

基于 complex moment 的圆度测量和图像检索*

马自萍^{1,2}, 康宝生¹

(1. 西北大学 信息科学与技术学院, 西安 710120; 2. 北方民族大学 信息与计算科学学院, 银川 750021)

摘要: 提出了一种 complex moment 的圆度测量方法。作为图像的形状特征,该方法易于计算,并可以减少形状提取时的大量计算,对噪声和狭窄区域有很好的鲁棒性。使用图像结构相似度度量方法 FSIM,结合 complex moment 的圆度特征、图像的相位特征、相位不变性特征,既弥补相位不变性(PC)对图像对比度不变的影响,又能充分利用圆度测量计算简单、旋转、放缩不变性,计算量小的优点。为了验证该算法效率,采用图像库 Shape7,彩色物体库 COL、VIEW、ILL 进行图像检索实验。实验表明,该方法对图像的形状和明度变化有很好的检索效果。

关键词: complex moment; 圆度测量; 梯度; 图像结构相似度; 图像检索

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2743-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.094

Image retrieval for color images based on circularity measure of complex moment

MA Zi-ping^{1,2}, KANG Bao-sheng¹

(1. College of Information & Technology, Northwest University, Xi'an 710120, China; 2. College of Information & Computational Science, North University for Nationalities, Yinchuan 750021, China)

Abstract: This paper proposed a new algorithm based on circularity measure of complex moment as a shape measure. An additional advantage of the generalized measure was that it could be used for reducing the computation cost and detecting small irregularities in nearly circular shapes damaged by noise or during an extraction process. And it used FSIM as measure distance with circularity, phase congruent and gradient magnitude. This method could not only fill up a deficiency of the contrast invariant of phase congruent, but also fully utilize the scaling and rotation invariant of circularity. To evaluate the effectiveness of the proposed method, it carried out a series of experiments on one Shape7 database and three color image databases COL, VIEW and ILL. The experiments show that the proposed method has higher retrieval precision rate and is more efficient for the different contrast and shape image.

Key words: complex moment; circularity measure; gradient; FSIM; image retrieval

0 引言

形状特征是图像检索和分类中的重要工具。形状信息符合人类视觉感知特点,承载着与颜色、纹理不一样的语义信息^[1]。二维形状特征最典型的代表是矩特征和轮廓。前者用图像的全局形状内所有点的信息对图像的全局大致特征进行描述,为了追求同时满足平移、旋转、放缩不变性的特征,许多学者不断地致力于此方面的研究^[2-4]。后者用图像的外围边界表示图像的形状,其首先找到一个起始点,然后沿着某一参数方程的一系列点的曲线作为其轮廓。轮廓提取最典型算法有傅里叶方法^[5]、轮廓延展^[6]。傅里叶方法、轮廓延展描述的是轮廓和形状上下文上每个点的变形可能性,重点寻找点集之间的相关性。最近提出用形状曲线点分别构建直方图,它不仅符合人类视觉感知特征,而且计算复杂度低,满足放缩和平移不变性^[7]。轮廓方法只提取图像边界,忽视区域内部信息,所以对复杂物体形状提取的准确性不高。

可用形状的特殊特征来表征形状的某一方面信息,如近来

提出的距角^[8]、凸性^[9]、线性^[10]、矩形性^[11]、三角性^[12]、圆度^[13]等。其中圆度方法是测量图像形状的圆度值($[0,1]$)来描述图像接近圆的程度,值越大表示形状越圆。传统圆度计算方法用形状的面积与周长之间的关系表示。最近提出几何距度量圆度的方法^[14],此种计算方法还可以用于椭圆率、三角率的计算,其计算结果是个常量,可有效降低特征向量的维数,对于多维特征很有效,已经被广泛应用于计算科学、生物、医学等领域。

形状特征是图像特征之一,要想更全面地反映图像的全部信息,还要提取颜色^[15,16]、纹理^[17,18]等特征。将相同相位角(PC)^[19]与梯度幅值向量(gradient magnitude, GM)^[20]相结合,具有准确可辨的图像特征信息,既能对图像对比度具有不变性,又能很好地反映图像对比度差异,减少计算量。

