

基于 Fourier-Mellin 矩的彩色图像检索

马自萍^{1,2}, 康宝生²

(1 北方民族大学, 宁夏 银川 750021; 2 西北大学, 陕西 西安 710120)

摘 要: 为提高图像检索效率, 本文提出一种 Fourier-Mellin 矩的彩色图像检索方法. 该方法利用彩色图像的 Hilbert 变换下相位一致性和梯度幅值的结构特征, 用 Fourier-Mellin 矩描述图像纹理特征. 既利用相位一致性不受图像亮度和对比度变化的特点, 又利用 Fourier-Mellin 矩的旋转不变性的特点, 对彩色图像有很好的检索效果. 为验证该算法的效率, 在三个彩色图像库中进行对比实验, 实验表明: 该算法明显优于文中比较算法.

关键词: 相位一致性; Fourier-Mellin 矩; 梯度; 图像检索

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)06-0014-04

Image Retrieval for Color Images Based on Fourier-Mellin Moments

MA Zi-ping^{1,2}, KANG Bao-sheng²

(1 North University for Nationalities, Yinchuan 750021, China;

2 Northwestern University, Xi'an 710120, China)

Abstract: In order to improve the effect of the color image retrieval, a new algorithm is proposed based on Fourier-Mellin moments, phase congruent and gradient magnitude in this paper. This method aims to extract phase congruent, gradient magnitude of an image smoothed with Hilbert transform, and Fourier-Mellin moments, which not only can fill up an efficiency of the contrast invariant of phase congruent, but also can fully utilize the rotation invariant of Fourier-Mellin moments. The retrieval experiments are conducted in three color databases to test the performance of our method. The experiments show that our method in this paper is more efficient comparing to traditional methods.

Key words: phase congruent; Fourier-Mellin moments; gradient magnitude; image retrieval

1 引言

图像检索是计算机应用的研究热点之一, 特征提取是图像检索的重要方面. 图像特征主要包括颜色、纹理、形状等.

图像的颜色信息包括颜色、亮度、对比度. 颜色信息可以直接提取, 作为一种特征进行检索, 如通常利用彩色直方图来描述, 这种颜色特征满足观察角度、物体平移、旋转不变性, 但是对于相同的颜色直方图可能对应的纹理特征完全不同. 也有一种思路是克服颜色信息对图像其他特征的影响, 如可以采用相位一致性来克服检索中受彩色图像亮度和对比

度的影响. 相位一致性在描述图像特征信息上与人类神经视觉具有相一致的敏感度, 具有抵抗图像对比度和亮度变化的能力, 广泛应用于图像纹理分析、图像配准等领域^[1].

形状特征是刻画图像视觉特征和基本信息的重要手段. 一种有效的形状必须具有以下特点: 紧凑性、抗噪性、刻画复杂物体的能力, 除此之外, 还要符合人类视觉特性.

现有的形状分析方法可归纳为两类: 全局方法和轮廓方法. 矩特征是形状描述方法之一, 从数学概念上说, 矩特征是形状密度函数在核函数下的积分, 矩分为正交矩和非正交矩. 矩对形状的大致轮廓比

收稿日期: 2011-09-28; 修回日期: 2011-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61001156); 北方民族大学科学研究项目(2011ZMY004)

较有效,具有旋转特性,故被广泛应用于纹理和形状的图像检索. 正交矩有正交 Fourier-mellin 矩^[2]、Zernike 矩^[3]和 Legendre 矩^[4],相对于非正交矩,正交矩更适合于图像重建,能克服图像信息冗余,对噪声有较好的鲁棒性. 正交 Fourier-mellin 矩在拉氏变换后,具有旋转、放缩不变性,适合于图像识别,有较高的图像分类正确率. 轮廓方法发展迅速,其经典算法是傅里叶方法^[5]、广义傅里叶方法^[6]和小波方法^[7]等,他们具有实现简单、能刻画形状轮廓的能力.

本文结合图像的相位一致性、梯度幅值信息和 Fourier-Mellin 矩特征,提出一种多特征图像检索方法.

2 图像特征提取

2.1 Fourier-Mellin 矩

极坐标下 Fourier-Mellin 矩用于计算正交多项式 $Q_p(r)$:

$$Q_p(r) = \sum_{k=0}^p a_{pk} r^k.$$

其中:

$$a_{pk} = (-1)^{(p+k)} \frac{(p+k+1)!}{(p-k)!k!(k+1)!}.$$

多项式 $Q_p(r)$ 定义于 $0 \leq r \leq 1$, 由正交性可得

$$\int_0^1 Q_p(r) Q_q(r) dr = a_p \delta_{pq}, a_p = \frac{1}{2(p+1)}.$$

Fourier-Mellin 矩的定义如下:

$$A_{pq} = \frac{(p+1)}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(r, \theta) Q_p(r) e^{-iq\theta} r dr d\theta \quad (1)$$

2.2 相位一致性

任何函数经过高斯平滑后,相位 (Phase Congruent, PC) 不变. PC 的视觉分辨特征与傅里叶波形在不同频率有相同相角相位,所以具有准确可辨的图像特征信息.

