

一种基于重要位平面的鲁棒图像检索算法

王向阳 胡峰丽

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029)

摘要 以图像位平面原理为基础,结合噪声攻击特点(对高位平面影响较小),提出了一种基于重要位平面的鲁棒图像检索新算法。该算法首先从原始图像中提取重要位平面;然后选取重要位平面图像的颜色直方图作为颜色特征,选取重要位平面图像的颜色标准偏差作为空间特征;再综合利用上述颜色、空间两个特征计算图像间内容的相似度,并进行图像检索。仿真实验结果表明,本文算法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像,并且具有较好的查准率和查全率。特别地,该算法对光照、锐化、模糊等噪声攻击均具有较好的鲁棒性。

关键词 图像检索 鲁棒性 重要位平面 颜色直方图 标准偏差

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)09-1647-06

A Robust Color Image Retrieval Based on Significant Bit-plane

WANG Xiang-yang, HU Feng-li

(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

Abstract According to the noise attack characteristic, a new robust color image retrieval based on significant bit-plane is proposed. Firstly, the significant bit-planes are extracted from the color image based on bit-plane theory and the noise attack characteristics. Secondly, the color histograms are extracted from the significant bit-planes as color feature, and the standard deviation of color for every significant bit-plane is computed as spatial feature. Finally, the similarity between color images is computed by using a combined index based on color feature and spatial feature. Experimental results show that the proposed image retrieval is more accurate and efficient in retrieving the user-interested images. Especially, it can retrieve the noise(including fuzzy, sharpen, and illumination, etc) image effectively.

Keywords image retrieval, robustness, significant bit-plane, color histogram, standard deviation

1 引言

随着多媒体技术与网络技术(特别是 Internet 技术)的迅猛发展,数字图像的来源正在不断扩大。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,基于内容的图像检索(content based image retrieval, CBIR)技术得到了广泛关注,并已成为国际学术界研究的一个热点^[1,2]。图像特征的提取与表达是基于内容的图像检索技术基础。图像的内容主要包括颜色、纹理、形状以及子对象空间位置

关系等。由于颜色是图像最直观的特征,也是图像视觉重要的感知特性之一,其不仅与图像中的物体和场景密切相关,而且对图像本身尺寸、方向、视角的依赖性较小,因此基于颜色的图像查询是基于内容的图像检索中最基本和重要的方法。其中,颜色直方图(color histogram)更是以其特征提取与相似度计算简单、对图像尺度与旋转变化不敏感等优点,成为图像检索系统应用最为广泛的颜色特征。然而,理论分析和实验结果表明,传统颜色直方图检索技术普遍存在丢失颜色空间分布信息、特征维数过高、无法有效检索含噪声图像等问题^[2]。

基金项目:辽宁省自然科学基金项目(20032100);视觉与听觉信息处理国家重点实验室(北京大学)开放基金项目(0503);“图像处理与图像通信”江苏省重点实验室(南京邮电大学)开放基金项目(ZK205014);江苏省计算机信息处理技术重点实验室(苏州大学)开放课题基金项目(KJS0602)

收稿日期:2006-03-17;**改回日期**:2006-06-16

第一作者简介:王向阳(1965 -)男,教授。1995年于吉林大学获工学硕士学位。主要研究领域为多媒体信息处理技术、网络信息安全技术。E-mail: wxy37@126.com

为了有效克服传统颜色直方图检索技术存在的弊端,许多学者开展了一系列卓有成效的研究工作。文献[3]、[4]首先利用图像分割技术获得图像的主要区域,然后提取每个区域的颜色和空间信息作为特征,由于图像分割本身就是一个难题,分割结果很难精确,故检索效果并不理想。文献[5]采用了距离角度直方图方法,统计每一种颜色在特定距离和角度内的颜色直方图;而文献[6]提出了一种改进信息熵的图像检索方法,其利用信息熵与空间分布熵描述图像的颜色特征,用以克服传统直方图维数过高的问题。文献[5]方法比文献[6]方法的性能要好,但文献[5]方法对于距离与角度的确定非常敏感。文献[8]以形态描述矩阵为基础,提出了用以整体描述图像色彩区域位置与形态特征的广义颜色直方图方案,但其相似度计算模型不够合理,与人的感知特性存在差异。文献[7]采纳 Gaussian 向量量化(GMVQ)技术提取颜色直方图,但 Gaussian 量化计算复杂、耗时巨大。文献[9]提出了地理统计方法,其首先将图像转换到 HSV 空间并量化为 $21 \times 3 \times 3$ 级,然后计算每一种颜色的松散度并以其为特征进行图像检索,该方法不仅降低了颜色直方图维数,而且考虑了颜色空间分布信息,但其无法有效处理(即检索)含噪声(模糊、锐化、光照等)图像,即图像检索算法的鲁棒性比较差。

