

文章编号 1004-924X(2010)07-1668-07

应用 Gabor 滤波器和局部边缘概率直方图 的全局纹理方向性度量

赵海英^{1,3}, 冯月萍²

(1. 北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083; 2. 吉林大学 计算机学院, 吉林 长春 130012;
3. 新疆师范大学 数理信息学院, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 为了构建人机识别纹理方向性模型, 提出了一种图像全局纹理方向性的度量算法。首先, 设计 Gabor 滤波器以减小次要方向分量, 增强描述纹理的全局方向性分量。然后, 构造局部边缘概率直方图, 描述纹理方向性的整体分布, 定量给出全局方向性度量值。最后, 在 Tamura 纹理模型实验集以及 Brodatz 纹理图像库上, 测试比较了用不同测度算法度量全局纹理方向性的精度。结果显示, 在两类纹理图像库上所获得的测试值均与人类视觉感知保持了较高的一致性, 其精度比其它算法可高出 10%, 表明论文所提的全局纹理方向性度量算法可以满足精度要求更高的人机纹理识别模型。

关键词: 局部边缘概率直方图; Gabor 滤波; 全局纹理方向; 特征提取

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101807.1668

Metric of global texture direction with histogram of local edge probability and Gabor filter

ZHAO Hai-ying^{1,3}, FENG Yue-ping²

(1. *School of Information Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100190, China;*
2. *College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China;*
3. *College of Maths-physics and Information Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China*)

Abstract: In order to construct a reference model of human-machine identification texture direction, a metric algorithm for global texture direction is proposed. Firstly, a Gabor filter is designed to reduce the component less important direction and enhance that of global direction for description texture. Then, the histogram of local edge probability is constructed to describe the distribution of global texture and to give a quantitative value of measurement. Finally, the proposed algorithm is applied to comparing the accuracy of two experimental data sets from Tamura Texture Model and Brodatz texture database. Results indicate that the accuracy of the algorithm is well consistent with that of human visual perception measurement, and it is higher 10% than that of other algorithms. The algorithm can satisfy the requirements of a better reference model of human-machine identification texture direction

收稿日期: 2009-09-09; 修订日期: 2009-10-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60863010)

for the higher precision.

Key words: histogram of local edge probability; Gabor filter; global texture direction; feature extraction

1 引言

任何图像均可认为是由一种或多种不同纹理组成^[1]。图像的纹理特征可以作为区分不同类型区域或物体的重要特征。对图像纹理分析研究的目的是提取能刻画图像本质的纹理特征,以便进行图像分割、分类及识别。由于纹理的全局方向性可以计算侵蚀现象发生的方向和强度,计算图片拍摄体和目标体间的相对位移,对卫星云图进行预测,或计算地表等高线等等,因此,纹理全局方向性具有广泛的应用前景。

人类感知纹理的研究表明:周期性、方向性和随机性是表征纹理的最重要的3个因素^[2]。研究纹理的方向性和表达方法的文献很多,已有人提出了基于2D Wold变换的纹理模型,该模型把纹理分解为周期性成分、方向性成分和随机性成分。基于 Tamura 纹理模型检测纹理方向,虽然计算简单,但方向性测度精度不够,尤其对纹理排列不规则的图像不够敏感^[3]。文献[4]提出用平行四边形表示纹理的方向性,平行四边形的两个邻边就是纹理成分的方向性。文献[5]根据 Karu 对一幅图像是否具有纹理性进行的研究,提出根据差异函数计算一幅图像纹理方向性大小的方法。另外,文献[6]提出根据纹理的二阶或高阶统计特征性来提取纹理区域的方向性分量。

综上所述,大多数纹理方向性测度方法本质上都是基于经典统计学,侧重于纹理局部模式和规则的描述,没有反映出纹理作为一种全局模式的方向表征,而这种方向性表征与人类视觉感知的纹理方向性是一致的。本论文的侧重点是尝试给出一种全局纹理方向性的度量。Gabor 滤波器在频率和方向上对图像的代表特性与人类的视觉系统非常相似^[7]。研究发现,Gabor 滤波器适宜于图像纹理的表示和判别,其本质就是一个被高斯函数调制的复指数信号。目前对 Gabor 滤波器的研究主要是通过频率及方向参数选择,使得

