

一种用于图象检索的综合模糊直方图方法

何 恒 余英林

(华南理工大学电子与通讯工程系, 广州 510641)

摘 要 随着多媒体技术的迅速发展,如今虽然在高带宽计算机网络上已能共享传播图象数据,但这也使得信息交换中的可视数据量急剧增加,同时给研究者们提出了有效检索图象的难题.为了能够快速准确地检索图象,提出了一种用综合模糊直方图进行图象检索的方法.该方法综合使用了颜色和纹理特征,首先将图象分块处理,得到图象在HSI空间的色度模糊直方图,然后用纹理特征对色度模糊直方图进行扩展,从而得到综合模糊直方图,同时还给出了抽取图象颜色和纹理特征的方法和建立图象综合模糊直方图的计算过程,并用上述方法对一个200幅彩色图象的图象库进行检索.实验结果表明,使用综合模糊直方图能有效地提高图象检索的准确度.

关键词 模糊直方图 图象检索 隶属度函数 颜色 纹理

中图法分类号: TN919.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)07-0694-05

Image Retrieval Using Combined Fuzzy Histogram

HE Heng, YU Ying-lin

(Dept. of Electronic and Comm. Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640)

Abstract The rapid development in multimedia technology and the possibility of sharing and distributing image data through large bandwidth computer networks have contributed to an increase of visual data in the global information exchange but also posed a tough task of retrieving image efficiently before researchers. In this paper, an approach of image retrieval using combined fuzzy histogram is proposed. The proposed approach uses combined color and texture features in this way: we first get the color fuzzy histogram in HSI color space in a bulk processing manner, then we use the texture features to expand the color fuzzy histogram and get the combined fuzzy histogram. In particular, the method of extracting color features and texture features of image and the computation process of constructing combined fuzzy histogram is introduced. Experimental results of this approach on an image library consisting of 200 color images are presented to indicate the good performance of the proposed approach.

Keywords Fuzzy histogram, Image retrieval, Membership function, Color, Texture

0 引 言

随着信息化社会的到来及信息高速公路计划的实施,人们越来越多地接触到大量的图象信息.每天都有大量的图象信息在不断地产生(如卫星、医疗、安全等部门),这些信息的有效组织和快速准确检索便成为人们急待研究的课题,而基于内容的图象检索技术便是解决这一问题的关键.

近年来在图象检索领域的研究出现了很多新的研究成果,这些研究大都有一个共同的特点,就是都应用现有的各种工具和方法,如小波分析^[1,2],概率论框架^[3,4],模糊理论^[5]等,再综合利用图象的多种特征来进行检索.这其中,将模糊理论应用到图象检索中是一种较新的研究方法.大家知道,基于内容的图象检索其主要思想就是通过测度图象的特征来进行相似度的匹配,而“相似”本身就是一个模糊的概念,因为它和人的主观感觉相关,而且“相似”和“不

基金项目:国家自然科学基金(69772026)及广东省自然科学基金资助

收稿日期:2001-01-15;改回日期:2001-05-10

相似”之间的界限难以划定。模糊数学是20世纪60年代中期适应研究模糊现象定量处理方法的需要而发展起来的,它适用于描述具有模糊性的复杂现实对象,因此用模糊数学的方法来研究图象检索是很有针对性的。

Anastasios等在文献[5]中提出了基于视觉内容的模糊表示方法,即采用图象的模糊直方图作为视频摘要及关键帧自动提取的基础,这种方法先对图象进行分割,然后计算分割出来的各部分对各种模式的隶属度函数,再建立模糊度直方图并将其作为特征向量。由于该方法结合图象分割,对图象进行了预处理,因此这种方法对以平滑区域为主的图象检索效果较好,但对含较多纹理区域的图象检索效果就不太理想。本文提出的方法在模糊直方图中引入了图象的纹理特征,用块处理代替了文献[5]中的图象分割。实验结果表明,改进后的方法对平滑图象和纹理图象都能得到较好的检索效果。

