

一种基于基元的彩色图像检索方法^①

王 华, 戴 芳

(西安理工大学 理学院, 西安 710054)

摘 要: 结合基元与颜色特征, 提出一种基于基元的彩色图像检索算法, 该算法首先将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 空间上, 并将图像量化为 256 种颜色, 然后定义五种基元类型对图像进行基元分析得到基元图, 利用颜色直方图描述基元图的颜色特征, 利用改进的直方图相交算法进行相似度度量。实验结果表明: 提出的算法能有效地去除背景颜色对图像目标的检索影响, 而且较之用灰度边缘检测的边缘代替彩色图像边缘而进行的检索, 能更好地反映彩色图像的纹理和边缘特征, 具有较高的查准率和查全率。

关键词: 图像检索; HSV 颜色空间; 基元图; 相交颜色直方图

Color Image Retrieval Algorithm Based on Texton

WANG Hua, DAI Fang

(Faculty of Sciences, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In this paper, a content-based image retrieval algorithm using texton and color is proposed. Firstly, it converts color image from RGB color space to HSV color space and quantizes the color image into 256 colors. Then texton-images can be extracted based on the five texton types which are defined for image analysis. Finally, color features of texton-images are represented by color histogram whose similarity can be measured by the improved cross color histogram. Experimental results indicate that: the proposed algorithm can effectively remove the effects of the background color and can make a better description on the color image texture and edge features possessing higher rates of precision and recall compared with the edge detection method.

Keywords: image retrieval; HSV color space; texton-images; cross color histogram

1 引言

基于内容的图像检索主要根据颜色、纹理和形状等特征来进行图像检索。颜色特征是图像最显著的视觉特征之一, 能够提供丰富的信息来表达图像内容, 且具有旋转、尺度和平移不变性的特性, 被广泛应用于图像检索领域。颜色特征的描述方法主要有颜色直方图、颜色集、颜色矩、颜色聚合向量和颜色相关图。颜色直方图能够描述不同颜色在整幅图像中所占的比例, 且具有稳定性好, 计算简单等特点, 但却不能反映颜色的空间分布信息。虽然颜色矩, 颜色聚合向量, 颜色相关图等能够描述一定的空间分布信息, 但是它们计算量大, 特征维数高导致了应用的局限性, 所以

颜色直方图仍被广泛的应用在各种系统之中。

纹理反映的是图像中像素的灰度空间分布的属性, 并且可认为是具有某种规律性的模式。经典的纹理分析方法主要有^[1]: 灰度共生矩阵法、傅里叶功率谱法、Gabor 小波变换、马尔可夫随机场、多尺度子回归模型、分形模型等。1981年, Julesz 提出了基元概念^[2], 认为纹理模式是重复子模式的集合, 这些子模式本身是由一些基本单元组成的, 这些单元称之为基元。人类视觉系统能够感知场景的强度和颜色变化, 就形成了确定的重复模式。图像中具有很多种基元类, 一般情况下, 基元被定义为具有某种属性的图像块, 或者在整幅图像中基于某种属性的重复模式。

^① 基金项目: 国家自然科学基金(60971127); 陕西省教育厅科学研究计划(09JK611); 西安理工大学博士启动金(108-210905)

收稿时间: 2010-04-30; 收到修改稿时间: 2010-06-21

边缘是图像中最基本的特征之一，包含着丰富的信息，因此，充分利用边缘特征，有助于提高图像的检索准确度。目前的边缘提取算法主要针对灰度图像，而对于彩色图像往往是将彩色图像转化为灰度图或二值图后进行的边缘检测，然后根据提出的边缘图像的位置相应的对应到原彩色图中去，即用灰度图像的边缘代替彩色图像的边缘，但这样就存在一个问题，即不同的色彩可能具有相同的灰度值，故此法提取的彩色图像边缘不准确，如文献[3]中对彩色图像利用灰度图像边缘检测算子检测的边缘来代替彩色图像边缘，以及文献[4]中利用数学形态学进行的彩色图像边缘检测等。

