于颜色-空间特征的检索^[7,8],这种方法通过图像分割得到图像中的主要物体,然后提取每个物体的颜色和位置特征,最后进行图像间相似度的计算.这种方法克服了通过将图像分块(如上、中、下三部分)以获得颜色空间分布特征所存在的僵化和粗糙性缺点,但由于准确的图像分割比较困难以及相似度计算模型与人的感知存在差异,因此对于一般的图像数据库进行检索,实验效果有时不够理想.

本文研究了基于颜色-空间特征的检索方法.使用改进的HSV(hue, saturation, value)颜色模型进行图像分割和颜色相似度计算,使用了基于统计方法的更加鲁棒的对象形状特征(用形状的大小 ρ ,形状的离散度 r 和离心

* 收稿日期: 2000-12-12; 修改日期: 2001-03-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69902004);国家重点基础研究发展规划 973 资助项目(G1998030600)

作者简介: 王涛(1972 -),男,黑龙江哈尔滨人,博士生,主要研究领域为计算机视觉,图像处理,计算机图形学;胡事民(1968 -),男,浙江长兴人,博士,副教授,主要研究领域为计算机辅助几何造型,计算机图形学,面向内容的图形图像检索;孙家广(1946 -),男,江苏镇江人,教授,博士生导师,中国工程院院士,主要研究领域为CG,CAD,CAGD,PDM&ERP.

率 e 来代替原来简单的矩形包围盒特征,并给出了基于对象特征的图像内容相似度计算方法.实验结果表明,该方法性能稳定,在有明显物体出现的情况下具有比颜色直方图检索方法更好的查询精度.

1 基于颜色-空间特征的检索

通常,人们首先通过颜色特征发现物体,然后再通过它们的形状、纹理和拓扑关系等特征来进一步地识别物体.当图像中有明显物体出现时,例如,一幅上部为蓝天,下部是绿地的风景画,图像的内容可以由这些物体的颜色、位置和形状等特征来表示,如图 1 所示.

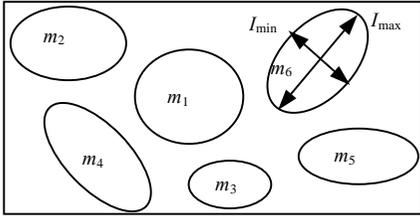


Fig.1 An image consisted of 6 objects
图 1 由 6 个物体组成的一幅图像

如果另一幅图像也包含有这些相似的对象,我们就认为这两幅图像的内容是相似的.基于颜色-空间特征的检索方法采用上面的原理,整个过程分为 3 步:首先对图像进行分割,得到主要物体所占的区域,然后对每一块区域提取它们的颜色、位置和形状等特征作为该对象的特征,最后根据图像中各对象的特征计算两幅图像间内容的相似程度,进行检索.

1.1 颜色模型

一般认为 R,G,B 颜色空间与人眼的感知差异很大,例如:距离为 50 的(0,0,0)与(50,0,0)两种 RGB 颜色认为是同一黑色,而距离为 50 的(200,150,0)和(200,200,0)则是差别很大的两种颜色(黄色和绿色).文中使用较好符合人眼感知特性的 HSV 颜色模型.首先将图像中每一像素的 r,g,b 值转换为 h,s,v 值($h \in [0,2\pi], s \in [0,1], v \in [0,1]$),然后根据 HSV 颜色模型的特性作如下特殊处理(如图 2 所示):

- (1) 黑色区域:所有 $v < 15\%$ 的颜色均归入黑色,令 $h=0, s=0, v=0$;
- (2) 白色区域:所有 $s < 10\%$ 且 $v > 80\%$ 的颜色归入白色,令 $h=0, s=0, v=1$;
- (3) 彩色区域:位于黑色区域和白色区域以外的颜色,其 h,s,v 值保持不变.

