

# 结合边缘颜色与形状特征的图像检索方法<sup>①</sup>

阿卜杜如苏力·奥斯曼, 吐尔洪江·阿布都克力木, 马丽亚木·阿布来孜

(新疆师范大学 数学科学学院, 乌鲁木齐 830054)

**摘 要:** 小波变换具有良好的局部特性与多尺度特性, 能多尺度逼近边缘, 这使得它在图像奇异性检测和特征提取方面得到了广泛的应用. 通过三次样条二进小波变换模极大值法提取图像彩色边缘, 用彩色边缘的环形颜色直方图表示颜色特征, 用小波模极大值的环形直方图表示形状特征; 最后利用上述两种直方图计算图像间的相似度, 并进行彩色图像检索. 实验结果表明该算法不仅具有较好的查准率和查全率, 而且对图像中存在的光照变化和几何变化(尺度, 平移, 旋转等)具有较强的鲁棒性.

**关键词:** 图像检索; 二进小波变换; 边缘检测; 环形直方图

## Edge Based Image Retrieval Approach Combining Color Feature and Shape Feature

ABDURUSUL Osman, MARYAMGUL Abliz, TURGHUNJAN Abdukurim turki

(College of Mathematical Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** Wavelet transform has good local characteristics and multi-scale characteristic, it can multi-scale edge approximation, this makes it wide range of applications in image singularity detection and feature extraction. In this paper color edge extracted by using dyadic wavelet transform modulus maxima, and then using annular color histogram express image color features, using wavelet modulus maxima annular histogram express shape feature. Finally, the similarity between color images is computed by using a combined feature index based on the above two histogram. experimental results show that the approach has a good retrieval performance, and strong robustness to the image illumination change and geometry change.

**Key words:** image retrieval; dyadic wavelet transform; edge detection; annular color histogram

随着数据库技术, 多媒体技术, 网络技术的迅速发展, 人们越来越多的接触到大量的数字图像数据库, 为了对图像库有效管理, 高效的基于内容的图像检索系统为人们所需要<sup>[1]</sup>. 自从 1992 年, Kato 提出基于内容的图像检索(content based image retrieval, CBIR)一词以来, 使这一方面的研究和应用开始快速发展并已取得了很多人瞩目的成果, 如 IBM 公司的 QBIC 系统<sup>[1]</sup>, Virage 公司的 VIR 图像工程系统, 基于区域特征的如 UCSB 的 Netra 系统<sup>[2]</sup>等. 国内从 1994 年开始关注这方面的研究, 清华大学计算机系于 1997 年研制了一个 Internet 上基于内容检索的原型系统, 国防科大多媒体开发中心设计开发了一个基于内容的视频新闻

节目浏览检索系统, 各类新的基于内容的检索系统也不断出现.

基于内容的图像检索<sup>[3,4]</sup>主要使用图像的颜色, 纹理, 形状和空间位置关系等底层特征来描述图像的内容, 并利用特征向量之间的相似性匹配, 最后按照相似度由小到大的顺序将图像返回给用户. 颜色是图像中最显著、最稳定的视觉特征, 因此利用图像颜色特征来检索是 CBIR 技术中常用的方法. 但是颜色特征对亮度变化比较敏感, 而且传统直方图作为颜色特征没有包含任何颜色的空间布局信息, 无法有效检索含噪声图像等问题. 为了克服传统颜色直方图的图像检索技术的不足, 许多研究者开展了一系列成效的工作.

① 基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(200721104);国家自然科学基金(10661010,11261061);新疆师范大学 2012 年大学生课外学术科技作品项目  
(基于多特征的图像检索方法)

