

# 基于图像处理的镜片疵病类型识别研究

姚红兵 郑学良\* 马桂殿 曾祥波 李亚茹 高原 于文龙 顾寄南

(江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要** 针对目前镜片生产过程中疵病人工检测的不足,根据镜片特点提出了一种镜片疵病类型识别的方法,并结合图像采集技术实现了镜片的自动化检测。系统获取图像后进行图像预处理,通过计算各疵病的面积、周长、直径等参数,根据不同疵病的外形特征,结合最小外接圆参数和划定的不同阈值进行运算区分,确定疵病类别。然后利用镜片各区的物理尺寸和每毫米像素数的值以及质心位置获得镜片各区的模板,并通过相并运算得出各区的不同类型疵病信息并以此确定镜片级别。结果表明:该方法可以准确识别出点、羽毛、划痕、气泡等镜片主要的疵病,精度达到 0.03 mm,可使企业实现镜片的自动化检测、提高生产效率成为现实。

**关键词** 图像处理;图像采集;阈值;镜片;疵病检测

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.111003

## Research on Lens-Defects Type Recognition Based on Image Processing

Yao Hongbing Zheng Xueliang Ma Guidian Zeng Xiangbo Li Yaru  
Gao Yuan Yu Wenlong Gu Jinan

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**Abstract** In order to correct the deficiency of manual detection in the lens production process, a new method about lens-defects type recognition based on lens characteristics is put forward to make the automatic detection possible with the combination of image acquisition. After preprocessing the acquired image, the system will get the defective parameters such as area, perimeter, diameter, and so on. The types of defects are determined according to the shape characteristic, the minimum circumscribed circle and the thresholds of the different defects. The lens templates of different regions are obtained by the size of each region, the value of pixel number per millimeter and the position of the centroid. The results indicate that this method can be used to detect the main lens-defects such as points, feathers, scratches and bubbles with an accuracy of 0.03 mm, with which the detection efficiency will be greatly improved.

**Key words** image processing; image acquisition; threshold; lens; defect detecting

**OCIS codes** 100.2000; 040.6808; 040.1880; 150.0155

## 1 引言

眼镜是为矫正视力或保护眼睛而制作的简单光学器件,国内每年销售额达 400 亿元人民币。眼镜镜片制造工艺复杂,精度要求高,在制造过程中往往会产生一些缺陷,主要包括气泡、羽毛、划痕、点等<sup>[1]</sup>。这些缺陷会严重影响镜片品质,因此在生产过程中,必须对镜片可能产生的各种疵病进行在线检测。目前国内镜片疵病检测技术还不成熟,企业主要以人工检测<sup>[2]</sup>为主。检测结果容易受眼睛分辨能力以及工作经验、个人态度、疲劳程度等主观因素的影响,很容易混淆不同疵病类型,漏检率高且速度慢,而且检测数据的保存和查询不方便,不能满足统计质量控制需求。因此对这些飞速从生产线上穿过的产品进行自动化检测成为镜片制造行业未来发展的需要。

国外从 20 世纪 90 年代初开始研制计算机视觉在线检测设备,但主要针对制造流程相对简单、缺陷明显

**收稿日期**: 2013-05-31; **收到修改稿日期**: 2013-07-30; **网络出版日期**: 2013-10-10

**作者简介**: 姚红兵(1976—),男,副教授,主要从事光电检测方面的研究。E-mail: yaoye@ujs.edu.cn

\* **通信联系人**。E-mail: z825549@126.com

且标准低的玻璃,并且设备价格昂贵<sup>[3]</sup>。以镜片疵病自动检测为应用背景,以图像处理技术为依托研发一套自动检测系统成为企业发展的需求。企业对于镜片级别的划分主要依据不同类型的疵病所在的位置和数目,而这些疵病多数面积很小并且十分相似,即使有经验的检测员也会对同一种疵病检测出不同的结果,造成标准不统一,严重困扰镜片的质量检测。针对现状,本文根据镜片特点提出了一种基于图像处理的镜片疵病类型识别方法,可识别区分镜片不同的疵病类型和相关特征参数,将结果与国家和企业标准进行比较,并将检测信息传递给分级机构进行自动分级,实现自动检测<sup>[4-6]</sup>。同时可根据不同的质量要求,更改程序中的阈值参数,提高检测精度,实现自动化。