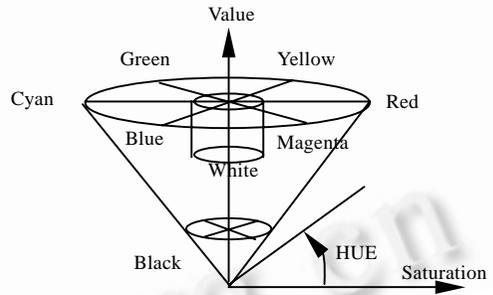


Fig.2 Modified HSV color model
图 2 改进的 HSV 颜色模型

经过 HSV 颜色变换,图像中每个像素的颜色用 h,s,v 值表示.由于将与黑色、白色相近的颜色分别作为同一种颜色对待,进一步提高了颜色模型的准确性.颜色相似度通过 (h,s,v) 值在柱坐标系下 (c_1, c_2, c_3) 的欧氏距离计算,在第 1.3 节、1.4 节中将详细给出.

1.2 图像分割

当图像中有明显物体出现时,通过图像分割技术可以找出图像中这些感兴趣物体所在的区域.由于基于内容的图像检索中一般只需要粗略地找出主要物体的所在范围,一般的图像分割技术基本上能够满足要求.文中首先使用 Gauss($\sigma=1.5$)滤波器对图像进行平滑来消除噪声和局部纹理特征的影响,然后使用区域生长方法对图像进行分割^[9].

区域生长的基本步骤如下:

- (1) 将图像分成等面积的单元.
- (2) 从左上角的第 1 个单元开始与其相邻的单元进行颜色比较,若两者相似且符合归并准则,那么就将两者归并形成一个小片,并且计算该小片的平均颜色.若相邻的某单元与其颜色不相似,则将该单元标以“未完成”.
- (3) 继续将小片与其相邻单元逐个进行颜色比较,凡是与小片相似者并入小片使小片逐渐生长扩大,直到没有再可归并的单元为止.然后将此生长完毕的小片标以“已完成”.

(4) 对于下一个“未完成”的单元重复上面生长小片的步骤,直到所有的单元都已被标记为“已完成”。

(5) 对于分割后的图像进行后处理,将符合归并准则的某些区域进行合并。

区域生长分割方法的关键是要寻找恰当的生长点和相邻单元合并的门限。实验中设定颜色 (c_1, c_2, c_3) 的距离门限为 0.3。为了找到恰当的生长点,文中采用迭代方法,在上次分割的结果中,将各区域按面积由大到小排序,然后将这些区域的重心作为生长点重新在原图上进行区域生长,得到更准确的分割结果。由于图像分割不是本文讨论的重点,我们在这里仅简要说明。进一步提高区域生长图像分割的精度需要利用区域间的特征进行单元合并等后处理工作^[10]。

1.3 颜色-空间特征提取

通过图像分割得到了一些具有不同颜色的区域,我们称之为对象。当对象的大小 $\rho < 1\%$ 时,由于尺寸太小,我们称之为次要对象,其特征可忽略不计。对于 $\rho > 1\%$ 的对象,我们称之为主要对象。一幅图像的主要内容就由这些主要对象的颜色、位置和形状等特征来表示。

(1) 颜色特征:区域的颜色特征用该区域的平均色代表。为了方便颜色相似度的计算,将 (h, s, v) 色度坐标统一转换为柱坐标系下的欧氏空间坐标 (c_1, c_2, c_3) 表示。

$$c_1 = s \cdot \cos(h), c_2 = s \cdot \sin(h), c_3 = v.$$

(2) 位置特征:对象的位置用其重心的归一化坐标表示。

$$\vec{O} = \left(\frac{\bar{x}}{Width}, \frac{\bar{y}}{Height} \right).$$

(3) 形状特征:包括形状的大小 ρ ,形状的离散度 v 和离心率 e ^[11]。

$$\rho = \frac{\text{Number of pixels in the object}}{\text{Number of pixels in the image}},$$

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{(x,y) \in Object} (x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2}{\text{Number of pixels in the object}} / \max(Width, Height)},$$

$$e = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} = \frac{u_{20} + u_{02} - \sqrt{(u_{20} - u_{02})^2 + 4u_{11}^2}}{u_{20} + u_{02} + \sqrt{(u_{20} - u_{02})^2 + 4u_{11}^2}} \in [0, 1].$$

