文章编号:1002-2082(2013)03-0442-05

基于数字图像处理技术的树脂眼镜镜片缺陷检测研究

姚红兵,李良湾,平 洁,顾寄南,马桂殿,曾祥波,郑学良

(江苏大学 机械工程学院,江苏 镇江 212013)

摘 要:通过设计的镜片自动检测光学硬件系统,给出了树脂镜片精细杂质图像处理措施,将图像差分法应用于镜片图像边缘的去除;同时解决了镜片检测灰尘影响的问题;另外运用改进型的归一法解决杂质计数问题,为自动化分级分拣系统的研发提供重要的数据支持,为镜片缺陷检测系统的后续分级分拣的数字控制模块提供了可操作性。该检测系统检测精度为 0.03 mm、速度为 1 片/s,检测误差控制在 5%。

关键词:数字图像处理;缺陷检测;图像计数;面积比例

中图分类号:TN911.73 **文献标志码**:A **doi**:10.5768/JAO201334.0302002

Defect detection for resin lenses based on digital image processing technology

YAO Hong-bing, LI Liang-wan, PING Jie, GU Ji-nan, MA Gui-dian, ZENG Xiang-bo, ZHENG Xue-liang

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

Abstract: The automatic defect detection technology for resin lenses was studied, including its hardware system design and its image processing method. The image difference method was used to remove the edge of the lens image in order to obtain high detecting speed, the effect of dust in lens detection was solved, and an improved normalization method was also proposed to determine the number of defects, which could provide technical support and feasibility for the development of subsequent digital control module of the classifying and sorting system of the whole resin lenses defect detection system. Detection accuracy of the detection system is 0.03 mm, speed is 1 piece/s, and the measuring error is maintained below 5%.

Key words: digital image processing; defect detection; image counting; area ratio

引言

从上世纪 80 年代至今,中国眼镜业实现了腾飞的质变,目前中国眼镜总产量占到了世界总产量的 70%。然而眼镜镜片缺陷的种类、数量及面积比例检测一直是镜片检测工作的重点与难点。国际上在上世纪 90 年代初就开始研制计算机视觉检测设备,如 1998 年德国 Lasor 公司在 Mirman, Clifford[1] 的帮助下成功研制首台在线镜片检测系统,可区分气泡、颗粒物、线道、划痕等镜片缺陷,精度为 0.1 mm,速度为 5 s/片。国内目前也有少数几个检测研制企业在进行镜片及其制品检测设备的研制,但其开发出的产品在检测精度和速度方面还远远不能满足镜片生产商的实际要求。因此现阶段国内绝大多数镜片生产商通常采用最原始的人工检测法[2],由于检测样品数量大、品种多、精度高,使用该方法不仅耗时长、效率低、成本

收稿日期:2012-11-27; **修回日期**:2013-01-22

基金项目:江苏万新光学有限公司合作项目(12142K)

作者简介:姚红兵(1976—),男,江苏镇江人,博士,副教授,主要从事激光物质相互作用机理与检测方面的研究。
E-mail:yaoye@ujs.edu.cn

高,而且依靠人眼观察检测具有误检率高、对人眼伤害严重等缺点,因此人工检测法亟待改进。

本文研究了一种基于数字图像处理技术的镜片杂质自动检测方法,设计了镜片自动检测硬件系统,详细阐述了对树脂镜片精细检测的图像处理过程中的问题,该检测系统检测精度为 0.03 mm、速度为 1 片/s,检测误差控制在 5%,本文的研究成果为自动化分级分拣系统的研发提供了重要的数据支持。

1　镜片自动检测光学硬件系统

镜片自动检测系统的整个搭建配置原理如图 1 所示,首先将待测镜片放置于光学系统平台上,光学系统平台主要作用是提供一个均匀背景光,使 CCD(charge-coupled device 电荷耦合元件)采集数字图像。背景照明方式分为透射式和反射式两种,Satorres Martínez S[3] 提出基于机器视觉的透明镜片照明检测系统,虽然该反射式照明系统检测精度高,但搭建成本比较高,且采集效率低;透射式获得均匀背景光的优势是亮度高,便于后期图像处理,但光源均匀度差。本系统综合透射式和反射式照明的优缺点,最后采用基于全内反射照明的暗场检测[4] 均匀背景光的照明系统。