收稿时间:2012-10-25;收到修改稿时间:2012-12-07

Stottinger 等<sup>[5]</sup>提出基于感兴趣点的彩色图像检索技术, 但其所利用的感兴趣点的提取方法不够稳定, 故影响了检索效果. 文献[6]提出一种累加直方图的检索方法, 虽然通过累加方式来增加直方图的鲁棒性, 但仍会丢失颜色的空间分布信息. 类似纹理共生矩阵的颜色相关图<sup>[7]</sup>方法虽然能在一定程度上提取图像的颜色信息和空间信息, 但存在计算复杂度大等问题. 除了图像的颜色特征外, 形状信息是另一种重要的图像底层特征, 它不随周围和亮度等环境的变化而变化, 是物体稳定的特征, 相对于颜色和纹理特征显得更为直观, 并且携带了一定的空间布局信息. 正因为形状特征在 CBIR 中如此重要, 基于区域匹配的图像检索技术已成为目前又一研究方向, 并且提出了一些有效的技术方法<sup>[8,9]</sup>. 本文以视觉重要的图像边缘信息为基础, 通过二进小波变换模极大值法提取图像彩色边缘轮廓, 用彩色边缘的环形颜色直方图表示颜色特征, 用小波模极大值的环形直方图表示形状特征, 最后利用上述两种直方图计算图像间的相似度, 并进行彩色图像检索. 实验结果表明该算法不仅具有较好的查准率和查全率, 而且对图像中存在的光照变化和几何变化(尺度, 平移, 旋转等)具有较强的鲁棒性.

### 1 二进小波变换的模极大值边缘检测

常用的边缘检测包括 Sobel、Prewitt、Canny 等算子. 1992 年 Mallat 提出了二进小波变换多尺度的边缘分析方法<sup>[10]</sup>. 由于二进小波介于连续小波和离散小波之间, 是一种本身带有强烈方向性的小波函数, 这使得它在图像奇异性检测和特征提取方面得到了广泛的应用. 对于二维小波变换的图像边缘检测, 设二维平滑函数  $\theta(x, y)$  且满足条件  $\theta(x, y) \geq 0$ ,  $\iint_{RR} \theta(x, y) = 1$ ,  $\lim_{x, y \rightarrow \pm\infty} \theta(x, y) = 0$ . 记  $\theta_s(x, y) = \frac{1}{s^2} \theta(\frac{x}{s}, \frac{y}{s})$ , 将其沿  $x, y$  两个方向上的一阶导数作为两个基本小波:

$$\psi_s^{-1}(x, y) = \frac{1}{s^2} \psi^{-1}(\frac{x}{s}, \frac{y}{s}) = \frac{\partial \theta_s(x, y)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\psi_s^2(x, y) = \frac{1}{s^2} \psi^2(\frac{x}{s}, \frac{y}{s}) = \frac{\partial \theta_s(x, y)}{\partial y} \quad (2)$$

则对任意的  $f(x, y) \in L^2(R^2)$ , 其在尺度  $s = 2^j$  上的沿水平方向和垂直方向的二进小波变换包括两个分量:

$$W_s^1 f(x, y) = f * \psi_s^{-1}(x, y) = s \frac{\partial [f * \theta_s(x, y)]}{\partial x} \quad (3)$$

$$W_s^2 f(x, y) = f * \psi_s^2(x, y) = s \frac{\partial [f * \theta_s(x, y)]}{\partial y} \quad (4)$$

由此可得图像  $f(x, y)$  在尺度  $2^j$  下的二进小波变换模值和幅角:

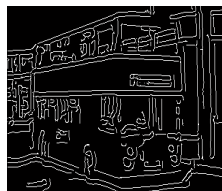
$$Mf(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2} \quad (5)$$

$$Af(x, y) = \arctan \left( \frac{W_s^2 f(x, y)}{W_s^1 f(x, y)} \right) \quad (6)$$

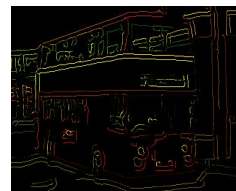
若  $Mf(x, y)$  在点  $(x_0, y_0)$  达到极大值, 则函数  $f * \theta_s(x, y)$  认为是  $f(x, y)$  在  $(x_0, y_0)$  处具有最大的方向导数, 从而  $f(x, y)$  在该点处的函数值有突变, 而突变发生的方向是沿着  $Af(x, y)$  所指的方向. 由此可以认为  $(x_0, y_0)$  是图像的边缘点. 于是, 计算一个光滑函数沿着梯度方向的模极大值等于计算小波变换的模极大值. 由于模极大值对应图像的边缘位置, 所以在边缘信息提取时先找出模的极大值, 再选择某一阈值以除去较小的模极大值, 然后将相邻的具有相近的模极大值和相近的幅角的极大值点连接起来得到边缘链, 选一个阈值以滤出噪音点即可得到图像的二值边缘, 再根据原始图像与二值边缘的对应关系, 便可以得到原始图像的彩色边缘信息. 图 1 给出了图像“汽车”的彩色边缘信息.