滤波后输出图像能突出感兴趣的区域,抑制其他区域。用 Gabor 滤波器变换后系数的模的均值和方差可以表示目标图像的特征,被广泛应用于人脸识别、目标跟踪和纹理特征提取中^[8]。最近,国外研究者还将 Gabor 滤波与图像波的 PDE 方法相结合,利用非线性扩散模型来获取图像局部结构的纹理特征^[9]。

本文围绕 Gabor 滤波器具有多尺度多方向的度量特点^[10],结合局部边缘概率直方图,获得了一种描述全局纹理方向性的测度算法;并以文献[11]和 Brodatz 图像源^[12]为实验素材,估计了全局纹理方向角。首先设计一种顾及全局纹理方向特性的 Gabor 滤波器,通过利用 Gabor 滤波器的带通技术,抑制次要纹理方向分量,从而间接增强全局纹理方向分量,然后,构造局部边缘概率直方图,给出了度量全局纹理方向的模型。

2 设计 Gabor 滤波器和构造局部边缘概率直方图

2.1 Gabor 滤波器的参数设定

Gabor 滤波器克服了传统傅里叶方法的不足,能够很好地兼顾信号在空间域和频率域的分辨能力,具有易于调谐的方向和径向,且与人类视觉感知系统相似。Gabor 函数 $g(x, y)$ 是一个被复正弦函数调制的高斯函数,其表达式如下:

$$\begin{cases} g(x, y) = h(x', y') \exp[2\pi j(Ux + Vy)] \\ h(x', y') = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right)\right], \end{cases} \quad (1)$$

这里, $(x', y') = (x\cos\theta + y\sin\theta, -x\sin\theta + y\cos\theta)$ 是空间域坐标旋转的结果; σ_x, σ_y 分别为水平方向和垂直方向的尺度参数; (U, V) 是中心频率,频率调制的方向角 $\phi = \arctan(V/U)$ 。通常情况下,取 Gabor 函数中高斯函数函数部分的方向与复数调制部分函数的辐角相等,即令 $\phi = \theta$ 。

一幅图像的 Gabor 尺度方向特征是图像

$I(x, y)$ 与 Gabor 滤波器 $g(x, y)$ 的卷积:

$$o_{m,n}(x, y) = I(x, y) * g(x, y), \quad (2)$$

式中 $*$ 是卷积运算符。图像的卷积输出为复数形式, 该复数的量值 $\sqrt{R^2 + I^2}$ 即为提取的 Gabor 特征值。Gabor 特征值优劣的关键是滤波器参数的确定, 根据文献[13]并结合多次试验结果, 本文取 $u_x = 2; u_y = 4; \theta = \pi/3; \sigma_x = \sigma_y = 1/16$ 。

2.2 构造局部边缘概率直方图

为了得到整个图像的全局方向度量, 首先计算每个像素的梯度向量。梯度向量的模和方向分别定义为:

$$|\Delta G| = (|\Delta_H| + |\Delta_V|) / 2, \quad (3)$$

$$\theta = \arctan(\Delta_H / \Delta_V) + \pi/2, \quad (4)$$

其中: Δ_H 和 Δ_V 分别是通过图像卷积下列 3×3 的水平和垂直边缘算子^[1], 其矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

方向 θ 是一个实数 ($0 \leq \theta \leq \pi$), 约定水平方向为 0。当所有像素的梯度向量被计算出来后, 通过量化方向 θ , 统计 $|\Delta G|$ 大于给定阈值 t 的像素数量来构造局部边缘概率直方图。

$$H_D(K) = N_\theta(k) / \sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i) \quad k = 0, 1, \dots, n-1, \quad (5)$$