1 综合模糊直方图的获取

为了避免将两个相似的图象块归入不同的类别,而导致错误的比较,给出一个图象块对于多个类

别的隶属度,也就是一种基于模糊的分类方法。这样,每一个图象块就以不同的隶属度从属于多个或所有的类别,从而形成一个模糊多维直方图。在传统的分类中,各个元素只能被归入一个类别,如果两个相似的元素位于靠近分类的边界,则这两个元素有可能被划分到不同的类别中去;而在模糊分类方法中,这样的两个元素只会在各个类别的隶属度上有细微的差别。

为了清楚地解释模糊分类方法,首先考虑只有一个特征 s 的情况。不失一般性,进一步假设 s 在区间 $[0,1]$ 中取值,并用 Q 个隶属度函数 $\mu_n(s)$, $n=1,2,\dots,Q$,将其分为 Q 类。函数 $\mu_n(s)$ 表示 s 在第 n 类中的隶属度,而且 $\mu_n(s)$ 取值的大小表征着将此特征 s 划归第 n 类的适当程度。另外,类别数和隶属度函数的形状可以多种多样,这主要取决于所要解决的具体问题。图1是各种隶属度函数图形,其中,图1(a)所示的是最简单的三角形隶属度函数;图1(b)表示的是高斯隶属度函数及其与三角形隶属度函数的比较,高斯函数的位置和形状可以根据需要进行调解;图1(c)表示的是两个不同参数的梯形隶属度函数。图1表示的是类别数 $Q=3$ 的情况。

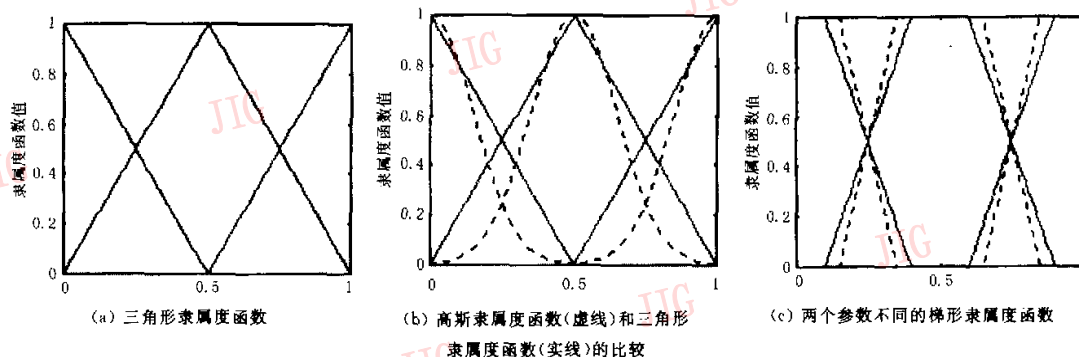


图1 各种隶属度函数

假定将整幅图象分为 K 个小块。为了得到模糊直方图,首先要计算各个小块的特征向量 s_i ($i=1,2,\dots,K$),对于所有 Q 个类别的隶属度;然后计算整幅图象对于各个类别的隶属度,从而得到模糊直方图 $H(n)$

$$H(n) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \mu_n(s_i), n=1,2,\dots,Q \quad (1)$$

为解释上式,下面给出一个简单的数值例子。假设采用的单个特征为亮度值。将图象分为左右两个

矩形块,即 $K=2$;亮度值仅分为高、低两类,即 $Q=2$ 。设图象左右两块的亮度值分别为0.32和0.97(在 $[0,1]$ 内归一化后的值),即 $s_1=0.32, s_2=0.97$,这样,对于亮度特征不同的两类,有不同的隶属度函数 $\mu_1(s_i)$ 和 $\mu_2(s_i)$,设

$$\begin{aligned} \mu_1(s_1) &= \mu_1(0.32) = 0.27 \\ \mu_1(s_2) &= \mu_1(0.97) = 0.98 \\ \mu_2(s_1) &= \mu_2(0.32) = 0.76 \\ \mu_2(s_2) &= \mu_2(0.97) = 0.05 \end{aligned}$$

由式(1)可得

图象对于高亮度类的隶属度

$$H(1) = (0.278 + 0.98) / 2 = 0.625$$

图象对于低亮度类的隶属度

$$H(2) = (0.76 + 0.05) / 2 = 0.4095$$

此幅图象的模糊直方向量大小为 2×1 ,

$$[H(1) \ H(2)]^T = [0.625 \ 0.4095]^T.$$

综合使用颜色和纹理特征进行检索时,颜色和纹理两种特征的操作方法是不同的.

