

# 基于小波多尺度分析的彩色图像检索方法

傅蓉 许宏丽

(北京交通大学计算机信息与技术学院, 北京 100044)

**摘要** 多媒体技术的普及和 Internet 技术的实施导致了大量图像信息的出现, 基于文本关键词的传统检索方法已不能适应图像信息检索的要求, 这使得基于内容的图像检索技术逐渐成为目前的研究热点。基于内容检索技术中必不可少的关键步骤就是图像特征的提取, 其中可提取的特征有颜色、纹理和形状等。但是, 由于图像的每种特征只能抓住图像相似性的某一个方面, 因此如何能更好地表示图像就成为基于内容图像检索中一个重要的研究方向。针对该问题, 提出了一种基于图像颜色和纹理特征的图像检索方法, 其中颜色特征采用 HSV 颜色空间的直方图; 纹理特征采用图像小波多尺度表示方法中细节信息的方差统计量, 这样就充分利用了颜色的丰富表现性和小波变换的多分辨性及其变换系数的统计特性。通过对不同类型图像使用不同特征组合进行图像检索查准率的对比实验结果表明, 这种图像检索方法是行之有效的。

**关键词** 颜色直方图 图像小波多尺度表示 相似度测量

**中图法分类号:** TP391.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)11-1326-05

## Color Image Retrieval Method Based on Wavelet Multiresolution Analysis

FU Rong, XU Hong-li

(School of Computer Information and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

**Abstract** A large number of images come forth because of the prevalence of multimedia technology and the implement of Internet technology. Since traditional text keyword-based retrieval approach can't adapt to the demand of image data retrieval, so content-based image retrieval (CBIR) technology becomes the current research focus. Among the content-based retrieval technologies, feature extraction is most important. For instance, color, texture and shape feature etc. But each feature of image can only catch one aspect of the similarity of image, how to represent images better has become a important research field in content-based image retrieval. We come up with a representation method of image based on color and texture feature of image. In this method, we use the histogram of HSV color space as color feature, and the detail information of the multiresolution representation of image as texture feature. Take full advantage of the rich representation of color and the statistics of the wavelet coefficients. Through the comparative experiment on the recall of image retrieval over various image type and various combination of feature, we can conclude that this representation of image is feasible and valid in image retrieval.

**Keywords** color histogram, wavelet multiresolution representation of image, similarity measure

### 1 引言

随着多媒体技术在社会生活各个领域的广泛应用, 人们迫切需要基于图像内容的检索技术, 因此, 基于内容的检索技术已迅速成为图像数据库技术中的研究热点之一, 并得到了国内外信息领域科技人员的广泛重视和研究。自从基于内容的检索被提出

以来, 很多研究机构进行了相关的工作, 并已取得了很多令人瞩目的成果, 如 IBM 公司的 QBIC 系统<sup>[1]</sup>、Virage 公司的 VIR 图像工程系统、MIT 的 Photobook<sup>[2]</sup>等。国内的一些研究单位, 如中科院自动化研究所国家模式识别实验室、清华大学、复旦大学等也开发了一些实验系统, 各类新的基于内容的检索系统也在不断出现。

抽取图像“内容”的特征是基于内容检索的重点

和难点。图像的内容包括颜色、纹理、形状以及对象的空间关系等。由于颜色特征是图像最直观的特征,也是图像视觉重要的感知特征之一,因而基于颜色的图像查询是基于内容的图像检索中最基本和最重要的方法。纹理是指不依赖于一种颜色或亮度的同质的直观特征,是所有实际存在的表面特有属性,它包括表面结构排列的重要信息和它们与周围环境的联系。