本文采用二维 Hilbert 滤波器变换^[8]. 用二维 Gauss 函数的二阶导函数作为复指数滤波器的实部,其 Hilbert 变换作为二维复指数滤波器的虚部.

二维 Gauss 函数的二阶导函数为

$$g^{(2)}(x, y) = -\frac{2}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} + \frac{x^2+y^2}{\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

其旋转变换后的 Fourier 变换为

$$G^{(2)}(u, v) = -(2\pi)^3 \sigma^2 ((f'_u - f_0) + f'_v)^2 \cdot e^{-2\pi^2 \sigma^2 ((f'_u - f_0)^2 + f_v'^2)} \quad (3)$$

式中, f_0 表示中心频率, $f'_u = f_u \cos \theta + f_v \sin \theta$, $f'_v = -f_u \sin \theta + f_v \cos \theta$, θ 为滤波器频率中心到频率平面

中心的连线与频率平面横轴之间的夹角. 式(3)的 Hilbert 变换为

$$\hat{G}^{(2)}(u, v) = \begin{cases} -j(2\pi)^3 \sigma^2 ((f'_u - f_0) + f'_v)^2 \cdot e^{-2\pi^2 \sigma^2 ((f'_u - f_0)^2 + f_v'^2)}, & \text{当 } (f'_u - f_0) \cdot f'_v \geq 0 \text{ 时} \\ j(2\pi)^3 \sigma^2 ((f'_u - f_0) + f'_v)^2 \cdot e^{-2\pi^2 \sigma^2 ((f'_u - f_0)^2 + f_v'^2)}, & \text{当 } (f'_u - f_0) \cdot f'_v < 0 \text{ 时} \end{cases} \quad (4)$$

以 Gauss 函数的二阶导数为实部,记为 $g_{nm}^{(2)}(x, y)$,以 Gauss 函数的二阶导数的 Hilbert 变换为虚部,记为 $\hat{g}_{nm}^{(2)}(x, y)$,构造滤波器. 则相位一致性表达为

$$PC_{2D}(x, y) = \frac{\sum_m E_m(x, y)}{\sum_m \sum_n A_{nm}} \quad (5)$$

其中, m 表示方向尺度, n 表示滤波器频率尺度,

$$A_{nm} = \sqrt{(I_{nm}(x, y) * M_{nm}^e)^2 + (I_{nm}(x, y) * M_{nm}^o)^2},$$

$$\sum_m (x, y) = \sqrt{\left(\sum_n (I_{nm}(x, y) * M_{nm}^e)\right)^2 + \left(\sum_n (I_{nm}(x, y) * M_{nm}^o)\right)^2},$$

$$M_{nm}^e = g_{nm}^{(2)}(x, y), M_{nm}^o = \hat{g}_{nm}^{(2)}(x, y).$$

2.3 梯度幅值 (gradient magnitude, GM)

一幅图像的每个像素点在 3×3 邻域内具有 8 邻域和 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个边缘检测方向. 如图 1 所示.

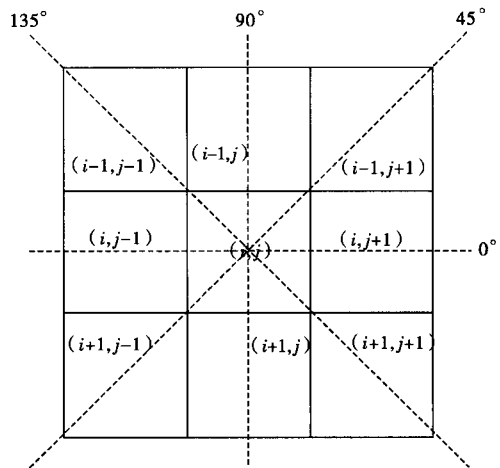


图1 像素的领域和方向示意图

在 3×3 邻域内可通过计算四个方向的一阶偏导数有限差分均值来确定像素点的梯度幅值. 常用的检测算子有 Sobel、Prewitt 和 Scharr 算子,与其他两个算子相比, Prewitt 算子使用的权重为 2,本