本文主要利用基元思想定义五种基元类型，并用基元类型分析彩色图像得到基元图，利用颜色直方图描述基元图的颜色特征，利用直方图相交法进行相似度度量。

2 颜色空间选取及色彩量化

首先，对彩色图像的检索必须在特定的颜色空间内进行。常见的颜色空间有 RGB, HSV, Lab, YCbCr, LUV, YUV 等等。其中 HSV 颜色模型是按照色调(hue)、饱和度(saturation)和亮度值(value)建立的颜色模型。HSV 颜色模型有两个特点：第一，亮度分量与图像的彩色信息无关；第二，色调和饱和度两个分量与人类感知颜色的方式紧密相联。在图像处理中，它非常适合于借助人类视觉系统来感知颜色特征，所以本文中彩色图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间进行颜色分析。

从 RGB 到 HSV 颜色空间的转换公式为^[5]：

$$V = \frac{1}{\sqrt{3}}(R + G + B) \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{\sqrt{3}}{V} \min(R, G, B) \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right]$

一般一幅图像的颜色很多，包含的直方图矢量的维数会很多，如目前大多数图像均用真彩色格式存储，每个像素的颜色值总共有 224 种取值可能，故应对 HSV 空间进行适当的量化以减少计算量。由于人眼对色调、饱和度和亮度的感知不尽相同，因此对这三个

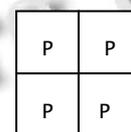
分量进行非等间隔量化：将色调 H 分成 16 份，饱和度 S 和亮度 V 分成 4 份，则 HSV 空间被量化为 256 种颜色。

3 基元分析

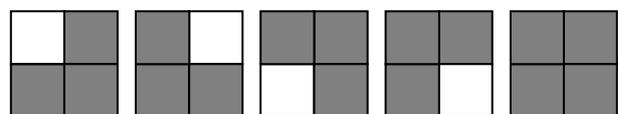
为能够体现图像颜色构成和分布的重复模式以及规律性，本文利用基元思想定义五种基元类型，并用基元类型对彩色图像进行分析，这样得到的基元图不仅能体现图像的颜色特征，而且还能体现一定的纹理和边缘特性。

一般情况下，基元被定义为具有某种属性的图像块，或者在整幅图像中基于某种属性的重复模式。本文根据颜色相似性来进行基元分析，把具有相同颜色属性的微小图像单元看作是一种基元。22 的图像块是最小的图像块，所以用它来进行基元检测。

由于图像在 HSV 空间下被量化为 256 种颜色，因此每个像素拥有一个颜色值。假设在图像中有一个 22 的方格，它的像素为 p1, p2, p3 和 p4，如果其中三个或者四个像素的颜色值相同，则认为这些像素点形成一种基元。本文在文献[6]定义的四种基元类型之上，增加一种基元类型 T5 进行基元分析。五种特殊的基元类型分别定义为 T1, T2, T3, T4, T5，如图 1 所示，在 22 方格中，黑色方块表示这些像素的颜色值相同，不同的方块结构形成不同的基元类型。



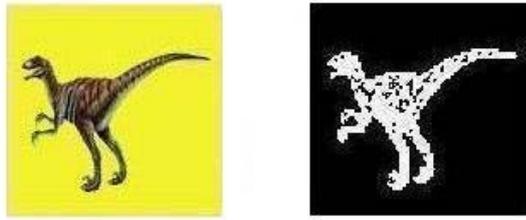
(a) 22 方格



(b) T1 (c) T2 (d) T3 (e) T4 (f) T5

图 1 基元类型示意图

将图像划分为互不重叠的 22 方格后，分别利用 T1, T2, T3, T4, T5 来探测每个方格，判断该 22 方格是否包含基元类型，对于基元部分的像素，即黑色方块的颜色用 0 值代替，非基元部分的像素，即白色方块的颜色则保持原值，检测结束则得到基元图。如图 2(a)为原图，图 2(b)为本文基元类型检测后的图像。



(a) 原始图像 (b) 本文五种基元类型分析后的图像
图 2 本文基元类型分析后的图像结果

因为图像的边缘与颜色之间的变化密切相关, 所以图像中颜色相同或相似的地方, 颜色无变化或变化不明显, 当颜色变化较大, 则存在图像边缘, 颜色变化越大, 则图像边缘越明显。本文利用基元类型分析得到的基元部分实际就是颜色无变化或变化不明显的地方, 故使用基元类型分析得到的基元图像能够体现一定的纹理和边缘特性, 而且彩色纹理边缘包含着图像中丰富的信息, 比灰度纹理边缘更加能够体现图像内容。