对于颜色特征,先将图象分割成规则的方块,并对每个方块的颜色分量取平均,再计算各个方块对所有类别的隶属度,然后由式(1)来综合得到整幅图象对各颜色类别的隶属度.但这时得到的仅是与图象的颜色特征有关的模糊直方图.图象的纹理特征是通过整幅图象进行处理得到灰度共生矩阵以后才抽取出来的.颜色和纹理综合的模糊直方图是用纹理特征对颜色模糊直方图进行扩展得到的.

(1) 颜色模糊度直方图的获取

设图象被分为 K 个方块,其颜色特征数为 L' ,则每个方块的颜色特征向量为一个 $L' \times 1$ 的向量,第 i 个方块的颜色特征向量 $s_i = [s_{i,1} s_{i,2} \dots s_{i,L'}]^T$, $s_{i,j}$ 对应于第 i 方块的第 j 个颜色特征值.各个颜色特征被分为 Q_j 类,即对于第 j 个颜色特征值有 Q_j 个隶属度函数 $\mu_{n_j}(s_{i,j})$, $n_j = 1, 2, \dots, Q_j$, $\mu_{n_j}(s_{i,j})$ 表示第 i 方块的第 j 个颜色特征值 $s_{i,j}$ 对第 n_j 类的隶属度.这样,颜色特征向量 s_i 各分量 $s_{i,j}$ 的隶属度 $\mu_{n_j}(s_{i,j})$ 的乘积就定义了向量 s_i 对 L' 维类别 $n = [n_1 n_2 \dots n_{L'}]^T$ 的隶属度, $n = [n_1 n_2 \dots n_{L'}]^T$ 中的各分量表示 s_i 各分量 $s_{i,j}$ 所属的类别.

$$\mu_n(s_i) = \prod_{j=1}^{L'} \mu_{n_j}(s_{i,j}) \quad (2)$$

综合整幅图象的所有方块,即可由式(1)得到图象的多维颜色模糊度直方图

$$H^c(n) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \mu_n(s_i) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \prod_{j=1}^{L'} \mu_{n_j}(s_{i,j}) \quad (3)$$

由于各个颜色特征被分为 Q_j 类,因此颜色类别的总数为 $Q_c = \prod_{j=1}^{L'} Q_j$, 这样由式(3)即可得到一幅图象的 Q_c 维颜色模糊度直方图.

(2) 综合特征模糊直方图的获取

颜色模糊直方图是在图象分块处理的基础上得到的,而纹理特征则是通过对整幅图象进行分析得到的,所以纹理特征的引入要在计算出颜色模糊度直方

图以后,用纹理特征对颜色模糊度直方图进行扩展,这样就得到综合特征的模糊度直方图.

同样,假设纹理特征数为 L' ,则一幅图象的纹理特征向量为一个 $L' \times 1$ 的向量,图象的纹理特征向量 $t = [t_1 t_2 \dots t_{L'}]^T$, t_k 对应于图象的第 k 个纹理特征值.各个纹理特征被分为 Q_k 类,对于第 k 个纹理特征值有 Q_k 个隶属度函数 $\mu_{n_k}(t_k)$, $n_k = 1, 2, \dots, Q_k$, $\mu_{n_k}(t_k)$ 表示第 k 个纹理特征值 t_k 对第 n_k 类的隶属度,然后用类似于式(2)的方法,就可以用纹理特征来对颜色模糊度直方图进行扩展,从而得到综合特征的模糊度直方图

$$H(n) = \prod_{k=0}^{L'} \mu_{n_k}(t_k) \quad (4)$$

式中 k 的计数从 0 开始,正是为了用统一的形式对颜色模糊度直方图进行扩展,式中 $\mu_{n_k}(t_0) = H^c(n_0)$, $n_0 = 1, 2, \dots, Q_c$,即用 t_0 表示颜色特征,显然 t_0 的类别数 $Q_0 = Q_c$.当 $k = 1, 2, \dots, L'$ 时, $\mu_{n_k}(t_k)$ 表示各纹理特征对各类别的隶属度.