## 2 系统整体设计及原理

检测系统主要分为图像获取和图像处理两个模块,它们主要完成图像采集<sup>[7-8]</sup>、疵病类型识别和等级确定的工作。图像获取模块包括 CCD 摄像机、图像采集卡、照明系统、调整机构等。照明采用 LED 环形光源低角度照射,它使得镜片图像背景与目标层次分明,采用高速面阵 CCD 实时采集生产线上的镜片图像。图像处理模块包括 Client/Server 工作模式,客户端主要负责包括图像预处理、模式识别、数据保存等数据处理。由于数据处理量大,为保证处理的实时性和稳定性,本系统采用多处理器的工控机,并采用 VC++6.0 开发工具完成了系统各功能模块的编程实现<sup>[9-10]</sup>。

系统原理为高速面阵 CCD 将获取的图像模拟信号用图像采集卡进行数字化处理,然后将数字图像输入到计算机中,计算机对图像进行预处理,然后获取疵病的类型、尺寸及位置参数并与国家标准及企业镜片质量标准进行对比,再将检测信息传递给分拣机构并以此对镜片进行自动分级。整个检测系统框图如图 1 所示。

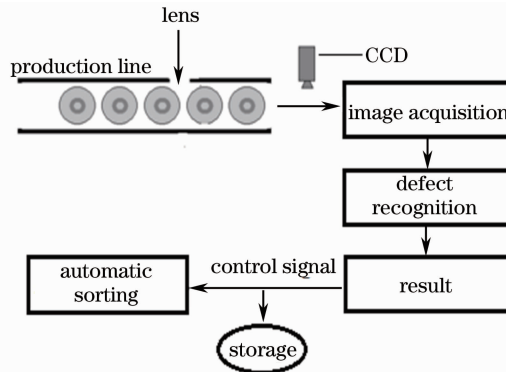


图 1 检测系统框图

Fig. 1 Block diagram of the detection system

## 3 图像获取及预处理

光源系统和摄像机的质量决定整个系统的检测精度。实时拍摄到平台上待检测的镜片,获取高质量并清晰反映镜片各种疵病的图像,是系统成功的基础。图像获取结构如图 2 所示。

该结构采用 LED 环形光源低角度照明<sup>[11]</sup>,具体就是用无闪烁且发光稳定的均匀分布的 LED 在镜片上方绕镜片环形排开,采用这种照明方式可以检测到其他照明方式难以检测到的气泡等疵病。摄像机选用带有 USB 接口的 1400 万像素面阵 CCD 数字摄像机,分辨率可达 0.03 mm。获取图像时,调整好摄像机与镜片的距离并固定好,以获取最佳的图像。

为消除图像在采集与传输过程中因各种干扰而产生的噪声,增强目标信息的可检测性和最大限度地简化数据,需对图像进行预处理。首先采用中值滤波去除噪声<sup>[12]</sup>,然后进行边缘检测。结合图像特点和算子特性,本系统采用 Canny 算子进行检测,Canny 算子采用高斯函数对图像做平滑处理,对白噪声影响的阶跃型边界最有效,不丢失重要的边缘,检测的边缘与实际边缘位置的偏差最小<sup>[13]</sup>。最后根据镜片疵病和背景显著不同的灰度值,通过选取合适的阈值将图像变为二值图像[图 3(a)],将疵病信息体现出来<sup>[14]</sup>。从图 3(b)所示灰度直方图可看出疵病为最亮区域且占很小比例,最优的分割阈值必大于灰度平均值,可先将

