

# 基于颜色和空间特征的彩色图像获取方法

贾克斌<sup>1,2</sup>, 方 晟<sup>1</sup>, 沈兰荪<sup>1</sup>

(1. 北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022;

2. 日本政府现代通信机构早稻田大学研究中心新宿区西早稻田 1-21-1, 日本东京 169-0051)

**摘 要:** 本文针对基于内容的彩色图像相似性获取问题, 提出了一种新的相似性获取方法, 它既考虑了颜色内容特征, 也包含了图像的空间关系特征. 文章设计了无序矩阵来描述图像空间位置的相对关系, 这种无序矩阵具有对旋转和平移不变性的特点. 在进行图像间相似性测量时, 首先用颜色直方图相交法对图像全局颜色分布进行相似性测量, 再对得到的候选图像队列用新的算法进行测量, 剔除不相似的图像. 新的测量算法既考虑了颜色内容的匹配, 同时也考虑了空间相似性的因素. 用不同类型的图像对这种方法进行实验, 其结果表明, 它在彩色图像相似性检索时是有效的, 具有较高的检索精度. 此外, 它在图像发生小的旋转和平移等形变时, 表现出较高的可靠性.

**关键词:** 相似性获取; 彩色图像; 无序矩阵; 基于内容的图像获取 (CBIR)

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 06-0895-04

## Color Image Retrieval Based on the Color and Spatial Features

JIA Ke-bin<sup>1,2</sup>, FANG Sheng<sup>1</sup>, SHEN Lan-sun<sup>1</sup>

(1. Beijing Polytechnic University, Lab of Signal and Information Processing, ChinaChao Yang District, Beijing 100022, China;

2. Waseda Research Center, Telecommunications Advancement Organization of JapanNishi-Waseda 1-21-1, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0051, Japan)

**Abstract:** A new content-based color image retrieval method is proposed, in which both the color content and the spatial relationship of image have been taken into account. In order to represent the spatial distribution information of image, a disorder matrix, which has the invariance to the rotation and translation of the image content, has been designed. During the actual matching stage, the global color histogram intersection is used firstly to generate candidate image list. Then the disorder matrix representing the spatial information of the image is employed to refine the retrieval result by deleting the dissimilar images from the candidate list. Experimental results with various types of images show that the proposed method not only achieves a high image retrieval performance but also improves the retrieval precision. Furthermore, it is robust even with some rotation and translation cases.

**Key words:** similar retrieval; color image; disorder matrix; content-based image retrieval (CBIR)

## 1 引言

随着大容量图像数据库的出现和多媒体技术的广泛应用, 基于内容的图像获取 (CBIR, Content-based Image Retrieval) 技术受到人们的越来越多的关注并成为一个新的研究热点<sup>[1,2]</sup>. 用于描述图像内容的颜色特征, 由于其具有对于复杂图像运算速度快和对尺度及旋转等不变性的特点, 近十年来在 CBIR 的研究中得到了广泛应用<sup>[2,3]</sup>.

从九十年代初 Swain 和 Ballard<sup>[4]</sup>最早提出使用颜色直方图描述彩色图像和用颜色直方图的相交 (histogram intersection) 值作为相似性测量标准获取图像以来, 很多研究方法都将颜色直方图作为一种常用的特征矢量用于 CBIR 的研究<sup>[5~7]</sup>. 颜色直方图描述了图像全局颜色分布的特性, 它具有运算速度快、对存储空间要求低的特点, 并且它对图像中检索对象发生

的局部变化或形变, 如: 方向、位置、尺度的变化, 甚至部分遮挡都不敏感. 由于它的这些优点, 很多成功的检索系统<sup>[8,9]</sup>, 都以此作为其检索工具的核心内容.

虽然颜色直方图直观地描述了图像全局的颜色分布, 但它不包含任何位置等图像内容中反映空间内容和关系的信息. 针对大型图像数据库的检索, 这个问题反映得特别突出, 当检索一个指定的示例图像时, 很多在视觉上与被检索示例图像无关的候选图像, 由于它们的颜色直方图和示例图像接近而被当作目标图像从数据库中检索出来了.

