

彩色图象的联合分布表示及检索技术

曹奎 冯玉才 曹忠升 张军

(华中科技大学计算机学院数据库与多媒体研究所, 武汉 430074)

摘要 随着图象数据的大量涌现, 基于内容的图象检索技术已成为图象数据库领域的研究热点. 在图象检索系统中, 由于颜色直方图方法简单方便, 所以它已成为CBIR系统中最常用的一种技术方法, 然而, 经典的颜色直方图方法存在诸多缺陷, 例如它不能表示图象中颜色的空间分布信息. 为此, 人们提出了直方图细化技术, 即将图象的颜色分布表示扩充为颜色和其他相关特征的联合分布. 为了进一步提高图象检索能力, 在分析图象特征的基础上, 给出了两种加权直方图模型: 其一是将图象的颜色分布和细节信号能量的分布集成到单个直方图之中; 另一种模型是将图象颜色及其边界强度的联合分布集成到一个直方图中. 这两种方法不仅保持了经典直方图简单方便的特点, 同时又有效地将空间信息集成到直方图中. 实验结果表明, 这些加权直方图表示均具有较强的图象辨别能力.

关键词 图象表示与检索 颜色直方图 颜色分布 加权直方图 彩色图象分析

中图法分类号: TP391.41 TP311.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)11-1084-05

Joint Distribution-Based Image Representations and Retrieval

CAO Kui, FENG Yu-cai, CAO Zhong-sheng, ZHANG Jun

(Computer School, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract As very large collections of images are becoming common, there is a growing interest in image database that can be queried based on image content. Content-based image retrieval (CBIR) has become an important research issue for image database. As color histogram is simple to compute yet effective as a feature in detecting image-to-image similarity, it is an image feature widely used in CBIR. However, using the classical color histogram for indexing has a number of drawbacks. E. g. it does not contain information about the spatial locations or distributions of pixels in an image. To overcome its limitations, the refined histograms techniques are proposed on the basis of joint distribution of color and other features. In this paper, in order to provide a more accurate description of the image content, we propose two histogram models to refine the description of each pixel by some local features. One model is presented to integrate both color distribution and detail signal energy into a single histogram. Another is presented to integrate the edge strength into the definition of the color histogram. The experimental results show our histogram approaches can achieve an increased discriminative power compared to the classical color histogram technique for image retrieval.

Keywords Image representation and retrieval, Color histogram, Color distribution, Weighted histogram, Color image analysis

0 引言

随着多媒体信息系统和数字图书馆的出现及其广泛应用, 快速、准确地存取和检索信息的需求已扩

展到可视化信息领域. 如今基于内容的图象检索(Content-Based Image Retrieval, CBIR), 即从图象所包含的内容出发, 检索与给定例子图象相似的数据库图象已成为一个主要研究领域^[1-5]. 众所周知, CBIR 研究的一个主要任务就是产生具有鲁棒性,

基金项目: 国家“863”高科技基金项目(863-511-920-001)

收稿日期: 2000-06-27; 改回日期: 2001-03-06

且有效的图象索引(image indexing)或图象表示。由于颜色是一种最主要的图象低层特征,同时颜色特征相对较为简单,因此,人们很自然地使用颜色特征来标注图象。这种基于颜色的图象表示及检索技术最早在文献[6]中提出,它的核心思想是通过计算图象的颜色分布(即颜色直方图),并利用直方图相交算子(histogram intersection)来计算图象之间的相似性。由于颜色直方图方法简单有效,因此目前它仍是一种最流行的 CBIR 技术。

然而,颜色直方图本身却存在诸多缺陷^[7],即它作为一种图象全局表示方法,其主要缺点是不包含任何有关颜色的空间分布信息,而且不同图象的颜色直方图可能相同或相似。为解决这一问题,常用的方法是首先将图象分割为若干个区域,然后分别对每个分割出的区域计算其相应的颜色直方图。这种在直方图中添加空间信息的方法虽然简单直观,但需要额外的时间和空间开销。为了减少时间和空间开销,于是,就出现了联合直方图方法(joint histogram)^[8-11](即将图象的颜色分布表示扩充成为颜色和其他相关特征的联合分布,这些相关特征包括统计矩、边缘强度以及空间位置信息等),如 Richman 等提出的一种描述局部颜色相关性的方法^[8];Pass 等讨论的一种直方图细化技术^[9],即对直方图的每个值(histogram bin),根据与其对应的某些局部特征来产生相应的下级直方图的技术;Huang 等给出的基于二阶颜色分布的联合直方图方法^[10,11]。

