

基于机器视觉的树脂镜片疵病检测系统研究

姚红兵¹ 马桂殿^{1*} 沈宝国² 顾寄南¹ 曾祥波¹ 郑学良¹ 汤发全¹

(¹ 江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013
² 江苏省联合职业技术学院镇江分院, 江苏 镇江 212016)

摘要 为了实现对树脂镜片的自动检测,建立了图像采集系统。对该系统所采用的设备参数及图像预处理、特征提取、疵病识别等算法进行了研究。首先根据镜片的尺寸和缺陷的检测精度等参数搭建了图像采集系统。其次,通过相机标定完成了图像拼接。然后,对图像进行预处理,提取了疵病的图像。最后,介绍了各种疵病的特征提取及分类算法。实验结果表明:所建系统的检测精度为0.02 mm,疵病种类的识别正确率为96.5%,基本满足镜片质量检测的分类准确、检测标准统一及检测速度快等要求。

关键词 图像处理;镜片检测;暗场成像法;同态滤波;直线拟合

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.111201

Flaws Detection System for Resin Lenses Based on Machine Vision

Yao Hongbing¹ Ma Guidian¹ Shen Baoguo² Gu Jinan¹ Zeng Xiangbo¹

Zheng Xueliang¹ Tang Faquan¹

(¹ School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)
(² Zhenjiang College of Jiangsu Union Technical Institute, Zhenjiang, Jiangsu 212016, China)

Abstract An image acquisition system is established to realize the automatic detection of resin lenses. The parameters of the system and algorithms for image pre-processing, feature extraction, defect recognition, etc. are investigated. The image acquisition system is built according to the size of lens and detection precision of defect. Image mosaic is realized by camera calibration. The defect images are acquired through image pre-processing. The algorithms of defect feature extraction and classification are finally discussed. The experimental results indicate that the detection precision of the system is 0.02 mm and the recognition rate reaches 96.5%, which can meet the system requirements for lens detection.

Key words image processing; lens detection; dark-field imaging; homomorphic filtering; straight-line fitting

OCIS codes 120.4630; 150.0155; 150.1835; 150.1135; 100.2000

1 引言

中国是树脂镜片生产大国,镜片的生产和需求量一直排在世界前列。但是我国的镜片生产工艺却相对落后,尤其镜片的检测主要依靠人工完成。这种方法存在着很多缺点,比如容易受人的生理差异、经验、情绪和疲劳度等诸多因素的影响,造成检测标准模糊及检测速度慢等。随着质量标准的提高和劳动力成本的增加,人工检测严重影响了镜片的质量和成本。机器视觉技术是以现代光学为基础,融计算机图像学、信息处理和模式识别等学科为一体的现代检测技术,把被测对象的图像当作媒介,从中提取有用信息来获得待测的参数。因其具有非接触、精度高、速度快、可靠性高等特点,在现在工业检测中受到了广泛重视。

近年,机器视觉技术已广泛应用于机械加工、电子、汽车、医药、航空等现代工业生产中,完成尺寸测量、

收稿日期: 2013-07-15; **收到修改稿日期**: 2013-08-19; **网络出版日期**: 2013-10-15

基金项目: 江苏省丹阳市应用技术研究计划(12142K)

作者简介: 姚红兵(1976—),男,博士,副教授,主要从事光电检测和激光技术及应用等方面的研究。

E-mail: yaoye@ujs.edu.cn

* **通信联系人**。E-mail: 276542345@qq.com

缺陷检测、医学诊断、遥感测绘等功能^[1-5]。对于透明材质产品,机器视觉技术主要用来检测缺陷。王飞等^[6-7]对浮法玻璃的缺陷检测进行了研究。陈曦等^[8-9]对薄膜的缺陷检测进行了研究。李艾星等^[10-11]对光学元件的缺陷检测进行研究。本文将机器视觉技术应用于树脂镜片的疵病检测,建立了双相机图像获取系统,探讨了图像预处理、特征提取及疵病分类等关键算法。实验表明机器视觉技术在树脂镜片的疵病检测中具有分类准确、检测标准统一及检测速度快等特点。