$H_\theta(k)$ 是方向 θ 满足: $(2k-1)\pi/2n \leq \theta \leq (2k+1)\pi/2n, |\Delta G| \geq t$ 的数量。在实验中取 $n=16, t=13$ 。这个直方图是概率统计分布, 对明显方向性的图像会表现出峰值, 对于无明显方向的图像也可展示出峰值。图像的全局方向性可以通过式(6)求得:

$$F_{dir} = 1 - r \cdot n_p \sum_p \sum_{\phi \in \omega_p} (\phi - \phi_p)^2 \cdot H_D(\phi), \quad (6)$$

这里, n_p 是峰值的数量, ϕ_p 代表第 p 个峰值, ω_p 是第 p 个峰值所位于的峰谷间距, r 是量化 ϕ 的归一化因子, ϕ 是量化方向角。

2.3 算法流程

论文设计了一个方向滤波器, 通过恰当选择参数, 获得一个突出多方向趋势的输出图像, 然后

对输出图像进行局部边缘概率统计, 获得描述纹理方向的直方图, 最后利用直方图计算出一个反映全局纹理的方向角。其流程图如图 1 所示。

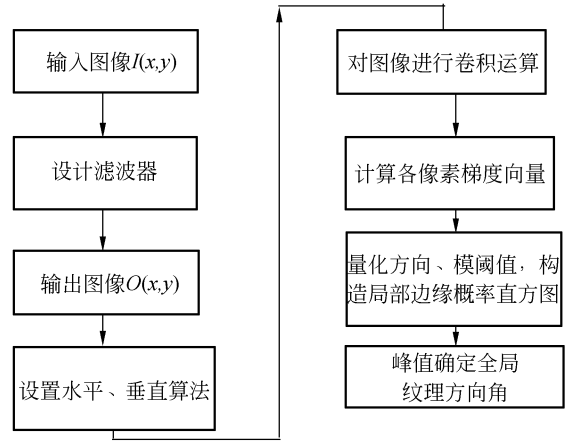


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flow chart of algorithm

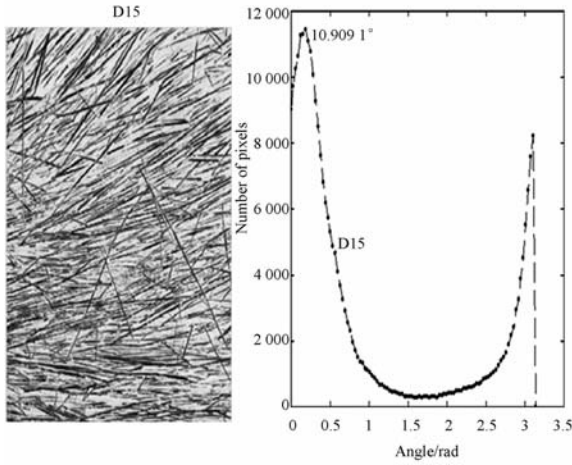
3 仿真实验及不同测度算法比较

3.1 基于 Tamura 纹理模型的实验图像

选取 Tamura 文献的图像源^[11], 图像为 $640 \times 640, 256$ 个灰度级。

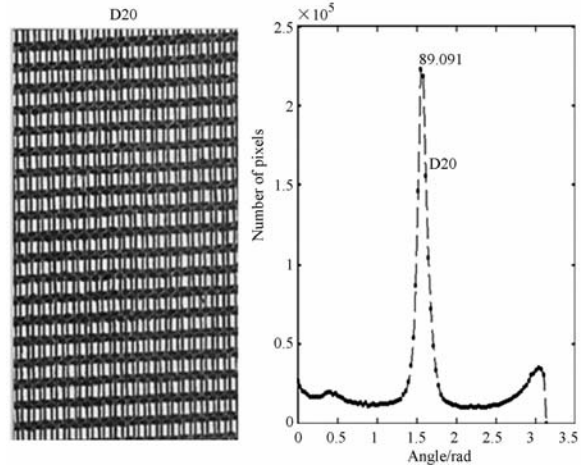
观察图 2(a), 纹理样本 D15 具有很强的方向性, 算法给出的全局方向角为 10.9091° (以水平方向为 0°)。另一方面, 观察图 2(b), 可以看出纹理样本 D84 有相对较弱的方向, 因为它的峰值不是很尖, 纵轴表现像素个数的分布较为均匀。而图 2(c), 纹理样本 D9 基本上没方向性, 因为纵轴像素个数的分布范围变化不大, 为此 D9 可以认为无方向^[11], 但本论文所使用算法仍然能够给出 D84 和 D9 一个相对的全局方向度量, 分别为 9.091° 和 20.0006° , 与人的视觉感知是基本吻合的。