(a) 原始图像



(b) 二值边缘



(c) 彩色边缘

图 1 图像“汽车”的彩色边缘信息

### 2 特征提取

#### 2.1 边缘的环形颜色直方图

在提取局部颜色特征时, 首先将图像由 RGB 颜色模型转换到 HSV 颜色模型, 然后根据文献[11]中的非

等间隔量化方法,把 HSV 颜色模型量化为 256 中主要颜色,即  $G=16H+4S+V$ ,  $G$  的取值范围为  $[0,255]$ , 计算  $G$  获得 256 柄的一维直方图矢量。

颜色直方图缺乏空间信息,本文借鉴文献[4]中的环形区域划分的思想,分别对每个圆环区域计算颜色直方图,得到环形颜色直方图。由于边缘检测对图像旋转,平移具有较强的鲁棒性,而且这组同心圆环本身具有几何对称性,因此这种方法提取颜色空间信息的同时也具有旋转,平移不变形。

设  $I$  是任意一幅大小为  $M \times N$  的图像,  $F$  表示原始图像已量化的彩色边缘,  $P = \{(x, y) : (x, y) \in F\}$  为彩色边缘  $F$  所包含的像素点集合。  $|P|$  是边缘点的个数,  $C = (\bar{x}, \bar{y})$  为彩色边缘的几何中心, 其中  $\bar{x} = \sum_{(x,y) \in P} x / |P|$ ,  $\bar{y} = \sum_{(x,y) \in P} y / |P|$ , 并令  $R$  是以  $C$  为圆心的最大半径,  $R = \max_{(x,y) \in P} \left[ (x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 \right]^{1/2}$ , 对于给定的一个正整数  $n$ , 把  $R$  分为  $n$  等分, 然后以几何中心为圆心, 以  $(k \times R) / n$  ( $1 \leq k \leq n$ ) 为半径画圆可以得到  $n$  个圆环, 那么由内到外每个环和  $P$  的交把  $P$  分为  $P_1, P_2, \dots, P_n$ 。 设  $P_k$  为第  $k$  个圆环中的边缘点的集合,  $H_k$  为对第  $k$  个圆环的局部颜色值直方图统计, 则  $H_k$  的计算公式如下: 统计出每个圆环  $P_k$  中颜色值为  $j$  ( $j=0, 1, \dots, 255$ ) 的像素个数  $h_{k,j} = \text{sum} \{P(x, y) : P(x, y) = j, \forall (x, y) \in P_k\}$ , 然后按照下式构造直方图  $H_k$ , 并进行归一化处理, 即可得到彩色边缘环形颜色直方图:

$$H_k = h_{k,j} / |P_k| \quad (7)$$

其中 ( $j=0, 1, \dots, 255$ ),  $1 \leq k \leq n$ ,  $|P_k|$  为第  $k$  个圆环中的边缘个数。

## 2.2 小波模极大值环形直方图

形状是图像目标的显著特征之一, 携带着人类识别物体的主要信息。 以下给出小波模极大值环形直方图的彩色边缘形状刻画方法, 其构造步骤如下:

通过式(5)可计算出边缘图的小波模极大值  $Mf(x, y)$ , 令  $P = \{(x, y) : (x, y)\}$  为彩色边缘所包含的像素点集合, 跟环形颜色直方图一样先把彩色边缘的几何中心  $C = (\bar{x}, \bar{y})$  作为圆心, 将径向距离  $R$  均分为  $m$  等分, 并以  $(k \times R) / m$  ( $1 \leq k \leq m$ ) 为半径画圆, 即可得到  $m$  个同心圆环, 由内到外每个环和  $P$  的交点把  $P$  分为  $P_1, P_2, \dots, P_m$ 。 设  $P_k$  为第  $k$  个圆环中的边缘点的集合, 分别计算每个圆环  $P_k$  中边缘点的小波模极大值之和:

$S_k = \sum_{(x,y) \in P_k} Mf(x, y)$ , 然后构造小波模极大值环形直方图, 并按照下式进行归一化处理, 即可得到小波模极大值环形直方图:

$$s(k) = S_k / \sum_{i=1}^m S_i, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

## 3 相似性匹配

基于内容的图像检索主要通过特征向量之间的相似性来判断两幅图像的相似程度, 然后给出与查询图像最相似的若干图像。 该文采用彩色边缘的环形颜色直方图和小波模极大值环形直方图表示图像特征, 因此不同图像之间的特征匹配可借助计算直方图间的相似度量来进行, 采用直方图相交法来度量特征项两之间的距离, 并且采用根据不同向量的重要程度设定权值的方法提高检索精确度。

直方图相交法为:

$$D(Q, I) = \sum_{i=1}^L \min[H_Q(i), H_I(i)] / \sum_{i=1}^L H_Q(i) \quad (9)$$

其中,  $H_Q$  和  $H_I$  分别为两幅图像某一特征的统计直方图,  $L$  为特征向量空间维数, 则两图像之间的相似度  $D(Q, I)$ 。

设  $Q$  为待查询图像,  $I$  是图像库中的一幅图像, 则  $Q$  和  $I$  的彩色边缘环形颜色直方图相似度为  $D_c = \sum_{k=1}^n \omega_k D(H_I^k, H_Q^k)$ , 其中,  $H_Q^k$  和  $H_I^k$  分别表示  $Q$  和  $I$  第  $k$  个圆环的颜色直方图序列,  $\omega_k = |P_k| / |P|$  是待查询图像在第  $k$  个圆环内的彩色边缘数目。  $|P|$  是待查询图像中总边缘数目, 权值  $\omega_k$  是考虑了边缘点在每个圆环内分布的比列选取的, 目的是加大主要部分相似对整体相似程度的影响。 同样可得小波模极大值环形直方图相似度为  $D_s = D(S_Q, S_I)$ , 其中  $S_Q, S_I$  为分别表示  $Q$  和  $I$  的小波模极大值环形直方图。 则任意两幅图像的相似度为  $D(I, Q) = W_c D_c + W_s D_s$ , 式中:  $W_c, W_s$  分别为上述两种特征不同重要程度设定的权值,  $W_c + W_s = 1$ 。

## 4 实验结果与分析

为了对本文图像检索的性能进行测试, 选用了 SMPLicity 系统所使用的测试集 (<http://wang.ist.psu.edu/docs/related/>) 作为图像库, 该测试集是从 Corel 图像库中选取的, 内容包括非洲土著居民、海滩、建筑、公共汽车、食物、花卉、山川、马、恐龙和象等 10

类, 其中每类包含 100 幅图像, 共计 1000 幅图像. 同时圆环数分别取为  $n = 3, m = 20$  两种特征权重选取为  $w_c = 0.6, w_s = 0.4$ . 在相同的软硬件环境下对本文算法和其它算法进行性能比较, 传统颜色直方图和 HU 不变矩相结合的方法, 在比较不同方法的检索性能时, 采用查准率与查全率作为检索效率的性能指标, 查准率是指在一次检索过程中, 系统返回的相关图像数目占所有返回图像数目的比列. 查全率则指系统返回的检索结果中相关图像数目占图像测试库中所有相关图像数目比列. 具体步骤如下: 上述测试图像库中的每一类图像中随机抽取 10 幅组成一个新的图像库, 并对每类图像进行 10 次查询, 并将其作为该类图像的平均查准率和平均查全率, 结果如表 1 所示.