$H(n)$ 可以看作是整幅图象对类别 n 的隶属度,设 $Q_i = \prod_{k=1}^{L'} Q_k$, 则有类别总数 $Q = Q_c Q_i$, 即综合模糊直方图的维数为 $Q = Q_c Q_i$.

综上所述,现将获取综合模糊度直方图的算法概述如下:

- (1) 将图象分割成 8×8 的方块,对每个方块的颜色 R, G, B 值取平均.
- (2) 将各方块的颜色 R, G, B 均值映射到 HSI 空间.
- (3) 对 H, S, I 的每个分量进行适当类别的划分,并分别计算各个方块对每个分量中所有类别的隶属度.
- (4) 由式(3)计算颜色模糊直方图.
- (5) 用下节所述方法提取图象的纹理特征.
- (6) 由式(4),用纹理特征对颜色模糊度直方图进行扩展,从而得到综合模糊度直方图.

2 颜色和纹理特征的提取

在颜色空间的选取上,选用 HSI 空间.大家知道,HSI 空间由色度 H 、饱和度 S 和亮度 I 3 个分量组成,它与人的视觉特性比较接近.其中,色度 H 表示不同颜色,如黄、红、绿;而饱和度 S 表示颜色的深浅如深红、浅红;亮度 I 表示颜色的明暗程度,主

要受光源强弱影响。显然,从人的心理感知来说,HSI 空间要比 RGB 空间更直观,更容易接受。

在进行特征提取时,先将图象分成 8×8 的方块,并分别计算各个方块的平均 R, G, B 值,然后将 R, G, B 值映射到 HSI 空间。将由 H, S, I 各分量组成的三维向量值,作为此方块的颜色特征向量。按照上一节所述的方法可以得到整幅图象的颜色模糊度直方图。

这里,图象的纹理特征用空间灰度共现矩阵的特征参量来表示。空间灰度共现矩阵方法是建立在估计图象的二阶组合条件概率密度函数基础上的。这个方法已有了较长的研究历史,也是人们公认的一种重要的纹理分析方法。关于空间灰度共现矩阵的定义和基本原理可以参阅文献[7]。

由灰度层共现矩阵可以计算出一组参数,以用来定量描述纹理特性。下面的 4 种是比较常用的参数:

(1) 能量

$$E(d, \theta) = \sum_{i,j} \{P(i, j|d, \theta)\}^2$$

(2) 熵

$$H(d, \theta) = - \sum_{i,j} \{P(i, j|d, \theta)\} \log \{P(i, j|d, \theta)\}$$

(3) 惯性矩

$$I(d, \theta) = \sum_{i,j} (i - j)^2 P(i, j|d, \theta)$$

(4) 相关

$$C(d, \theta) = \frac{\sum_{i,j} (i - \mu_x)(j - \mu_y) P(i, j|d, \theta)}{\sigma_x \sigma_y}$$

其中, d, θ 分别为灰度共现矩阵所描述的象元距离和方向, $P(i, j|d, \theta)$ 为灰度共现矩阵的元素。

$$\mu_x = \sum_i i \sum_j P(i, j|d, \theta)$$

$$\mu_y = \sum_j j \sum_i P(i, j|d, \theta)$$

$$\sigma_x = \sum_i (i - \mu_x)^2 \sum_j P(i, j|d, \theta)$$

$$\sigma_y = \sum_j (j - \mu_y)^2 \sum_i P(i, j|d, \theta)$$

参考文献[8]首先把图象的亮度分量图分成 64 个灰度级,并取 $d=1, \theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, 得到图象这 4 个方向的灰度共现矩阵,再分别计算其能量、熵、惯性矩和相关系数,然后对 4 个矩阵的各参数取均值,得到整幅图象的能量、熵、惯性矩和相关系数。由于各个纹理参数之间,以及纹理参数和颜色参数之间均存在着物理意义和取值范围的差异,因此需