2 检测系统的硬件构成

树脂镜片缺陷检测的图像获取系统主要由相机、镜头、图像采集卡、光源、计算机等组成。树脂镜片的直径有 60、65、70、75 mm 几种,厚度为 2~10 mm,疵病检测精度要求为 0.03 mm。假设视场为 80 mm,检测精度为 0.02 mm,如果采用单相机方案,则需要采用 1600 万像素的相机,但是现在市场上千万像素级的相机价格较高,为控制设备生产成本带来较大压力。为满足视场、景深和检测精度等要求,同时降低设备成本,本系统选择远心镜头、双相机拍摄方案。相机采用 880 万像素的 CMOS 相机,分辨率为 4096 pixel × 2160 pixel,而两相机采集图像拼接后所得图像大小约为 4000 pixel × 4000 pixel,镜头视场定为 80 mm,检测精度约为 0.02 mm。此方案充分利用了两个相机的性能,较好地解决了视场、精度和成本之间的矛盾。

由于镜片是透明的,采用了暗场成像方法^[12-13],光源选用环形光源,光线打到镜片的侧面,如图 1 所示。

当镜片中无疵病时,进入镜片的光线就会透射或折射出镜片,镜片中间部位成较暗的像。由于镜片经过切割,侧面较为粗糙,对光线形成散射,所以镜片的边缘成较亮的像,如图 2 所示。

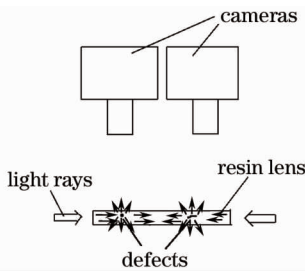


图 1 图像获取系统原理图

Fig. 1 Principle diagram of image acquisition system

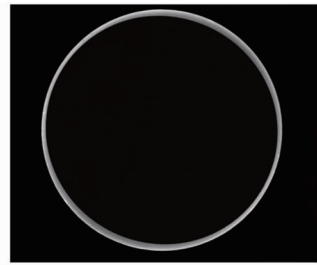


图 2 无疵病镜片的图像

Fig. 2 Image of defectless lens

当镜片中存在疵病时,疵病就会对光形成散射(图 1),最终呈现比较明亮的图像。常见疵病的图像如图 3 所示(由于镜片的疵病较小,本文只取了疵病部位的图像)。

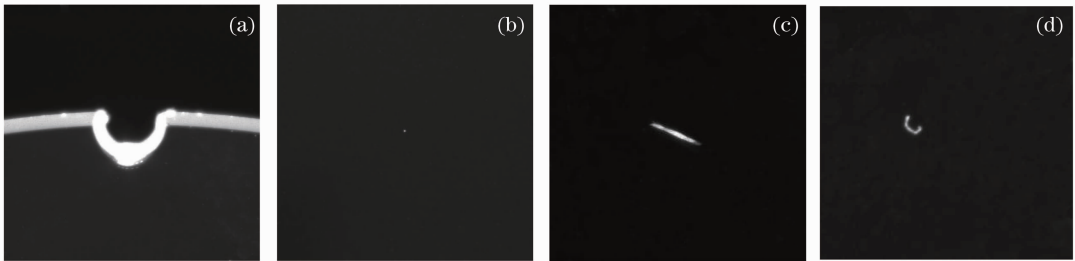


图 3 疵病图像。(a) 气泡图像;(b) 点杂质图像;(c) 划痕图像;(d) 羽毛图像

Fig. 3 Flaws images. (a) Bubble; (b) point impurity; (c) scratches; (d) feathers

3 图像预处理

3.1 图像拼接

由于采用双相机采集图像的方案,图像需进行拼接处理。本文采用标定板预先标定的方法^[14]完成图像拼接。

两台相机固定在支架上,对相机的视场、位置、曝光量进行调整,使两相机的整体视场为 80 mm,两个相机的内部坐标系的 X 轴(假设图像较窄边为相机内部坐标系的 X 轴)相互平行,重叠部分宽度小于

224 pixel,相机的曝光量基本相同。然后使用相机对标定板进行拍照,首先对特征点进行匹配,计算出两个平面的 Homography 矩阵^[15],标定完后的系统只需使用标定时计算的 Homography 矩阵即可实现拼接。由于两个相机相互平行,因此无需对拼接图像进行角度矫正。