最暗的区域分割掉,再用最大类间方差法对剩下图像进行分割。

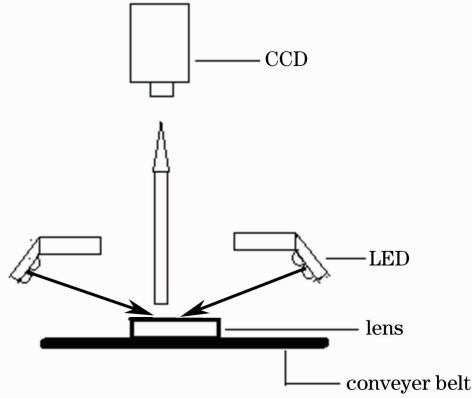


图2 图像获取结构图

Fig. 2 Image acquisition structure

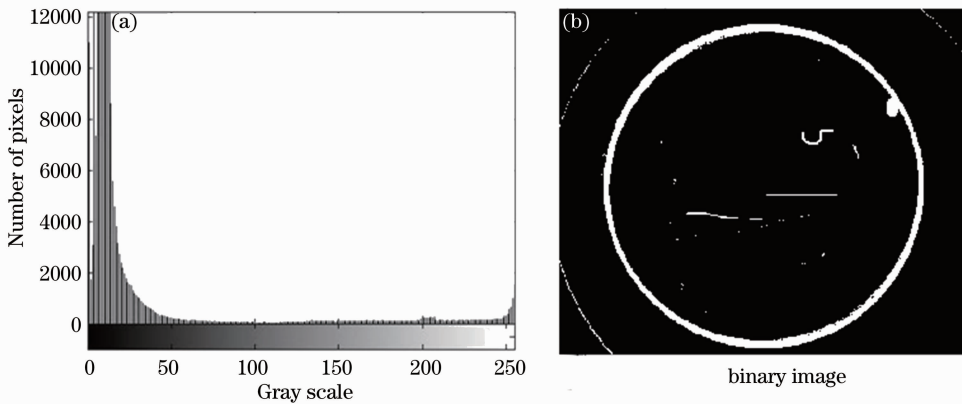


图3 预处理图像。(a)二值图像；(b)灰度直方图

Fig. 3 Results of image preprocessing. (a) Binary image; (b) gray scale histogram

## 4 疵病类型识别

### 4.1 疵病的光学原理及形状特征分析

通过对企业镜片的质量统计,镜片在镀膜后,95%以上的疵病为点、羽毛、划痕和气泡四种。CCD获取图像时,镜片中的气泡会对光线产生散射作用,由于气泡内部是空气,透射光在其边缘将会发生折射<sup>[15]</sup>,使得在灰度图像中边缘灰度值低于周围背景,而且气泡的像素面积远大于其他疵病的面积。划痕也会改变光

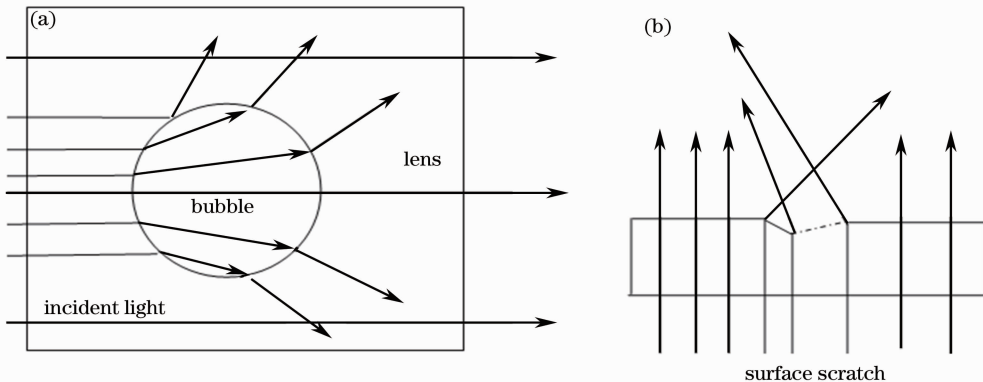


图4 识别(a)气泡和(b)划痕的光学原理图

Fig. 4 Principle of indentifying (a) bubble and (b) surface scratch

线的行进方向,边缘会发生光线折射使得在灰度图像中与其周围背景相比有较大变化,羽毛和划痕灰度强度及大小相似,细化之后羽毛为曲线而划痕的形状最接近直线。点的面积最小,像素分布比较均匀,形状最接近圆。将这些不同的灰度和形状特征作为本系统对它们进行疵病识别的主要依据。识别气泡和划痕的光学原理如图4所示。