为了克服颜色直方图的这种缺陷, 近几年来, 几种令人注目的研究试图将空间信息结合到基于颜色特征的检索中来<sup>[10~13]</sup>. 这些研究大多数是在颜色直方图测量的基础上, 引入用于描述位置信息或空间关系的图形或矩阵. 通过图形推导或矩阵运算, 对满足颜色直方图相似性测量标准得到的候

选图像再进行第二次相似性测量.例如, FOCUS<sup>[10]</sup>方法中,在颜色直方图峰值匹配的基础上,根据图像中各小区域中颜色的峰值构造了用于描述空间关系的 SPG(spatial proximity graph)图,从而可以根据指定的对象,将包含相似对象的图像检索出来;在 Liu 和 Ozawa 的方法<sup>[11]</sup>中,经过颜色直方图相交(intersect)相似性测量得到候选图像后,通过将图像划分为小区域并根据这些区域的主导颜色(dominant color)特征,推导出一种表现空间位置关系的领域颜色矩阵.通过测量被检索图像和候选图像的矩阵距离,进行相似性检索;Smith 和 Chang<sup>[12]</sup>将一幅图像分割为二元的颜色集.他们首先选择可以“充分”表现一个区域的所有颜色,表现一个区域的二元颜色集通过颜色直方图反向投影(histogram back-projection)来计算.二元颜色集和它们的位置信息构成了用于相似性索引的图像特征;文献[13]中引入了两个统计图形来反映空间域颜色单元相邻和几何位置特征,它们一起用来提高检索的性能.尽管在此方面的研究取得了很重要的进展,然而,这些描述空间位置关系的图形或矩阵,有些针对特殊的应用对象或者推导过于复杂,使其应用范围和实用性具有一定的局限性;或者加上了位置约束条件后,破坏了原来的旋转和平移不变性.到目前为止,还没有报道在这方面的研究有一种大家公认的比较理想的算法.

在这篇文章中,我们提出了一种新的彩色图像描述和根据示例图像从图像数据库中进行相似性图像获取的方法.为了提高获取的准确性和速度,首先采用颜色直方图相交方法从图像库中获得候选图像队列.和上述方法不同的是,本文设计了无序性矩阵来描述图像空间的相对位置关系,并结合局部颜色直方图特性,提出了一种新的相似性测量算法用于示例图像与候选图像的测量.与其它空间和颜色相结合的检索算法相比,这种算法的优点是方法非常简单直观,检索过程对图像没有特殊限制和预处理要求.由于无序矩阵只描述了图像内容的相对位置关系,因此这种方法保持了检索过程中的图像旋转不变性和局部位移不变性.文章后面部分的安排如下.第二部分详细描述了无序性矩阵的设计过程和相似性测量算法;第三部分给出了提出方法的实验结果;最后是结论.

## 2 相似性图像获取算法

整个检索方案如图 1 所示,为了提高整个算法的准确性和速度,对于图像库中的图像,预先对其颜色直方图进行计算,根据输入的检索示例图像,通过颜色直方图相交法<sup>[4]</sup>得到一个候选图像队列.这个候选队列中可能包含很多看上去与检索图像无关的图像.接下来用本文提出的方法对该队列图

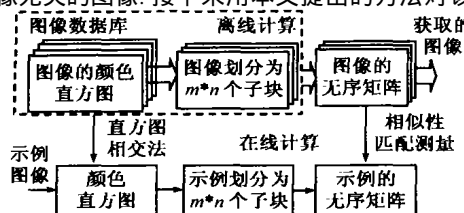


图 1 图像相似性获取方案

像的位置特征进行描述和相似性匹配的细化,它由无序矩阵描述和相似性测量两部分组成.