图像结构相似度(FSIM)^[21]起初用于图像质量评价,利用图像结构特征(如对比度、亮度等)信息,按照不同权重组成模型来评价图像质量,具有算法简单、抗噪声性好等优点。相对于欧几里得距离、Kullback-Leibler 距离,其更能体现子特征分量,继承子特征的检索特性。

收稿日期: 2011-11-21; **修回日期:** 2011-12-28 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61001156);北方民族大学科学研究项目(2011ZMY004)

作者简介: 马自萍(1977-),女(回族),宁夏吴忠人,讲师,博士研究生,主要研究方向为多媒体、图像处理(zipingma@gmail.com);康宝生(1961-),男,教授,博士,主要研究方向为图像处理、计算机图形学。

本文提出了一种特征相似性(FSIM)度量方法,结合图像的圆度信息、GM 信息和 PC 的特征图像检索的新相似性度量方法,在彩色图像中得到了较好的检索效果。这种方法既能利用提取圆度计算量小,度量形状旋转、放缩不变性的优点,又能利用图像颜色相位不变性,避免了传统颜色直方图计算量大的缺点,同时可以很好地识别图像形状和明度差异,在彩色图像的检索实验中有效地提高了图像的检索率。

1 基于复数矩的圆度测量方法

(p, q) 阶的几何矩定义为

$$m_{p,q}(S) = \iint_S x^p y^q dx dy \quad (1)$$

(p, q) 阶的中心几何矩定义为

$$\mu_{pq} = \iint_S \left(x - \frac{m_{1,0}(S)}{m_{0,0}(S)} \right)^p \left(y - \frac{m_{0,1}(S)}{m_{0,0}(S)} \right)^q dx dy \quad (2)$$

其中: $m_{0,0}(S)$ 为 S 的面积; $\bar{x} = \frac{m_{1,0}(S)}{m_{0,0}(S)}$, $\bar{y} = \frac{m_{0,1}(S)}{m_{0,0}(S)}$ 为 S 的中心坐标。若 S 的中心与原点重合,则 $m_{pq}(S) = \mu_{pq}(S)$ 。

(p, q) 阶的复数矩定义为

$$C_{p,q}(S) = \iint_S (x + iy)^p (x - iy)^q dx dy \quad (3)$$

中心复数矩为

$$C_{p,q}(S) = \iint_S [(x - \bar{x}) + i(y - \bar{y})]^p [(x - \bar{x}) - i(y - \bar{y})]^q dx dy \quad (4)$$

$$C_{1,1}(S) = \iint_S [(x - \bar{x}) + i(y - \bar{y})][(x - \bar{x}) - i(y - \bar{y})] dx dy = \iint_S (x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 dx dy = \mu_{2,0}(S) + \mu_{0,2}(S) \quad (5)$$

若 $C_{0,0}(S) = \mu_{0,0}(S)$, 则新的圆度测量式为

$$\varphi_{CM}(S) = \frac{(\mu_{0,0}(S))^2}{2\pi(\mu_{2,0}(S) + \mu_{0,2}(S))} = \frac{(C_{0,0}(S))^2}{2\pi C_{1,1}(S)} \quad (6)$$

新的圆度测量满足如下条件:

a) 对于所有平面形状 S , $\varphi_{CM}(S) \in (0, 1]$;

b) $\varphi_{CM}(S) = 1$, 当且仅当平面形状为圆。

证明 假设面积相等的任意图形 S 和图形圆 C 都是平面图形且紧支, 图形的中心在坐标原点, 因为 S 的面积大于 C , 故

$$\iint_{S \cap C} (x^2 + y^2) dx dy \geq \iint_{C \setminus S} (x^2 + y^2) dx dy \quad (7)$$

条件 a) 时:

$$C_{1,1}(S) = \iint_S (x^2 + y^2) dx dy = \iint_{S \cap C} (x^2 + y^2) dx dy + \iint_{S \setminus C} (x^2 + y^2) dx dy \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \iint_C (x^2 + y^2) dx dy &= \frac{C_{0,0}(S)^2}{2\pi} \\ \varphi_{CM}(S) &= \frac{C_{0,0}(S)^2}{2\pi C_{1,1}(S)} = \frac{C_{0,0}(S)^2}{2\pi \frac{C_{0,0}(S)^2}{2\pi}} = 1 \end{aligned} \quad (9)$$

