

# 基于位平面分布特征的图像检索算法\*

赵珊<sup>a</sup>, 翟海霞<sup>b</sup>

(河南理工大学 a. 计算机科学与技术学院; b. 万方科技学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 针对利用颜色直方图检索时存在的问题, 提出了一种基于位平面空间分布特征的图像检索算法. 首先结合光照、锐化、模糊等噪声的攻击特点, 将图像分解为 8 个位平面, 然后提取对表征图像结构特征有意义的 4 个位平面的空间分布信息组成特征矢量来多层次地对图像特征进行描述. 为了避免图像中像素灰度值的微小变化对位平面的影响, 又提出了采用位平面的格林码表示方法. 考虑到位平面之间的相关性, 最后设计了权值矩阵, 采用马氏距离进行相似性度量. 实验结果表明, 该算法利用位平面分解的方法来提取颜色的空间分布特征, 又避免了颜色量化引起的误检问题, 而且提取的特征矢量维数较低, 因而具有较高的检索率.

**关键词:** 基于内容的图像检索; 位平面; 格林码

**中图分类号:** TP391.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)08-2150-5

## 0 引言

基于内容的图像检索(Content-based Image Retrieval, CBIR)利用图像自身包含的丰富视觉信息来进行检索, 已逐渐成为一个非常活跃的研究领域<sup>[1-2]</sup>. 颜色直方图作为一种重要的基于颜色特征进行图像检索的方法<sup>[3]</sup>, 具有特征提取和相似度计算简便, 并且随图像尺度、旋转等变化不敏感的特点. 但由于颜色直方图完全丢失了图像颜色的空间分布信息, 图像颜色的量化处理, 容易造成误检现象, 而且提取的特征维数过高, 对于大型图像数据库而言, 还会加大检索时间, 更重要的是无法有效检索含噪声图像.

为了解决利用直方图进行检索时存在的问题, John Zachary<sup>[4]</sup>提出采用信息熵描述图像的颜色特征, 用于克服直方图维数过高问题, 但该方法同样也丢失了颜色的空间分布信息. 为了提取图像颜色的空间分布特性, Huang Jing<sup>[5]</sup>提出采用颜色相关图(Color Correlogram)的方法来描述不同颜色的像素按照空间距离在图像空间的分布特征, 但算法复杂度很大. 另外还有 CCV<sup>[6]</sup>方法、局部直方图法<sup>[7-8]</sup>方法等等. 这些方法虽然在一定程度上有效地提取了图像颜色的空间分布信息, 但仍然存在颜色量化的问题, 没有从根本上解决利用直方图进行检索时存在的问题. 而且也没有考虑图像中像素间的冗余信

息对检索复杂度的影响, 因此不利于对图像特征的多方位描述.

基于上述思想, 本文提出了一种基于位平面空间分布特征的图像检索算法. 首先结合光照、锐化、模糊等噪声攻击特点, 从原始彩色图像中提取出重要的位平面, 然后选取重要位平面的空间分布信息, 用于图像检索. 同时, 为了避免图像中像素灰度值的微小变化对位平面复杂度的影响, 提出采用位平面的格林码表示方法. 该算法利用图像的位平面来提取图像的空间分布特征, 不但解决了颜色量化的问题, 而且提取的特征矢量维数也较小, 同时也不受噪声的影响. 这在一定程度上解决了颜色直方图检索时存在的问题, 在提高检索精度的同时也加快了检索速度. 实验结果表明该算法是有效的.

