

基于多分辨 Fourier-Mellin 变换的剪纸纹样识别算法

王晓云¹ 韦月琼² 秦芳远³ 李国祥³ 张显全³

(长江师范学院数学与计算机学院 涪陵 408100)¹ (广西广播电视监测中心 南宁 530022)²

(广西师范大学计算机科学系 桂林 541004)³

摘 要 提出一种基于多分辨 Fourier-Mellin 的剪纸纹样识别算法。该算法先对剪纸纹样图像进行 Fourier-Mellin 变换,再对变换后的图像通过小波变换计算出各层方差和均值,得到剪纸纹样不同子带的特征值,应用支持向量机对剪纸纹样进行识别。实验证明,该方法不仅具有平移、旋转和尺度不变性,而且适用于有夸张艺术变形的剪纸纹样识别。

关键词 多分辨 Fourier-Mellin 变换,特征提取,支持向量机,纹样识别

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

Algorithm for Recognition Methods of Paper-cutting's Patterns Based on Multiresolution Fourier-Mellin Transform

WANG Xiao-yun¹ WEI Yue-qiong² QIN Fang-yuan³ LI Guo-xiang³ ZHANG Xian-quan³

(College of Mathematics & Computer Science, Yangtze Normal University, Fuling 408100, China)¹

(Guangxi Administration of Radio and Television Monitoring Center, Nanning 530022, China)²

(Department of Computer Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)³

Abstract A paper-cutting recognition algorithm was proposed based on Multiresolution Fourier-Mellin transform. The algorithm does Fourier-Mellin transform on paper-cutting, then based on the invariance of Fourier-Mellin transform, calculates the energies of the subbands acquired by wavelet transform, which is composed by mean square deviation and mean value of apiece subband. These energies regard as the invariant feature vectors. Experiments indicate that this feature vector not only has the translation, rotation and scale invariance, but also satisfactorily achieves the excessive geometrical deformation pattern recognition.

Keywords Multiresolution Fourier-Mellin transform, Feature extraction, SVM, Pattern recognition

1 引言

剪纸^[1]艺术起源于中国,有着悠久的历史,也是流传最广、地域性最鲜明的一种民间艺术形态。众多的剪纸形象虽然千姿百态,但是每幅图的组成都有些共同的特征。将其进行分解,得到剪纸图像的构造主要由主轮廓纹样和内部装饰纹样两大类型的纹样构成。剪纸作品非常丰富,主要是纹样变化产生不同的艺术效果。同一个剪纸外形,使用不同的纹样进行装饰,就会产生不同的艺术趣味。纹样能够使得剪纸形象更加生动和具有欣赏价值,成为了表现剪纸艺术的语言符号。利用计算机去分析这些纹样图像,进行提取、识别和分类,然后设计新的剪纸图像,这将是一件非常有意义的工作。

剪纸纹样是剪纸图像扫描去噪二值化后提取边界得到的。若在边界线上通过寻找特征点来进行纹样的识别,显然存在很多问题。而且剪纸图像具有其独特的性质,特别是线纹样和镂空纹样,仅仅依靠直观的特征来进行识别,会引起错

误。最主要的是,剪纸纹样图像与其他的图片不同,两个相似的纹样不一定有严格的数学变换,它们是艺术上的夸张与变形所得,而且随意性大,所以运用一般的不变量去识别,效果不是很理想。

基于 Fourier-Mellin(FM)变换的图像配准算法是一种经典的基于非特征的图像配准方法,可对两幅近似满足相似变换的图像进行配准。它是基于图像整个区域的形状描述算子,具有平移、旋转和伸缩不变性。文献[2]使用滤波技术改进了算法,得到明显的相关峰值、较精确的匹配图像,并且有抗噪性,计算复杂性也有所降低。文献[3]将 Fourier-Mellin 变换应用于图像匹配和曲线匹配,得到较为满意的实验效果,拓展了图像配准技术。文献[4]直接对图像进行 Radon 变换,再进行 Fourier-Mellin 解析,原图像尺度变化转变为幅度变化,然后通过定义旋转和尺度不变函数,得到 4 个不变特征,最后应用 k-近邻法来实现了分类。文献[5]在泊松方程-几何描述子的基础上,结合 Fourier-Mellin 变换,提出了一种

到稿日期:2009-07-01 返修日期:2009-09-03 本文受广西自然科学基金(0832104),重庆市教委科学技术研究项目(KJ081309),广西教育厅项目(桂教科研[2009]25号),广西研究生教育创新计划项目(2008106020812M259)资助。

王晓云(1963—),男,硕士,副教授,主要研究方向为计算机图形图像处理,E-mail:wxy93@sohu.com;韦月琼(1982—),女,硕士生,主要研究方向为图像处理;秦芳远(1984—),女,硕士生,主要研究方向为图像处理;李国祥(1981—),男,硕士,主要研究方向为图像处理;张显全(1964—),男,教授,主要研究方向为图像处理。