文采用 Prewitt 算子计算图像梯度幅值作为图像特征之一。

设 $I(i, j)$ 表示 3×3 邻域内中心像素 (i, j) 的灰度值, $GM(i, j)$ 表示 3×3 邻域内中心像素 (i, j) 的梯度幅值, $P_0(i, j)$ 、 $P_{45}(i, j)$ 、 $P_{90}(i, j)$ 、 $P_{135}(i, j)$ 分别表示 3×3 邻域内中心像素 (i, j) 的 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向的一阶偏导数, 则四个方向的偏导数表示为^[9]

$$p_0[i, j] = \frac{I[i-1, j+1] + 2I[i, j+1] + I[i+1, j+1] - I[i-1, j-1] - 2I[i, j-1] - I[i+1, j-1]}{3} \quad (6)$$

$$p_{45}[i, j] = \frac{I[i-1, j] + 2I[i-1, j+1] + I[i, j+1] - I[i+1, j] - 2I[i+1, j-1] - I[i, j-1]}{3} \quad (7)$$

$$p_{90}[i, j] = \frac{I[i-1, j-1] + 2I[i-1, j] + I[i-1, j+1] - I[i+1, j-1] - 2I[i+1, j] - I[i+1, j+1]}{3} \quad (8)$$

$$p_{135}[i, j] = \frac{I[i, j+1] + 2I[i+1, j+1] + I[i+1, j] - I[i, j-1] - 2I[i-1, j-1] - I[i-1, j]}{3} \quad (9)$$

像素 (i, j) 的梯度幅值 $GM[i, j]$ 表示为

$$GM[i, j] = \frac{p_0[i, j] + p_{45}[i, j] + p_{90}[i, j] + p_{135}[i, j]}{4} \quad (10)$$

3 基于 Fourier-Mellin 矩、PC、GM 的算法描述

(1) 假设利用式(1)、(5)、(10)提取关键图和检索图的 Fourier-Mellin 矩、相位一致性、梯度幅值, 并转化成一维向量后, 分别为: $OFFM_K$ 、 $OFFM_S$ 、 G_K 、 G_S 、 PC_K 、 PC_S , 其中 K 为关键图, S 为检索图。

(2) 则关键图和检索图的综合特征向量分别为

$$F_k = [OFFM_k \ G_k \ PC_k],$$

$$F_s = [OFFM_s \ G_s \ PC_s].$$

(3) 利用式欧式距离公式计算关键图、检索图的综合特征向量 F_k 、 F_s 的相似度, 按照图像相似度值从小到大的顺序对图像进行排序。相似度值越小,

说明关键图与检索图相似度越高, 否则相似度越低。根据输出图像个数, 输出检索结果。

4 实验与结果分析

在 Pentium4 2.7 GHz、2 GB 内存、500 GB 硬盘的 PC 机上, 用 MATLAB R2008a 实现算法。本文从 Amsterdam Library of Object Image (ALOI) 库的子库 COL、ILL、VIEW 中选取了 1 200 幅图像, 每个子图像库中每类图像的相关图像数是分别为 12、24、72。实验内容为: 将本文算法与文献[7]结合 HSV 颜色直方图(GCD_HSV)、HSV 颜色直方图检索算法和文献[10]的算法进行对比实验。

查准率和查全率是相对的, 但是一般认为如果一种算法的查准率和查全率都在 $60\% \sim 70\%$, 该算法的检索效率就很好^[11]。对于不同的图像库中, 算法的平均查准率和平均查全率随着检索输出图像数变化, 如图 2 所示。由图 2 可以看出, 在不同输出图像数下, 本文算法的查准率和查全率均高于比较算法。