1 L*a*b* 彩色空间与图象的颜色不变量

为了获取一个独立于观察点的量化图象颜色描述符,就需要一种颜色特征,并要求其在事先考虑到阴影、遮蔽以及高亮度等因素的影响下,它仍能独立于对象表面的形状和观察的几何形状,而且人们已经发现,对于 Phong 和 Torrance-Sparrow 的反射模型,颜色的色度(Hue)是一个独立于观察点的颜色特征^[12-15]。由于彩色空间 L*a*b* 具有感知上的均匀性,它与人们对彩色的感知非常接近,并且具有欧氏距离度量(Euclidean metric),因此,本文选用 L*a*b* 彩色模型来计算色度。

设 I 是一个 RGB 格式的图象,其计算色度的方法如下:

(1) 进行 RGB 彩色空间到 CIE XYZ 空间的转换,即计算与图象 I 中每个坐标位置 (x, y) 处的象素的 RGB 颜色值对应的 CIE XYZ 值。

$$\begin{cases} X(x, y) = a_1 R(x, y) + b_1 G(x, y) + c_1 B(x, y) \\ Y(x, y) = a_2 R(x, y) + b_2 G(x, y) + c_2 B(x, y) \\ Z(x, y) = a_3 R(x, y) + b_3 G(x, y) + c_3 B(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

这里, a_i, b_i 和 $c_i (i=1, 2, 3)$ 是与照相相关的参数。

(2) 计算 a^*, b^* 值

$$\begin{cases} a^*(x, y) = 500 \left[\left(\frac{X(x, y)}{X_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y(x, y)}{Y_0} \right)^{1/3} \right] \\ b^*(x, y) = 200 \left[\left(\frac{Y(x, y)}{Y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z(x, y)}{Z_0} \right)^{1/3} \right] \end{cases} \quad (2)$$

其中, X_0, Y_0, Z_0 分别是与标准白色相应的 X, Y, Z 的参考值,例如,在多云天气的中午光照条件下,可取 $(X_0, Y_0, Z_0) = (0.981, 1.000, 1.182)$ 。

(3) 计算象素色度 $H(x, y)$

$$H(x, y) = \arctan(b^*(x, y)/a^*(x, y)) \quad (3)$$

这里, $H(x, y)$ 就是图象中 (x, y) 位置处象素的色度值,它的取值范围是 $[0, 2\pi]$ 。

对于给定图象中的每个象素,经上述 3 步计算后,均得到一个相应的颜色不变量 $H(x, y)$, 这样可以直接将色度 $H(x, y)$ 定义为图象的一个不变量标记函数。事实上,色度就是抽取出的图象颜色特征。本文将从这种颜色特征出发,讨论图象检索技术中采用的联合直方图方法。

2 具有空间约束的颜色直方图方法

颜色直方图是一种全局图象表示方法,其功能就是描述图象中颜色的分布。它不仅可以有效地应用于图象的相似检索中,并且具有检索速度快、效率较高等特点。给定一幅图象 f , 图象大小为 $m \times n$, 并设 f 中坐标 (i, j) 处象素的颜色为 c , 即 $c = f(i, j)$, C 为颜色集,则图象的颜色直方图定义为

$$g_{\text{color}}(c) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta(f(i, j) - c), \forall c \in C \quad (4)$$

由式(4)可知,直方图 g 的每个值 $g_{\text{color}}(c)$ 即表示图象中具有颜色 c 的象素频数。假定图象中象素的颜色值是随机选取的,那么 $g_{\text{color}}(c)$ 就可视为颜色 c 在图象中出现的概率,这样,直方图就表示了图象中颜色的分布,也可以说,直方图方法是一种估计非参数分布的最简单方法。

2.1 色度直方图

采用第 1 节中给出的方法,就可以计算任何图

象的颜色不变量,即色度.由于这些颜色不变量是量化的,并且是独立于观察点的,因此可以直接将色度作为图象特征来描述图象内容.这样,就可得到相应的色度直方图方法.

