

基于聚类主颜色和边缘直方图的图像检索方法

任平红, 陈 鑫

(山东曲阜师范大学 计算机科学学院, 山东 日照 276826)

摘 要:图像的主颜色被广泛应用于图像检索中,但主颜色不能反映图像信息的空间分布。边缘直方图是在灰度图像上提取的,丢弃了图像的颜色信息。提出了一种综合利用聚类主颜色和边缘信息进行图像检索的方法。首先利用K均值聚类算法得到图像的主颜色,然后利用大津算法分割图像,利用Sobel算子提取目标和背景之间的显著的边缘特征信息构造边缘直方图,最后综合利用聚类主颜色和边缘直方图进行检索。既可以利用主色调信息,又能利用边缘的特征信息来反映图像信息的空间分布。实验结果表明,该方法可以有效地提高检索精度。

关键词:聚类主颜色;边缘检测;特征归一化;图像检索

中图分类号:TP391.3

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)03-0142-04

A Method of Image Retrieval Based on Clustered Domain Colors and Edge Histogram

REN Ping-hong, CHEN Chu

(College of Computer Science, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China)

Abstract: Domain colors of images are widely applied to image retrieval, but domain colors can not reflect spatial distribution of images' information. Edge histogram is extracted from gray images and discards color information of images. A new image retrieval method which uses clustered domain colors and edge information synthetically is put forward. First, domain colors of images are got by K-means clustering algorithm. Second, images are segmented by Otsu algorithm and edge histogram is constructed by using marked edge characteristic information between target and background which is extracted by Sobel operator. Third, retrieval is carried out by using clustered domain colors and edge histogram synthetically. Not only information of domain colors is used, but also characteristic information which reflects spatial distribution of images' information is used. The results of experiments show that this method can improve the precision of retrieval efficiently.

Key words: clustered domain colors; edge detection; features normalization; image retrieval

0 引言

随着多媒体技术和网络技术的迅速发展,准确地从海量数据中检索到用户需要的图像信息已成为亟待解决的问题。基于内容的图像检索(Content-Based Image Retrieval)是一种很有效的图像检索方式,它是指利用图像的颜色、形状、纹理等低层视觉特征进行图像检索。CBIR已成为多媒体检索研究的热点之一。

颜色是CBIR中最常用的特征,基于颜色的图像检索最常用的方法是颜色直方图。相对于几何特征来说,颜色直方图具有旋转不变性和缩放不变性。它所描述的是不同色彩在整幅图像中所占的比例,而并不

关心每种色彩所处的空间位置,即无法描述图像中的对象或物体的空间信息。并且颜色直方图的维数一般比较高,特征的提取和匹配的计算量比较大。采用聚类算法得到的聚类主颜色可以反映一幅图像的基本色调,并且可以降低颜色直方图的维数,减少计算量,也是CBIR中常用的方法^[1]。但是聚类主颜色同样不能反映图像信息的空间分布,具有相似的聚类主颜色的两幅图像可能在视觉上完全不相似。

边缘是图像中具有不同灰度等级的两个区域之间的边界,是图像最基本的特征,但是一直没有得到应有的关注^[2]。基于边缘特征的检索一般先通过边缘检测确定图像的边缘像素点,然后再利用某种边缘特征表达方法统计边缘像素点的特征信息。边缘直方图是一种比较常用并且简单的方法^[3]。但是由于边缘直方图是基于灰度图像的,丢弃了图像的颜色信息,因此适用于检索灰度图像。而且由于某些细微的边缘对相似性判断的影响并不大,如果灰度图像的全部边缘信息都

收稿日期:2010-07-18;修回日期:2010-10-17

基金项目:山东省优秀中青年科学家奖励基金(2005BS01016)