这里, $u_{p,q} = \sum_{(x,y) \in Object} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q$. $Width, Height$ 是图像的宽和高。

形状的大小 ρ 是对象面积占图像总面积的百分比,反映了物体的尺度。形状的离散度 r 类似于包围盒,反映了该对象相对于重心的离散程度。由于 r 为统计特征,显然比矩形包围盒特征鲁棒性要强。离心率 e 是物体最适椭圆的短、长轴之比,反映了物体的大致形状并且具有旋转不变性。由于图像分割一般很难找到任意物体的准确范围,因此没有必要进一步提取更详细的形状特征,如形状的傅里叶描述子、矩和边界位置等。最终,对象 i 的特征用矢量表示为 $F_i = (c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, x_i, y_i, \rho_i, v_i, e_i)$ 。含有 m 个主要对象的图像的特征矢量表示为 $\{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ 。

1.4 相似度计算

我们采用高斯函数计算任意对象 i, j 之间各特征的相似程度。通过调整各特征的方差 σ_i 可以方便地归一化具有不同量纲的特征变量,并且相似度总在 $[0, 1]$ 之间。当 $S=1$ 时,两个对象相似,当 $S=0$ 时,两个对象不相似。相似度的计算公式如下:

(1) 颜色相似度:

$$S_1 = \exp \left[\frac{(c_{i1} - c_{j1})^2 + (c_{i2} - c_{j2})^2 + (c_{i3} - c_{j3})^2}{3\sigma_1^2} \right].$$

(2) 位置相似度:

$$S_2 = \exp \left[-\frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_j)^2}{2\sigma_2^2} \right].$$

(3) 形状相似度:

$$S_3 = \exp \left[-\frac{w_\rho(\rho_i - \rho_j)^2 + w_v(v_i - v_j)^2 + w_e(e_i - e_j)^2}{\sigma_3^2} \right], w_\rho + w_v + w_e = 1.$$

图像中任意两个对象 i, j 之间的相似度是各特征间相似度的加权平均:

$$S_{object}(i, j) = \sum_{r=1}^3 w_r S_r, \sum_{r=1}^3 w_r = 1.$$

假设查询图像 Q 有 m 个主要对象, 数据库中任意图像 I 有 n 个主要对象, 则图像 Q 相对于 I 的相似度为

$$S(Q, I) = \sum_{i=1}^m W_i S_{object}(i, P_i(i)), \sum_{i=1}^m W_i = 1,$$

其中 W_i 为对象 i 的权重. 由于图像中各对象的面积不同, 因此重要程度各不相同. 实验中将 W_i 初始化为 ρ_i , 使权重 W_i 与该对象的面积成正比. $P_i(i), i=1, 2, \dots, m$ 表示 Q 的对象 i 与 I 中对象间的映射关系, 返回在图像 I 中与 Q 的第 i 个对象最为相似的对象. $S(Q, I)$ 的具体算法过程如下:

(1) 令 $S(Q, I) = 0$, 建立相似度矩阵 $S_{mn} = [s_{i,j}]_{m \times n}$, 其中 s_{ij} 是图像 Q 的第 i 个对象与图像 I 的第 j 个对象之间的相似度;

(2) 在相似度矩阵 S_{mn} 中寻找最大的元素 $s_{i,j}$, 则 $P_i(i) \rightarrow j, S(Q, I) = W_i S_{ij}$;

(3) 去掉相似度矩阵 S_{mn} 的第 i 行, 第 j 列. 如果矩阵的行数或列数为 0, 则停止并返回相似度 $S(Q, I)$; 否则转到步骤(2)继续执行.

按照上面相似度的计算公式, $S(Q, I)$ 与 $S(I, Q)$ 的值一般是不同的. 图像 I 与 Q 的总体相似度定义为

$$S_{Q,I} = \frac{S(Q, I) + S(I, Q)}{2}.$$

最终, 我们使用 $S_{Q,I}$ 相似度公式计算数据库中的每一幅图像 I 与查询图像 Q 之间的相似度, 然后按照相似度由大到小的顺序返回基于内容图像检索的查询结果.