本文以图像位平面原理为基础,结合噪声攻击特点(对高位平面影响较小),提出了一种新的图像检索算法,该算法能够以重要位平面图像的颜色直方图作为颜色特征,以其颜色标准偏差作为空间特征进行检索。仿真实验结果表明,本文算法不仅具

有较好的检索性能,而且对光照、锐化、模糊等噪声攻击均具有较好的鲁棒性。

2 图像位平面与噪声攻击特点

2.1 图像位平面

所谓图像位平面,就是将图像中每一个像素值分解为二进制值,而把所有具有相同权值的位所构成的平面称为位平面。根据图像位平面的定义,我们可以把一幅 24 位真彩色图像分解成 8 个位平面,其每个位平面均由 R, G, B 3 个分量的位平面复合而成。

经过对大量的图片进行位平面分解实验可知,随着位平面从高位到低位(即从位平面 7 到位平面 0),位平面图像特征逐渐变得复杂,背景噪声(也称随机纹理)不断增加,原图轮廓逐渐变得模糊直至消失。到位平面 0,纹理随机布满整个图片,单从该位平面图像已无法看出原图信息。这恰恰表明,不同信息位对数字图像的贡献是不同的,较高位平面(以下简称为“重要位平面”)反映原始图像的主要内容,而较低位平面所携带的原始信号能量极少,即忽略较低位平面对原图像质量没有太大影响。

2.2 噪声攻击特点

由数字图像相关理论知:数字图像遭受噪声攻击(光照、锐化、模糊等)以后,其低位平面信息变化较大,而重要位平面信息几乎没有变化,也就是说噪声主要集中在较低位平面。

图 1 给出了 horse 图像及其含噪声图像(经过光照处理)的传统颜色直方图。图 2 给出了 horse 图像及其含噪声图像的重要位平面颜色直方图

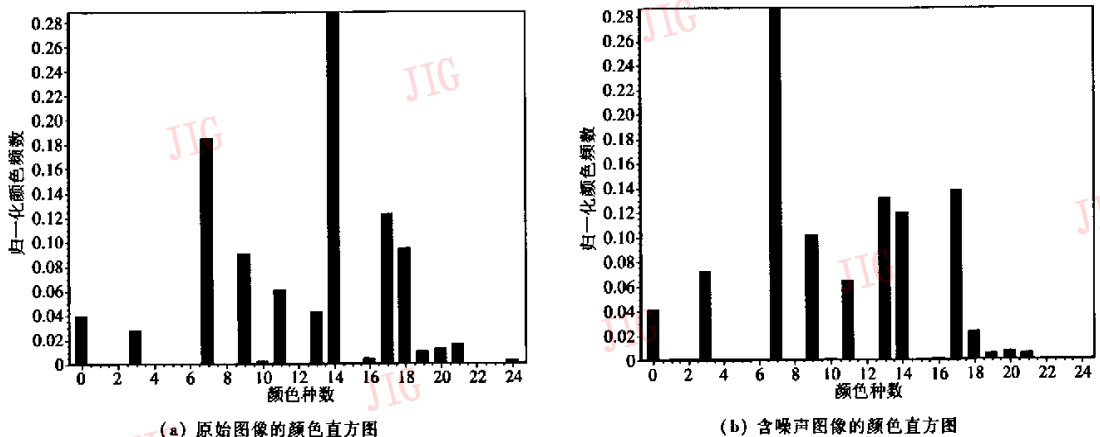
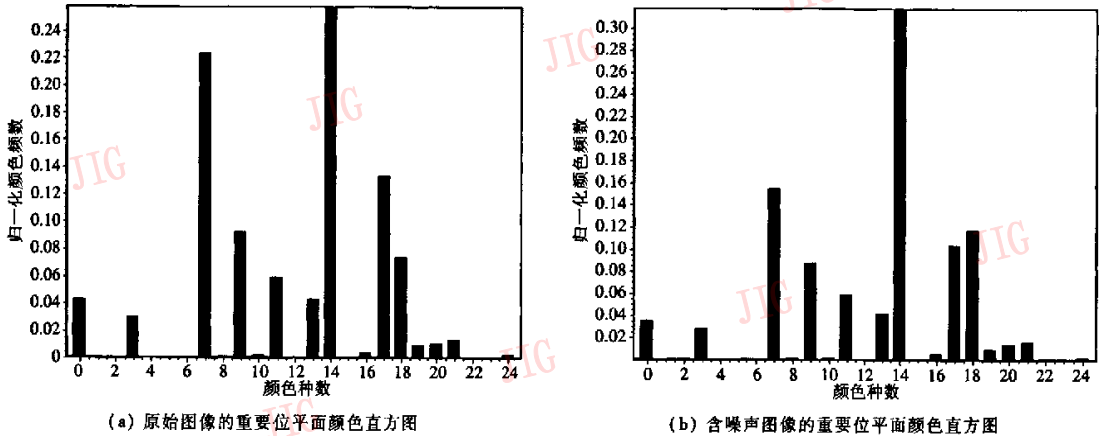