#### 4.2 疵病识别分类

镜片质量标准将镜片疵病分为点、羽毛、划痕、气泡等,仅根据它们的面积、灰度值和位置无法准确地辨别它们的种类,为此引入圆形系数和长形系数来表征它们的形状特征。图像二值化后,对气泡而言,由于它的面积远大于其他疵病的面积,所以首先通过对目标图像的像素数设定一个阈值将气泡识别出来,然后再对其他疵病进行区分。气泡是由于镜片注模时残存的空气所致,所以位置都集中在镜片边缘。因为镜片存在一定的厚度,所以通光后镜片边缘会产生一圈亮痕,二值化后会和气泡图像连在一起,如图5所示,因此需要先去边缘亮痕提取气泡再计算气泡的像素个数 $N$ 。通过对镜片样品的分析,将阈值设定为500,即如果 $N \geq 500$ 则直接输出疵病类型为气泡。

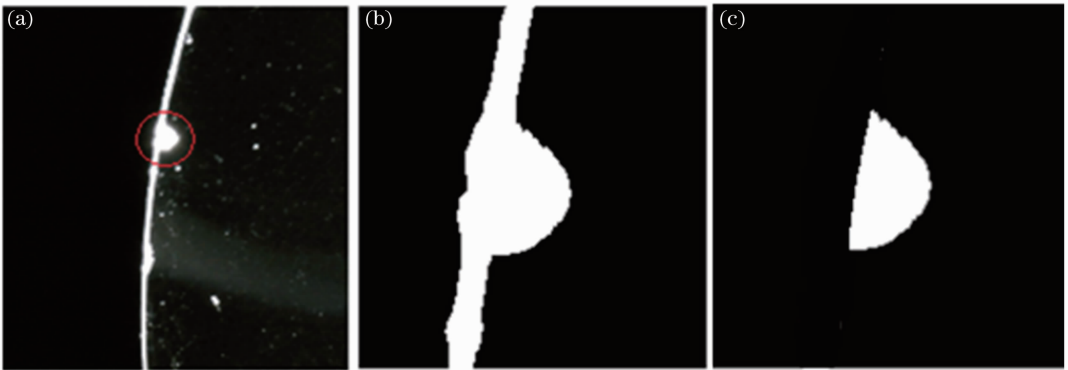


图5 气泡图像。(a)拍摄的图像;(b)二值图像;(c)去除边缘亮痕

Fig. 5 Images of bubble defect. (a) Bubble; (b) binary image; (c) binary image after removing the edge

点状疵病和羽毛、划痕外形明显不同,像素分布更均匀集中,最接近圆。定义圆形系数为 $C = P^2 / (4\pi \times N)$ ,式中 $P$ 为疵病边缘像素个数, $N$ 为疵病像素个数。 $C$ 的值越接近1,形状越接近圆。本文取圆形系数 $C$ 范围为0.85~1.15,即当 $0.85 \leq C \leq 1.15$ 时,目标为点状疵病。图6为识别出的点状疵病图像。

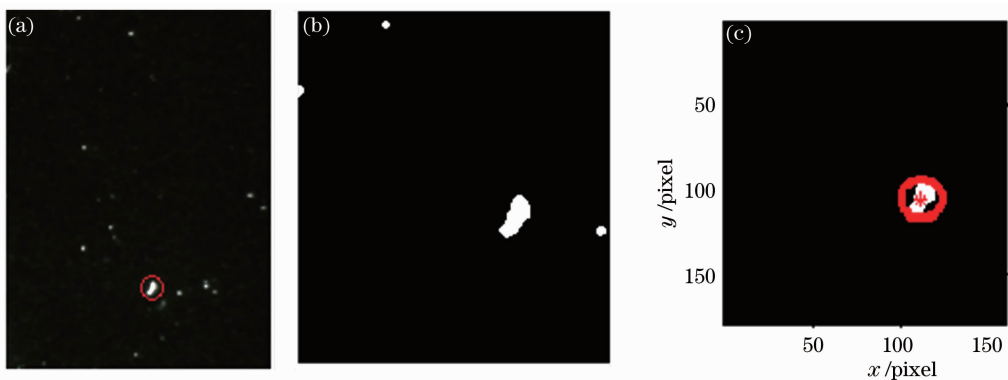


图6 点状疵病。(a)拍摄的图像;(b)二值图像;(c)最小外接圆

Fig. 6 Images of punctate defect. (a) punctate defect; (b) binary image; (c) minimum circumscribed circle