但是,由于图像的每种特征只能抓住图像相似性的某一个方面,致使单用一种特征进行图像检索的效果总是不能令人满意。针对这个问题,本文旨在研究一种有效的基于图像颜色和纹理特征的图像表示方法及相应的检索技术。对于颜色特征,本文采用性能较好的 HSV 颜色空间的直方图,因为它能很好地描述图像的全局颜色信息;对于纹理特征,考虑到纹理特征大都集中在图像的中、高频部分,由于近些年出现的小波变换可以从不同尺度、不同方向、不同频率展现信号的许多方面,比如信号的趋向、中斷点,高频部分产生的不连续性以及自相似性等,并能很好地描述图像的纹理特征<sup>[3~5]</sup>,因此本文利用图像小波多尺度表示中的细节信息与 HSV 颜色直方图组合成图像的特征进行检索,取得了较好的效果。

## 2 多尺度分析与正交小波变换

自 1984 年小波被提出以后,小波变换就成为了信号处理的一种典型工具<sup>[6]</sup>。它是从不同尺度来描述信号细节的一种尝试。在二维情况下,离散小波变换可将一幅图像分解成不同方向和尺度的子图,且在每一尺度内,不同的子图又表示了图像不同方向的结构信息;同时小波变换还具有变焦作用,即其变换结果不仅可以聚焦到图像的任意细节,而且能很好地表达图像的时空特性和细节。另外,小波变换还具有快速算法——Mallat 算法,它在小波变换中的作用相当于 FFT(fast fourier transform)在 Fourier 变换中的作用,这不仅为小波变换的应用提供了必要的手段,也有利于算法的软硬实现。

### 2.1 多尺度分析

多尺度分析(multi-resolution analysis, MRA)又称为多分辨率分析,它是建立在函数空间概念上的理论<sup>[7]</sup>。如果把尺度理解为照相机的镜头,当尺度由大到小变换时,就相当于将照相机镜头由远及近地接近目标。如在大尺度空间里,对应远镜头下观察到的目标,就只能看到目标大致的概貌;在小尺度空

间里,对应近镜头下观察目标,则可观测到目标的细微部分。由此可见,随着尺度由大到小的变化,在各尺度上可以由粗到精地观察目标,这就是多尺度(即多分辨率)的思想。

由于多尺度分析方法是对图像进行多级分解,不仅效率高,而且多尺度分解还可提供不同尺度下图像的信息,并且变换后的能量大部分集中在低频部分,因此,对大多数的小波研究者,其理论应用的具体方法在不大于二维时,均采用多尺度分析。

### 2.2 二维正交小波变换

图像处理中,二维小波变换通常是使用如下的滤波器来实现,其中  $h_n$  和  $g_n$  分别表示低通和高通滤波器系数组向量。

给定二维离散图像  $X = \{x_{m,n}\}_{m,n \in Z} \in Z$ , 令  $C_0 = X$  ( $Z$  表示整数集)

则二维图像小波分解递推公式为

$$C_{j,m,n} = (H \oplus H)C_{j-1} = \sum_{k,l} C_{j-1,k,l} h_{k-2m} h_{l-2n} \quad (1)$$

$$L_{j,m,n}^{(1)} = (H \oplus G)C_{j-1} = \sum_{k,l} C_{j-1,k,l} h_{k-2m} g_{l-2n} \quad (2)$$

$$L_{j,m,n}^{(2)} = (G \oplus H)C_{j-1} = \sum_{k,l} C_{j-1,k,l} g_{k-2m} h_{l-2n} \quad (3)$$

$$L_{j,m,n}^{(3)} = (G \oplus G)C_{j-1} = \sum_{k,l} C_{j-1,k,l} g_{k-2m} g_{l-2n} \quad (4)$$

其中,  $H$  为低通滤波器,起平滑作用,可用其来得到图像的缓变成分;  $G$  为高通滤波器,起差分作用,用其来得到图像的高频(细节)成分,  $\oplus$  代表直交和运算。滤波器  $H, G$  是有限项不为零的,本文选取的是具有紧支集的正交小波基 Daubechies, 就可以构造这类滤波器,其分解示意图如下(其中的符号下标表示分解层次,上标表示不同方向):