4 基元特征描述与相似性度量

利用基元类型对图像分析得到的基元图中, 既包含基元部分颜色值为 0 的像素, 又包含非基元部分颜色值保持不变的像素。由于颜色直方图能够统计不同颜色在整幅图像中占有的像素个数, 因此利用颜色直方图描述基元图的颜色特征。对于两幅图像的颜色直方图之间的距离, 采用直方图相交法进行相似性度量。

直方图相交算法获取两幅图像颜色集的交集, 根据它们具有相同颜色的程度来衡量两图像的相似。其中 Swain 和 Ballad 的归一化颜色直方图相交算法^[7]是彩色图像检索中一种很有效的度量方法。

设 Q 和各 I 含有 N 个 bin 的颜色直方图, 分别为 $Q=(Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$ 与 $I=(I_1, I_2, \dots, I_N)$, 其中 Q 为查询图像, 是图像库中的一幅图像。直方图相交实质是计算两个直方图在每个 bin 中共有的像素数量。则两幅图像的颜色直方图的相交距离为^[7]:

$$D(Q, I) = \sum_{i=1}^N \min(Q_i, I_i) \quad (4)$$

$D(Q, I)$ 的值越大, 则两幅图像越相似。为了计算需要, 可以通过除以其中一个直方图的所有像素数量来实现归一化:

$$D(Q, I) = \frac{\sum_{i=1}^N \min(Q_i, I_i)}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (5)$$

则其值落在 $[0, 1]$ 区间之内。

但颜色直方图相交算法具有应用的局限性, 即对具有相同目标在不同的背景颜色的两幅图像中, 相交直方图就检索不到, 因此本文利用相交颜色直方图度量时, 对颜色值为 0 的像素不予考虑(因为背景色在基元分析后值为 0), 即本文中 $=255$, 这样对于具有相同目标而不同背景的图像, 较好地去除了不同背景色的影响, 如本文第 5 节实验 1 的检索结果, 图 3(b)所示为检索系统返回的前 20 幅图像, 其中第一幅图为查询图像。

5 实验结果与性能分析

为验证本文算法不仅具有颜色特征的描述能力, 而且能够体现一定的纹理和边缘特性的性能, 采用查准率和查全率作为评价标准, 并与文献[3]中用灰度边缘检测算子检测的边缘代替彩色图像的边缘算法进行比较。

查全率(Recall Rate)和查准率(Precision Rate)是衡量检索性能的重要指标。查全率是指系统返回的查询结果中相关图像数目占图像库中所有相关图像数目的比例; 查准率是指在一次查询过程中, 系统返回的查询结果中相关图像数目占所有返回图像数目的比例。分别定义为:

$$\text{查全率: } Recall = n/N \quad (6)$$

$$\text{查准率: } Precision = n/M \quad (7)$$

前者是衡量检索系统和检索者检出相关信息的能力, 后者是衡量检索系统和检索者拒绝非相关信息的能力, 两者合起来, 即表示检索效率。对于不同的图像检索算法, 在相同的检索率条件下检索的查全率和查准率越高, 相应的图像检索算法越好。

实验测试使用文献[3]中 SIMPLIcity 系统测试集, 该测试集是从 Corel 图像库选取的共 1000 幅, 包括 10 类图像, 每类 100 张, 如非洲土著居民、海滩、建筑、花等, 并加入 40 幅具有不同背景颜色的恐龙图, 则数据库图像共为 1040 幅。

在下面三次实验中, 共选取 6 类图像(不同背景色的恐龙图, 马、海滩、公共汽车、花、建筑), 对每一类图像随机抽取 5 幅作为查询图像, 并选取系统返回的前 20 幅的图像作为检索结果。对每类图像, 计算 5

次查询结果的查准率和查全率的平均值来反映算法的检索性能。

实验 1: 对不同背景色的恐龙图的检索

5 次查询结果的查准率和查全率的平均值分别为:

文献[3]算法: P=21.0% R=10.5%

本文算法: P=94.0% R=47.0%

图 3 给出了对不同背景色的恐龙图的检索结果。系统返回 20 幅图, 其中第一幅图为查询图像。本文算法可平均检索出 18.8 幅, 而文献[3]算法平均检出只有 4.2 幅, 说明本文算法能有效地去除背景颜色对图像目标的检索影响。