两相机所拍图像如图 4 所示。

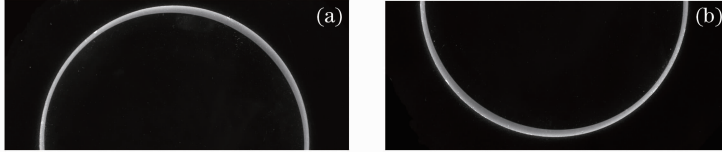


图 4 两相机所拍图像

Fig. 4 Images taken by two cameras

由于两相机的曝光量不同,致使两张图像的灰度不同,拼接部位接痕明显,如图 5(a)所示。为此,在拼接之前使用均值法对两张图像进行灰度均值化。在此基础上拼接所得图像如图 5(b)所示。

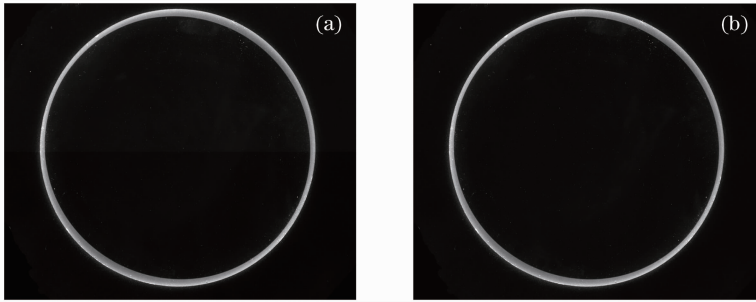


图 5 拼接图像对比。(a) 未进行灰度均值化的拼接图像;(b) 进行灰度均值化的拼接图像

Fig. 5 Comparison of spliced images. (a) Spliced image without gray equalization; (b) spliced image with gray equalization

3.2 图像增强

本文采用的暗场成像法,获得的图像背景很暗,疵病的像较亮,但是由于疵病的尺寸很小,散射光线不够,造成疵病的边缘较为模糊,对于尺寸较小的呈圆形的点杂质这一现象更为严重。为此,采用同态滤波法对图像进行锐化增强。同态滤波法是一种在频域中将图像动态范围进行压缩并将图像对比度进行增强的方法。结果对比如图 6 所示。

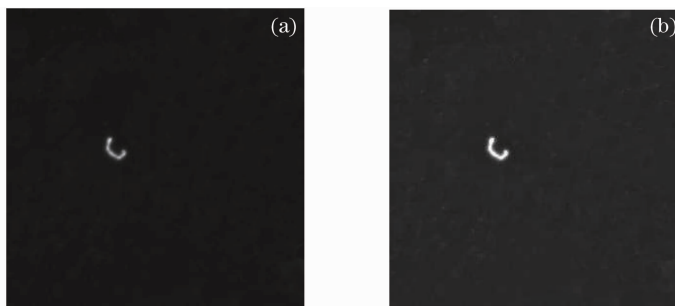


图 6 同态滤波前后图像对比。(a) 原始图像;(b) 同态滤波后的图像

Fig. 6 Comparison of the images before and after homomorphic filtering. (a) Original image;

(b) image processed by homomorphic filtering

3.3 图像分割

图像分割就是依据图像的灰度、颜色、纹理和边缘等特征,把图像分成各自满足某种相似性准则或具有某种同质特征的连通区域的集合的过程。图像分割方法可以分为阈值化、基于边缘的图像分割、基于区域的图像分割、基于模型的图像分割和基于人工智能的图像分割等。本文采用暗场成像法,获得的图像物体和背景在灰度上差别很明显,因此采用阈值化的分割方法。选用阈值化分割方法中性能较好的最大类间方差法,又称 otsu 法。