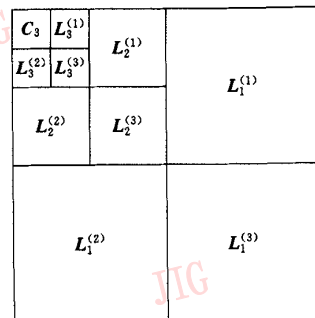


图 1 小波分解示意图

## 3 图像的特征表示

### 3.1 颜色特征

众所周知,颜色是图像最显著的特征之一,相对

于其他特征,由于它非常稳定,即其对于旋转、平移、尺度变化,甚至各种形变都不敏感,不仅表现出相当强的鲁棒性,而且计算简单,因此成为现有检索系统中应用最广泛的特征。常用的颜色空间有 RGB 和 HSV,提取的主要特征是颜色直方图。参考文献[8]中的比较实验证明,由于 HSV 颜色空间的颜色直方图有最好的检索性能,它不仅比 RGB 颜色模型视觉均匀,而且可以分别提取出图像的色调  $H$  和亮度  $V$  以及饱和度  $S$  信息,因此本文用 HSV 颜色模型来对 HSV 分别进行量化,其中色度  $H$  量化为 18 级,饱和度  $S$  量化为 3 级,亮度  $V$  量化为 3 级,按公式  $t=9 \times H+3 \times S+V$  将 3 个分量在一维矢量上分布开来,其得到的  $t$  的取值范围是  $[0,1,2, \dots, 161]$ ,通过计算  $t$ ,并统计图像中具有相同颜色级别的像素个数,其得到的 162 维直方图统计向量,即图像的颜色特征向量  $V_{color}$  表示如下:

$$V_{color} = \{T_0, \dots, T_{161}\} \quad (5)$$

其中,  $T_t$  表示颜色级别为  $t$  的像素个数。

### 3.2 小波特征

当图像实现了小波的多尺度分解后,就得到一系列不同尺度的子图像,而是这些不同尺度的子图像所对应的频率是不同的,其中图像的近似信息反映在低频部分,细节信息反映在高频部分,而图像的纹理特征则大都集中在图像的中高频部分<sup>[9]</sup>。

但是图像的小波系数并不能直接用于衡量图像的相似性,还需要对图像的小波系数进行必要的统计,才能更好地反映不同尺度和方向频率轴的能量分布及方差,也才能有效地描述图像的纹理特征。如果本文中使用的统计量为不同尺度下不同方向细节信息的标准方差,则其定义如下:

$$D_j^{(o)} = \frac{1}{N} \sum_{m,n} |L_{j,m,n}^{(o)} - u_j^{(o)}|^2 \quad (6)$$

其中,  $j$  表示小波分解的级数,  $o$  表示同一尺度下不同的子图像,  $u_j^{(o)} = \frac{1}{N} \sum_{m,n} L_{j,m,n}^{(o)}$ ,  $N$  为子图  $L_j^{(o)}$  中系数的个数,那么图像小波多尺度表示中的细节信息特征向量  $V_{texture}$  可表示为

$$V_{texture} = \{D_1^{(1)}, D_1^{(2)}, D_1^{(3)}, \dots, D_j^{(1)}, D_j^{(2)}, D_j^{(3)}\} \quad (7)$$

其中,  $j$  为小波分解级数。

对于一幅图像来讲,在图像的小波多尺度表示方法中,图像主要的信息都集中在低频部分,其中包括了图像的颜色,形状等多种特征。由于使用图像小波多尺度表示中的近似信息,其可以近似地代表图

像的颜色特征,因此这样使用小波特征就能捕获图像的颜色和纹理等多种特征,其特征向量  $V_{approximate}$  表示如下:

$$V_{approximate} = \{C_{j,1,1}, \dots, C_{j,1,n}, \dots, C_{j,m,1}, \dots, C_{j,m,n}\} \quad (8)$$

### 3.3 相似度测量

基于内容的图像检索主要采用相似性的检索方法,即根据相似性判别规则和查询要求对图像数据库排序,然后给出与查询要求最相似的若干图像。常见的相似性度量方法有向量空间模型方法、度量空间模型方法等,其中,向量空间模型首先将对象模型化为多维空间中的点,而两对象间的差异则由多维空间中两点的距离表示。