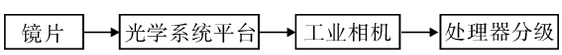
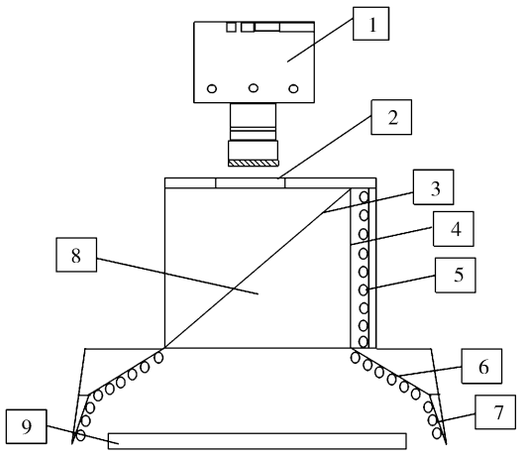


图 1　镜片自动检测系统的硬件配置

Fig. 1　Hardware configuration of lenses automatic test system

针对本系统待测镜片缺陷的种类杂与精度高的特点,结合 CCD 相机大视场光学镜头技术[5],本文设计了一种全反射多角度环形光源装置,其具体截面图如图 2 所示,该照明系统可为待测镜片提供类似碗型全反射多角度均匀光,从而为单次采集各类不同位置的缺陷提供可能。

在获得均匀背景光的前提下,通过 CCD 采集图像,其中 CCD 镜头的选择需兼顾以下两方面,一要考虑检测速度的要求,像素太高会使处理器处理时间太长;二要考虑像素不低于镜片缺陷的最小值。以镜片最大直径 80 mm、最小分辨尺度 0.03 mm 缺陷计算,则 CCD 单排像素点数为像素数 N=待测物体长度 L/精度 S 即 $N=80/0.03=2\ 667$ pixel,则面阵 CCD 的像素至少为 2 667×2 667(为 7 112 000),但实际单个缺陷点必须使用 3～4 个像素点才能精确描述,这样实际需要的像素至少为 7 112 000×3=21 336 000,即至少需要 2 千万像素的面阵 CCD。但市面上并没有合适的 CCD 及匹配镜头能同时满足像素精度、80 mm×80 mm 视场、10 mm 景深(镜片厚度约为 10 mm)和检测速度的要求。



1-相机;2-拍摄窗口;3-半透镜;4-毛玻璃;5-LED(Light Emitting Diode 发光二级管);6-LED;7-LED;8-灯箱;9-镜片

图 2　光源截面示意图

Fig. 2　Sectional view of light source

为了解决此问题,本系统采用了 4 个 500 万像素 CCD,配合小视场镜头,通过同时拍摄多幅图,最后运用图像拼接合成一幅镜片完整图,该方案可以在保证检测精度的同时降低系统成本以及提高检测速度。

2　镜片缺陷图像处理

图 3 所示为 CCD 采集 4 幅图像后拼接成的一幅镜片完整的灰度图,可以看出杂质整体具有均匀的灰度值,而且杂质灰度跟背景灰度差距大,且背景灰度比较均匀。针对这些特点,本文对镜片杂质图图像进行了以下一系列处理。

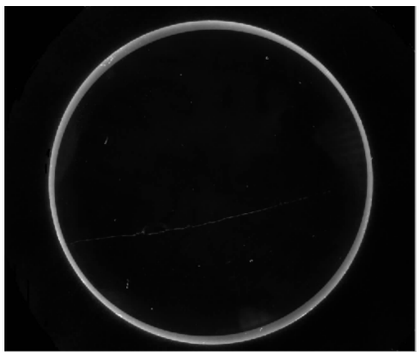


图 3　初始镜片灰度图像

Fig. 3　Gray images of initial lens

2.1　图像预处理

图像预处理的主要目的是消除图像中无关的

信息,恢复有用的真实信息,从而改进特征提取、图像分割、识别的可靠性[6]。在确定图像分割阈值时,阈值的选取对噪声应该敏感。本检测系统中主要的噪声是CCD电路引入的随机椒盐噪声及镜片表面灰尘噪声,这些噪声的灰度相对于镜片缺陷(主要是气泡、颗粒物、划伤)比较暗。针对这些特点,本文对镜片图像进行中值滤波、图像平滑、图像增强等处理,从而消除引入的部分噪声,增强缺陷杂质信息,通过预处理还不能完全去除噪声,尤其是灰尘的噪声,后文给出了具体去除灰尘影响的方法。