2 实验结果

使用区域生长方法对图 3 中的一幅风景照进行图像分割, 分割的结果见如图 4 所示. 从图 4 中可以看出, 通过图像分割找到了图像中的主要对象: 左上角的蓝天、中间的房子、下方的浅色草地和深色树木. 图 4 中的白色部分由若干面积 $\rho < 1\%$ 的次要对象组成, 图中虽没有画出但这并不影响判断整幅图像的内容. 因此, 一幅图像的内容可以近似地看做是由图像分割成的这些主要对象组成.



Fig.3 A landscape image

图 3 一幅风景图像



Fig.4 The segmentation result

图 4 分割结果

使用文中基于颜色-空间特征的方法, 我们进行了基于内容的图像检索实验. 使用的 Corel 图像数据库内容包括: 雕像、工具、人物、建筑、体育、花朵、餐具、自然风景等 10 000 张图片, 将图像的特征预先计算好并保存在数据库中. 由于图像中存在多个对象, 每个对象含有多个特征, 因此权值 w_r, W_i 的设置比较重要. 实验中默认权值初值为 $w_r=1/3, r=1, 2, 3; \sigma_1=0.33, \sigma_2=0.5, \sigma_3=0.33, W_i=\rho_i, i=1, 2, \dots, m$. 如图 5 所示, 我们使用左上角的同一幅图像进行检索, 在传统的颜色直方图检索方法中, 前 12 幅图的正确率为 40%; 基于颜色-空间特征的检索方法(如

图 6 所示),前 12 幅图的正确率为 83%.基于颜色-空间特征的方法返回了在图像颜色空间分布上更为相似的图像,比颜色直方图方法明显地提高了检索精度.

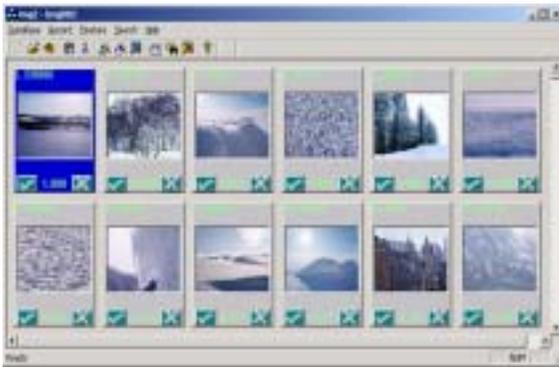


Fig.5 Color histogram based retrieval results

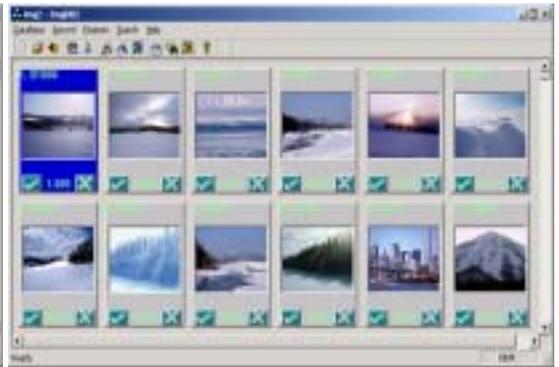


Fig.6 Color-Spatial feature based retrieval results

图 5 基于颜色直方图特征的检索结果

图 6 基于颜色-空间特征的检索结果

在关于基于颜色-空间特征的检索方法中具有许多灵活可调的参数,如:设置查询样本图像中每个主要对象的重要程度 W_i ,每个对象的颜色、位置、形状等各特征的重要程度 w_r 等,因此在检索时可以为用户提供更大的查询灵活性,可以使用户更加准确地表达所要查询图像的内容,从而进一步提高查询的精度.我们在查询界面中让用户指定要查询的图像,然后由用户在该图像的分割结果中指定主要对象的感兴趣程度,并给出其相应的颜色、位置和形状特征的重要程度(不重要、重要、很重要),最后由计算机根据人给出的重要程度计算各特征的权重,进行检索.以查询一幅白色雕像为例进行实验,用户将中间白色雕像部分设为很重要,检索结果如图 7 所示.其中前 14 幅图的正确率为 100%,前 20 幅图的正确率为 94%.