新的描述子,对形状进行识别和分类。文献[6]对经过傅立叶梅林变换的指纹,提取其相位信息,再通过带限相位相关法得到指纹匹配的相似度,有效抑制了噪声。文献[7]用支持向量机对特征向量进行分类识别,能有效应用到银行信贷风险评估中。

本文针对艺术形象的夸张变形,提出一种适合纹样识别的方法,将 Fourier-Mellin 变换后的图像,利用小波多分辨率分解得到不同子带的能量,从而得到识别的特征,结合支持向量机对纹样进行识别。实验证明,该特征不仅具有平移、旋转和尺度不变性,而且适用于有变形的纹样图像的识别。

2 特征提取

2.1 不变量计算

本文通过 Fourier-Mellin 变换计算不变量,Fourier-Mellin 变换可以看成是傅立叶变换和对数极坐标变换的组合。一幅图像经过旋转、平移和尺度变换后,假设 $f_2(x,y)$ 是图像 $f_1(x,y)$ 经过旋转 α 角度、平移 (x_0,y_0) 和尺度因子为 σ 的变换结果,那么其傅立叶变换为 $F_2(u,v)=e^{-j\phi(u,v)}\sigma^{-2}[F_1(\sigma^{-1}(u\cos\alpha+v\sin\alpha),\sigma^{-1}(-u\sin\alpha+v\cos\alpha))]$,其幅度谱为 $|F_2(u,v)|=\sigma^{-2}|F_1[\sigma^{-1}(u\cos\alpha+v\sin\alpha),\sigma^{-1}(-u\sin\alpha+v\cos\alpha)]|$ 。

由上述可知,两图像的幅度谱与平移量 (x_0,y_0) 无关,只与旋转的角度和尺度因子有关,这样得到一个平移不变量;然后进行对数极坐标变换,消除旋转和尺度的影响;令: $\begin{cases} f_{2p}(\rho,\theta)=|F_2(\rho\cos\theta,\rho\sin\theta)| \\ f_{1p}(\rho,\theta)=|F_1(\rho\cos\theta,\rho\sin\theta)| \end{cases}$, 那么有 $f_{2p}(\rho,\theta)=\sigma^{-2}f_{1p}(\rho/\sigma,\theta-\alpha)$, 旋转的角度就变成了平移。设 $r=\log\rho,\eta=\log\sigma$,再取对数,那么 $\log(\rho/\sigma)=\log\rho-\log\sigma=r-\eta$,即得: $f_{2lp}(r,\theta)=\sigma^{-2}f_{1lp}(r-\eta,\theta-\alpha)$ 。 $f_{2lp}(r,\theta)$ 已经没有角度的旋转和尺度的影响,那么再结合傅立叶变换,就可以构造出 Fourier-Mellin 不变量^[8] $FM(u,k)=\int_0^{\infty}\int_0^{2\pi}f_{lp}(r,\theta)r^{u-1}e^{-ik\theta}d\theta dr$ 。

本文对剪纸纹样进行 Fourier-Mellin 变换的过程如图 1 所示。

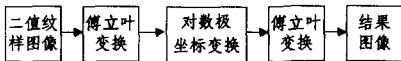


图 1 FM 变换过程

从图 1 可以看出,Fourier-Mellin 变换可以看成是傅立叶变换和对数极坐标变换的组合,以 F 来表示傅立叶变换,LP 表示对数极坐标变换,FM 表示 Fourier-Mellin 变换,那么 $FM=F\cdot LP$ 。Fourier-Mellin 变换具有平移、旋转和尺度不变量。

2.2 特征提取

对图像的小波变换实质就是将二维信号进行不同尺度上的分解,就会得到不同频率的子带,根据各个尺度上的分量可以计算其能量。小波分解后得到的能量值是与图像的旋转尺度平移无关的特征,不但消除图像旋转的影响,还是图像的平移和尺度不变量^[9]。本文采用常用的 db2 小波,对 FM 变换后的纹样图像进行两层分解,得到 $LL_2,HL_2,LH_2,HH_2,HL_1,LH_1$ 和 HH_1 ,如图 2 所示。计算各层尺度上的能量有很多定义,一般使用平均能量算子:

$$E_i=\frac{\sum_{x,y}c_i(x,y)^2}{M\times N}$$

式中, $c_i(x,y)$ 是各尺度上的小波系数, M 和 N 是各层子带的大小。文中将使用均方差和均值为能量。低频子带是图像内容的近似值,为了排除细节的影响,采用了方差 σ 作为特征;其他子带是高频部分,求均值 μ_i 。结合前面使用的 FM 变换处理,本文均值 μ_i 和方差 σ 分别定义为:

$$\mu_i=\frac{1}{M\times N}\sum_{x=1}^M\sum_{y=1}^N\log(|c_i(x,y)|)$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{1}{(M\times N)^2}\sum_{x=1}^M\sum_{y=1}^N\log((c_i(x,y)-\mu_i)^2)}$$