2.2　消除待测镜片上灰尘影响

在实际检测环境中,灰尘对镜片检测精度的影响是非常巨大的,因为本系统的检测精度达到了0.03 mm级别,完全达到了检测普通灰尘颗粒的尺寸,能否消除灰尘对检测精度的影响,对本系统能否实现至关重要。经过多次试验及理论研究,本文提出了一种风力除尘结合图像处理的技术来解决此问题。首先通过摄像机拍摄一张除尘前的待测镜片,然后使用风泵吹拭待测镜片上的灰尘,再通过摄像机拍摄吹拭后的镜片,针对灰尘都是吸附在镜片表面、位置不固定、而缺陷杂质是相对于镜片相对固定的特性,运用图像处理技术,比较前后两张图片上突变点的变化情况,前后两张图片上灰度突变点位置大小没有变化的就是我们需要检测的杂质点,我们保留这些信息,其余的都认为是灰尘点,全部可以舍去。通过此技术可以显著降低灰尘对检测精度的影响。

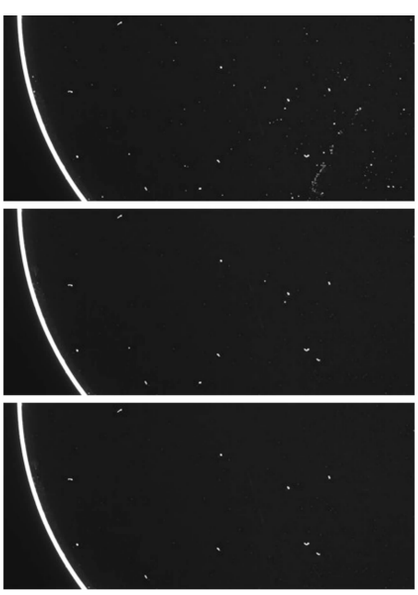
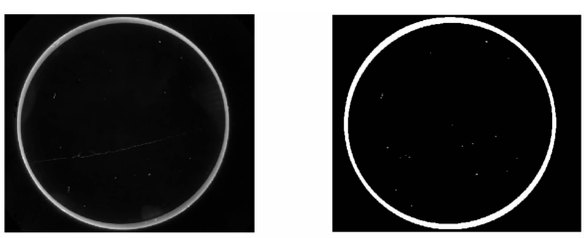


图4　除尘对比图

Fig. 4　Dust removal contrast figures

2.3　杂质图像的分割提取

图像分割的目的是将图像分割划分出关键有意义的区域,再从背景图像中提取出目标对象,为后续的图像识别等操作做准备。而图像阈值分割是一种相当成熟的分割技术,利用图像中需要提取的目标区域与其背景在灰度特性上的差异,把图像看作具有不同灰度级的两类区域(目标区域和背景区域)的组合,确定一个最合理的分割阈值,最终生成相应的二值图像。由于阈值分割法适用于目标与背景灰度强对比的情况,因此本文选择阈值分割法进行图像检测分割处理。而阈值的选择又是分割成功的关键,其中最常见的准则函数法有Otsu法[7]与直方图阈值法[8]等。通过对以上两种图像阈值分割算法模拟来确定最佳阈值,并运用最佳阈值分割图像二值化得到图5和图6。



原始图像　　Otsu法阈值分割图像

图5　Otsu法处理结果

Fig. 5　Otsu treatment results

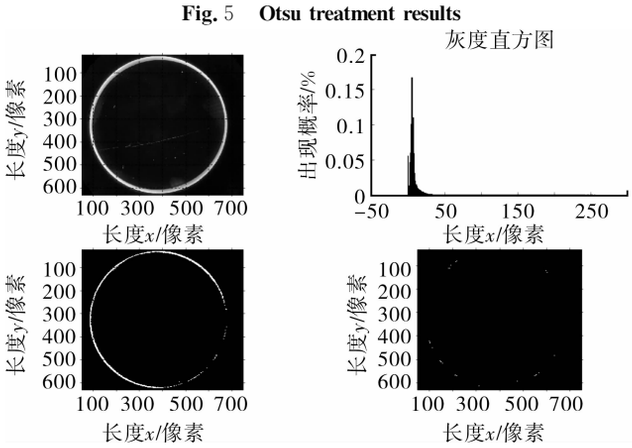


图6　直方图阈值法处理结果

Fig. 6　Results of histogram threshold method

通过图5可以看出运用Otsu法来确定的最佳阈值效果更佳,图像失真度低,更适合后续的图像识别及自动化的实现;而通过图6可以看出镜片图像经过直方图阈值法后图像失真度跟手动选取的阈值有关,而且本系统是动态自动的,直方图阈值法需要手动确定一个合适的阈值,并不适合本系统的自动