### 2.1 图像无序矩阵的定义

为了描述图像的空间位置信息,将图像划分为  $m \times n$  个小区块子块.分别用  $B(i, j)$  来表示每一子块,这里  $i = 1, 2, \dots, m$ , 并且  $j = 1, 2, \dots, n$ .它在图像中的顺序排列序号表示为  $N(B(i, j))$ .引入序号矩阵  $A$  来表示图像小区块子块的顺序编号分布,它共有  $m \times n$  个元素  $a(i, j)$ .

$$a(i, j) = N(B(i, j)) \quad (1)$$

为了表示各子块之间相互间的空间关系,将拉普拉斯算子<sup>[14]</sup>作用于矩阵  $A$ ,得到新矩阵  $D$ ,其元素为:

$$d(i, j) = |Lap(N(B(i, j)))| \quad (2)$$

这样  $D$  矩阵的元素相当于  $A$  矩阵的元素在该点位置上序号的二阶导数,它反映出原图中各子块之间相对位置的关系.定义它为原图像的无序性矩阵.可以很容易地看出,如果不考虑边界效应,原图  $D$  矩阵的元素都为 0.当图像发生了空间位置变化,如果保持变化后的图像子块与变化前相对应子块的序号一致,这样就可以得到变化后图像的序号矩阵和无序矩阵.由于拉普拉斯算子具有旋转和平移不变性,如果当原图中子块区域仅仅发生了旋转和平移的变化,其相对位置保持不变,则其变化后图像无序矩阵的元素仍然为 0.如果原图中子块发生了无序变化,则变化后图像的无序矩阵中就会有非 0 元素出现,图像变化得越无序,其对应无序矩阵中非 0 元素越多,并且元素的值也越大.无序矩阵这种特性可以用来描述彩色图像中相对空间位置关系的特征.

### 2.2 图像的无序矩阵表示

为了表示原图和目标图像间的空间位置信息关系,用  $S$  和  $I$  分别表示示例图像和被测量的图像.按照上述方法,分别将两个图像都划分为  $m \times n$  个子区域块,分别表示为  $S(i, j)$  和  $I(i, j)$  (这里  $i = 1, 2, \dots, m$  并且  $j = 1, 2, \dots, n$ ).此时,如果求  $S$  的序号矩阵  $A_S$  和无序矩阵  $D_S$ ,则  $D_S$  为 0 元素矩阵.

用 histogram intersection 方法,按照从大到小的顺序依次求出  $S(i, j)$  和  $I(i, j)$  中颜色分布最为相似的子块对,保证每个子块只参加一次运算,这样共得到  $m \times n$  个子块对,即:

$$(\forall I(i, j)) (\forall S(i, j)) \{S_l(i, j), I_l(i, j)\} \\ = \text{Max}\{I(i, j) \cap S(i, j)\},$$

$$l = 1, 2, \dots, m \times n, I_l(i, j) \text{ and } S_l(i, j) \quad S(i, j) \quad (3)$$

按照公式(3)的相似对应关系,根据  $S$  的子块序号,重新给图像  $I$  的子块排序号,得到图像  $I$  的新序号矩阵

$$A_I = \{N(I_l(i, j))\} \quad (4)$$

按照公式(2)对它进行运算,就可以得到图像  $I$  对应于  $S$  的无序矩阵  $D_I$ .根据无序矩阵的属性可知,如果图像  $I$  和  $S$  的空间关系越相似(对旋转和平移不敏感),则  $D_I$  中 0 元素越多;否则 0 元素越少,并且与  $S$  相比,随着  $I$  中子块的位置越无序,元素值也变得越大.

### 2.3 相似性图像测量算法及策略

为了根据示例图像  $S$  从图像队列中获取相似的图像,需要有一种方法来测量示例  $S$  和候选图像(用  $I$  表示)的相似程度.在定义此相似度时,需要考虑两方面的因素:(1)颜色相

似性. 如何用一个图像的颜色来匹配另一图像的颜色; (2) 空间相似性. 两个图像中的相匹配子块间的相对位置关系.