## 1 特征提取

### 1.1 位平面和位平面分解

一幅灰度级图像可以表示为一个介于 $[0, 255]$ 的整数组成的矩阵, 其中每个元素表征了图像中相应位置像素的灰度值. 因此, 可以用一个 8 位的二进制向量 $(b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1)$ 来表示每个像素的灰度值,  $b_i (i=0, 1, \dots, 7)$  为 0 或 1. 这样, 一幅灰度图像就可以被看作是 8 个位平面的叠加, 每个位平面被看作是一幅二值图像, 用一个大小为 的二进制矩阵表示. 借助图像的位面表示形式可以采取对图像特定位面的操作来达到对图像特征描述的目的. 如图 1, 第一幅 8bit 灰度级的示例图像, 后面的 8 幅图像是它的 8 个位平面(从高位面到低位面). 从图中可以看出, 每个位平面都能够反映图像的频率和方向在局部范围内的变化强度, 低位面图比高位面图

\*河南省教育厅自然科学基金(2008B520015, 2009B5200B)、河南理工大学博士基金(B2008-61, B2009-91)和南京邮电大学江苏省图像处理与图像通信重点实验室开放基金(ZK208002)资助

Tel: 0391-3987711 Email: zhaoshan 9228@163.com

收稿日期: 08-02-18

修回日期: 2008-05-13

复杂,包括的细节多,也更随机<sup>[9]</sup>.

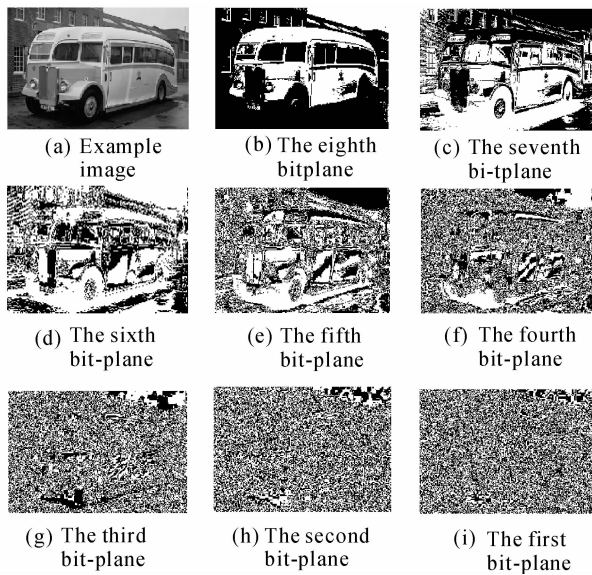


图1 示例图像及其八个位面

Fig.1 Example image and its eight bit-planes

采用这种方法来分解位平面存在一个缺点,即像素点灰度值的微小变化会对位平面的复杂度产生较明显的影响.例如,当空间相邻的 2 pixels 的灰度值分别为  $127(01111111_2)$  和  $128(10000000_2)$  时,图像的每个位平面上在这个位置处都会有从 0 到 1(或从 1 到 0)的过渡.为减小这种影响,算法中采用格林码的方法来表示位平面.  $m$  bit 图像的格林码可由式(1)计算

$$g_i = \begin{cases} a_i \oplus a_{i+1} & 0 \leq i \leq m-2 \\ a_i & i = m-1 \end{cases} \quad (1)$$

式中  $\oplus$  代表异或操作.  $a_j$  表示位平面分解得到的第  $i$  个位平面,  $g_i$  指位面  $a_i$  的格林码表示. 这种码的独特性质是相连的码字只有 1 个比特位的区别,这样,像素点灰度值的小变化就不会影响所有的位平面.而且对于每个用其相应的灰度码来表示的二进制位平面,其格林码是唯一的,反之亦然.仍考虑上述空间相邻的 2 pixels 的灰度值分别为 127 和 128 的例子,如用式(1)的格林码来表示的话,这里只有位平面 7 有从 0 到 1 的一个过渡,其它位平面没有变化.此时对应 127 和 128 的格林码分别是  $01000000_2$  和  $11000000_2$ .图 2 给出了图 1 中示例图像用格林码表示的位平面图(从高位到低位).可以看出,用格林码表示的位面图复杂度较低,而且具有视觉意义信息的位面图数量更多.