用高斯归一化方法来对图象库中所有图象的这 4 个参数进行归一化,并使其取值范围集中在 $[0, 1]$ 区间内,极少数取值在该区间外的参数,按 0 或 1 处理。

在实验中,还对纹理参数的选择进行了不同的尝试,结果表明,对纹理较为规则的图象,使用较多的纹理特征参量检索效果较好,而对相对较平滑的图象,则使用具有代表性的少量纹理特征参量效果较好。

3 试验及结论

试验中使用的图象库包括从 internet 上下载的 200 幅自然风光和花卉彩色图象。试验时,在用前面所述的方法获得了所有图象的综合模糊度直方图以后,再使用直方图相交法进行相似度量^[6]。在进行相似度量时,颜色特征中每个 H, S, I 分量使用了 6 个隶属度函数,而纹理特征中每个参数使用了 3 个隶属度函数,同时对纹理参数个数和隶属度函数形状的选取都进行了不同的尝试,试验结果表明,颜色特征使用三角形隶属度函数,纹理特征使用高斯隶属度函数,这样的组合能获得比较好的检索效果,而纹理特征中使用两个参数和使用 4 个参数的效果则各有优劣。图版 I 图 1 展示了部分试验结果的比较。

通过比较可知,图版 I 图 1(a)、(b)、(c) 中, (b)、(c) 的效果要优于 (a), 而 (b)、(c) 相比较, 则 (b) 的效果稍好, 而在 (d)、(e)、(f) 中, (e)、(f) 要优于 (d), 其中 (f) 比 (e) 稍好。根据各图的对比结果, 可以得出结论, 使用模糊度直方图进行图象检索可以得到较好的检索效果, 而使用了颜色和纹理特征的综合模糊度直方图方法的检索效果要优于仅使用颜色特征的模糊度直方图方法。由图版 I 图 1(b)、(c) 之间和 (e)、(f) 之间的差异, 即由使用不同纹理特征参数造成的差异可知, 在对纹理较为规则的花卉图象进行检索时, 使用较多的纹理特征参量(本文中为能量、熵、惯性矩, 相关这 4 个参量)效果较好, 而检索相对较平滑的风光图象时, 则使用具有代表性的少量纹理特征参量(本文中为能量和相关两个参量)效果较好。

参考文献

- 1 Julian Magarey, Nick Kingsbury. Motion estimation using a complex-valued wavelet transform. IEEE Transactions on signal processing, 1998, 46(4): 1069~1084.

- 2 Mandal M K, Aboulnasr T. Fast wavelet histogram techniques for image indexing. *Computer vision and image understanding*, 1999,75 (2):99~110.
- 3 Ingemar J Cox, Matt I. Miller, Thomas P Minka *et al.* The Bayesian image retrieval system, PicHunter: theory, implementation, and psychophysical experiments. *IEEE Transactions on image processing*, 2000,9(1):21~37.
- 4 Cario Colombo, Alberto Del Bimbo, Pietro Pala. Semantics in visual information retrieval. *IEEE Multimedia*, 1999, July-September,38~53.
- 5 Anastasios D D, Nikolaos D D, Stefanos D K. A fuzzy video content representation for video summarization and content-based retrieval. *Signal processing*,2000,80:1049~1067.
- 6 Swain M J, Ballard D H. Color Indexing. *Int. J. Computer vision*, 1991,7(1):11~32.
- 7 王润生. 图象理解. 长沙:国防科技大学出版社, 1995:148~151.
- 8 刘忠伟, 章毓晋. 综合利用颜色和纹理特征的图象检索. *通信学报*, 1999,20(5):36~40.



何 恒 1976 年生,1998 年毕业于北京理工大学机械及自动化系机械制造专业. 现为华南理工大学电子与信息学院信号与信息处理专业硕士生. 主要研究方向为图象处理和模式识别.



余英林 1932 年生,1961 年于中国科学院电子学研究所电子线路专业博士研究生毕业. 现为华南理工大学电子与信息学院教授,博士生导师. 主要研究兴趣为信号与信息处理、图象处理、模式识别、神经网络等.