图像分割后的二值图像如图 7 所示。

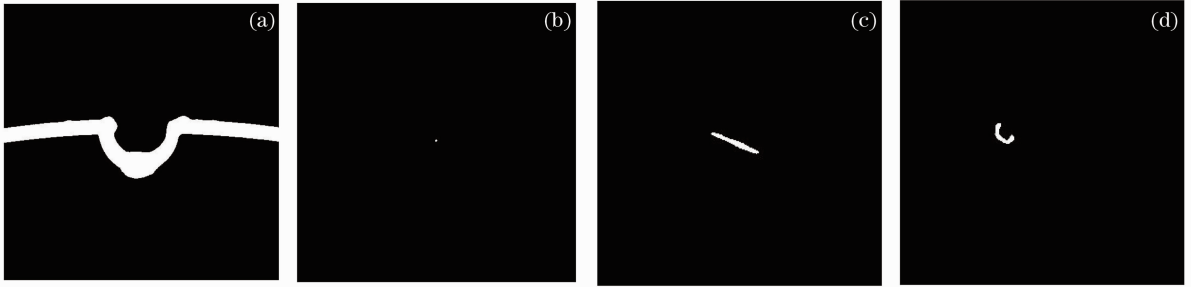


图 7 经过图像分割后的疵病图像。(a) 气泡图像；(b) 点杂质图像；(c) 划痕图像；(d) 羽毛图像
Fig. 7 Images of lens flaws after processing with image segmentation. (a) Bubble; (b) point impurity; (c) scratches; (d) feathers

4 特征提取及疵病分类

特征提取是模式识别的前提和基础。结合疵病产生的原因和镜片的检测标准提出四种疵病的判定方法。

4.1 气泡的判定

镜片气泡是由生产中镜片模具浇铸不充分所造成的,因此气泡只出现在镜片的边缘;同时镜片边缘要经过切割,则气泡呈开口状[图 3(a)]。根据镜片的质量标准,点杂质、划痕、羽毛在镜片边缘出现时对镜片质量的影响很小,因此,单独将镜片的边缘划成一个边缘区,只进行气泡检测。

通过对气泡和边缘灰度的统计,发现气泡的灰度范围大约为 245~255,边缘灰度的范围大约为 80~235,因此本文把阈值选为 240,提取的图像如图 8 所示。

通过对气泡面积的统计,发现气泡的面积一般大于 1500,而那些杂散点则小于 500,因此本文运用面积阈值来滤除杂散点,如图 9 所示。因此依据面积阈值即可判定气泡的有无。

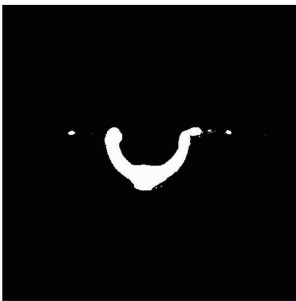


图 8 阈值提取后的气泡图像

Fig. 8 Bubble image with threshold method

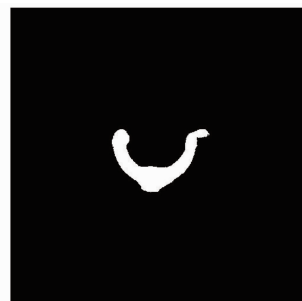


图 9 滤除杂散点的气泡图像

Fig. 9 Bubble image remove desultory point

为了克服上述灰度阈值法的不稳定性,增加形态判别方法。镜片的边缘经过切割,边缘近似于圆形,如果有气泡存在,其边缘会出现凹陷,因此可以根据边缘点到边缘拟合圆圆心距离的偏离度大小来判别气泡的有无。首先采用 Canny 算法提取镜片边缘,得到两个闭合的边缘,边缘图像如图 10 所示。

接着分别对两个边缘进行圆拟合,计算出圆心坐标,然后分别计算出边缘上的点到其拟合圆圆心的距离偏离拟合圆半径的百分比,最后根据偏离度阈值来判定气泡的有无。

设 $\{(x_i, y_i) | 1 \leq i \leq n\}$ 为边缘点坐标集, (x_0, y_0) 为拟合圆圆心坐标, R_0 表示拟合圆半径, K_i 表示第 i 个像素点的偏离度:

$$K_i = \frac{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}}{R_0} \times 100\% \quad (1)$$