本文使用了欧几里得距离和归一化欧几里得距离两种相似度测量方法,当使用单一特征时,则采用如下向量空间中最常见的度量函数——欧几里得距离  $d$ :

$$d(Q, I) = \frac{\sum_{k=1}^K \min(V_{i,k}^Q, V_{i,k}^I)}{\sum_{k=1}^K \max(V_{i,k}^Q, V_{i,k}^I)} \quad (9)$$

其中,  $K$  为特征向量的维数,  $V_{i,k}^Q, V_{i,k}^I$  分别为查询图像  $Q$  和输入图像  $I$  的第  $i$  类特征向量的第  $k$  个分量,  $i$  代表 color, texture, approximate, 详见 3.1、3.2 节。

当使用不同的特征的组合时,由于每个特征的取值范围都不同,不能直接按式(9)进行相似度测量,故使用了一种归一化相关的方法,其定义为

$$d(Q, I) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{\langle V_i^Q, V_i^I \rangle}{\sqrt{\langle V_i^Q, V_i^Q \rangle \times \langle V_i^I, V_i^I \rangle}} \quad (10)$$

其中,  $n$  为特征组合的特征数,  $w_i$  为该特征组合中不同特征的权重系数。

## 4 实验与结论

为了检验上述算法的可行性及查询的准确性,本文建立了一个含有 744 幅图像的特征数据库,图像题材包括昆虫、花、动物和纹理等类别,实验评价指标使用的是查全率  $R$ ,其定义如下:

$$R = M_1/M_2 \quad (11)$$

其中,  $M_1$  是指检索出的相关图像数,  $M_2$  是指所有的相关图像数,而相关图像是指与目标图像相似的图像,可由用户主观决定。同时,本文还选择了排序值  $r$  作为另一个评价参数,该值在一定程度上反映了返回的相关图像排在前面的紧密程度,该值越接

近 1,表明检索的效果越好,其定义如下:

$$r = \frac{\sum_{p \in R} r_A(p) / r_R(p)}{N_R} \quad (12)$$

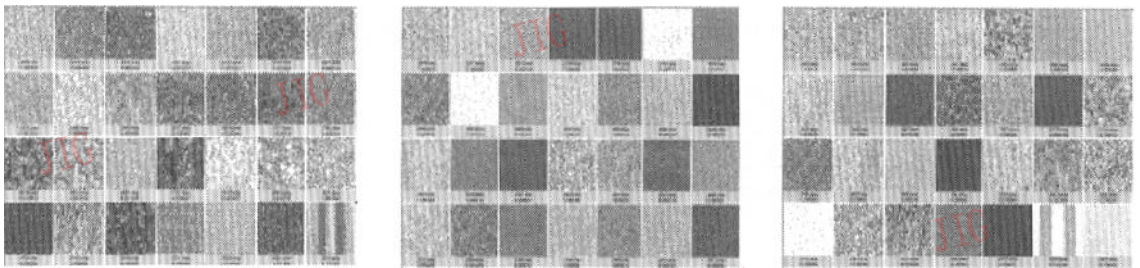
其中,  $N_R$  为返回的相关图像数,  $R$  为返回的相关图像集,  $A$  为返回的图像集,  $r_A(p)$  为图像  $p$  在  $A$  中的排序值,  $r_R(p)$  为图像  $p$  在  $R$  中的排序值。

另外,正交小波分解在任何尺度上都是完全的,而且这种完全的分解可以通过重复的进行基本分解来实现,但是,如果低频子图像的系数趋向于它们的均值,也就是说,低频系数与均值的差趋向于 0,那么就没有必要再进行下一级分解了,因为在这种情况下,再进行下一级的分解,也得不到任何有意义的信息了。针对本文所选用的大小为  $128 \times 128$  的图

片,实验中所选用的图像小波多尺度表示方法的深度(即图像小波分解的级数)为 5 级,实验证明,在这个分解级数下,能在不显著降低图像的质量的前提下,取得较好的数据压缩。