图 1 两幅图像的传统颜色直方图

Fig. 1 The color histograms about the origin image and noise image

(这里,R,G和B三色各用5个信息位表示,即忽略了较低的3个位平面)。通过比较不难看出,原始图像和含噪声图像的颜色直方图(即图1(a)和图1(b))差异较大,而原始图像、原始图像重要位平面、含噪声图像重要位平面的颜色直方图(即

图1(a)、图2(a)和图2(b))却非常相似,这一方面说明图像内容主要来自于重要位平面,另一方面也说明重要位平面对噪声很不敏感。因此,提取重要位平面信息来刻画和表示图像内容,不仅可以较好地保留原图像信息,而且能够有效避免噪声干扰。



(a) 原始图像的重要位平面颜色直方图

(b) 含噪声图像的重要位平面颜色直方图

图2 两幅图像的重要位平面颜色直方图

Fig. 2 The significant bit-plane color histogram

3 基于重要位平面的图像检索算法

3.1 图像的重要位平面提取

根据前面分析,对于一幅24位真彩色图像(RGB空间),只需要提取其R,G,B分量的最高5个位平面(即重要位平面)就足以表达图像内容。

设24位真彩色图像为

$$I = \{I(i, j), 0 \leq i < M, 0 \leq j < N\}$$

$I(i, j)$ 代表原始彩色图像的第*i*行、第*j*列像素的颜色值,则真彩色图像*I*的位平面分解可定义为

$$D_{p,t}(i, j) = \begin{cases} 1 & \left(\text{Int} \left(\frac{I(i, j)}{2^p} \right) \right) \text{MOD}(2) = 1 \\ 0 & \left(\text{Int} \left(\frac{I(i, j)}{2^p} \right) \right) \text{MOD}(2) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $p=3,4,\dots,7$ 表示位平面($p=3$ 代表位平面3, $p=4$ 代表位平面4,依此类推); $t=1,2,3$ 表示R,G,B三个分量。经过以上位平面分解处理,真彩色图像*I*就被分解为 $D_{p,t} = \{D_{p,t}(i, j) \mid 0 \leq i < M; 0 \leq j < N; p=3,4,\dots,7; t=1,2,3\}$ 共15个位平面,并且这些位平面都是二值的(0或1)。

3.2 颜色特征提取

考虑到真彩色图像的每个像素都是由R,G,B 3

个分量复合而成的,所以对图像进行位平面分解操作后,可将相同权值位平面对应的R,G,B 3个分量重新组合成新像素,以形成新的位平面图像,这样由原来分解出的15个位平面图像最终转换成5个位平面图像(即重要位平面图像)

$$D_p = \{D_p(i, j), 0 \leq i < M, 0 \leq j < N\} \quad (p=3,4,\dots,7)$$

由上面的位平面分解可知,对于R,G,B 3个分量来说,每个分量的取值都是0或1,所以重新组合后的重要位平面图像颜色值范围为0~7,通过统计每个重要位平面图像中各像素点颜色值的频数,就可以得到重要位平面图像的颜色直方图,其具体描述如下:

$$h_p(k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \begin{cases} 1 & D_p(i, j) = k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