图 2(d) 有一个很高的峰, 峰值为 89.091° , 可 D20 应该有双向度, 由于论文算法给出的是一个全局方向性度量, 在图 2(d) 纵向方向线数远远多于水平方向线的情况下, 选择了纵向角度为全局方向角也是合理的。



(a) D15 全局纹理方向

(a) Global texture direction in D15

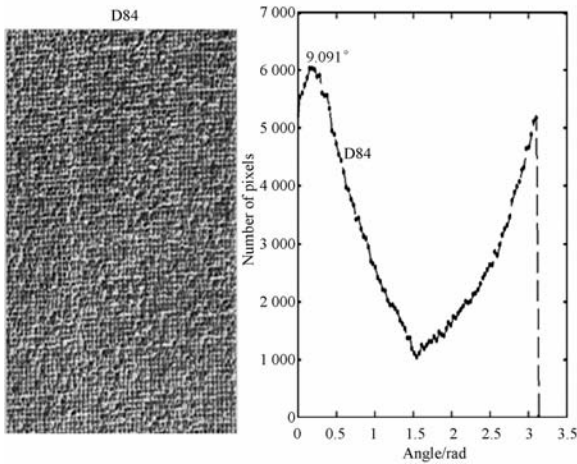


(d) D20 全局纹理方向

(d) Global texture direction in D20

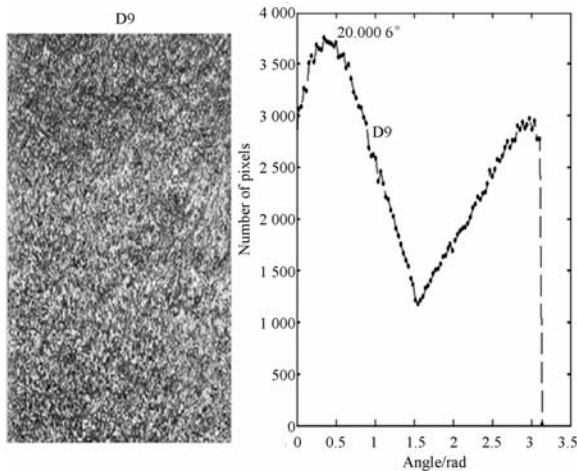
图 2 基于 Tamura 图像集提取全局纹理方向

Fig. 2 Extraction global texture directions in Tamura image



(b) D84 全局纹理方向

(b) Global texture direction in D84



(c) D9 全局纹理方向

(c) Global texture direction in D9

3.2 基于 Brodatz 数据库

论文中图像选取 Brodatz[12,12]数据库,图像为 640×640,256 个灰度级。如图 3 所示。

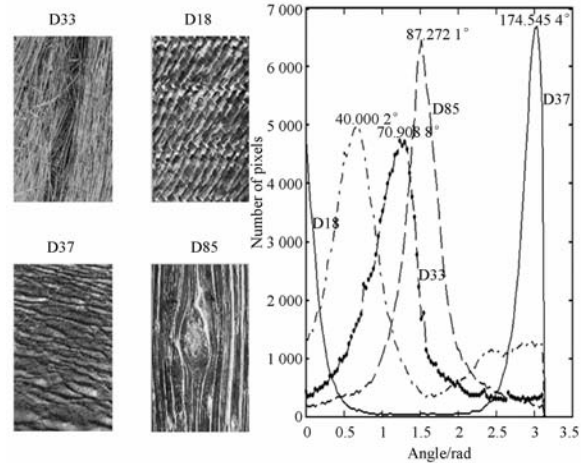


图 3 全局纹理方向在 Brodatz 数据库

Fig. 3 Global texture direction in Brodatz database

观察图 3 左图,4 幅图像均具有很强的方向性,D33 越过了对角线,偏向 90°;D18 位于对角线的附近;D37 偏向水平 180°;D85 除中间部位,有较强的垂直方向角。从图 3 中右图可见,本文所提算法对 4 幅图像的方向度量分别为:70.908 9°,40.002°,174.545 4°和 87.272 1°,与人的视觉感知基本吻合。下面分析噪声对算法的影响。