设图象 f 色度为 $h_i = f(i, j)$, $H = \{h_1, h_2, \dots, h_i\}$ 为色度集, q 为色度量化的等级数,则图象 f 的色度直方图定义为

$$g_{H, \alpha}(h) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta(f(i, j) - h), \forall h \in H \quad (5)$$

这里需要指出,当颜色的饱和度很小时,由于其色度将变得不稳定,因此,在计算色度直方图时,图象中那些饱和度小于阈值 t (例如, $t=15$) 的像素将被剔除掉,即这些像素不参与直方图的计算.

2.2 加权直方图

为了更准确地描述图象的内容,可以通过计算每个像素处的某些局部特征来增强对图象内容的描述.由于图象的局部方差(像素邻域内像素值的标准差)反映了图象中细节信号的丰富程度或细节信息的局部能量,因此,利用它可以得到一种加权直方图.设 $\sigma(i, j)$ 为图象 f 在坐标 (i, j) 处某一邻域中像素色度值的局部方差,则这种具有空间约束的加权直方图定义为

$$g(h) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta(f(i, j) - h) (1 + \sigma(i, j))^\alpha \quad \forall h \in H \quad (6)$$

其中, H 为图象的色度集, α 为一整数,其值在直方图式(6)中表示对图象细节信号作用的强调程度.

(1) 若 $\alpha=0$, 则直方图式(6)就是经典直方图;

(2) 若 $\alpha < 0$, 对于那些位于平滑或均匀区域中的像素 (i, j) , 由于其相应的局部方差 $\sigma(i, j)$ 很小, 因此可以近似地视其权重为 1; 反之, 对于那些位于图象细节区域中的像素, 由于其相应的局部方差较大, 因而这些像素对相应直方图计算的贡献就小(权重较小). 当 $\alpha < 0$ 时, 就得到一个增强图象区域特征的直方图, 这也可以认为是降低了图象中那些不确定颜色以及位于图象细节区域中的像素颜色对计算图象颜色分布的影响.

(3) 若 $\alpha > 0$, 则 $g(h)$ 的计算值正比于图象的局部细节能量, 因而它是一种强调图象细节作用的加权直方图. 显然, α 取值越大, 对图象细节的强调程度越高; 反之, 对图象细节的强调程度越低. α 取正值的依据是: 因为图象的细节特征提供了图象像素的高层特征, 所以它对图象内容的描述更有意义.

大家知道, 由于边缘是一幅图象最重要的信息, 也是图象细节信号的重要组成部分, 因此, 根据边缘信息来估算图象细节信息是一种可行的途径, 而且由于边缘具有方向性, 因此它可以通过各向异性滤波器来提取. 本文采用 45° 、 135° 两个归一化边缘算子 E_1 和 E_2 来分别作用于图象, 相加后即得到边缘图象 $e(i, j)$, 即

$$e(i, j) = E_1(f(i, j)) + E_2(f(i, j)) \quad (7)$$

这样, 使用图象的边缘信息就可以得到另一种加权直方图方法.

$$\tilde{g}(h) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta(f(i, j) - h) (1 + |e(i, j)|)^\alpha \quad (8)$$

这里, α 为一整数. 显然, 式(8)是一种相应于图象边缘强度的加权直方图. 根据 α 的不同取值, 直方图式(8)可以具有类似于直方图式(6)的特征.

2.3 距离度量

前面讨论了两种联合直方图方法, 对于这两种直方图表示(式(6)和式(8)), 可以使用 L_1 距离来计算两个加权直方图之间的距离. 设与两幅图象对应的色度直方图分别为 $g(h) = \{g(h_1), g(h_2), \dots, g(h_i)\}$ 和 $\bar{g}(h) = \{\bar{g}(h_1), \bar{g}(h_2), \dots, \bar{g}(h_i)\}$, 则直方图距离定义为

$$d(g, \bar{g}) = \sum_{i=1}^i |g(h_i) - \bar{g}(h_i)| \quad (9)$$

采用上述加权直方图图象表示和距离度量, 其图象检索过程如下: 首先, 选取一个查询图象, 并计算其加权直方图, 接着使用式(9)中的直方图距离度量来计算查询图象与数据库图象之间的距离; 然后, 将图象按其距离大小降序排列, 并将与查询图象最相似的若干个图象作为检索结果返回给用户.