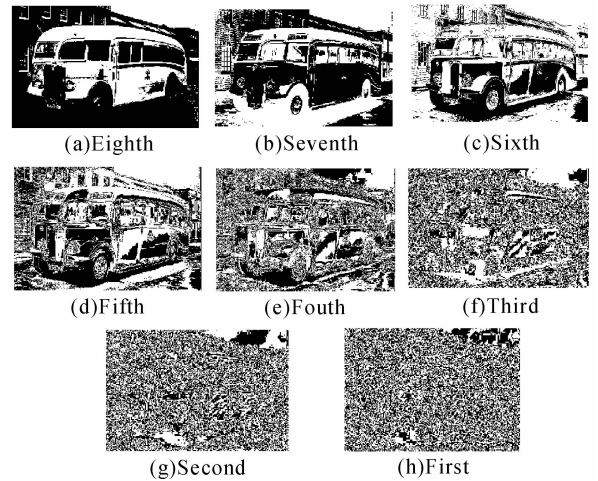


图2 利用格林码表示的位平面图

Fig.2 Bit-planes expressed by gray-code

从图 1 和图 2 可以看出,不同信息位对数字图像的贡献不同,较高位面反映原始图像的主要内容,包含了视觉可见的有意义信息,体现了明显的图像结构特征,而较低位面所携带的原始信息能量极少,信息随机性很强,是很局部的小细节,只增加图像的亮度信息,没有提供任何的结构信息,即忽略较低位面对原图像质量没有太大的影响.另外,由数字图像相关理论知道,数字图像遭受噪声攻击(光照、锐化、模糊等)以后,其低平面信息变化较大,而重要位平面信息几乎没有什么变化,也就是说噪声主要集中在较低位面,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.因此在算法中,只使用图像高位的 4 个平面来提取图像特征,具体的过程如图 3.

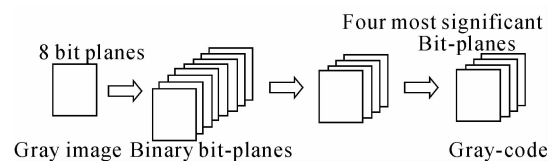


图3 位平面分解及相应的格林码表示

Fig.3 Division of bit-plane and corresponding expression by gray-code

## 1.2 位平面空间分布特征的提取

对于一幅图像,利用位平面分解的方法得到对表征图像有意义的四个位面后,得到了 4 个  $N \times M$  大小的二值矩阵  $P_i(x, y)$ ,  $i=0, 1, 2, 3$ .为了提取每个位面的空间分布信息,我们针对  $P_i(x, y)$ , 设

$A_i = \{ (x, y) | (x, y) \in P_i, P_i(x, y) = 1 \}$  表示第  $i$  个二值矩阵中索引值为 1 的所有点的集合,其中  $i=0, 1, 2, 3$ . 设  $|A_i|$  表示集合  $A_i$  中点的数目,  $C_i =$

$(x_i, y_i)$  为第  $i$  个二值矩阵中索引值为 1 的所有点的质心,  $x_i$  和  $y_i$  定义如下,

$$x_i = \frac{1}{|\mathbf{A}_i|} \sum_{(x,y) \in A_i} x; y_i = \frac{1}{|\mathbf{A}_i|} \sum_{(x,y) \in A_i} y \quad (2)$$

设  $r_i$  表示第  $i$  个二值矩阵中  $(x, y)$  处索引值为 1 的点同其质心的距离, 其定义为

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

则第  $i$  个二值矩阵中所有属于 1 的点到质心的距离和

$$R_i = \sum r_i = \sum_{(x,y) \in A_i} \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (4)$$

算法中, 将四个二值矩阵中所有为 1 的点到其质心的距离和作为表征其空间分布的特征, 从而构造了整个图像的空间分布特征  $(R_0, R_1, R_2, R_3)$ .