#### 4.1 不同特征组合对检索结果影响的对比实验

实验中使用了以下 3 种不同的特征组合:(1)图像小波多尺度表示中的细节信息  $V = \{V_{\text{texture}}\}$ ; (2)图像小波多尺度表示中的近似信息与细节信息的组合  $V = \{V_{\text{approximate}}, V_{\text{texture}}\}$ ; (3)图像 HSV 颜色直方图和图像小波多尺度表示中的细节信息的组合  $V = \{V_{\text{color}}, V_{\text{texture}}\}$ 。为了比较不同方法对不同类型图像的查询效果,针对不同的特征组合,进行了平均查准率的对比实验。



(a) 使用图像小波多尺度表示中的  
细节信息检索结果  
(b) 使用图像小波多尺度表示中近似  
信息与细节信息组合的检索结果  
(c) 使用 HSV 颜色直方图与图像小波多尺度  
表示中细节信息组合的检索结果

图 2 不同特征组合的检索结果

图 2 显示的是对纹理图像使用不同的特征组合的一次检索结果,其中第 1 幅图像为查询目标图像,其余图像的相似度自左至右、自上向下递减。由图 2 可以看出,在 3 种特征的选取中,单用图像小波多尺度表示中的细节信息来进行检索时,查全率远不及采用多特征进行检索的结果;其次虽然图像小波多尺度表示中的近似信息包含了图像的颜色等其他信息,其用于图像的检索能起到很好的效果,但使用颜色直方图特征与图像小波多尺度表示中细节信息的组合能更好地将图像的颜色和纹理特征结合起来,能获得更好的检索效果。下表显示了对其他类的图片,分别使用 3 种不同的特征组合检索的查全率比较。

#### 4.2 特征组合中不同的权重对检索结果影响的对比实验

特征组合中,各特征在检索中所起作用的大小是通过相似度测量公式(式 10)中的权重系数来控制的。针对如何分配各种特征的权重,以达到用户满意的检索效果这个问题,本文进行了特征组合中的不同权重对检索结果影响的对比实验,检索实验使

表 1 使用不同的特征组合对不同类别图像  
进行检索的查全率比较

特征组合	各类别查全率(%)		
	昆虫	花	旗帜
细节信息	50	70.7	36.4
近似信息与细节信息	52	85.9	45.5
HSV 颜色特征与细节信息	61	88.9	81.8

用的特征组合是图像 HSV 颜色直方图和图像小波多尺度表示中的细节信息。

图 3 是对“花”图像的一次检索结果,由该图可以看出,图像小波多尺度表示中的细节信息不仅对纹理图像的检索有效,而且对自然图像的检索,也是很重要的。颜色直方图虽能较好地反映图像中各种颜色的频率分布,但没有保留各像素颜色的空间分布信息,而图像小波多尺度表示中的细节信息正好在一定程度上弥补了这个缺陷,实验表明,分别对图像的 HSV 颜色直方图特征和图像小波多尺度表示中的细节信息分配 0.3 和 0.7 的权重时,图像的检索结果,更能达到用户满意的效果。表 2 显示了对其