对于颜色相似问题, 可以用前面得到两个图像中相对应子块间的颜色相交值来测量. 而前面定义的无序矩阵正是反映了颜色相匹配子块间的相对位置信息. 考虑到如果  $m$  和  $n$  值取得较大, 可以忽略边界的影响, 在此定义了测量两个图像空间和颜色的相似性距离  $SCS(I, S)$  公式:

$$SCS(S, I) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu_{ij} \times h(i, j) \quad (5)$$

这里  $h(I, j)$  是前面已求得的  $I$  图像中  $(i, j)$  子块与  $S$  图像中相对应子块的颜色直方图相交值.  $\mu_{ij}$  为子块间位置变化的影响因子, 它由无序矩阵来度量:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{1 + d_I(i, j) - d_S(i, j)} \quad (6)$$

考虑到  $S$  图像的无序矩阵元素是 0 元素, 进行归一化处理, 两个图像空间和颜色的相似性距离公式 (5) 可写为:

$$SCS(S, I) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{h(i, j)}{1 + d_I(i, j)} \quad (7)$$

$SCS$  值越接近 1, 说明两个图像越相似; 反之, 如果该值越小, 则说明两个图像相差越大.

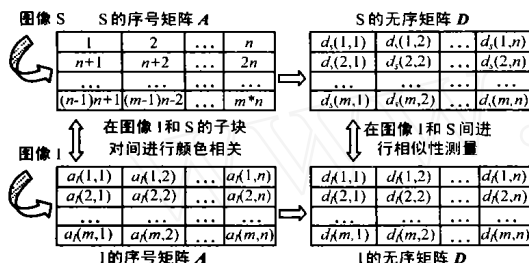


图 2 图像  $I$  和图像  $S$  的相似性测量

如图 2 所示, 根据示例图像  $S$ , 从候选图像队列中检索相似图像. 第一步, 将  $S$  和候选队列中每个  $I$  都划分为  $m \times n$  的子块, 并且应用颜色直方图相交方法, 按照从大到小顺序依次求出  $S(i, j)$  和每个  $I(i, j)$  中颜色分布最为相似的  $m \times n$  个子块对, 保证每个子块只参加一次运算; 接着, 依据  $S$  子块与每个  $I$  子块对的对应关系, 根据  $S$  子块的序号, 得到  $I$  的序号

矩阵和无序矩阵. 为了提高检索速度,  $I$  的子块的颜色直方图可以在计算候选图像队列时保存好; 最后, 根据公式 (7), 测量每个  $I$  与  $S$  之间的距离, 将相差很大的图像除去, 并按距离的大小重新组成一个新的检索结果图像队列.

### 3 实验结果

为了检验算法的性能, 进行了几组不同的实验. 精心挑选的 280 各类不同的彩色图像组成了实验图像数据库, 它们包括飞机、人、自然景物、各种模型和建筑物等. 在实验中, 选用了 RGB 颜色坐标 (coordinates), 并且变换到人们可视化系统中 (human visual system) 常用的 (rg, by, wb) 颜色空间<sup>[15]</sup>. 这样, 在计算颜色直方图时, 颜色空间进行了 16 (16/8 分割), 形成了 2048 个颜色单元. 为了减少计算量, 采用了文献<sup>[13]</sup>的方法, 对像素数少于一定量的颜色单元中进行了归零处理. 实验中选用的参数为:  $m = 10, n = 10$ .