令 $e_1=\sigma, e_2, e_3, \dots, e_7$ 分别为 $HL_2, LH_2, HH_2, HL_1, LH_1$ 和 HH_1 的均值 μ_i ,那么就得到一个特征向量 $\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$ 。

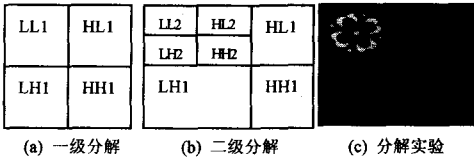


图 2 小波分解

2.3 特征提取实验结果

基于以上的讨论,本文对纹样的特征进行提取。首先对图像进行 FM 变换;利用小波变换将 FM 变换后得到的结果进行分解,得到不同频率的子带;根据均值 μ_i 和方差 σ 公式计算各层的能量,组成特征向量。

为了检验本文算法具几何不变性的有效性,进行了大量的实验,都取得了很好的效果。下面以一例进行说明。对变形夸张图像的特征有效提取进行验证,实验图像如图 3 所示,其中图 3(a)是单牙纹原图,经过变形后的图像为图 3(b)到图 3(i)。其中,图 3(b)到图 3(d)为图 3(a)的一般几何变换,图 3(e)到图 3(i)为图 3(a)的非严格数学变换,而图 3(j)是不同类别的纹样,用来验证特征的区别。使用本文的方法进行特征提取,特征向量如表 1 所列。

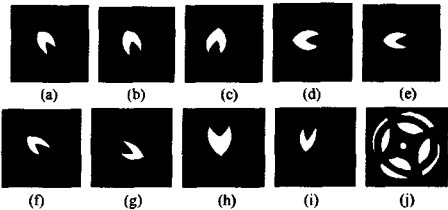


图 3 变形纹样图像

表 1 变形图像的多尺度特征

图像	特征值						
	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
a	0.10906	3.0624	4.7342	2.7247	1.4748	17.375	1.4093
b	0.10952	3.2096	4.7181	2.9355	1.735	17.41	1.6474
c	0.10956	3.342	4.7252	3.1308	1.8572	17.442	1.9059
d	0.10943	3.4743	4.6902	3.1112	1.8997	17.214	1.8343
e	0.10904	3.2021	4.6672	2.891	1.7197	17.557	1.5787
f	0.10909	3.1722	4.69	2.8066	1.5738	17.291	1.4333
g	0.10956	3.3387	4.7522	3.049	1.808	17.197	1.757
h	0.10915	3.2722	4.5936	2.8868	1.7011	17.556	1.727
i	0.10923	3.1865	4.5555	2.7597	1.5741	17.497	1.4308
j	0.11687	4.4349	5.7555	4.2752	3.1186	20.318	3.0805

从这 7 个特征向量可以看出,图 3(a)到图 3(i)的近似值相差不算大,表示是属于同一类的,但又有区别,表示了是有变形。图 3(j)的特征与图 3(a)相差较大,表示是不同类别的两种纹样。即提取到相同类的纹样特征相近,而不同类的纹

样特征则差异性较大。

经过大量实验,本文特征向量具有一定的鲁棒性。以朵花纹为例进行说明,这里仍然采用 256 色图像来做实验。图 4(a)为原始图像,图 4(b)、图 4(c)、图 4(d)分别是图 4(a)的加噪图像。图 4(b)是加了方差为 0.05 的椒盐噪声,图 4(c)的高斯噪声方差是 0.05,而图 4(d)则是加了随机噪声。实验结果如表 2 所列。对于同一幅图像,在不同的噪声下,从表中的 e_1 可以看出本文算法提取到的特征较为相近,具有较好的鲁棒性。

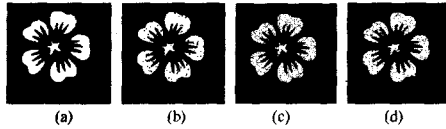


图 4 噪声图像

表 2 噪声的影响

图像	特征值						
	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
a	0.15172	9.7556	11.29	9.6501	8.4435	39.993	8.3313
b	0.15404	10.338	11.736	10.302	9.1382	41.596	8.9619
c	0.15321	10.166	11.581	10.083	8.9381	41.151	8.9056
d	0.15288	10.102	11.455	9.943	8.8304	40.616	8.8019