这里, $h_p(k) (k=0,\dots,7)$ 表示第*p*个重要位平面图像中颜色*k*出现的频数; $D_p(i, j)$ 为第*p*个重要位平面图像中像素点(*i, j*)的颜色值。

为了使颜色直方图不随尺度变化,需要对颜色直方图 $h_p(k)$ 进行归一化处理,以得到归一化的颜色直方图

$$H_p(k) = \frac{h_p(k)}{\sum_{k=0}^7 h_p(k)} \quad (3)$$

基于重要位平面图像的颜色直方图不仅很好地反映了图像的颜色信息,而且大大降低了直方图的维数,5个位平面共40维,且不需要任何量化处理,降低了空间与时间复杂度。

3.3 空间特征提取

上述重要位平面图像颜色直方图虽很好地反映了图像的颜色信息,但其无法准确刻画图像颜色的空间分布特征。为此,本文将结合空间矩理论,给出重要位平面图像的空间特征表示。

设第 p 个重要位平面图像为 $D_p = \{D_p(i, j), 0 \leq i < M, 0 \leq j < N\}$ ($p=3, 4, \dots, 7$), 则其空间特征提取与表示方法如下:

首先,计算出重要位平面图像 $D_p(i, j)$ 中颜色 k 的空间分布重心 $O_p = (\bar{i}_p(k), \bar{j}_p(k))$, 并将其定义为

$$\bar{i}_p(k) = \frac{1}{E_p(k)} \sum_{(i,j) \in A_p(k)} i \times D_p(i, j) \quad (4)$$

$$\bar{j}_p(k) = \frac{1}{E_p(k)} \sum_{(i,j) \in A_p(k)} j \times D_p(i, j)$$

其中, $A_p(k)$ 表示重要位平面图像 $D_p(i, j)$ 中颜色值为 k 的像素点集合, 而 $E_p(k)$ 表示 $A_p(k)$ 所包含的像素点数目。

然后,计算出重要位平面图像 $D_p(i, j)$ 中颜色 k 相对其重心的标准偏差 $\sigma_p(k)$, 并将其作为空间特征。

$$\sigma_p(k) = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in A_p(k)} (i - \bar{i}_p(k))^2 + (j - \bar{j}_p(k))^2}{E_p(k)}} \quad (5)$$

不难看出,颜色 k 的标准偏差 $\sigma_p(k)$ 很好地刻画了颜色 k 与其均值的偏差程度,反映了颜色的空间分布特性,故可以将其作为空间特征进行检索。

4 相似性度量

假设示例图像为 Q , 数据库中待检索图像为 I , 则 Q, I 之间的重要位平面图像距离定义为

$$S_p(Q, I) = \sum_{k=0}^7 |H_p^Q(k) - H_p^I(k)| \times \frac{\min(\sigma_p^Q(k), \sigma_p^I(k))}{\max(\sigma_p^Q(k), \sigma_p^I(k))} \quad (6)$$

其中, $H_p^Q(k)$ 和 $H_p^I(k)$ 分别是 Q 与 I 的重要位平面图像颜色特征, Q 与 I 的重要位平面图像空间特征分别是 $\sigma_p^Q(k), \sigma_p^I(k)$, $k=0, 1, \dots, 7$ 表示颜色值, $p=3, 4, \dots, 7$ 代表重要位平面。此距离公式由两部

部分组成,第1部分是测量图像间颜色相似性,第2部分是测量图像间空间分布相似性,只有当这两部分都相似时图像间的相似性才达到最大。

考虑到基于重要位平面的检索需要提取各个重要位平面图像的特征进行查询,所以图像 Q 与 I 间总的相似度为

$$S'(Q, I) = \sum_{p=3}^7 w_p \times S_p(Q, I) \quad (7)$$

其中, w_p 为各个重要位平面的权值, $p=3, 4, \dots, 7$ 代表重要位平面。

当距离足够小时,就认为两幅图像是相似的。通过计算数据库中每一幅图像与示例图像之间的相似度,然后按照相似度由大到小的顺序返回图像检索的查询结果。

5 仿真实验与结论

为了验证本文算法的工作性能,以下给出了基于内容的图像检索实验结果,并与传统颜色直方图方法、文献[9]等进行了对比。实验中,选用了 SIMPLI city 系统使用的测试集 (<http://wang.ist.psu.edu/docs/related>) 作为图像库,该测试集是从 Corel 图像库中选取的,共包含有 10 个语义类(包括马、花、恐龙等)。其中,每个语义类包含有 100 幅图像,共计 1000 幅图像(编号分别为 0~99)。