为了评价本文中提出的算法, 选用了两个测量结果评价标准, 精确度 (precision) 和平均匹配率 AMP (average match percentile)<sup>[4]</sup>. 精确度定义为检索结果队列中检索的目标图像数与队列中图像数之比, 即

$$P = N_i / N_r \quad (8)$$

这里  $N_i$  和  $N_r$  分别代表检索图像队列中正确的目标图像数和队列中所有图像数. AMP 定义为:

$$AMP = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{N - R_i}{N - 1} \quad (9)$$

这里  $M$  和  $N$  分别表示输入的检索示例图像次数和所有的图像数,  $R_i$  表示第  $i$  次检索中理想图像在队列中的排列数. 实验是从图像库中选择了 64 个图像分别作为检索示例图像进行了 64 次相似性检索. 每次检索都能很准确地检测到示例图像 (相似性测量距离都为 1), 因此  $P = 1$ . 而 64 精确度的平均值在经过第一阶段的颜色直方图相交法测量后为 59.40%, 再经过本文的方法最后测量后提高到 70.31%. 图 3 给出了其中的三次检索结果, 其中每行最左边为示例图像, 其右边是检索结果图像队列, 它们是按相似程度的大小从左至右顺序排列的.

在类似的方法中, Liu 和 Ozawa 的方法<sup>[11]</sup>使用平均成功率来说明实验结果, 并用本文使用的精确度和平均匹配率

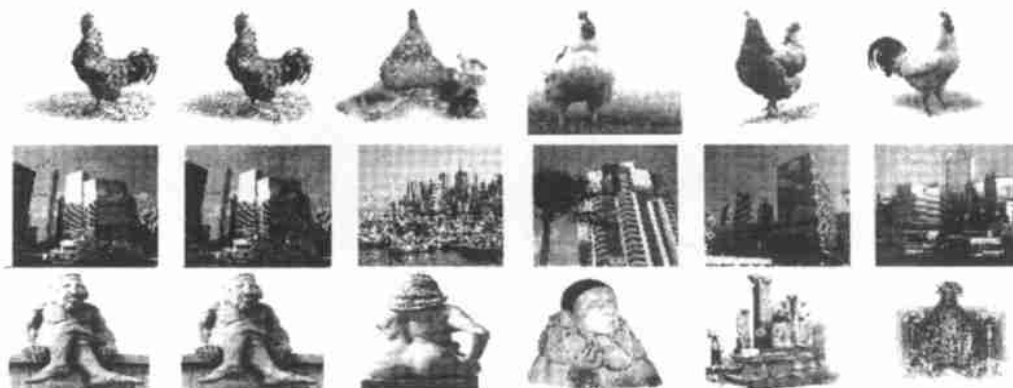


图 3 示例图像和获取的相似图像队列



图4 示例图像和它的变形图像的测量结果

AMP (average match percentile) 缺乏可比性; FOCUS<sup>[10]</sup>方法中, 要进行 RGB 颜色空间到 HSV 颜色空间的转换, 具有一定的复杂度, 同时该方法仅适用于图像中文字的检索。

为了检验算法对旋转和平移等形变的敏感程度, 用多幅示例进行了不同角度和各种平移等形变处理, 发现算法仍然可以查找到相似的图像, 并且具有较理想的相似性测量距离。图4给出了其中一幅具有复杂背景的图像进行各种变形后与原图像的测量结果。

在实验过程中, 还对参数进行了调整, 结果发现对于同一类图像,  $m$ 、 $n$  的值越大, 相似性测量的结果越好, 例如, 先对三组形变后得图像与原图进行测量, 得到平均相似测量距离为 0.49; 然后将  $m$ 、 $n$  由原来的 10 调到 15, 重新对三组图像进行测试, 发现平均相似距离数提高到 0.54。但是增大  $m$ 、 $n$  值以后, 获取速度受到了很大影响, 因此, 在实际应用中可以折中考虑两中因素, 选取合适的参数值。

#### 4 结论

本文提出了一种新方法用于描述彩色图像的空间特征和进行相似性获取。无序矩阵反映了图像的空间位置关系, 并且它对旋转和平移等位置的相对变化具有不变性。相似性测量算法中既考虑了颜色的分布特性, 也考虑到位置因素的影响。和其他方法相比, 本文的算法推导简单, 对图像没有特殊的限制和预处理要求。实验结果证明, 这种方法是有效的, 它可以在很大程度上提高获取的精确度, 并且在位置旋转和平移不变性方面也达到了预期的结果。由于计算量最大的图像库中待测图像直方图的计算可以预先在离线状态下完成, 本方法的运算效率较高。