分析图 4,所用算法对噪声图像表现出较强的鲁棒性,与图 3 相比,4 幅图像的全局纹理方向角的变化很小,保持了人类视觉感知的方向性,从而说明本文算法在人机识别纹理的方向性上有较强的适应性。

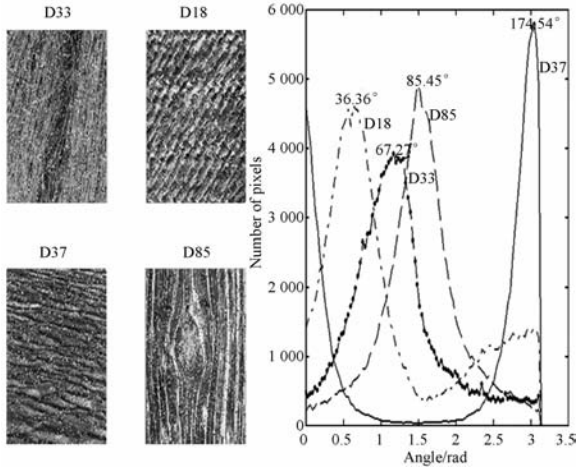


图 4 基于噪声图像提取全局纹理方向
Fig. 4 Global texture direction in noise image

3.3 纹理方向性测度算法比较

利用图 3 为图像源,进行傅里叶频谱法的纹理方向测试,方向分布如图 5 所示。

各类度量方向特征算法具有不同描述纹理方向性的粒度^[2],本文所提算法的关键在于要获取一个能定量刻画全局纹理方向角并且保持人类视觉感知方向性的一致性,对照图 5,观察图 3 可知,本文算法所提取的全局纹理方向角较符合人

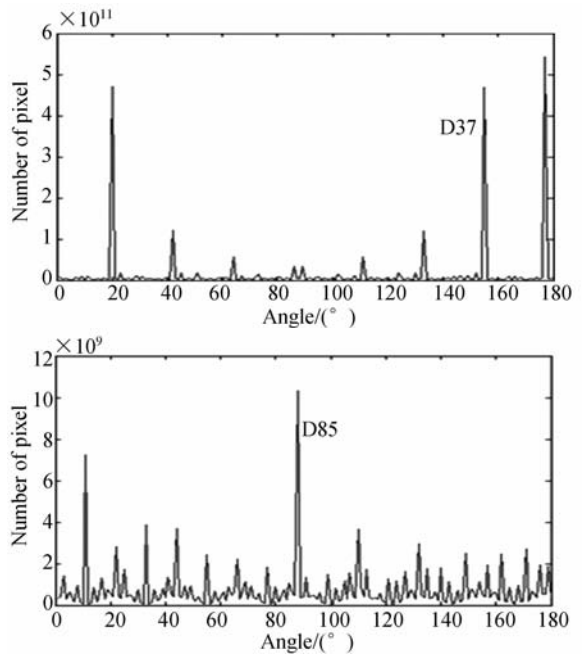
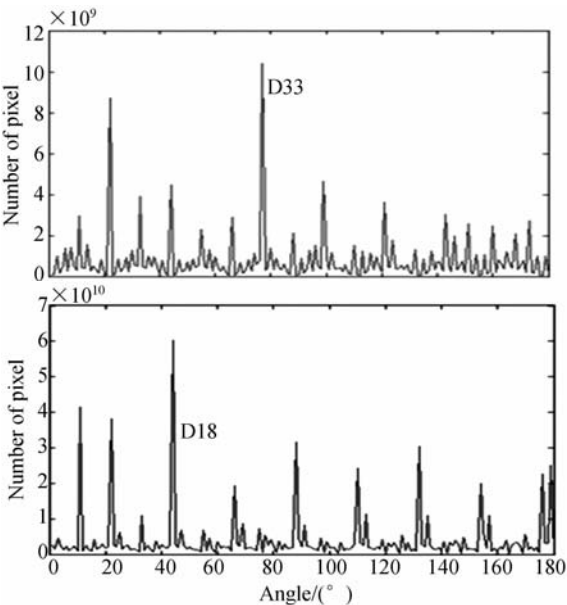