3 纹样识别

特征提取之后,通过一个分类器对纹样进行识别。支持向量机(SVM)是一种用来解决分类和回归问题的新技术,具有良好的分类性能和泛化能力,能够较好地解决小样本、非线性、高维数等实际问题,在文本识别、人脸识别等领域取得了很好的效果。SVM 算法基本思想是用于两类线性可分的分类问题,寻找一个最优分类函数,将两类样本尽可能地分开,并使得两类间隔最大。本文的分类核函数使用径向基核函数,纹样的识别算法描述如下:

(1)对图像进行 FM 变换;

(2)利用小波变换分解 FM 变换后得到的图像,得到不同频率的子带;

(3)计算各层的能量,组成特征向量;

(4)通过支持向量机对纹样进行识别。

图库中的纹样包括锯齿纹、单牙纹、柳叶纹、花瓣纹、月牙纹、朵花纹、古钱纹、盘长纹、寿字纹 9 种剪纸纹样,选择纹样库中每个类别的前 30 幅图像,共 300 多个纹样作为训练样本进行训练,表 3 给出了纹样的识别率。实验中总的识别率可以达到 88.3%,效果较为满意。柳叶纹的识别率最高,取到的特征与其他纹样相差是最大的,所以错误率较低。朵花纹

因为变化多,很多朵花纹相似性较小。而古钱纹等纹样与它又有一些相似性,所以识别率较低。

表 3 纹样的识别率

纹样	正确分类样本数	错误分类样本数	识别率(%)
锯齿纹	35	5	87.5
单牙纹	36	4	90.0
柳叶纹	38	2	95.0
花瓣纹	36	4	90.0
月牙纹	37	3	92.5
朵花纹	30	10	75.0
古钱纹	34	6	85.0
盘长纹	37	3	92.5
寿字纹	35	5	87.5
总数	318	42	88.3

结束语 为了解决变形图像的识别,本文结合 Fourier-Mellin 不变量和小波分析,得到一种傅立叶梅林小波变换的纹样特征提取方法,然后使用 SVM 来实现纹样的分类。此方法不仅能解决有一般几何变换的图像识别,还能够解决非数学上的变换,如变形和夸张的纹样的识别。对于变形比较大的纹样,如非常复杂的朵花纹,识别也较好。虽然算法复杂度较高,但是实验表明此方法取得了满意的识别效果。

参考文献

- [1] 仇凤泉. 外国剪纸集[M]. 湖南美术出版社,1997
- [2] 郭晓新,许志闻,卢奕南,等. 基于 Fourier-Mellin 不变量的图像配准方法[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):421-424
- [3] 李晓明,赵训坡,郑链,等. 基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法及应用拓展[J]. 计算机学报,2006,29(3):466-472
- [4] 王珏,肖斌,马建峰. 基于 Radon 和解析 Fourier-Mellin 变换的尺度与旋转不变目标识别算法[J]. 中国图象图形学报,2008,13(11):2157-2162
- [5] 邹建成,客楠楠,鲁燕. 基于泊松方程-Fourier-Mellin 矩的形状识别和分类方法[J]. 北方工业大学学报,2009,21(1):1-10
- [6] 臧灵,袁杰,都思丹. 基于 Fourier-Mellin 变换的指纹匹配算法研究[J]. 计算机仿真,2009,26(3):231-233
- [7] 赵晓翠,王来生. 基于投影寻踪和支持向量机的模式识别方法[J]. 计算机应用研究,2007,24(2):86-88
- [8] Jin A T B, Ling D N C, Song O T. An efficient fingerprint verification system using integrated wavelet and Fourier-Mellin invariant transform[J]. Image Vision Computing, 2004, 22(6): 503-513
- [9] Pun C M, Lee M C. Log-Polar wavelet energy signatures for rotation and scale invariant texture classification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5):590-603

(上接第 193 页)

自相关系数 k 的计算方法。这些为柔性逻辑中 $[0, \infty]$ 区间上的一级运算模型提供了重要的理论基础。

参考文献

- [1] 何华灿,王华,刘永怀. 泛逻辑学原理[M]. 北京:科学出版社,2004
- [2] 陈志成. 复杂系统中分形混沌与逻辑的相关性推理研究[D]. 西安:西北工业大学,2004
- [3] 汪培庄,李洪兴. 模糊系统理论与模糊计算机[M]. 北京:科学出版社,1996
- [4] Esteva F, Trillas E, Domingo X. Weak and Strong Negation Functions for Fuzzy Set Theory[C]//Int. Sym. on Multiple-valued Logic, 1981
- [5] Ovchinnikov S V. General Negations in Fuzzy Set Theory[J]. J. of Math. Anal. & Appl., 1983,92:234-239
- [6] Ovchinnikov S V. Similarity Relations, Fuzzy Partitions and Fuzzy Orderings[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1991,40:107-126