首先从测试图像库的每类语义图像中随机抽取 30 幅图像(共计 300 幅);然后对这 300 幅图像分别进行加噪处理(包括模糊、锐化、光照、滤波等);最后将上述 300 幅含噪声图像(编号为 1000~1229)与原来的 1000 幅图像集中在一起以构成新的测试图像库进行检索。同时,将重要位平面权值由高位平面到低位平面分别设为 0.3, 0.25, 0.25, 0.1, 0.1。

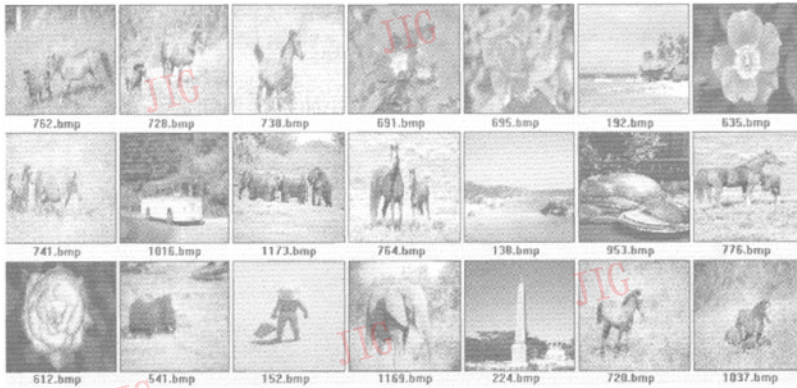
另外,为评价图像检索算法的效果,同时考虑到检索系统返回的相似图像数目(不是所有)不适宜采用常规的查准率(precision)和查全率(recall)评价指标,故本文采用了 Tan Kian-Lee 等提出的“标准查准率(normal precision)”和“标准查全率(normal recall)”作为相似检索的评价准则^[11]。标准查准率 P_{Normal} 和标准查全率 R_{Normal} 的具体定义为

$$P_{\text{Normal}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^l (\log r_i - \log i)}{\log \frac{N!}{(N-l)!}}, R_{\text{Normal}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^l (r_i - i)}{(N-l)L}$$

其中, N 为检索系统返回的图像数目, L 是检索结果中与示例图像相关的图像数目, r_i 是第 i 幅相关图像的排序。

图3给出了本文算法与文献[9]方法的检索结果。其中,显示图像的左上角为示例图像,其余20

幅图像是查询结果。不难看出,本文算法不仅可以有效检索出示例图像所对应的含噪声图像,而且能够有效检索出同类图像所对应的含噪声图像,可见本文检索算法具有较好的鲁棒性。



(a) 文献[9]方法的查询结果



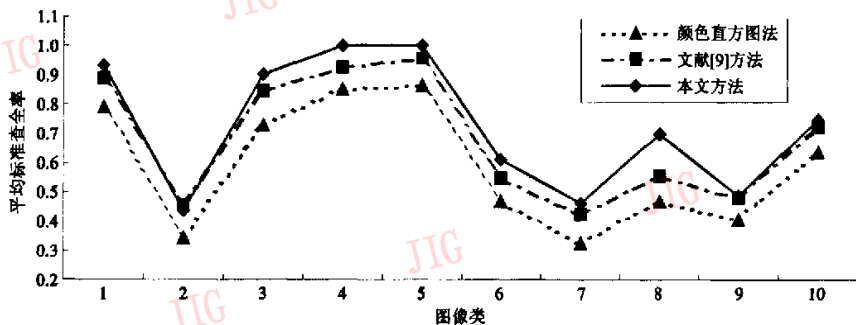
(b) 本文算法的查询结果

图3 本文算法与文献[9]方法的检索结果

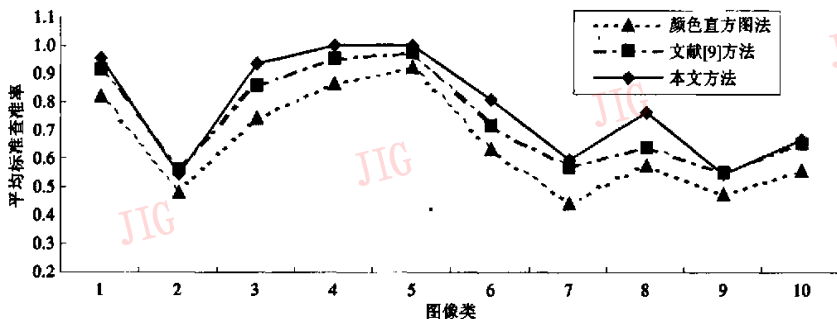
Fig.3 The retrieval results for two methods