Fig.7 The retrieval results by user increasing the weight of the white sculpture object

图 7 用户增加白色雕像的重要程度后进行检索的结果

3 结束语

基于颜色-空间特征的图像检索方法,通过图像分割利用图像中物体的颜色、位置和形状等特征进行检索.实验表明,当图像中有明显物体出现时,该方法使用比颜色直方图少得多的 $8 \times m$ 个特征在有效减少特征存储空间的同时,更准确地返回了用户所需内容的图像.并且该方法通过调整对象特征的权值,可以让用户更加准确地表达所要查询内容的感兴趣程度,从而进一步提高查询的精度.任何物体的特征是多方面的,一种特征只能适用于相应的特殊情况,因此很难由单一的某种特征把物体从其他大量容易混淆的物体中识别出来.文中我们给出了基于颜色-空间特征比较有效的一种检索方法,要想提高 CBIR 的检索精度,应当使用多个特征(如颜色、纹理、形状、拓扑和语义等特征)和基于人机交互的相关反馈技术,调整相似度模型参数,以更加准确地描述图像的内容特征和用户的查询条件,从而进一步提高基于内容图像检索的精度.

References:

- [1] Swain, M.J., Ballard, D.H. Color indexing. *International Journal of Computer Vision*, 1991,7(1):11~32.
- [2] Stricker, M., Orengo, M. Similarity of color images. In: Niblack, W.R., Reeds, J., eds. *Proceedings of the SPIE2420, Storage and Retrieval for Image and Video Database III*. San Jose, CA: SPIE, 1995. 381~392.
- [3] Liu, Zhong-wei. Color image retrieval using local accumulative histogram. *Journal of image and graphics*, 1998,3(7):533~537 (in Chinese).
- [4] Androustos, D.A. Novel vector-based approach to color image retrieval using a vector angular-based distance measure. *Computer Vision and Image Understanding*, 1999,75(1/2):46~58.
- [5] Pass, G., Zabih, R. Histogram refinement for content-based image retrieval. In: *Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'96)*. Sarasota: IEEE Computer Society, 1996. 96~102.
- [6] Huang, J. Image indexing using color correlograms. In: *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. San Juan: IEEE Computer Society, 1997. 762~768.
- [7] Messer, K., Kittler, J. A region based image database system using color and texture. *Pattern Recognition Letters* 1999,20:1323~1330.
- [8] Kam, A.H., Content based image retrieval through object extraction and querying. In: *Proceedings of the IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries*. Hilton Head Island: IEEE Computer Society, 2000. 91~95.
- [9] Bian, Zhao-qi. *Pattern Recognition*. Beijing: Tsinghua University Press, 1986. 262~263 (in Chinese).
- [10] Pavlidis, T., Liow, Y.T. Integrating region growing and edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990,12(3):225~133.
- [11] Leu, J.G. Computing a shape moments from its boundary. *Pattern Recognition*, 1991,24(10):949~957.

附中文参考文献:

- [3] 刘忠伟.利用局部累加直方图进行彩色图像检索. *中国图像图形学报*, 1998,3(7):533~537.
- [9] 边肇祺. *模式识别*. 北京:清华大学出版社, 1986. 262~263.

Image Retrieval Based on Color-Spatial Feature*

WANG Tao, HU Shi-min, SUN Jia-guang

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

E-mail: wangtao@ncc.cs.tsinghua.edu.cn

http://ncc.cs.tsinghua.edu.cn

Abstract: The color histogram based image retrieval method is simple and efficient but losing the spatial distribution information of the color. In this paper, a color-space feature based image retrieval method is presented. The content of one image is looked as the aggregation of some main objects, which can be obtained by image segmentation. The total similarity between two images is computed according to these main objects' color, location and shape features and then retrieval there images. The experimental results show that the method is more accurate and efficient in retrieving the user interested images than color histogram method when there are obvious objects in the image.

Key words: content based image retrieval (CBIR); HSV color model; image segmentation; image similarity

* Received December 12, 2000; accepted March 9, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69902004; the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.1998030600