各像素的偏离度如图 11 所示。通过抽样统计,偏离度阈值选为 1.5% 较为合适。



图 10 边缘图像

Fig. 10 Image of edges

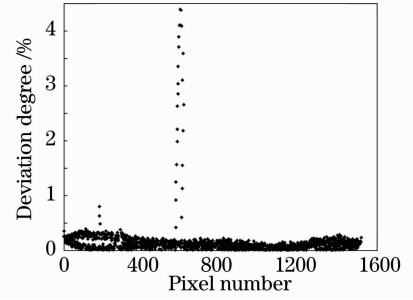


图 11 各像素的偏离度

Fig. 11 Deviation degree of pixels

4.2 点杂质的判定

灰尘、原材料结块等进入镜片,形成点状杂质。由于点状杂质呈圆形,因此本文采用圆形度作为点杂质的判别特征,圆形度的计算公式为

$$G = \frac{4\pi \cdot S}{C^2}, \quad (2)$$

式中 S 为图像的面积, C 为图像的周长。由(2)式可知圆形度越接近 1 说明检测区域越接近圆形,因此采用圆形度便能够判定疵病是否为点杂质。

4.3 划痕和羽毛的判别

划痕是在生产时由镜片与工件或镜片与镜片之间发生擦碰而造成的,而羽毛是在生产时,生产者衣物上的绒毛或细丝飘落到镜片生产材料或磨具中造成的。对于较小的划痕可以通过后续的加硬加膜工序进行弥补,因此对划痕和羽毛进行分类具有重要的意义。从划痕和羽毛的成因及大量的统计观察发现,划痕比较接近直线,而羽毛呈弯曲状,因此本文对划痕和羽毛进行直线拟合,根据接近直线的程度来区分划痕和羽毛。

采用最小二乘法进行直线拟合,设图像像素点的坐标集为 $\{(x_i, y_i) | 1 \leq i \leq n\}$,拟合出来的直线方程为 $y = a + bx$, 则

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad (3)$$

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}, \quad (4)$$

式中 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, $\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$, $\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i$ 。

使用最小二乘法进行直线拟合,相关系数是衡量一组测量数据 $\{(x_i, y_i) | 1 \leq i \leq n\}$ 线性相关程度的参量,相关系数的定义为

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}. \quad (5)$$

r 值在 $0 \leq |r| \leq 1$ 中, $|r|$ 越接近 1, x, y 之间线性也越好,也就是说对 $\{(x_i, y_i) | 1 \leq i \leq n\}$ 使用最小二乘法进行直线拟合,其相关系数 $|r|$ 越接近 1, 图形越接近直线。因此本文使用相关系数作为特征量来区分划痕和羽毛。

由于划痕具有宽度,部分坐标会偏离拟合的直线,造成相关系数表征直线拟合程度出现偏差,最终会造成误检率上升。为此采用细化算法,先对划痕和羽毛进行细化处理。细化指的是将图像的线条从多像素宽度减少到单位像素宽度的过程。本文采用经典的 Hilditch 细化算法。细化之前的图像如图 12 所示。细化之后的图像如图 13 所示。由图 13 可以看出细化算法很好地保留了图像的骨架形状。

5 实验结果与结果分析

5.1 实验结果

使用上述检测系统对每一种疵病分别采集了 200 个样品图像,然后依次对采集到的样品进行图像拼接、

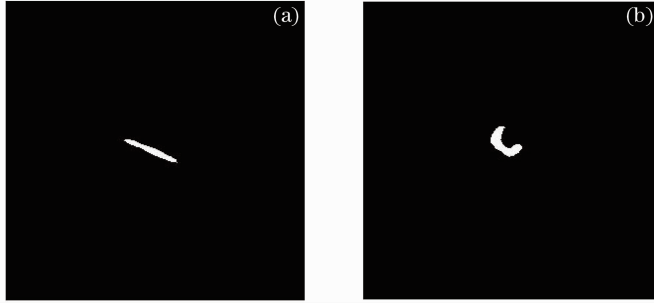


图 12 (a) 未经过细化的划痕图像; (b) 未经过细化的羽毛图像

Fig. 12 (a) Scratches image without thinning; (b) feathers image without thinning