化要求,因此本文选择 Otsu 法分割阈值。

2.4　图像差分法去除镜片边缘

从阈值分割后的图像可以看到镜片边缘圆形图像,这对后期的计算处理产生不利影响,因而我们需要去除边缘圆形。通常去除圆形边界采用 Hough[9] 检测圆法去除边界。但考虑到本检测系统对于检测处理时间的要求,Hough 检测圆法所需处理时间相当长的缺点无法满足系统要求。因此本文采用图像差分法去除镜片边界,具体步骤是先拍摄含有杂质的镜片图像,然后再使用相同的拍摄环境拍摄无杂质的镜片图像,将前者跟后者进行图像差分就可以去除图像边界。该方法能否实现的关键是负责采集的 CCD 摄像机必须采用同一个相机,这样保证前后差分的图片分辨率完全相同,且采集到的图像中边缘信息也完全一致。

2.5　图像缺陷杂质特征提取识别

数字图像特征提取识别一直是机器视觉领域的重点及难点。在实际的图像处理中,并没有一个固定的特征提取识别的算法。本文特征提取的主要对象为点状颗粒物、边缘气泡及表面划伤。针对其各自特点编译与之匹配的基本算法。点状颗粒物缺陷杂质的特点是一个个较小的孤立连通域;而气泡缺陷的特点是它们都出现在镜片边缘,这是由树脂镜片加工过程决定的,其次是气泡缺陷呈现类圆形的连通域,可以通过 Hough 检测圆法识别;人为划伤的特征是缺陷杂质灰度突变点坐标大致连续,判断连通域中边缘灰度坐标的连续性可以识别。图 7 是识别标记后的图像。

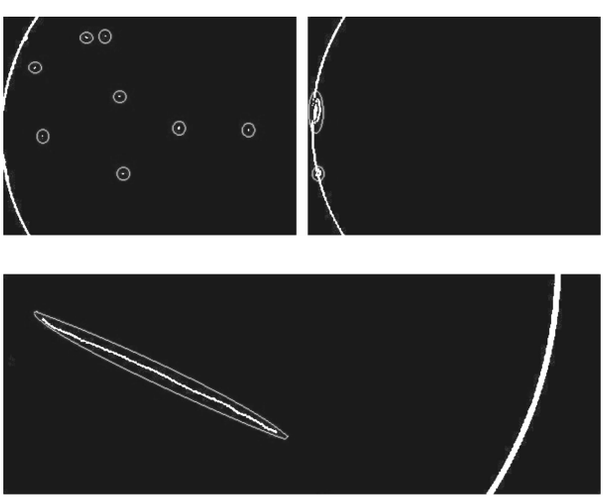


图 7　标记后图像

Fig. 7　Labeled images

2.6　杂质目标计数

当前在图像处理领域,目标计数的实现方法比较多,并没有固定的一个成熟万能的计数方法。对于二值图像计数而言,可采用直接目标计数法或采用标记法[10]来实现计数功能。本文采用后者进行计数。分割处理后的一幅图像内可能存在多个连通域,每个非背景连通域都对应一个目标图像域,给各个目标图像域分配相应标号的工作称为标记。

计数方法的优劣在于计数方法准确性和效率性,针对镜片生产厂商要求检测系统的总误检率不大于 5%、平均一副镜片检测时间控制在 2 s 以内的严格要求,本文运用一种改进型的归一法对图像杂质进行计数。其算法基本处理流程如下:

1) 从上到下,从左到右依次扫描图像;

2) 当找到一个目标点时,将其标记为归一点;

3) 判断该点的 8 邻域(右、右上、上、左上、左、左下、下、右下),如果该点的 8 邻域有目标点,则把该点标记为灰烬点;