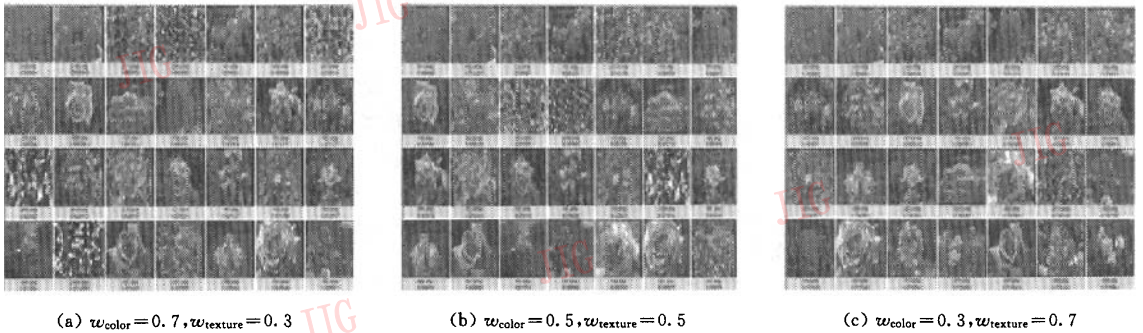


图 3 特征组合中不同权重对同一幅图片的检索结果 ( $w_{color}$  和  $w_{texture}$  分别表示颜色特征和细节信息的权重)

他类的图片,分别使用 3 种不同的权重组合进行检索的排序值比较。

表 2 使用不同的权重组合,对不同类别的图像进行检索的排序值比较

特征组合	图像类型	
	昆虫	花
HSV 颜色特征与细节信息的权重分别为 0.7,0.3	1.072	1.308
HSV 颜色特征与细节信息的权重分别为 0.5,0.5	1.045	1.175
HSV 颜色特征与细节信息的权重分别为 0.3,0.7	1.022	1.013

### 5 结 论

本文提出了一种基于图像颜色和纹理特征的图像检索方法,该方法分别使用的是图像 HSV 颜色直方图和图像小波多尺度表示方法中细节信息的方差统计量,实验证明,其检索的效果比单用图像小波多尺度表示中的细节信息以及使用图像小波多尺度表示中的近似信息和细节信息的组合都好,且更加符合人的主观感觉。

但是这两种图像的特征提取方法都有它的缺陷,如颜色直方图无法保存像素颜色的空间分布信息;而离散小波变换的一个最主要的缺点就是它对图像信号的方向和旋转等改变非常的敏感,也就是说,对同一幅图像,不同的方向将会有不同的小波系数。本项研究的下一步工作将针对这两方面的缺陷增加图像特征表示的鲁棒性,并通过引入相关反馈技术来把用户的爱好、情感等主观或感性化的因素考虑进来,以进一步提高检索精度。

### 参 考 文 献

- 1 Flicker M, Sawhney H S, Niblack W, et al. Query by image and video content: the QBIC system[J]. IEEE Computer, 1995, 28(9):23~32.
- 2 Pentland, Picard R W, Sclaroff S. Photobook: Tools for

- content-based manipulation of image database[J]. Proceedings of SPIE on Storage and Retrieval for Image and Video Databases, 1994, 2185:34~47.
- 3 Portilla J, Simoncelli P E. A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelet coefficients[J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 40(1):49~71.
- 4 Simoncelli E P, Portilla J. Texture characterization via joint statistics of wavelet coefficient magnitudes[A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing[C], Chicago, Illinois, USA, 1998:62~66.
- 5 Loum G, Provent P, Lemoine J, et al. An application of wavelet transform to texture analysis[A]. In: 9th Conference on Image Analysis(SCIA)[C], Uppsala, Sweden, 1995:583~590.
- 6 Daubechies I. Ten lectures on wavelets [M]. Philadelphia, Penn., USA; Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- 7 Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition, The wavelet representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7)1989, : 674 ~ 693.
- 8 田玉敏,林海全.基于颜色图像的彩色图像检索方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2002,2(1):44~46.
- 9 田玉敏,乃学尚,高有行等.基于整数小波系数的纹理图像检索方法研究[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2003,2(1):90~93.
- 10 彭玉华.小波变换与工程应用[M],北京:科学出版社,1999.



傅 蓉 1978 年生,2004 年获北京交通大学计算机与信息技术学院计算机应用工学硕士学位。主要研究方向为基于内容的图像检索、数字图像处理。  
E-mail: freen@21cn.com



许宏丽 1963 年生,1991 年获北方交通大学数字信号处理工学硕士学位,并留校任教,主要从事数据库的教学与研究。现为读博在职博士研究生,主要研究方向为多媒体数据库、视频检索技术,高维索引技术等。  
E-mail: xhl@computer.njtu.edu.cn