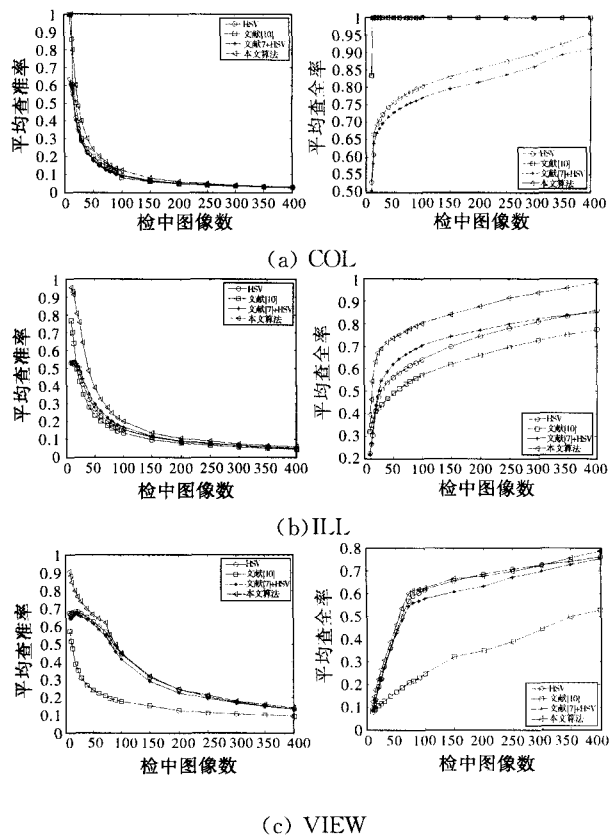


图 2 不同的输出图像数下的查准率、查全率曲线

同时, 查准-查全曲线(PRC)也能很好地反映算法检索效率, 曲线包含面积越大说明算法的检索效率越高, 不同库中算法的 PRC 曲线如图 3 所示。由

图3可以看出本文算法的检索能力明显高于比较算法,在COL库中,检索能力甚至达到理想状态。

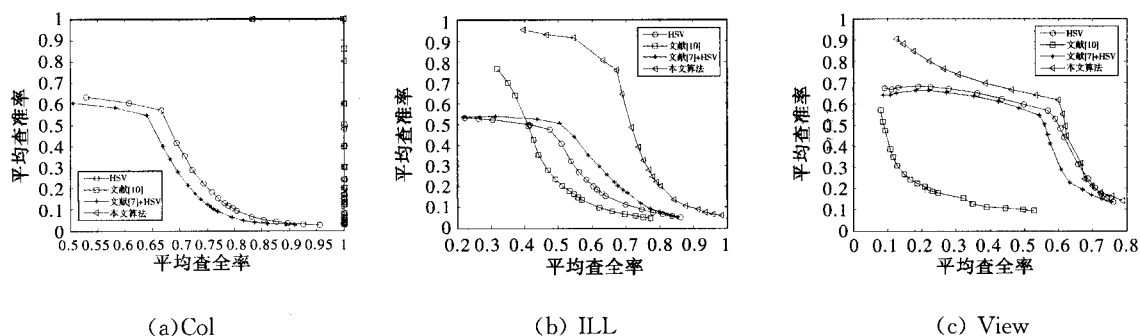


图3 每个图像库的查准-查全曲线(PRC)

5 结束语

本文提出一种结合图像高斯变换后相位一致特征、梯度幅值特征和 Fourier-Mellin 矩特征的检索方法。该方法充分发挥空域和频域的优点,能够有效提取图像的形状、明度、对比度特征。综合分析对比实验,可以看出,本文算法较其他算法的检索能力有很大优势,适合于彩色图像检索,特别在 COL 库中几乎达到理想状态。

参考文献:

- [1] Wong A, Clausi D A. AISIR: Automated inter-sensor/inter-band satellite image registration using robust complex wavelet feature representations[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(10):1160-1167.
- [2] Zhang H, Shu H Z, Haigron P, et al. Construction of a complete set of orthogonal fourier mellin moment invariants for pattern recognition applications [J]. Image and Vision Computing, 2010(28):38-44.
- [3] Pablo Toharia, Oscar D Robles, Angel Rodriguez, et al. A study of zernike invariants for content-based image retrieval [J]. Lecture Notes In Computer Science, 2007: 944-957.
- [4] Khalid M Hosny. New set of rotationally legendre moment invariants [J]. International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2010, 4(3):176-180.
- [5] Iivari Kunttu, Leena Lepistö, Juhani Rauhamaa, et al. Fourier-based object description in defect image retrieval [J]. Machine Vision and Applications, 2006, 17(4):211-218.
- [6] Zhang D, Lu G. Shape-based image retrieval using generic Fourier descriptor [J]. Signal Process Image Communication, 2002, 17(10):825-848.
- [7] Do M N, Lozano A C, Vetterli M. Rotation invariant texture retrieval using steerable wavelet-domain hidden Markov models[C]// Proc. SPIE Conf. Wavelet Applications Signal Image Processing VIII. San Diego, CA, 2000: 274-285.
- [8] 罗丁, 赵荣椿, 慈林林, 等. 基于 Hilbert 滤波器对的相位一致性边缘检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2):139-145.
- [9] 赵京东, 赵景秀. 改进的基于梯度幅值的自适应边缘检测算法[J]. 光电子技术, 2009, 29(2):98-101.
- [10] Guo Z, Zhang L, Zhang D. A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2010, 19(6): 1657-1663.
- [11] 马自萍, 马金林. 基于 FSIM 的彩色图像检索 [J]. 宁夏大学学报, 2011, 32(4):321-324.

作者简介:

马自萍 女,(1977—),博士研究生,讲师.研究方向为多媒体和图像处理.

康宝生 (1961—),博士,教授.研究方向为图像处理、计算机图形学.