4) 将邻域内的目标点作为新的归一点重复 3)操作,直至图像中的归一点的 8 邻域内没有目标点为止,即此时目标区域内只剩下单个像素的归一点,同时表示该区域归一化完成。

5) 对图像中的单像素归一点进行计数即计算杂质个数。

该计数方法只需要扫描整幅图像的像素点一次,无需空间转换,所以运行效率非常高;其次通过之前的图像系列处理,准确性能够得到很好的保证。大量检测试验证明该计数方法能够比较好地满足整套系统的准确率跟效率性的要求,本文后续给出了该计数方法具体实验数据。

3　实验误差分析

应用本文所建立的自动检测镜片缺陷系统对采集到的 6 幅不同缺陷类型、不同缺陷大小的镜片图像进行计数操作,经过多次反复运行,整个处理时间稳定在 1 s～2 s 之间,完全满足本系统对检测效率的要求,表 1 给出了一组计数结果。

从表 1 可以看出,人工计数跟本系统自动计数相比,最大相对误差为 6.67%,最小为 0,平均相对误差为 2.5%。这里之所以没有统计面积比例是因为人工检测并不能检测出面积比例,本文需要检测面积比例是为了后续分级系统的开发服务,故这里不对面积比例进行比较。

表 1 不同缺陷杂质计数结果

Table 1 Counting results of different defect impurities

缺陷类别	样本号	人工计数/个	自动计数/个	相对误差/%
灰点	1	10	10	0.00
	2	20	19	5.00
	3	30	31	3.33
亮点	1	10	10	0.00
	2	20	20	0.00
	3	30	28	6.67

试验产生的误差,一方面是由于镜片本身吸附了颗粒感强的灰尘或人为指纹,这对镜片缺陷的检测影响非常大,因此在检测之前必须对镜片进行清洗,同时要求整个检测环境尽量无尘、操作环境尽量无人;另一方面是由于有些缺陷之间的间隙比较小,经过图像处理之后变成一个缺陷点,但这种情况所产生的误差在检测系统误差允许范围内。

4 结论

将数字图像处理技术引入镜片缺陷检测中,能够大幅提高检测效率、精确度及自动化程度,同时还能够减少大量劳动力,降低检测工作对工人眼睛的伤害。本文针对目前国内眼镜镜片缺陷检测的不足,探索设计了一种基于数字图像处理技术的镜片缺陷检测技术,为自动化分级分拣系统的研发提供了重要的数据支持,为镜片缺陷检测系统的后续分级分拣的数字控制模块提供了可操作性。

参考文献:

[1] MIEMAN CLIFFORD, SRINIVASAN THYAGARAJAN, BIBBY YU. Optical mechanical testing system for detecting manufacturing defects in glass lenses[J]. Journal of Engineering Technology, 1997, 14(1): 28-32.

[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] SATORRES MARTINEZ S, GOMEZ ORTEGA J, GAMEZ GARCIA J, et al. A machine vision system for defect characterization on transparent parts with non-plane surfaces[J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23(1):1-13.

[4] ZHAO Li-Ping, LI Xiang, FANG Zhong-Ping. TIR illumination technology for defect inspection of plastic ophthalmic lenses[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(9): 2247-2254.

[5] 张东源,张晓光,闫秀生,等. CCD 摄像机大视场光学镜头的设计[J]. 应用光学, 2006,27(2):105-107. ZHANG Dong-yuan,ZHANG Xiao-guang,YAN Xiu-sheng,et al. CCD camera large field of view optical lens design[J]. Journal of Applied Optics, 2006,27(2):105-107.(in Chinese with an English abstract)

[6] HUANG Yan-jun. Research based on the FPGA digital image preprocessing algorithm [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.

[7] CHEN Qi, XIONG Bo-li, LU Jun, et al. Improved two-dimensional otsu image segmentation method and fast recursive realization[J]. Journal of Electronics and Information Technology,2010,32(5):1100-1104.

[8] WANG G, CHEN D, LIN J,et al. The application of chaotic oscillators to weak signal detection[J]. IEEE Trans. Signal Proc, 1999, 46(2):440-444.

[9] CHIU S H, LIAW J J, LIN Kuo-hung. A fast randomized hough transform for circle/circular arc recognition[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, 24 (3): 457-474.

[10] LIU Jun-li. Research on milk somatic cell image processing and counting method[D]. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University,2007.