位平面空间分布特征, 同颜色直方图一样, 具有旋转不变性、尺度不变性和平移不变性, 对图像的几何形变具有很强的鲁棒性. 同时, 由于各个位平面实际上是提取了原图像中各个像素的灰度值的某一位形成的, 因此, 避免了直方图中颜色量化所带来的问题, 而且也包含了图像像素的空间分布信息, 同时, 特征矢量的计算只与每个位平面内为 1 pixel 点数目有关, 克服了原图像相邻像素点之间的相关性, 忽略了图像的细微变化, 即整体上求大同, 局部上存小异. 位平面空间分布特征的计算复杂度较低且维数较少, 可以满足图像检索中存储容量和检索速度的要求. 对一幅图像来说仅用四个特征向量来刻画其全部特征可能是远远不够的, 但基于内容的图像检索本身就是一种相似性匹配, 采用的特征向量只是对图像内容某方面的一种描述, 正如经典的图像熵算法, 仅用一个一维向量就可以对图像进行较好的检索. 因此, 位平面分布特征并不会因为特征维数过低而造成检索率下降.

## 2 相似性度量

算法中, 由于位平面之间存在很强的相关性, 使得提取的特征向量也存在较强的相关性, 如果简单地用欧氏距离来求相似度, 相似的图像间特征的距离可能相差很大. 因此这里采用马氏距离 (Mahalanobis distance)<sup>[10]</sup> 来度量图像间的相似性.

在  $R^4$  空间中, 设两幅图像  $P$  和  $Q$  提取的特征向量为  $\mathbf{P} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  和  $\mathbf{Q} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ , 则向量间的距离可表示为

$$D(\mathbf{P}, \mathbf{Q}) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 w_{i,j} (x_i - y_i)(x_j - y_j)} \quad (5)$$

这里权值  $w_{ij} > 0$ , 表征了特征间的相关性. 权值的计算可以通过计算一个  $4 \times 4$  维的正定矩阵  $\mathbf{\Gamma}$ , 使得

$$D(\mathbf{P}, \mathbf{Q}) = \sqrt{(\mathbf{P} - \mathbf{Q}) \mathbf{\Gamma} (\mathbf{P} - \mathbf{Q})} \quad (6)$$

根据矩阵论原理, 向量的协方差矩阵可以很好的体现特征子向量间的相关性及其分布特征, 因此, 在这里, 定义向量  $\mathbf{P}$  的协方差矩阵为

$$\Delta(i, j) = \begin{cases} x_i \text{ 的方差} & (i=j) \\ x_i \text{ 和 } x_j \text{ 的协方差} & (i \neq j) \end{cases} \quad (7)$$

取  $\mathbf{\Gamma} = \Delta^{-1}$  作为权值矩阵来计算向量间的相似性, 则两个向量间的距离为

$$D(\mathbf{P}, \mathbf{Q}) = \sqrt{(\mathbf{P} - \mathbf{Q}) \Delta^{-1} (\mathbf{P} - \mathbf{Q})} \quad (8)$$

## 3 仿真实验结果

为验证本文算法的有效性, 本文分别进行了几组不同的仿真实验, 并将本文算法同颜色直方图算法 (H)、图像熵 (IE) 以及颜色相关图算法 (CC) 进行了对比, 针对这三种方法, 图像的颜色均匀量化为 64 色, 同时, 采用直方图相交法作为相似性度量准则, 而对于颜色相关图方法, 则采用颜色自相关图进行处理, 且取  $d=4$ . 实验运行环境为 Windows XP 操作系统, 系统配置为 PIV1.7GHZ CPU, 384 MB 主存. 实验中采用的图像库包含 3 000 幅从国际上通用的 Corel 图像库中抽取的 30 类不同的彩色图像, 它们包括人物、交通工具、动物、建筑物、自然景物、花卉等类型的图像. 在利用本文算法对彩色图像处理时首先采式 (9) 将其转化为灰度图像

$$I = [0.299 \quad 0.587 \quad 0.114] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (9)$$

然后再进行检索实验. 文中采用“精确度 (precision)”和“检索率 (recall)”作为相似检索的评价准则. 其中检索精度定义为查询返回结果中与检索图像相关的图像占查询返回的总图像的百分比, 即

$$p = R/N \quad (10)$$

检索率定义为查询返回结果中与检索图像相关的图像占全部相关图像的百分比, 即

$$r = R/M \quad (11)$$

式中  $N$  为查询返回的图像个数,  $R$  是查询结果中与检索图像相关的图像个数,  $M$  表示测试集合  $S$  中与检索图像相关的图像总数. 对于不同的图像检索算法, 在相同的检索条件下检索的精确度越高表明该算法的检索效果越好.