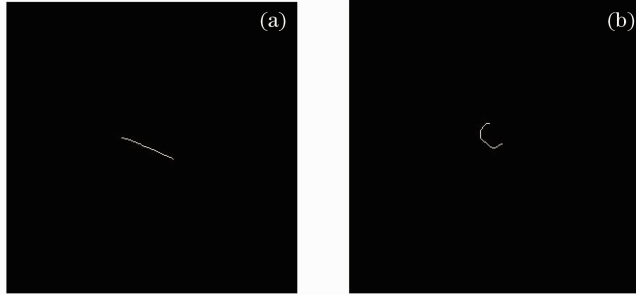


图 13 (a) 经过细化的划痕图像; (b) 经过细化的羽毛图像

Fig. 13 (a) Scratches image after thinning; (b) feathers image after thinning

图像增强、图像分割等处理,最后运用特征提取和疵病分类算法对 800 个疵病图像进行判别分类,实验结果如表 1 所示。

表 1 疵病分类实验结果

Table 1 Experimental results of flawsclassification

Species	Samples number	Detected number	Correct rate /%
Bubbles	200	197	98.5
Point impurity	200	195	97.5
Scratches	200	189	94.5
Feathers	200	191	95.5
Total	800	772	96.5

由表 1 可以看出,设计的算法对气泡、点杂质、划痕和羽毛四种疵病的分类准确率达到 96.5%。

5.2 结果分析

实验中 3 个气泡没有检测出来,主要原因是气泡体积太小,两种判别方法的阈值都没有达到。实验中 5 个点杂质误判为羽毛,通过分析发现点的面积太小是发生误判的主要原因。由于计算圆形成度使用的周长是使用点边缘像素点的数量来近似表示的,当点的面积较小时,周长的拟合误差就会增大,且点越小,拟合的周

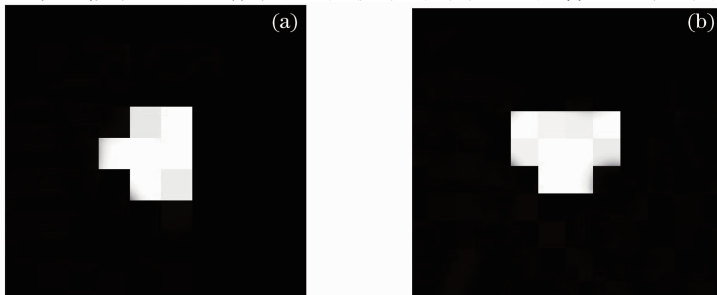


图 14 两个误判点杂质

Fig. 14 Point impurity defects misjudged

长就越会偏小,最终致使圆形成度增大。图 14 为被误判的两个点杂质的图像。

误判点杂质 1 图像[图 14(a)]的面积为 7,周长为 6,由(2)式得 $G=2.44$;误判点杂质 2 图像[图 14(b)]的面积为 10,周长为 8,由(2)式得 $G=1.96$ 。由此可以看出使用圆形成度作为特征量来判别点杂质是有局限性的。

划痕和羽毛的误判主要原因是误判的划痕曲度较大,而误判的羽毛曲度较小。这是一个概率问题,是单特征判别无法避免的问题。

6 结 论

根据镜片疵病检测的要求,提出了双相机机器视觉检测方案,并搭建了实验系统,较好地解决了检测精度和检测成本之间的矛盾。采用的暗场成像法获得了较好的疵病图像。研究了图像拼接、图像预处理等算法,并介绍了系统所采用的特征提取和疵病分类方法。最后通过实际测试,对各种算法进行了验证。实验表明:所建系统的检测精度为 0.02 mm,疵病种类的识别正确率为 96.5%,基本满足镜片质量检测的精度和分类准确度等要求。