表 1 结合不变矩和颜色直方图与本文的比较

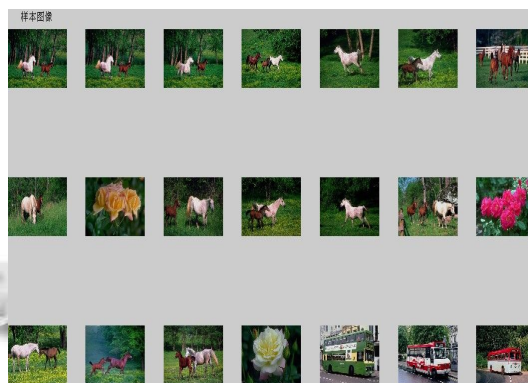
图像类别	平均查准率		平均查全率	
	本文方法	不变矩和颜色直方图	本文方法	不变矩和颜色直方图
马	97	87	19.9	17.5
建筑	81.5	49.5	14.8	10
花	82.5	78.5	16.5	15.7
汽车	93	76.5	18.6	15.3
山	73.5	56.5	14.7	11.2
恐龙	86.5	88.5	18.5	18.9
海滩	54.5	59	10.9	11.8
食物	89	79	17.8	14.3
居民	85	67	17	13.4

图 2 给出了本文算法与传统颜色直方图和 HU 不变矩相结合的方法的检索结果. 其中左上角为待检索图像, 其余 20 幅图像检索结果. 不难看出, 传统颜色直方图法(图 2(a))的检索结果中, 正确图像有 14 幅. 而本文算法(图 2(b))的检索结果中, 正确的图像有 19 幅图像.

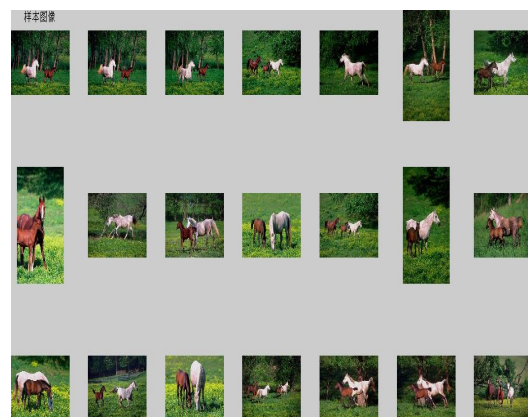
### 5 结语

小波变换具有良好的局部特性与多尺度特性, 能多尺度逼近边缘, 这使得它在图像奇异性检测和特征提取方面得到了广泛的应用. 本文采用二进小波变换模极大值进行边缘检测, 用边缘梯度方向直方图表示图像形状特征, 用彩色边缘的环形颜色直方图表示颜色特征, 用小波模极大值的环形直方图表示形状特征, 最后利用上述两种直方图计算图像间的相似度, 并进行彩色图像检索. 实验结果表明该算法不仅具有较好

的查准率和查全率, 而且对图像中存在的光照变化和几何变化(尺度, 平移, 旋转等)具有较强的鲁棒性. 今后研究重点是进一步改善基于图像底层特征检索的性能, 进行基于图像的高层次特征的提取和检索研究.



(a) 传统颜色直方图和 HU 不变矩相结合的方法检索结果



(b) 本文算法检索结果

图 2 检索结果比较

### 参考文献

- 1 Flickner M, Sawhney H, Niblack W, et al. Query by image and video content: the QBIC system. IEEE Computer, 1995,28(9):23-32.
- 2 Smith J, Chang SF. Visual SEEK: A fully automated content-based image query system. Proc. of the 4th ACM Multimedia Conference. Boston, 1996, 11: 87-98.
- 3 Datta R, Joshi D, Li J, et al. Image retrieval ideas influences and trends of the new age. ACM Computing Surveys, 2008, 40(2):1-60.
- 4 韩合民,郭宝龙,赵连风.基于兴趣点颜色及纹理特征的图像检索算法.计算机工程,2008,34(10):184-186.