本文从图像库中任意取出 5 类, 每类图像中选取 8 幅图像作为示例图像, 共组成 40 次查询, 取这 40 次检索结果精确度和检索率的平均值作为算法的平均检索结果. 采用不同各类的图像进行多次查

询,可以使我们的实验结果具有一般性,而不会局限于某一类型的图像.由于针对不同种类的图像,检索算法的效果也不一样,因此平均检索结果也能从某种程度上表明实验的客观性.图 4 给出了本文算法同其它两种算法在“精确度”和“检索率”上的对比曲线,其中 BPDF 表示本文算法.由实验结果可以看出由于算法中考虑了颜色的空间分布信息,效率明显优于直方图算法和图像熵,同颜色相关图方法相比,由于去除了像素间冗余信息的影响,效果也较好.

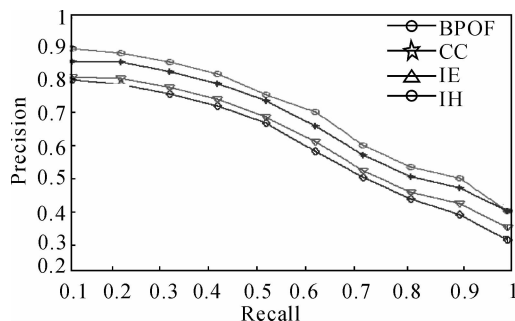


图 4 四种算法“检索率”和“精确度”对比曲线

Fig. 4 Average recall and precision graphs for four methods

为了进一步检验本文算法的性能,本文采用更客观的方法 ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) 进行评测<sup>[11]</sup>. 设  $T(Q_i)$  ( $i=1,2,\dots,u$ ) 表示图像库中与图像  $Q_i$  相似的所有图像数目,  $t = \max\{T(Q_1), T(Q_2), \dots, T(Q_u)\}$ ,  $l = \min\{4T(Q_i), 2t\}$  设与例子图像相似的图像在检索结果中所处位置为

$$\text{rank}(k) = \begin{cases} k & (k \leq l) \\ l+1 & (k > l) \end{cases} \quad (12)$$

从而, ANMRR 定义如下

$$\text{ANMRR} = \frac{\frac{1}{u} \sum_{i=1}^u \sum_{k=1}^{T(Q_i)} \text{rank}(k)}{l+0.5=0.5 \times T(Q_i)} - 0.5 - 0.5 \times T(Q_i) \quad (13)$$

表 1 给出了不同算法 ANMRR 的计算结果. 由该表也可以看出本文方法优于其它三种方法.

表 1 4 种方法 ANMRR 计算结果

算法	ANMRR
BPDF	0.187 7
CC	0.201 9
IE	0.291 6
H	0.337 5

## 4 结论

本文提出了一种基于位平面空间分布特征的图

像检索算法,该算法不仅充分考虑了光照、锐化、模糊等噪声攻击特点,而且合理利用了重要的颜色空间分布信息,同时避免了颜色量化引起的误检问题,提取的特征矢量维数也较小,具有较低的时间复杂度,这在一定程度上解决了颜色直方图检索时存在的问题,在提高检索精度的同时也加快了检索速度.实验结果表明该算法是有效的.