条件 b), 当 S 为圆形时:

$$\varphi_{CM}(S) = \frac{C_{0,0}(S)^2}{2\pi C_{1,1}(S)} = \frac{C_{0,0}(C)^2}{2\pi C_{1,1}(C)} = 1 \quad (10)$$

表 1 显示了该算法的圆度测量值。圆度测量具有旋转、平移不变性。从表 1 可看出, 测度值比较符合人类感知对图像轮廓的区别, 作为其轮廓特征之一, 有一定的识别形状优势。为了验证此算法对轮廓特征识别的准确度, 从 MPEG7 形状库中选取了 15 类图像, 每类图像有 9 个相关图像, 部分检索实验如表 2 所示。对于不同输出图像数每类图像的平均检索数如图 1 所示。

表 1 复数矩圆度测量值

ID	image	CMS	ID	image	CMS
1		0.982 7	6		0.466 1
2		0.948 9	7		0.167 2
3		0.969 8	8		0.507 8
4		0.4760	9		0.278 2
5		0.477 2			

表 2 复数矩圆度测量的检索结果

key image						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

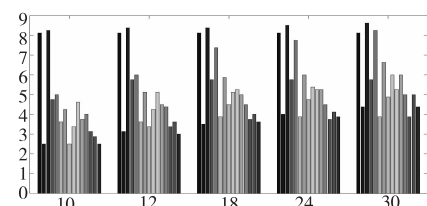


图 1 不同输出图像数的每类图像的平均检索数

2 基于圆度、相位角、梯度的结构相似性度量 (FSIM_{CM_GM_PC})

基于频域的结构相似性度量方法将频域信息作为图像的主要

结构信息,根据人眼视觉系统(HVS)对不同频率分量的敏感程度不同,对离散余弦变换后的各频率分量加权后得到图像的频域函数。由频域函数、亮度函数和对比度函数计算得到结构相似度,FSIM更符合人眼视觉系统特性,能较好地评价图像质量。本文根据FSIM度量方法,提出结合图像的圆度信息、梯度信息和相位不变性的图像检索的新的相似性度量方法。

假设有图像 f_1 、 f_2 ,计算圆度、相位^[10]、梯度^[20],分别为 CM_1 、 GM_1 、 PC_1 、 CM_2 、 GM_2 、 PC_2 ,计算 CM_1 与 CM_2 之间、 GM_1 与 GM_2 之间、 PC_1 与 PC_2 之间的相似度。

$$S_{CM}(X) = \frac{2CM_1(X) \times CM_2(X) + T_3}{CM_1^2(X) \times CM_2^2(X) + T_3} \quad (11)$$

$$S_{GM}(X) = \frac{2GM_1(X) \times GM_2(X) + T_2}{GM_1^2(X) \times GM_2^2(X) + T_2} \quad (12)$$

$$S_{PC}(X) = \frac{2PC_1(X) \times PC_2(X) + T_1}{PC_1^2(X) \times PC_2^2(X) + T_1} \quad (13)$$

其中: T_1 为使 S_{PC} 增加稳定性的正值, $T_1 \in (0, 1]$,它的取值随着 PC 值而变化,通过多次实验,本文中取 $T_1 = 0.46$ 最佳; T_2 、 T_3 为使 S_{GM} 、 S_{CM} 增加稳定性的正值,本文实验中取 $T_2 = 160$, $T_3 = 200$ 。

若定义:

$$S_L(X) = [S_{PC}(X)]^\alpha \times [S_{GM}(X)]^\beta \times [S_{CM}(X)]^\gamma \quad (14)$$

其中: $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$ 是控制三部分权重的参数,本文中设 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 。此时, $S_L(X) = S_{PC}(X) \times S_{GM}(X) \times S_{CM}(X)$ 。

然后根据FSIM原理,图像 f_1 、 f_2 的基于频域的结构相似性总度量式为

$$FSIM_{CM_PC_GM} = \frac{\sum_{X \in \Omega} S_L(X) \times PC_m(X)}{\sum_{X \in \Omega} PC_m(X)} \quad (15)$$