辨别出气泡后对其他疵病进行标记,对目标依次进行上下和左右扫描。上下方向 $M = m_2 - m_1$ , $m_1, m_2$ 分别为目标最上端和最底端像素的所在行数;左右方向 $T = t_2 - t_1$ , $t_1, t_2$ 分别为目标最左端和最右端像素的所在列数。目标最小外接圆直径 $D = \sqrt{M^2 + T^2}$ ,面积 $S = (\pi \times D^2) / 4$ 。羽毛和划痕亮度和大小比较接近,在疵病类型中最难区分,本文根据划痕接近直线,羽毛都为曲线,包裹羽毛的最小外接圆的直径一定小于线性化后的长度这一特点设立长形系数来区分。长形系数定义为 $L = L_n / D$ ,式中 $L_n$ 为疵病细化后的像素个数即它的长度, $D$ 为疵病最小外接圆直径。由于划痕和羽毛的外形接近线条形状,长宽之比远远大于1,所以对目

标进行标定后可取疵病边缘像素个数  $P$  的一半作为线性长度, 即线性化长度  $L_n = P/2$ ,  $L_n$  与  $D$  之比越接近 1, 形状越接近直线。本文采用 LED 环形光源低角度照明, 光强比较稳定, 光照强度在  $450 \sim 800 \text{ lx}$  之间, 通过在  $1.0 \sim 1.2$  之间以  $0.02$  为间隔设置不同的阈值, 依次代入每一个阈值检测 100 个随机抽取的镜片, 所取得的结果与国家质量标准进行对比, 获得最佳阈值, 通过实验确定最佳阈值为  $1.1$ , 即若  $L \geq 1.1$  则目标为羽毛, 否则为划痕。图 7 为不同阈值结果图, 图 8 和图 9 分别为羽毛和划痕图像。对镜片图像预处理后系统按照气泡、点、羽毛、划痕的顺序依次检测, 然后输出检测结果, 分类流程图如图 10 所示。