作者简介:任平红(1980-),女,山东德州人,讲师,硕士,研究方向为计算机图形图像处理、算法。

参与匹配,在一定程度上会影响检索效果。

基于以上原因,文中提出了一种综合利用聚类主颜色和改进的边缘直方图的图像检索方法。该方法首先利用K均值聚类算法得到图像的主颜色直方图,然后利用大津算法^[4]分割图像,消除细微的、对视觉影响不明显的边缘对检索结果的影响,利用Sobel算子进行边缘检测得到图像的目标和背景之间的显著的边缘像素点的特征信息,并构造边缘直方图,最后将两种不同的图像特征进行外部归一化,利用直方图相交算子^[5]进行特征匹配。实验结果表明,综合聚类主颜色和改进的边缘直方图的检索结果的查准率和查全率优于单种图像特征。

1 聚类主颜色的特征提取

主色调可以反映一幅图像的基本面貌,由于欧几里德距离和视觉差成正比,HSV颜色空间适用于人眼的视觉匹配。因此,使用K均值聚类算法得到原图像的几种主颜色,转化至HSV颜色空间,并用直方图表示主颜色信息。这样可以使直方图信息在视觉上与原图像相似,并且颜色较少,可以大大地降低计算量,加快检索的速度。

K均值聚类算法的基本思想是把待聚类的对象划分成 k 个类,其中聚类的个数 k 可由用户指定。然后通过迭代调整对象所属的类,当各个聚类中的对象收敛到不再发生变化时,聚类结束。颜色聚类算法以量化点颜色为轴心,把与该颜色相似的归并到这一类。聚类算法的关键是轴心点的选择,将直接影响到检索结果的精度^[6]。按照人的视觉分辨能力和对HSV颜色模型的大量分析,经过反复的实验,文中选择九种颜色作为主颜色:red(255,0,0);orange(255,180,90);yellow(255,255,0);green(0,255,0);cyan(0,255,255);blue(0,0,255);purple(255,0,255);black(0,0,0);white(255,255,255)。

以这九种颜色作为主色调,由RGB颜色空间转化到适合视觉匹配的HSV颜色空间,记做 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_9$,作为初始聚类中心,其余颜色都与其聚类。

假设已经进行了若干次迭代,若对某像素 x 有 $|x - M_i| < |x - M_j|$,则 $x \in R_i$ 是以 M_i 为聚类中心的样品集。其中,

$$|x - M_i| =$$

$$\sqrt{(H_x - H_{M_i})^2 + (S_x - S_{M_i})^2 + (V_x - V_{M_i})^2},$$

表示两个像素点在HSV颜色空间中的距离。统计样品集 R_1, R_2, \dots, R_9 中所包含的样品数 s_1, s_2, \dots, s_9 ,计算其概率 p_1, p_2, \dots, p_9 。

一般情况下,一幅图像不可能同时具有九种主色

调,所以概率值大于概率均值的主色调才参与匹配。计算样品数 s_1, s_2, \dots, s_9 的均值 u_s ,将 $s_i \geq u_s$ 的样品数表示成一维直方图 $S[1 \cdots N]$ ($N \leq 9$);计算概率 p_1, p_2, \dots, p_9 的均值 u_p ,将 $p_i \geq u_p$ 的概率表示成一维直方图 $P[1 \cdots N]$ ($N \leq 9$)。 $P[1 \cdots N]$ 作为图像的聚类主颜色特征进行匹配。

2 边缘特征的提取

仅利用聚类颜色进行匹配无法反映图像信息的空间分布,因此在检索算法中引入边缘信息。边缘是图像最基本的特征,指的是图像中具有不同灰度等级的两个区域之间的边界,它广泛存在于目标和背景之间,目标与目标之间。边缘检测的方法很多,比较常用的有微分法和小波分析法。在实际应用中,边缘检测是作为一个局部滤波运算完成的。微分算法是一种经典的边缘检测算法,也是最基本的算法。微分算子在图像灰度等级迅速变化的像素点处会得到较高的值,因此,这类算子可以作为边缘检测器,它在某一点的值代表该点的边缘强度。微分算子包括一阶微分算子和二阶微分算子。梯度对应于一阶导数,梯度算子是一种一阶微分算子。对于连续的图像函数 $f(x, y)$,它在位置 (x, y) 处的梯度可以表示为一个矢量(其中 G_x 和 G_y 是分别沿 x 方向和 y 方向的偏导数):

$$\nabla f(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

根据数字图像的特点,通常采用差分代替微分,则梯度的近似表达式为:

$$\nabla f(x, y) = (f(x, y) - f(x+1, y), f(x, y) - f(x, y+1))^T \quad (2)$$

这个矢量的幅度和方向角分别为:

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$\varphi(x, y) = \arctan(G_x/G_y) \quad (4)$$

梯度算子法是一种简单、重要和实用的边缘检测方法。应用对水平方向、垂直方向或对角线方向的梯度敏感的某种梯度算子,用它们的复合结果可以检测任意方向的边界。

如果将彩色图像转化成灰度图像,直接进行边缘提取,那么图像中所有的边缘都会参与运算,包括目标内部和背景内部的细微的边缘,它们对视觉的影响不明显,这将会导致检索精度降低。因此,在求出所有像素点梯度的幅度值后,可以根据一定的先验知识确定一个梯度阈值 T ,梯度幅度大于该阈值的点就认为是可能的边界点,但 T 值的确定是个难题。由于噪声的影响,也可能存在一些孤立的噪声点,它的梯度值特别高。

为了剔除细微的边缘,可先对图像进行分割,然后

再进行边缘信息的提取。大津算法,也称为最大类间方差法,是 Otsu 在 1979 年提出的方法,一直被公认为是最优的阈值自动选取方法。此方法计算简单,并且在一定的前提条件下不会因图像的对比度与亮度的变化而影响分割结果,因此,在实时的图像处理系统中得到了非常广泛的应用。对于一幅待分割的图像,大津算法依据目标部分和背景部分的灰度分布方差来决定最优的分割阈值。灰度方差是灰度分布均匀性的一种衡量方法,构成图像的各部分之间的方差称为类间方差。类间方差越小,说明各部分之间的差别越小;方差越大,说明各部分之间的差别越大。当目标的局部被错分为背景或背景的局部被错分为目标时,都会使类间方差变小。因此,当目标部分和背景部分的灰度分布方差取最大值时,可以得到最优的分割阈值,同时也意味着错分概率最小^[7]。

文中首先利用大津算法得到图像的最优分割阈值,然后把图像分割成目标部分和背景部分,并转化成黑白图像,以此来消除目标内部或背景内部的细微边缘,这部分边缘对视觉特性的影响不明显。目标和背景之间的比较明显的边缘可以保留下来,这部分边缘正是视觉敏感,对检索结果影响较大的边缘。再利用 Sobel 算子^[8],进行边缘检测得到 dx 和 dy :

$$\begin{aligned} dx &= f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) \\ &\quad - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \\ dy &= -f(x-1, y-1) + f(x+1, y-1) - 2f(x-1, y) \\ &\quad + 2f(x+1, y) - f(x-1, y+1) + f(x+1, y+1) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{计算边缘方向: } \theta(x, y) = \arctan(dx/dy) \quad (6)$$

利用下列公式把 $\theta(x, y)$ 由弧度转化成度,并从 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 转化到 $[0^\circ, 180^\circ]$:

$$\theta(x, y) = \theta(x, y) \times 180/\pi + 90 \quad (7)$$

为了减少计算量和简化表达,可以减少边缘直方图的柄数,把 $\theta(x, y)$ 线性量化到 $[0^\circ, 36^\circ]$ 。用直方图统计边缘方向值 θ 并归一化,得到边缘直方图 H , H 可作为图像的边缘特征参与匹配。

3 特征向量归一化和相似性度量

特征向量的归一化一般分为内部归一化和外部归一化。在图像的某种特征向量表示法中,内部各分量可能代表同一特征的不同的物理意义,为了使各分量的匹配地位相同,需要对向量进行内部归一化以使它们具有可比性。组合多种特征进行检索时,由于各种特征所表示的物理意义不同,而且各自的取值范围也可能不同,不直接具有可比性,所以应对各种特征向量进行外部归一化。文中进行匹配的特征包括图像的聚类主颜色和边缘信息,所以需要使用外部归一化。特

征向量的外部归一化实际上是对图像之间的相似距离进行归一化^[9],其基本步骤如下:

(1) 按照某种特征向量的匹配方法计算图像库中每两幅图像间的相似距离:

$$D(i, j) = \text{distance}(F_i, F_j), i, j = 1, 2, \dots, N \text{ 且 } i \neq j \quad (8)$$

其中 F_i, F_j 为图像 I_i, I_j 的特征向量;

(2) 计算由(1)得到的 $N(N-1)/2$ 个距离值的均值 m 和方差 σ ;

(3) 对待查询图像 P , 计算其与图像库中的每幅图像的相似距离,记为 $D_i, i = 1, 2, \dots, N$;

(4) 对 $D_i, i = 1, 2, \dots, N$, 利用高斯归一化进行内部归一化,然后再作线性变换得到归一化的距离:

$$G_i = \left(\frac{D_i - m}{3\sigma} + 1 \right) / 2 \quad (9)$$

颜色特征采用聚类得到的九种主颜色的频率组成的 9 柄一维直方图,边缘特征采用改进的边缘直方图。假设有两幅图像,先用聚类主颜色特征进行匹配,得到图像之间的颜色特征的相似度,记为 D_c ; 然后用改进的边缘直方图进行检索,得到图像之间的边缘特征的相似度,记为 D_e , 则组合颜色和边缘进行查询,两幅图像之间的相似度为:

$$D(P, Q) = \omega_c \times D_c + \omega_e \times D_e \quad (\omega_c + \omega_e = 1)$$

其中, ω_c 为聚类主颜色特征的权值, ω_e 为边缘特征的权值。

4 试验结果和性能评价

在早期的基于内容的图像检索系统中,一般以查准率和查全率来评价系统的检索性能。一般情况下,根据样本图像进行检索时, CBIR 系统返回给用户一个基于相似度的排序结果,还可以采用前 N 个结果中的正确率 $P_N^{[10,11]}$ 来反映系统的检索性能。

对于一次以 $r_i \in R$ 为样本的检索匹配过程, R 为具有某种特定语义的图像集合,系统返回的前 N 个检索结果为 $P_j, j = 1, \dots, N$, 则前 N 个检索结果中的正确率 $P_N(r_i)$ 定义为:

$$P_N(r_i) = \sum_{k=1}^N \frac{\Psi(p_k, R)}{N} \quad (10)$$

$$\text{其中, } \Psi(p_k, R) = \begin{cases} 1, & \text{if } p_k \in R \\ 0, & \text{if } p_k \notin R \end{cases}, \text{ 对于所有的测试}$$

样本图像进行检索,得到的平均正确率定义为:

$$P_N = \frac{\sum_{i=1}^{\text{Total-Query-Count}} (P_N(r_i))}{\text{Total-Query-Count}} \quad (11)$$

平均正确率可以反映检索返回的前 N 个结果中的正确图像所占的比例。

前 N 个结果的查全率定义为:

$$R_N(r_i) = \sum_{k=1}^N \frac{\Psi(p_k, R)}{\|R\|} \quad (12)$$

其中 $\|R\|$ 表示具有特定语义的图像集合 R 所含的图像总数,那么对于所有的测试样本图像进行检索,得到的平均查全率定义为:

$$R_N = \frac{\sum_{i=1}^{\text{Total-Query-Count}} (R_N(r_i))}{\text{Total-Query-Count}} \quad (13)$$

平均查全率可以反映返回的前 N 个结果中正确的图像数占整个图像库中的所有的相关图像总数的比例。使用前 N 个结果中的正确率和查全率可以更全面地反映系统的检索性能。

为了验证本检索算法的有效性,基于 C# 和 SQL Server 实现了检索系统 IRS^[12],图像数据库中存储了 1000 幅颜色丰富的各类花卉图像,以某样本图像进行检索的前 N ($N = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$) 个结果的正确率和查全率如图 1 和图 2 所示。