其中, $PC_m(X) = \max\{PC_1(X), PC_2(X)\}$ 。

3 算法描述

1) 圆度、相位角、梯度特征的提取

对于数据库中任意图像用式(6)提取图像的圆度值,并根据文献[19,20]方法提取相位不变、梯度特征向量 CM_1 、 GM_1 、 PC_1 、 CM_2 、 GM_2 、 PC_2 。

2) 相似度计算

利用式(11)~(13)分别计算各个子特征向量的关键图像相似度值 S_{CM} 、 S_{GM} 、 S_{PC} ,然后利用式(15)计算检索图像总FSIM相似度值,对图像进行排序,值越小,说明关键图与检索图是否相差太大,否则相似度很高。根据输出图像个数,输出检索结果。

4 实验结果

本文从图像库COL、ILL、VIEW中选取了1200幅图像,每个子图像库中每类图像的相关图像数分别为12、24、72。在Pentium4 2.7 GHz、2 GB内存、80 GB硬盘的PC机上,用MATLAB实现本文算法与其他算法的对比实验结果,如表3所示。

对于不同的图像库中,算法的平均查准率、平均查全率随着检索输出图像数变化,如图2所示。由表3可知,本文算法比HSV、文献[16]+HSV、文献[18]算法的平均查准率分别提高了32.92%、29.58%、20.75%。COL、ILL、VIEW库的图像输出数分别为12、24、72,当图像输出数小于等于图像相关数时,COL、ILL、VIEW库的平均查准率略高于GCD_HSV、HSV

算法。

表3 对比实验结果

图像库	算法	APR
COL	本文算法	1
	文献[18]	0.91
	HSV	0.582 5
	文献[16]+HSV	0.607 8
ILL	本文算法	0.713 0
	文献[18]	0.425
	HSV	0.473 8
	文献[16]+HSV	0.503 5
VIEW	本文算法	0.711 5
	文献[18]	0.62
	HSV	0.544 6
	文献[16]+HSV	0.568 2

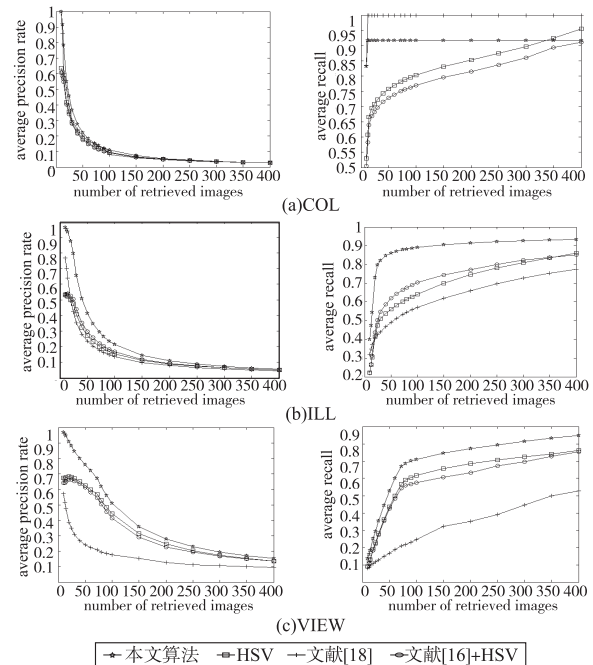


图2 每个图像库的查准率、查全率

各个子库的PRC(precision recall curve)曲线如图3所示。从图3可以看出,在各个库中,本文算法的检索能力均优于其他算法;HSV算法在VIEW库中的检索性能优于其他两个算法;文献[18]中的算法在COL库中的效率优于HSV和文献[16]+HSV,但在VIEW库中检索效率最低。

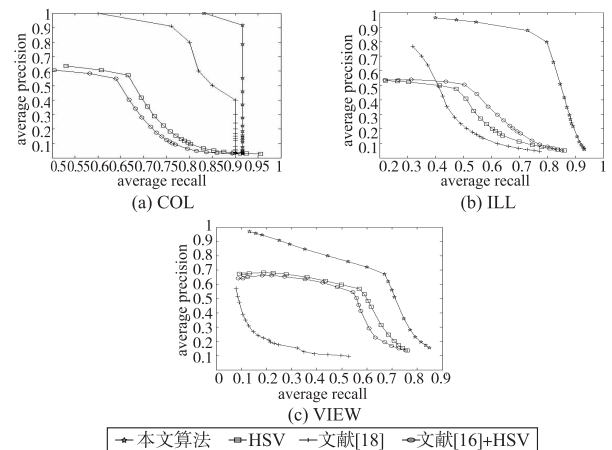


图3 每个图像库的PRC曲线

5 结束语

本文利用complex矩构造了新的圆度计算方法,此方法更符合人类视觉对不同图形的识别规律,这种形状特征结合相

位不变特征和梯度特征,应用 FSIM 计算相似度,在彩色图像库中的检索实验中验证了此方法的识别和检索能力明显优于其他比较算法。

参考文献:

- [1] MANJUNATH B S, PHILIPPE S, THOMAS S. Introduction to MPEG-7: multimedia content description interface [M]. [S. l.]: Wiley, 2002.
- [2] HOSNY K M. Refined translation and scale legendre moment invariants[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, 31(7): 533-538.
- [3] ZHU Hong-qing, SHU Hua-zhong, XIA Ting, *et al.* Translation and scale invariants of Tchebichef moments[J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(9): 2530-2542.
- [4] ZHU Hong-qing, LIU Min, JI Han-jie, *et al.* Combined invariants to blur and rotation using Zernike moment descriptors[J]. *Pattern Analysis & Applications*, 2010, 13(3): 309-319.
- [5] MEHTRE B M, KANKANHALLI M S, LEE W F. Shape measures for content based image retrieval; a comparison[J]. *Information Processing & Management*, 1997, 33(3): 319-337.
- [6] KUNTU I, LEPISTÖ L, VISA A. Efficient Fourier shape descriptor for industrial defect images using wavelets[J]. *Optical Engineering*, 2004, 44(8): 080503.1-080503.3.
- [7] SHU Xin, WU Xiao-jun. A novel contour descriptor for 2D shape matching and its application to image retrieval[J]. *Image and Vision Computing*, 2011, 29(4): 286-294.
- [8] STOJMENOVIC M, ZUNIC J. Measuring elongation from shape boundary[J]. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2008, 30(1): 73-85.
- [9] RAHTU E, SALO M, HEIKKILA J. A new convexity measure based on a probabilistic interpretation of images[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(9): 1501-1512.
- [10] STOJMENOVIC M, NAYAK A, ZUNIC J. Measuring linearity of planar point sets[J]. *Pattern Recognition*, 2008, 41(8): 2503-2511.
- [11] ROSIN P L. Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity[J]. *Machine Vision and Applications*, 2003, 14(3): 172-184.
- [12] ZUNIC J, ROSIN P L. Rectilinearity measurements for polygons[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(9): 1193-1200.
- [13] RUBERTO C D, DEMPSTER A. Circularity measures based on mathematical morphology[J]. *Electronics Letters*, 2000, 36(20): 1691-1693.
- [14] ZUNIC J, HIROTA K, ROSIN P L. A Hu moment invariant as a shape circularity measure[J]. *Pattern Recognition*, 2010, 43(1): 47-57.
- [15] YUE Jun, LI Zhen-bo, LIU Lu, *et al.* Content-based image retrieval using color and texture fused features[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2011, 54(3-4): 1121-1127.
- [16] MINH N D, MARTIN V. Wavelet-based texture retrieval using generalized Gaussian density and Kullback-Leibler distance[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2002, 11(2): 146-158.
- [17] MAJUMADAR I, CHATTERJI B N, KAR A. Texture feature matching methods for content based image retrieval[J]. *IETE Technical Review*, 2007, 24(4): 257-269.
- [18] GUO Zhen-hua, ZHANG Lei, ZHANG D. Rotation invariant texture classification using LBP variance (LBPV) with global matching[J]. *Pattern Recognition*, 2010, 43(3): 706-719.
- [19] LIU Zheng, LAGANIÈRE R. Phase congruence measurement for image similarity assessment[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28(1): 166-172.
- [20] 黄隆华, 陈志辉, 彭小宁, 等. 基于梯度及 HVS 特性的离焦模糊图像质量评价[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(2): 781-783.
- [21] ZHANG Lin, ZHANG Lei, MOU Xuan-qin, *et al.* FSIM: a feature similarity index for image quality assessment[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2011, 20(8): 2378-2386.