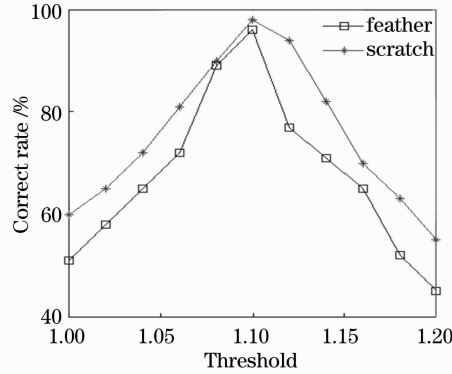


图 7 不同阈值结果图

Fig.7 Detection results with different thresholds

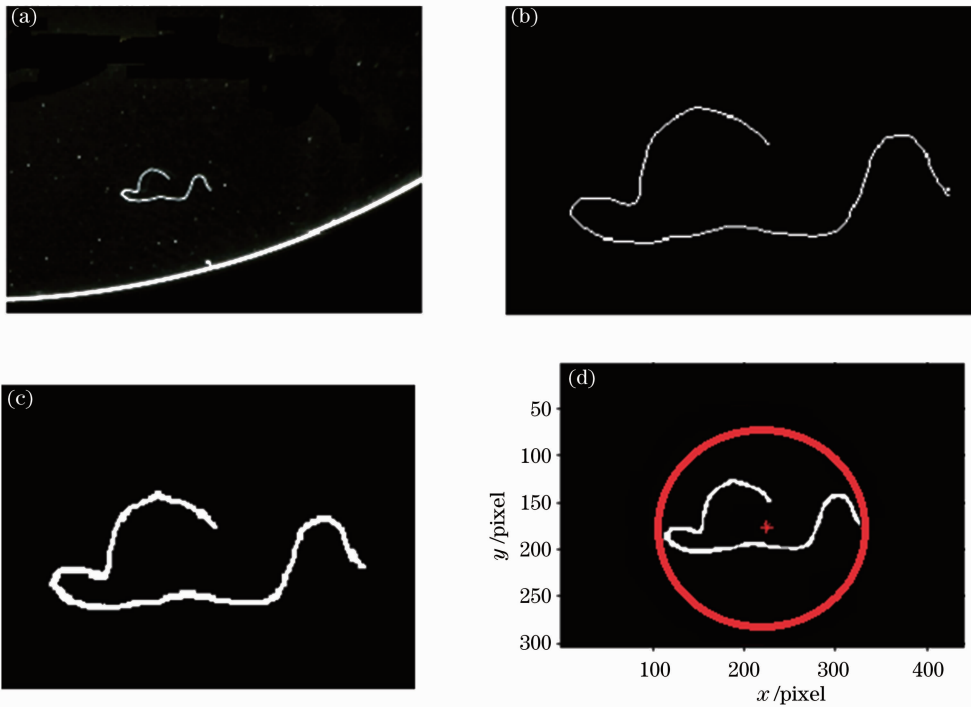


图 8 羽毛图像。(a)拍摄的图像; (b)线性化结果; (c)二值图像; (d)最小外接圆

Fig. 8 Images of feather defect. (a) Feather; (b) linearization; (c) binary image; (d) minimum circumscribed circle

### 4.3 各区疵病类别统计

镜片在生产中等级划分的依据主要是疵病的类型、位置、大小和数目。为了获取这些信息, 提出了一种专用于统计疵病特征信息的方法——模板匹配法。在首次检测镜片图像前先进行摄像机标定操作, 对处理后的镜片边缘图像进行圆拟合, 获取镜片的像素半径, 以镜片像素半径与镜片实际半径相运算, 获取像素尺寸与物理尺寸的比值, 即每毫米像素数 (pixel/mm) 值。在二值图像中, 利用镜片的外边缘轮廓坐标点确定镜片的质心坐标。利用镜片各区的物理尺寸和 pixel/mm 值和质心位置对镜片图像进行分区处理, 获得三个区域的模板,  $0 \leq r < 15 \text{ mm}$  为一区,  $15 \text{ mm} \leq r < 30 \text{ mm}$  为二区,  $r \geq 30 \text{ mm}$  为三区 (其中  $r$  是指以镜片圆心

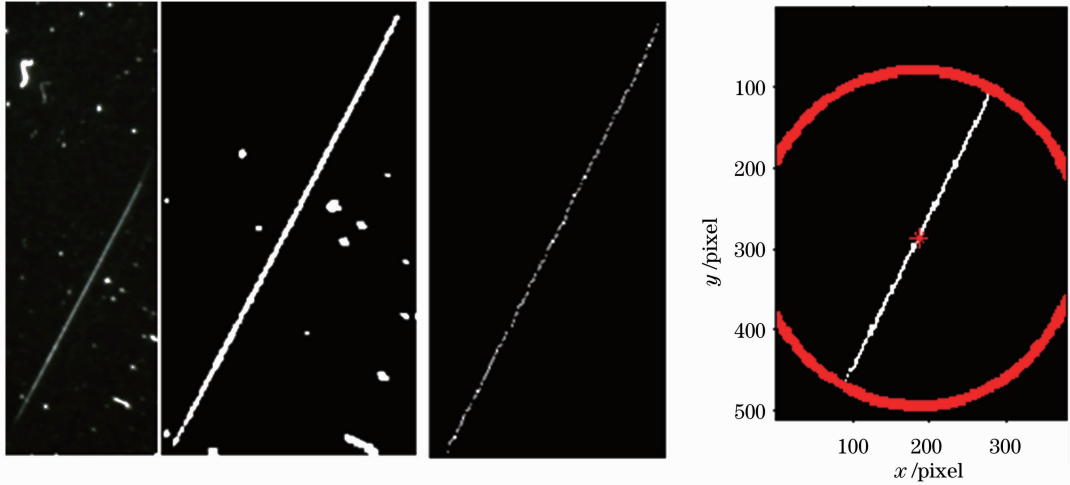


图9 划痕图像。(a)拍摄的图像；(b)二值图像；(c)线性化结果；(d)最小外接圆

Fig. 9 Images of scratch defect. (a) Scratch; (b) binary image; (c) linearization; (d) minimum circumscribed circle