在下一步的工作中, 准备用更大的图像数据库来测试本文中的算法, 并改进无序矩阵的推导方法, 更进一步提高整个获取算法的运行效率。

#### 参考文献:

- [1] M Flickner, H Sawhney, W Niblack, J Ashley, Q Huang, B Dom, M Gorkani, J Hafner, D Lee, D Petkovic, D Steele, P Yanker. Query by image and video content: The QBIC system[J]. IEEE Computer, 1995, 28(9): 23 - 31.
- [2] Y A Aslandogan, C T Yu. Techniques and systems for image and video retrieval[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1999, 11(1): 56 - 63.
- [3] J Huang, S R Kumar, et al. Image indexing using color correlograms [A]. In Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. San Juan Puerto Rico: IEEE, 1997. 762 - 768.
- [4] M J Swain, D H Ballard. Color indexing[J]. Int Journal of Computer

Vision, 1991, 7(1): 11 - 32.

- [5] V Ogle, M Stonebraker, Chabot: Retrieval from a relational database of images[J]. IEEE Computer, 1995, 28(9): 40 - 48.
- [6] A Pentland, R Picard, S Sclaroff. Photobook: content-based manipulation of image database[J]. Int Journal of Computer Vision, 1996, 18(3): 233 - 254.
- [7] D Comaniciu, P Meer. Robust analysis of feature spaces: color image segmentation[A]. In Proceeding IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. Puerto Rico, San Juan Puerto Rico: IEEE, 1997. 750 - 755.
- [8] W Niblack, R Barber, et al. The QBIC project: querying image by content using color, texture and shape [A]. Proceedings of SPIE [C]. Bellingham, Washington: SPIE, 1993. 173 - 187.
- [9] J R Bach, C Fuller, A Gupta, et al. The Virage image search engine: an open framework for image management [A]. In Proceedings of SPIE [C]. Bellingham, Washington: SPIE, 1996. 76 - 87.
- [10] M Das, E M Riseman, B A Draper. FOCUS: searching for multi-color objects in a diverse image database[A]. In Proceeding IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. Puerto Rico, San Juan Puerto Rico: IEEE, 1997. 756 - 761.
- [11] Y Liu, S Ozawa. A integrated color-spatial image representation and the similar image retrieval[A]. In Proceedings of 4th Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation[C]. Texas, Austin, Texas: IEEE, 2000. 283 - 287.
- [12] J Smith, S F Chang. Tools and techniques for color image retrieval[A]. In SPIE Proceeding[C]. Bellingham, Washington: SPIE, 1996. 1630 - 1639.
- [13] I K Park, I D Yun, S U Lee. Models and algorithms for efficient color image indexing [A]. In Proceedings IEEE Workshop in Content - Based Access of Image and Video Libraries[C]. Puerto Rico, Puerto Rico: IEEE, 1997. 36 - 41.
- [14] 容观澳. 计算机图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [15] D H Ballard, C M Brown. Computer Vision, Prentice Hall [M]. New York, 1982.

#### 作者简介:

贾克斌 男, 1962 年 8 月生, 河南省安阳人, 博士, 1998 年毕业于中国科技大学通信与电子信息专业, 并获工学博士学位, 北京工业大学教授。自 2001 年 3 月起获日本政府现代通信机构研究基金资助, 在日本早稻田大学研究中心作访问学者。主要研究领域为图像内容获取、图像数据库和计算机网络关键技术, 曾获中科院院长奖学金、省级科技进步二等奖, 发表学术论文 39 篇。

方 晟 男, 1977 年 11 月生, 广东省惠来人, 硕士研究生。自 2001 年直接推荐攻读北京工业大学电子信息专业硕士研究生, 主要研究领域为图像内容获取和图像处理技术。