实验 2: 对马、海滩、公共汽车等三类图像检索

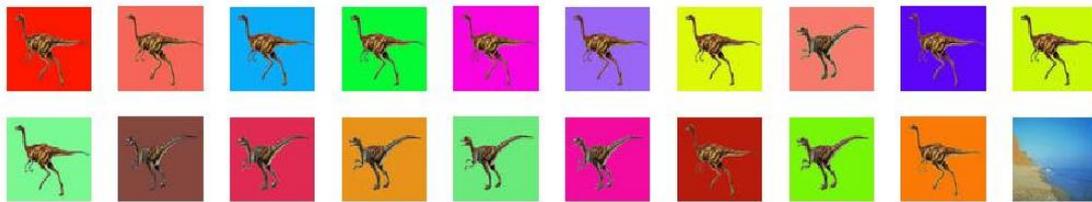
表 1 两种方法的检索性能数据比较

图像类别	查准率 P (%)		查全率 R (%)	
	文献[3]算法	本文算法	文献[3]算法	本文算法
马	90.0	96.0	18.0	19.2
海滩	59.0	71.0	11.8	14.2
公共汽车	84.0	92.0	16.8	18.4

如图 4 给出了对马类图像的检索结果。系统返回 20 幅图, 其中第一幅图为查询图像。图 4(b)返回的结果中体现图像的绿色、白色和棕色, 说明本文算法具



(a) 文献[3]方法的检索结果



(b) 本文方法的检索结果

图 3 本文算法与文献[3]算法对不同背景色的恐龙图的检索结果

有较好的颜色描述能力。

实验 3: 对花, 建筑类图像的检索

表 2 两种方法的检索性能数据比较

图像类别	查准率 P (%)		查全率 R (%)	
	文献[3]算法	本文算法	文献[3]算法	本文算法
花	70.0	87.0	14.0	17.4
建筑	55.0	84.0	11.0	16.8

如图 5 给出了对花类图像的检索结果。从结果中可看出本文方法不仅可以描述花的颜色而且比文献[3]用边缘检测的算法更能反映花的纹理和边缘特性。

灰度共生矩阵是一种经典的纹理分析方法, 能够表达相邻像素之间的空间相关性, 但无法体现颜色和形状特征, 而本文方法不仅有颜色特性而且利用颜色的分布能体现一定的纹理和边缘特性。文献[3]中对彩色图像利用灰度图像边缘检测算子检测的边缘来代替彩色图像边缘检索具有一定的误差, 即不同的色彩可能具有相同的灰度值, 而本文直接对彩色图像利用颜色值的变化分布反映图像的纹理边缘, 对纹理图像具有一定的检索能力, 如对建筑图像的检索、花类图像的检索(图 5(b))。



(a) 文献[3]方法的检索结果



(b) 本文方法的检索结果

图 4 本文算法与文献[3]算法对马类图像的检索结果



(a) 文献[3]方法的检索结果



(b) 本文方法的检索结果

图 5 本文算法与文献[3]算法对花类图像的检索结果

6 结束语

单一的低层图像特征不能充分表达图像的内容，本文综合基元与颜色特征，提出一种基于基元的彩色图像检索算法，不仅具有颜色特征的描述能力，而且能够体现一定的纹理和边缘特性，并利用改进的相交颜色直方图度量法对具有不同背景的目标图像有很好的识别能力。但本文基于基元分析的方法也存在局限性，即缺乏图像语义描述，如对土著居民的检索效果不是很理想，对此将在下一步进行研究探讨。

参考文献

- 1 赵珊.基于内容的图像检索关键技术研究[博士学位论文].西安:西安电子科技大学,2007.
- 2 Jules B. Textons, the elements of texture perception and their interactions. *Nature*, 1981,290(5802):91-97.
- 3 杨红颖,吴俊峰,于永健,王向阳.一种基于 HSV 空间的彩色边缘图像检索方法.中国图象图形学报,2008,13(10):2036-2038.
- 4 王红霞.基于边缘和颜色特征的图像检索技术研究[硕士学位论文].东营:中国石油大学(华东),2009.
- 5 李勇.基于内容的图像检索技术研究[博士学位论文].长春:吉林大学,2009.
- 6 Liu GH, Lin YS, Wang Q. Image Retrieval Based on the Color Textons Descriptor. Proc. of the 2009 Chinese Conference on Pattern Recognition (CCPR 2009). Los Alamitos. IEEE, 2009.
- 7 Swain MJ, Ballard DH. Color indexing. *International Journal of Computer Vision*, 1991,7(1):11-32.