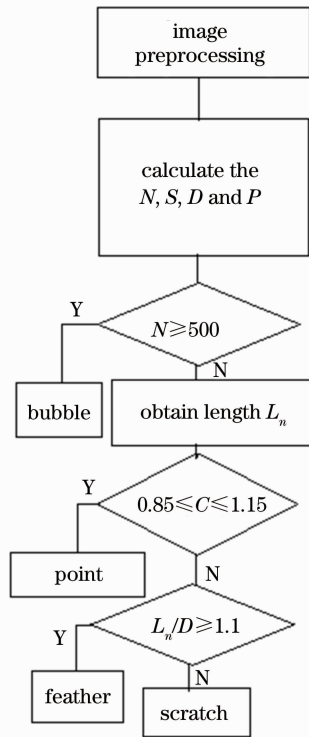


图10 分类流程图

Fig. 10 Flow chart of classification

为圆心划分的三个区域半径),分别用三个模板与镜片二值图像进行匹配相并运算,获取相对应区域的疵病图像,进而得出各区疵病的类型、大小和数目。图11为镜片各区域模板。

## 5 实验结果与分析

本系统采用的相机为1400万像素工业级彩色数字相机MV-1400UC,2.3 frame/s,4384 pixel × 3288 pixel,检测精度达到0.03 mm/pixel。取100个镜片样本进行检测并与人工检测进行对比。表1为对图3样品检测的结果,表2为对抽取的5个镜片进行检测与人工检测对比统计结果,表3为系统与人工误检率的对比。

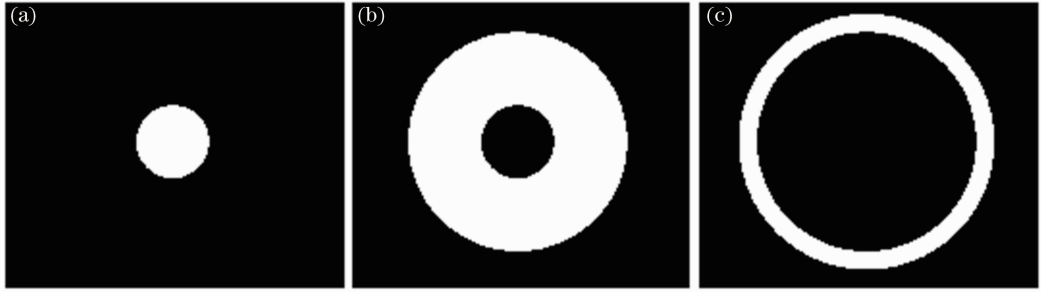


图 11 模板图像。(a)一区;(b)二区;(c)三区

Fig. 11 Template images. (a) The first region; (b) the second region; (c) the third region

表 1 对图 3 疵病类别统计结果

Table 1 Sorting results for the image in Fig. 3

Type	Number of defects		
	The first region	the second region	the third region
Points	4	6	2
Scratches	2	2	0
Feathers	0	1	0
Bubbles	0	0	1

表 2 系统与人工检测结果对比

Table 2 Comparison between results obtained by the proposed system and manual detection

No.	System					Manual					Region
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Points	3	2	1	5	4	3	2	1	5	3	1st
	2	1	2	3	2	1	1	2	3	2	2nd
	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	3rd
Scratches	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2	1st
	1	1	0	2	2	0	0	0	1	3	2nd
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3rd
Feathers	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1st
	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	2nd
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3rd
Bubbles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1st
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2nd
	0	1	0	2	1	0	1	0	2	2	3rd

表 3 误检率和耗时比较

Table 3 Comparison of false rate and detection time

Type	False rate /%					Time /s
	Points	Scratches	Feathers	Bubbles	Total	
System	3	1	2	1	2	264
Manual	4	4	6	2	5	507

通过对比,本方法能够识别出人眼所能观察到的镜片中主要的疵病,由于精度的提高和标准的统一,疵病的误检率明显降低。点状疵病和气泡由于特征比较明显,系统与人工检测结果基本相同;对羽毛和划痕的检测结果对比比较明显,特别是羽毛,误检率降低超过 60%,整体误检率也由 5%降低到 2%,检测速度将近提高了一倍。

## 6 结 论

本文以图像处理为基础提出了一种识别区分镜片疵病类型的方法,并结合图像采集技术实现了镜片质

量的自动化检测。实验结果表明该方法可以准确地识别出点、划痕、羽毛和气泡等镜片的主要疵病,并将镜片进行了正确的分级,大幅降低了误检率,达到了预期的效果。此外,通过改变阈值参数可适用不同的检测标准。从长远看,该系统将有效地改变目前人工检测标准不一,精度、效率低下的现状。