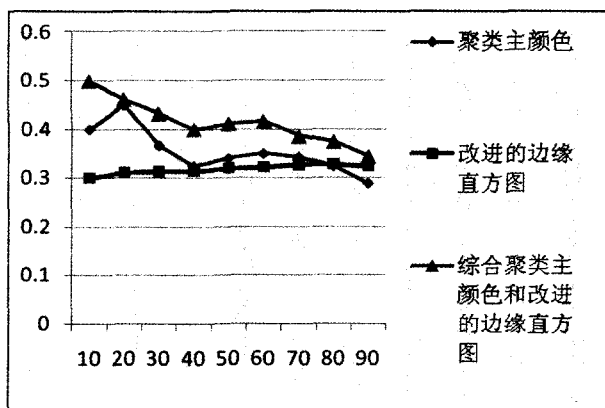


图 1 前 N 个结果的正确率

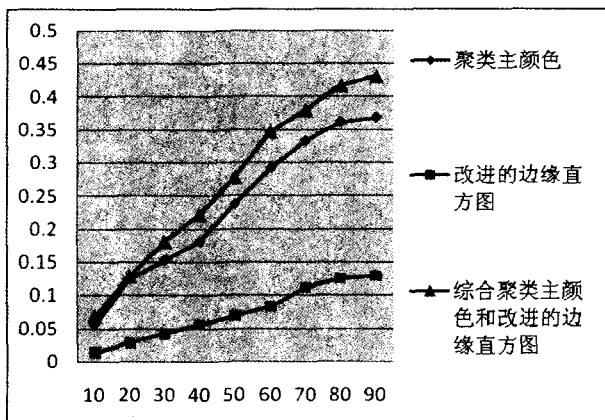


图 2 前 N 个结果的查全率

是非常有效的,文中选择的九种主色调包括了大多数经常见到的颜色。为了克服聚类主颜色无法表示图像颜色信息的空间分布的缺点,在聚类主颜色的基础上,选用大津算法对图像进行分割,提取图像的目标和背景之间的显著的边缘,构造边缘直方图参与图像的特征匹配,实验结果表明综合利用聚类主颜色和边缘直方图的检索效果优于利用单种图像特征的检索效果。

但事实上,确实有些彩色图像即使存在明显的主色调,也不一定与选定的九种颜色值相近。因此,在选择主色调时,还可以由用户根据实际情况用其它一种或几种颜色代替初始聚类所选用的颜色,针对用户选定的主色进行聚类 and 检索。此外,还可以根据用户的需要对九种不同的主颜色赋予不同的权值,来突出某些主颜色的重要性,从而改善检索效果。

参考文献:

- [1] 黄 诚,王国营.一种基于颜色聚合向量的图像检索方法[J].计算机工程,2006(1):194-196.
- [2] 杨 冉,卢朝阳.基于边缘特征的图像检索[J].微机发展(现更名:计算机技术与发展),2005,15(1):24-26.
- [3] 罗 彬,游志胜,曹 刚.基于边缘直方图的快速汽车标志识别方法[J].计算机应用研究,2004(6):150-151.
- [4] Ostu N A. Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms[J]. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, 1979,9(1):62-66.
- [5] Swain M L, Ballard D H. Color indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991,7(1):11-32.
- [6] 刘相滨,邹北骥.一种新的颜色聚类算法及其图像检索[J].计算机工程与应用,2001(13):126-128.
- [7] 付忠良.图像阈值选取方法--Otsu 方法的推广[J].计算机应用,2000,20(5):37-39.
- [8] 朱同林,彭嘉雄,吕铁英.基于左右导数算子类的边缘提取[J].红外与激光工程,1999,28(5):35-38.
- [9] 刘忠伟,章毓晋.基于特征的图像查询和检索系统[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(1):69-76.
- [10] Ioka M. A method of defining the similarity of image on the basis of color information[R]. November: BM Research, Tokyo Research Laboratory, 1989.
- [11] Liu W Y, Su Z, Li S, et al. A performance evaluation protocol for content based image retrieval algorithm[C]//CD-ROM of IEEE CVPR Workshop on Empirical Evaluation Methods in Computer Vision. Kauai, Hawaii, USA: IEEE CS Press, 2001.
- [12] 闫乐林,亓莱滨,蔡平胜.一种基于内容的图像检索系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2008,18(1):205-208.

5 结束语

使用聚类主颜色的方法检索颜色丰富的彩色图像