3 实验结果与讨论

在实验中, 首先选取了一个由 500 幅自然景物图象组成的测试图象集 S , 然后从 S 中选取 20 幅图象构成检索集合 Q 来进行检索实验. 检索性能的评价采用基于“检索精度-查全率”(precision/recall)的相似检索评价准则. 通过执行检索集合 Q 中的各个查询, 就可以计算出这些查询的平均检索精度和查全率, 据此就能给出系统的检索性能评价.

设 N 为查询返回的图象个数, R 是查询结果中与检索图象相关的图象个数, M 表示测试集合 S 中与检索图象相关的图象总数. 检索精度和查全率的

定义如下:

(1) 检索精度 $p=R/N$, 它定义为查询结果中, 与检索图象相关的图象所占的百分比. 检索精度 $p=100\%$ 表示查询出的图象均为相关图象.

(2) 查全率 $r=R/M$, 它定义为查询结果中与检索图象相关的图象占全部相关图象的百分比. 查全率 $r=100\%$ 表示全部相关图象均被检索出来.

为了评价本文提出的具有空间约束的加权直方图方法的检索性能, 对于检索图象集 Q 中的每个检索图象以及测试集 S 中所包含的与其相关的所有图象均被事先确定, 确定的方法是根据人们感知上的相似性原则, 即在一组有关人员判断结果的基础上最终确定. 在实验过程中, 通过分别对检索图象集合 Q 中的各个图象进行查询, 即可计算出不同查全率条件下系统的平均检索精度, 从而得到系统的检索性能评价, 其分析结果如图 1 所示. 为了较全面地评价本文提出的方法, 还分别将它与色度直方图方法、

文献[9]中的直方图细化方法进行了比较(使用相同的检索集合). 图 2 是一个使用色度直方图方法进行检索的示例, 图 3 是使用直方图细化方法执行同一查询而得到的检索结果. 图 4 和图 5 给出了使用加权直方图方法得到的检索结果(例子图象与图 2 相同).

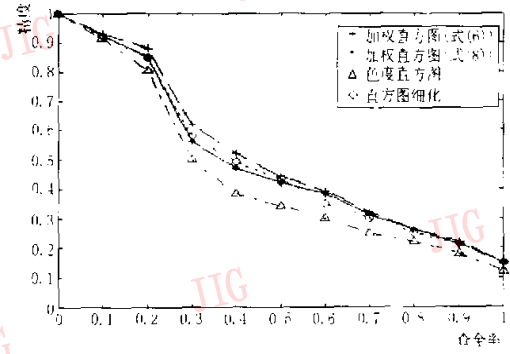


图 1 检索精度-查全率曲线



图 2 一个色度直方图检索示例(图中最左边为例子图象, 相似度量采用直方图相交算子)



图 3 使用直方图细化方法得到的检索结果(最左边为例子图象, 相似度量采用 L_1 距离)

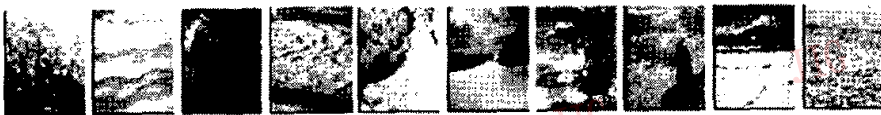


图 4 使用加权直方图式(6)的检索结果(最左边为例子图象, 相似度量采用 L_1 距离)

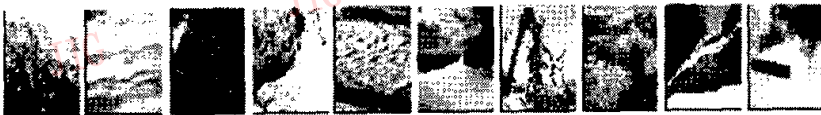


图 5 使用加权直方图式(8)的检索结果(最左边为例子图象, 相似度量采用 L_1 距离)