### 参 考 文 献

- 1 Yang Xiaoli. Lens Material and Quality Inspection [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2011.  
杨晓莉. 眼镜材料与质量检测[M]. 南京: 南京大学出版社, 2011.
- 2 Rebsamen Maryline, Boucheix Jean-Michel, Fayol Michel. Quality control in the optical industry: from a work analysis of lens inspection to a training programme, an experimental case study [J]. Applied Ergonomics, 2010, 41(1): 150–160.
- 3 Tang Xiangyang, Zhang Yong, Li Jiangyou, *et al.*. Present situation and applications of machine vision's key techniques [J]. J Kunming University of Science and Technology (Science and Technology), 2004, 29(2): 72–93.  
唐向阳, 张 勇, 李江有, 等. 机器视觉关键技术的现状及应用展望[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2004, 29(2): 72–93.
- 4 Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing [M]. Ruan Qiuqi, Ruan Yuzhi Transl. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 432–454.  
冈萨雷斯, 伍 兹. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智 译. 北京: 电子工业出版社, 2003. 432–454.
- 5 Liu Jinqiao, Wu Jinqiang. Development of machine vision system and its application [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2010, (1): 215–216.  
刘金桥, 吴金强. 机器视觉系统发展及应用[J]. 机械工程与自动化, 2010, (1): 215–216.
- 6 Lei Wenhua. General situation of machine vision [J]. J Applied Optics, 2006, 27(5): 467–470.  
雷文华. 机器视觉发展概述[J]. 应用光学, 2006, 27(5): 467–470.
- 7 Song Zhendong, Jiang Wei. Study on distortion elimination in stereoscopic display systems [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(5): 0515001.  
宋振东, 姜 伟. 单目多视点立体图像提取及应用[J]. 光学学报, 2012, 32(5): 0515001.
- 8 Wang Zhongli, Zhao Qingjie. Technology of high dynamic range image reconstruction [J]. Optical Technique, 2006, 32 (suppl): 279–285.  
王忠立, 赵清洁. 高动态图像获取技术[J]. 光学技术, 2006, 32(suppl): 279–285.
- 9 He Bin, Ma Tianyu, Wang Yunjian. Visual C++ Digital Image Processing [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2002. 263–293.  
何 斌, 马天予, 王运坚. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002. 263–293.
- 10 Zhang Honglin, Cai Rui. Visual C++ Digital Image Pattern Recognition Technology and Engineering Practice [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2002. 422–440.  
张宏林, 蔡 锐. Visual C++ 数字图像模式识别技术及工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002. 422–440.
- 11 Yu Guiying, Jin Ji, Ni Xiaowu, *et al.*. Design for LED uniform illumination reflector based on etendue [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(8): 2297–2301.  
余桂英, 金 骥, 倪晓武, 等. 基于光学扩展量的 LED 均匀照明反射器的设计[J]. 光学学报, 2009, 29(8): 2297–2301.
- 12 Zhao Gaochang, Zhang Lei, Wu Fengbo. Application of improved median filtering algorithm to image de-noising [J]. J Applied Optics, 2011, 32(4): 678–682.  
赵高长, 张 磊, 武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用[J]. 应用光学, 2011, 32(4): 678–682.
- 13 Tang Lulu, Zhang Qican, Hu Song. An improved algorithm for canny edge detection with adaptive threshold [J]. Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(5): 127–132.  
唐路路, 张启灿, 胡 松. 一种自适应阈值的 Canny 边缘检测算法[J]. 光电工程, 2011, 38(5): 127–132.
- 14 Guo Haitao, Tian Tan, Wang Lianyu, *et al.*. Image segmentation using the maximum entropy of the two-dimensional bound histogram [J]. Acta Optica Sinica, 2006, 26(4): 506–509.  
郭海涛, 田 坦, 王连玉, 等. 利用二维属性直方图的最大熵的图像分割方法[J]. 光学学报, 2006, 26(4): 506–509.
- 15 Zhou Xin, Deng Wenyi, Liu Lishuang, *et al.*. Research on fast detection and classification of glass defect [J]. Microcomputer Information, 2008, 24(27): 304–306.  
周 欣, 邓文怡, 刘力双, 等. 玻璃缺陷快速检测分类研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(27): 304–306.