图 5 基于傅里叶频谱法进行纹理方向性测试
Fig. 5 Test texture direction based on Fourier spectrum method

的视觉感知,可更准确地描述全局纹理方向角。

分析表 1,各种算法均可以给出一个定量描述全局纹理的方向角,而且方向角变化范围说明各算法具有保持人类视觉感知方向性的一致性。但仔细观察图 3,以 D37 为例,本算法给出的全局方向角为 174.545,其刻画角度更为准确。平均而言,精度可高出 10.48%。

表 1 纹理方向性测度算法比较 (Unit:/(°))

Tab. 1 Algorithm comparison on texture direction

各类算法	D33	D18	D37	D85
Tamura	78.181 8	34.181 8	184.545 5	81.373 0
Gabor	89.090 9	34.545 6	159.999 8	98.180 8
FFT_PS	78.150 0	46.673 0	152.260 0	89.145 0
本文算法	70.908 9	40.000 2	174.545 4	87.272 1

3.4 算法分析

论文所提算法基于 Gabor 滤波器和局部边缘概率直方图获取全局纹理方向,实质是一个双向滤波过程。算法通过 Gabor 滤波器去除次要分量,保留主要方向分量,相对增强了全局方向的分布;再求局部边缘概率(实质是求边缘梯度),进一步描述梯度变化较大的像素分布,实质就是全局方向的提取,因而本算法较好地描述了全局纹

理方向性,而且具有与人类视觉感知保持一致的特性。对图4的分析表明,虽然是双方向性滤波,但算法仍具有一定鲁棒性,也表明论文所提算法是人机识别全局纹理方向的较佳模型。

4 结 论

由于纹理没有一个统一的定义,要对纹理进行各个方向度量是很困难的^[14]。本文尝试提出一种基于 Gabor 滤波器和构造局部边缘概率直方图的全局纹理方向性度量算法,通过实验,较理想地给出了图像全局纹理的方向度量,其方向角与人类视觉感知保持较好的一致性。实验结果证明:本文给出的定量描述全局纹理的方向更为准确。以 D37 为例,论文提出算法给出全局方向角为 174.545° ,其它算法给出的角度均与人的视觉

有较大的差距。

论文从纹理的全局方向性入手,依托于对数字纹理图像的分析,给出了纹理全局方向的度量方法。本方法所提取的全局纹理方向性特征是纹理方向的直接描述,广泛适用于条纹分析、木材纹理、受力划痕分析等具有方向性的纹理图像,具有较强的实用价值,并且还有特征简单,精度较高的特点。但在自然纹理图像中,方向较小且不一致性是不可避免的,这将对基于全局方向描述的纹理分析法产生影响,这种不一致性从另一方面也反映着图像纹理的复杂性。下一步工作将以此为切入点,研究全局纹理方向描述法对纹理方向变化的鲁棒性并进一步优化评估纹理方向性的度量算法。进行纹理方向性特征的描述能力和鲁棒性的评估,对纹理图像的定量分析具有重要意义。

参考文献:

- [1] ELFADEL I. Gibbs random fields, co-occurrences, and texture modeling [J]. *IEEE Trans. of Pattern Anal. and Machine Intell.*, 1994,16(1):24-37.
- [2] FANG L, ROSALIND W P. Periodicity, directionality and randomness: world features for image modeling and retrieval [J]. *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996,18(7):722-733.
- [3] 姜永林, 屈楨深, 王常虹. 基于纹理及统计特征的视频背景提取[J]. *光学精密工程*, 2008,16(1):172-177.
JIANG Y L, QU ZH SH, WANG CH H. Video background extraction based on textural and statistical features[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(1):172-177. (in Chinese)
- [4] JIA-GUU L. On indexing the periodicity of image textures [J]. *Image and Vision Computing*, 2001, 19(13):987-1000.
- [5] SEN-REN N, YUANG-CHEH H. Window-size determination for granulometrical structural texture classification [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1998,19:439-446.
- [6] 于晓晗, 袁保宗. 方向测试及在纹理识别中的应用[J]. *自动化学报*, 1990,16(4):347-351.
YU X H, YUAN B Z. Direction measure and its application on texture classification [J]. *Acta Auto-*

matica Sinica, 1990,16(4):347-351. (in Chinese)

- [7] COGGINS M, JAIN A K. A spatial filtering approach to texture analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1985,3(33):195-203.
- [8] 姚剑敏, 许廷发, 倪国强. 一种基于优化小波特征的非线性目标跟踪算法[J]. *光学精密工程*, 2007,15(3):429-433.
YAO J M, XU Y F, NI G Q. Nonlinear target tracking method based on optimized wavelet features[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(3):492-433. (in Chinese)
- [9] MIGUEL A F, LUIS A, VICENT C. Texture-oriented anisotropic filtering and geodesic active contours in breast tumor ultrasound[J]. *J Math Imaging Vis*, 2007,28:81-97.
- [10] 聂祥飞, 郭军. 利用 Gabor 小波变换解决人脸识别中的小样本问题[J]. *光学精密工程*, 2007,15(6):975-977.
NIE X F, GUO J. Solution of small sample size problem in face recognition using Gabor wavelet transform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(6):975-977. (in Chinese)
- [11] TAMURA S, MORI S, YAMAWAKI T. Psychological and computational measurements of basic textural features and their comparison[C]. *Proc. 3rd Int. Joint Conf. Pattern Recognition*, Nov. 1976:273-277.
- [12] Brodatz Texture Database[R/OL]. <http://www.>

ux.uis.no/~tranden/brodatz.html.

- [13] LEE S W, KIM Y J. Direct extraction of topographic features for gray scale character recognition [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(7):724-729.
- [14] 乌旭, 胡家升, 梁殿亮. 基于区域分割的指纹奇异

性检测及中心点计[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(2):230-235.

WU X, HU J SH, LIANG D L. An algorithm for singularity detection and center point calculation based on fingerprint segmentation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2):230-235. (in Chinese)

作者简介:



赵海英(1969—),女,山东烟台人,副教授,博士研究生,2004年于云南大学获得工学硕士学位,主要从事图像处理和模式识别方面的研究。E-mail: zhy_yn@163.com

通讯作者:



冯月萍(1958—),女,江苏武进人,教授,1991年、2006年于吉林大学分别获得硕士、博士学位,主要从事计算机图形学与图像处理方面的研究。E-mail: fengyp@jlu.edu.cn

● 下期预告

Wolter I 型反射镜面形在线检测装置设计

崔天刚^{1,2}, 王永刚^{1,2}, 马冬梅¹, 马文生¹, 陈波¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

Wolter I型旋转非球面反射镜是太阳 X 射线成像仪核心部件,其内表面面形好坏直接决定了成像仪成像质量的高低。由于反射镜的特殊结构,传统基于干涉原理的测量方法无法对其进行面形质量测量。为了检测实验室加工出的 Wolter I 型旋转非球面反射镜的面形质量,满足未来加工中实时在线检测的要求,本文以长程轮廓测量仪的原理为基础,经过改进、整合测量装置并在扫描机构中加入五角棱镜转折光路,搭建了一套 Wolter I 型旋转非球面反射镜面形检测装置,并对该装置的工作原理、结构参数设定以及数据处理算法等进行了研究。用一块标准平面反射镜作为基准面对该装置定标,并通过实测反射镜样品进行验证实验。实验结果表明:该装置的倾斜度测量误差为 RMS 6.7 μrad ,重复性精度为 0.75 μrad ,轮廓测量精度约为 PV 0.24 λ ,RMS 0.07 λ ,基本满足设计要求。