参 考 文 献

- 1 Tian Yuanyuan, Huang Hecheng, Tan Qingchang, *et al.*. Size measurement of parts based on machine vision[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, 47(1): 011501.
田原媛, 黄合成, 谭庆昌, 等. 基于机器视觉的零件尺寸测量[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, 47(1): 11501.
- 2 Jiang Guoquan, Ke Xing, Du Shangfeng, *et al.*. Crop row detection based on machine vision[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(4): 1015-1020.
姜国权, 柯 杏, 杜尚丰, 等. 基于机器视觉的农田作物行检测[J]. *光学学报*, 2009, 29(4): 1015-1020.
- 3 Xiang Shoubing, Su Guangda, Chen Jiansheng, *et al.*. Brick stack anomaly detection and recognition based on machine vision[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(7): 0715002.
向守兵, 苏光大, 陈健生, 等. 基于机器视觉的码坯异常检测与识别[J]. *光学学报*, 2011, 31(7): 0715002.
- 4 Zhang Xuewu, Ding Yangqiong, Yan Ping. Vision inspection of metal surface defects based on infrared imaging[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(3): 0312004.
张学武, 丁燕琼, 闫 萍. 一种基于红外成像的强反射金属表面缺陷视觉检测方法[J]. *光学学报*, 2011, 31(3): 0312004.
- 5 Zhou Hao, Lin Aping, Zhou Bin, *et al.*. Characteristic of ash deposit growth and temperature field by image processing[J]. *J Zhejiang University (Engineering Science)*, 2013, 47(4): 669-675.
周 昊, 林阿平, 周 斌, 等. 基于图像处理的灰渣温度场及生长特性[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2013, 47(4): 669-675.
- 6 Wang Fei, Cui Fengkui, Liu Jianting, *et al.*. A study on the glass surface defect inspection system based on machine vision [J]. *Glass & Enamel*, 2009, 37(5): 6-10.
王 飞, 崔凤奎, 刘建亭, 等. 基于机器视觉的玻璃表面缺陷检测系统的研究[J]. *玻璃与搪瓷*, 2009, 37(5): 6-10.
- 7 Yu Wenyong, Zhou Zude, Chen Youping. Machine vision system for on line defect detection of float glass[J]. *J Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2007, 35(8): 1-4.
余文勇, 周祖德, 陈幼平. 一种浮法玻璃全面缺陷在线检测系统[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(8): 1-4.
- 8 Chen Xi, Lu Xi, Rren Dacheng. Design of quality inspection device for polyethylene films based on machine vision[J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 2012, 39(7): 866-868.
陈 曦, 鲁 曦, 任大呈. 基于机器视觉的聚乙烯薄膜质量检测装置的设计[J]. *化工自动化及仪表*, 2012, 39(7): 866-868.
- 9 Hu Guanghua, Zhong Qiusheng. Defect inspection system for optical films based on multi-camera machine vision system [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2012, (4): 162-164.
胡广华, 钟球盛. 一种基于多目机器视觉的光学薄膜瑕疵检测系统[J]. *机械设计与制造*, 2012, (4): 162-164.
- 10 Li Aixing, Yang Tianyi, Zhang Ying. Preliminary research of surface defect recognition based on machine vision[J]. *J Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science)*, 2007, 19(4): 442-445.
李艾星, 杨天怡, 张 颖. 基于机器视觉的精密光学元件表面疵病识别初步研究[J]. *重庆邮电大学学报(自然科学版)*, 2007, 19(4): 442-445.
- 11 Yang Yongying, Lu Chunhua, Liang Jiao, *et al.*. Microscopic dark-field scattering imaging and digitalization evaluation system of defects on optical devices precision surface[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(6): 1031-1038.

- 杨雨英, 陆春华, 梁 蛟, 等. 光学元件表面缺陷的显微散射暗场成像及数字化评价系统[J]. 光学学报, 2007, 27(6): 1031—1038.
- 12 Zhao Liping, Li Xiang, Fang Zhongping. TIR illumination technology for defect inspection of plastic ophthalmic lenses[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(9): 2047—2254.
Zhao Liping, Li Xiang, Fang Zhongping. 塑料眼镜内外缺陷检测的全内反射照明技术[J]. 光学精密工程, 2011, 19(9): 2047—2254.
- 13 Li Jun. Study on Key Technique of Light Source in Machine Vision[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2006.
李 俊. 机器视觉照明光源关键技术研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2006.
- 14 Li Xin. Research of Fabric Defects On-Line Detection Method Based on Multi-Cameras Machine Vision[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2008.
李 鑫. 基于多目视觉的布匹瑕疵在线检测方法研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2008.
- 15 Wu Shengyin, Yu Shiqi, Chen Wensheng, *et al.*. An implementation of image stitching based on binocular cameras[C]. Proceedings of 2011 Third Chinese Conference on Intelligent Visual Surveillance, 2011.
伍圣寅, 于仕琪, 陈文胜, 等. 基于双目摄像头的图像拼接与设备实现[C]. 2011年第三届中国智能视觉监控学术会议论文集, 2011.