## 参考文献

- [1] AN Zhi-yong, ZHAO Shan, WANG Xiao-hua, et al. content-based image retrieval based on the multi-scale Radom transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(6): 1176 - 1180.  
安志勇,赵珊,王晓华,等.基于多尺度 Radon 变换的图像检索[J]. *光子学报*, 2007, **36**(6), 1176-1180.
- [2] ZHAO Shan, SUN Jun-ding, ZHOU Li-hua. A novel image retrieval method based on keyblock[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(2): 376-379.  
赵珊,孙君顶,周利华.一种新的基于关键字块的图像检索算法. *光子学报*[J]. 2007, **36**(2): 376-379.
- [3] SWAIN M J, BALLARD D H. Color indexing[J]. *Int J on Computer Vision*, 1991, **7**(1): 11-32.
- [4] JOHN Z M. An information theoretic approach to content-based image retrieval[D]. *Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College*, 2000, 45-62.
- [5] HUANG J. Image indexing using color correlograms[C]. *IEEE*, 1997: 762-768.
- [6] PASS G, ZABIN R, MILLER J. Comparing images using color coherence vector[C]. *Proc of 4th ACM International Conference on Multimedia*, 1996: 65-73.
- [7] HUS W, CHUA T S, PUNG H K. An integrated color-spatial approach to content-based image retrieval[C]. *Proc of 3th ACM international Conference on Multimedia*, 1995: 305-313.
- [8] STEHLING R O, NASCIMENTO M A, FALCAO A X. On 'shapes' of colors for content-based image retrieval[C]. *Proc of the International Workshop on Multimedia Information Retrieval*, 2000: 171-174.
- [9] ZHAO Shan, CUI Jiang-tao, ZHOU Li-hua. Image retrieval based on bit-plane distribution entropy [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*. 2007; **29**(4)795-79  
赵珊,崔江涛,周利华.基于位平面分布熵的图像检索算法[J]. *电子与信息学报*. 2007; **29**(4)795-79.
- [10] ANDERSON T W. An introduction to multivariate statistical analysis[M]. *New York: Wiley*, 2003.
- [11] LEE H Y, LEE H K. Spatial color descriptor for image retrieval and video segmentation [J]. *IEEE Trans on Multimedia*, 2003, **5**(3): 358-367.

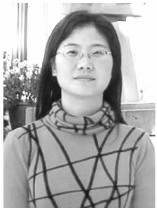
## Image Retrieval Based on Bit-plane Distribution Feature

ZHAO Shan<sup>a</sup>, ZHAI Hai-xia<sup>b</sup>

(*a. School of Computer Science and technology; b. Wanfang Institute of Science and Technology.  
Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China*)

**Abstract:** The content-based image retrieval on histogram was analyzed and a novel image retrieval algorithm was proposed based on bit-plane distribution feature. Firstly, the feature of the noise was considered and the image is divided into eight bit-planes by the image bit-plane-code. Then, the Bit-plane Distribution Feature (BPDF) was constructed according to statistic distribution of the four significant planes which contain most of the structural information of the image. Meantime, the gray-code of bit-planes was used to avoid the effect of changes in the image intensity values on bit-planes. Finally the Mahalanobis distance was adopted to measure the similarity because of the correlation between the concerned vectors after designing the correlation-weighted matrix. Experimental results show that the proposed method has sound retrieval performance.

**Key words:** Content-based image retrieval; Bit-planes; Gray-code



**ZHAO Shan** received her Ph. D. degree in application of computer From Xidian University in 2007. Now she is an adjunct professor at School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University. Her research interests focus on content-based image retrieval (CBIR) and multimedia application on network.

---

## 量子光谱成像实验研究新进展

由中国科学院西安光学精密机械研究所毕思文研究员领导的量子光谱成像课题组经过三年的努力,搭建了制备压缩态光场成像的实验平台并设计了成像系统.用该系统进行压缩态光场实验、平衡零拍探测、成像分辨率测试,在2009年5月20日完成量子成像第一次实验;在同年7月12日成功完成第二次实验.实验结果表明:在压缩光光强为 $10\ \mu\text{W}\sim 15\ \mu\text{W}$ 情况下,压缩光源可以成像;在相同功率下,用压缩光测同一物体所得的分辨率为 $10\ \text{LP}/\text{mm}$ ,是相干光测试的1.43倍.

供稿:中国科学院西安光学精密机械研究所 毕思文

供稿时间:2009-08-21

---