(下转第 133 页)

适计算中间件。该普适计算中间件具有以下优点:

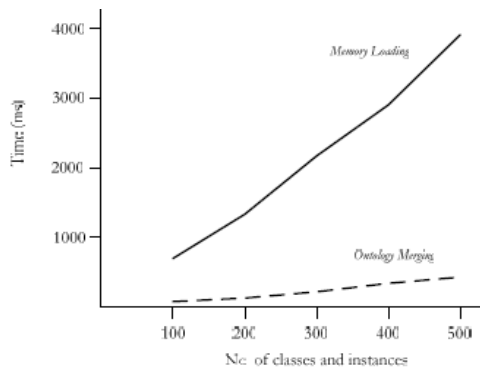


图3 上下文本体的整合效率图

(1) 以 OSGi 框架为基础, 利用标准的接口实现了各种设备的通信和控制, 是一个与平台无关的轻量级中间件, 既可以用在资源受限的设备上, 也可以用在资源丰富的 PC 上。

(2) 支持用户和服务的移动以及上下文感知应用, 满足普适计算环境的要求。

(3) 采用本体来对上下文进行建模, 有利于上下文的共享和重用。

(4) OSGi 基础服务平台的使用简化了中间件安全管理和重新配置。

### 参考文献

- 徐光祜, 陶霖密, 史元春, 张翔. 普适计算模式下的人机交互. 计算机学报, 2007, 30(7): 1041-1053.
- 贺建立, 陈榕, 康钦马. 一种普适计算环境下自适应中间件. 计算机科学, 2009, 36(7): 103-106.
- 徐照旻. 面向服务的普适计算中间件若干技术研究. 杭州: 浙江大学, 2008.
- 史殿习, 吴元立, 丁博, 等. StarOSGi: 一种 OSGi 分布式扩展中间件. 计算机科学, 2011, 38(1): 162-189.
- Redondo RPD, Vilas AF, Cabrer MR, et al. Enhancing residential gateways: a semantic OSGi platform. IEEE Intelligent Systems, 2008, 23(1): 32-40.
- 丁博, 王怀民, 史殿习. 普适计算中间件技术. 计算机科学与探索, 2007, 1(3): 241-251.
- 徐文拴, 辛运韩, 卢桂章. 普适计算中间件技术的研究与进展. 计算机科学, 2007, 34(11): 1-4.
- 李俊, 陶先平, 卜颖毅, 等. FollowMeLite: 用于普适计算的轻量级中间件平台. 计算机科学, 2007, 34(1): 17-20.
- 廖宇俊. 基于上下文感知计算的 RFID 中间件安全决策技术研究. 上海: 上海交通大学, 2009.
- Lee S, Lee J. Dynamic Context Aware System for Ubiquitous Computing Environment. Proc. of PRIMA2006, LNAI 4088. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2006: 409-419.
- Zhou L, Xiong NX, Shu L, et al. Context-Aware Middleware for Multimedia Services in Heterogeneous Networks. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(22): 4047.
- Open Services Gateway Initiative. <http://www.osgi.org>
- Knopflerfish. <http://www.knopflerfish.org>
- Stottinger J, Sebe N, Gevers T. Colour interest points for image retrieval. Proc. of the 12th Computer Vision Winter Work shop. 2007.
- 孙君顶, 崔江涛, 毋小省, 周利华. 基于颜色与形状特征的彩色图像检索方法. 中国图像图形学报, 2004, 9(7): 820-827.
- 张笃振. 一种基于颜色自动相关图与小波变换的图像检索算法研究. 计算机工程与科学, 2009, 31(1): 41-43.
- Zheng XF, Scott A, Sherrill-Mix, Gao O. Perceptual Shape-Based Natural Image Representation and Retrieval. IEEE Computer Society, 2007, 9: 622-629.
- 周雪梅. 基于颜色特征与形状特征的图像检索技术研究. 焦作: 河南理工大学, 2010.
- Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition. The wavelet representation, IEEE Trans. on PAML, 1989, 11(7): 674-693.
- 李国辉, 柳伟, 曹莉花. 一种基于颜色特征的图像检索方法. 中国图像图形学报, 1999, 4(3): 249-255.
- 陈景伟, 王向阳, 于永健. 基于边缘直方图的彩色图像检索算法研究. 小型微型计算机系统, 2010, 31(5): 978-983.

(上接第 156 页)