为了进一步验证本文算法的有效性,我们从上述测试图像库(内含有噪声图像)中,每类随机抽取5幅作为示例图像,共构成50次查询,每次查询选取前20幅最相似的图像作为检索结果。对于每类图像而言,计算其5次查询结果的标准查准率平均值、标准查全率平均值,并将其作为该类图像的平均标准查准率、平均标准查全率。图4分别给出了本文方法与文献[9]以及传统颜色直方图的平均标准查准率、平均标准查全率对比结果。

为了有效克服传统颜色直方图检索技术普遍存在的丢失颜色空间分布信息、特征维数过高、无法有效检索含噪声图像等不足,本文提出了一种基于重要位平面的鲁棒图像检索新算法。该算法能够结合位平面理论及噪声攻击特点,综合利用重要位平面图像的颜色和空间特征进行彩色图像检索。实验结果表明,该算法不仅能够准确、快速的检索出用户所需图像,而且对光照、锐化、模糊等噪声攻击均具有较好的鲁棒性。



(a) 3种方法的平均标准查全率对比



(b) 3种方法的平均标准查准率对比

图 4 3种图像检索方法的平均检索性能对比

Fig. 4 The average retrieval performance for three methods

参考文献 (References)

- 1 Smeulders A W M, Worring M, Santini S, *et al.* Content-based image retrieval at the end of the early years [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(12): 1349 ~ 1380.
- 2 Ritendra eedings of Datta, Jia Li, James Z Wang. Content-based image retrieval-approaches and trends of the new age [A]. In: *The Proceedings of International Workshop on Multimedia Information Retrieval*, ACM[C], Singapore, 2005:253 ~ 262.
- 3 Eauqueur J, Boujemaa N. Region-based image retrieval; Fast coarse segmentation and fine color description [J]. *Journal of Vision Languages and Computing (JVLC)*. Special Issue on Vision Information System, 2004, 15(1): 69 ~ 95.
- 4 Deng Y, Manjunath B S, Kenney C, *et al.* An efficient color representation for image retrieval [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(1): 140 ~ 147.
- 5 Ediz Saykol, Ugur Gddkbay, Oztr Ulusoy. A histogram-based approach for object-based query-by-shape-and-color in image and video databases [J]. *Image and Vision Computing*, 2005, 23(13): 1170 ~ 1180.
- 6 Sun Jun-ding, Ding Zhen-guo, Zhou Li-hua. Image retrieval based on image entropy and spatial distribution entropy [J]. *Journal of Infrared Millim. Waves*, 2005, 24(2): 135 ~ 139. [孙君顶, 丁振国, 周利华. 基于图像信息熵与空间分布熵的彩色图像检索方法 [J]. *红外与毫米波学报*, 2005, 24(2): 135 ~ 139.]
- 7 Jeong S, Won C S, Gray R M. Image retrieval using color histograms generated by Gauss mixture vector quantization [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, 9(1-3): 44 ~ 46.
- 8 Wang Yi, Zhai Hong-chen, Liang Yan-mei, *et al.* Shape description matrix and its applications to color-image retrieval and recognition [J]. *Science in China (Ser. E)*, 2004, 34(3): 337 ~ 344. [王熠, 翟宏琛, 梁艳梅等. 形态描述矩阵及其在彩色图像检索与识别中的应用 [J]. *中国科学(E辑)*, 2004, 34(3): 337 ~ 344.]
- 9 Suryani Lim, Lu Guojun. Spatial statistics for content based image retrieval [A]. In: *The Proceedings of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications [C]*, Las Vegas, Nevada, USA, 2003:155 ~ 159.
- 10 Thomas Sikora. The MPEG-7 visual standard for content description-an overview [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, 11(6): 696 ~ 702.
- 11 Tan Kian-Lee, Ooi Beng Chin, Yee Chia Yeow. An evaluation of color-spatial retrieval technique for large image database [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2002, 14(1): 55 ~ 78.