实验结果表明, 本文讨论的联合直方图方法能够获得较好的检索结果, 其检索结果能更好地符合人们的视觉感知特点. 经比较, 使用本文方法获得的检索结果明显优于色度直方图方法; 与直方图细化方法相比, 虽然本文方法的计算复杂度远低于直方图细化方

法(histogram refinement), 但同样可获得接近或稍好的检索性能. 如果就图象检索应用而言, 则这种加权直方图方法是很有效的, 而且也是获得高质量检索结果所必须考虑的技术方法. 综上所述, 本文提出的加权直方图图象表示方法及其相应的图象检索技术

不仅简单方便,同时也为在图象的颜色分布表示中嵌入空间约束信息提供了一条可行途径。

参 考 文 献

- Sethi I. K., Coman I., Day B. *et al.* Color-WISE: A system for image similarity retrieval using color [A]. In: Proceedings Storage and Retrieval for Image and Video Database VI[C], San Jose, 1998;146~147.
- Ma W. Y., Manjunath B. S. NeTra: A toolbox for navigating large image databases[A]. In: Proceedings ICIP'97[C], New York, 1997;568~571.
- Niblack W., Barber R., Equiz W. *et al.* The QBIC project: Querying images by content using color, texture and shape[R]. Research Report 9263, IBM Research Division, Almaden Research Center, 1993.
- Smith J. R., Chang S. F. VisualSEEK: A fully automated content-based image query system[EB/OL]. From <http://www.str.columbia.edu/~jrsmith/html-pubs/acmm96/node2.html>.
- Pentland A., Picard R. W., Sclaroff S. Photobook: Tools for content-based manipulation of image databases [A]. In: Proceedings Storage and Retrieval for Image and Video Databases II[C], San Jose, 1994;34~47.
- Swain M. J., Ballard D. H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991,7(1):11~32.
- Andrououts D., Piatanious K. N., Venetsanopoulos A. N. A novel vector-based approach to color image retrieval using a vector angular-based distance measure[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999,75(1/2):46~58.
- Richman R. M., Stonham T. J. Content-based image retrieval using color tuple histograms[A]. In: Proceedings Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV, SPIE, 1996, 2676;2~7.
- Pass G., Zabih R. Histogram refinement for content based image retrieval[A]. In: Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Application of Computer Vision[C], Sarasota, Florida, 1996; 96~102.
- Huang J., Kumar S. R., Mitra M. *et al.* Image indexing using correlograms[A]. In: Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition[C], San Juan, Puerto Rico, 1997;762~768.
- Huang J., Kumar S. R., Mitra M. *et al.* Spatial color indexing and applications [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision[C], Bombay, India, 1998;4~7.
- Funt B. V., Finlayson G. D. Color constant color indexing [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995,17(5):522~529.
- Gevers T., Smeulder A. W. M. Evaluating color and shape invariant image indexing of consumer photography [A]. In: Proceedings of Visual'96: The First International Conference on Visual Information Systems[C], Melbourne, Australia, 1996; 251~261.
- Gevers T., Smeulder A. W. M. Image indexing using composite color and shape invariant features[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision [C], Bombay, India, 1998;576~581.
- Gevers T., Smeulder A. W. M. Content-based image retrieval by viewpoint invariant image indexing [J]. Image and Vision Computing, 1999,17(7):475~488.



曹 奎 1963年生,副教授,现在华中科技大学计算机学院攻读计算机软件与理论博士学位,研究方向为多媒体数据库、基于内容的检索和高维索引结构。

冯玉才 1946年生,教授,博士生导师,华中科技大学数据库与多媒体研究所所长,主要研究方向为数据库、多媒体技术、GIS。

曹忠升 1965年生,副教授,主要研究方向为多媒体数据库、空间数据库、信息处理等。

张 军 1965年生,华中科技大学计算机学院博士生,研究方向为图象处理、并行计算和计算机视觉。