

镜片疵病视觉在线检测方法

姚红兵 曾祥波 马桂殿 郑学良 李亚茹 高原 于文龙 顾寄南 蒋光平

(江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要 根据树脂镜片在线检测的要求和疵病尺寸的特点,提出一种基于两级图像采集的视觉在线检测方法。采用两级疵病图像采集系统,提高了图像的采集速度,减少数据量,从而提高图像处理速度。利用图像处理工具进行图像处理,根据疵病的填充度和位置等特征实现对疵病的快速识别,利用两级采集系统的不同精度实现对不同尺寸疵病的测量,根据识别和测量结果实现对镜片的分级。实验表明该方法可以满足镜片在线实时检测的要求,并且有很好的分级效果。

关键词 图像处理;机器视觉;疵病检测;图像采集;分级

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.121003

On Line Defect Detection Method for Lens Based on Machine Vision

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

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

Abstract An online machine vision defect detection method based on two-stage image acquisition structures is proposed for the online detection of the hard resin lenses. With the two-stage image acquisition structures, this method is able to increase the image processing speed by improving the image acquisition speed and reducing the image data amount. With the usage of image processing tools, the defects are rapidly identified according to the characteristics of filling degree and position, and the sizes of defects are determined based on the different measurement accuracies of the two-image acquisition stages. Then the lenses are classified according to the obtained identification and sizes. The experimental results show that this method can meet the requirement of online real-time detection for resin lenses and has a good classification result.

Key words image processing; machine vision; defect detection; image acquisition; classification

OCIS codes 100.3008; 150.1835; 110.2970

1 引言

树脂由于密度小、折射率高等优点,广泛应用于近视镜、老花镜等视力矫正镜片的制造,但是由于树脂硬度低和生产工艺的问题,部分镜片会产生点杂质、气泡、划痕和羽毛等疵病。点杂质是由于原材料内的微粒或者镀膜时空气中微尘颗粒附着在镜片表面产生的;气泡是由于注塑时模具内空气未能完全排出导致镜片边缘不完整(包括脱模时边缘的破损),与镜片边缘接触;划痕是脱模或运输过程中镜片表面产生的线状损伤;羽毛是由于原材料内纤维、毛发等线状杂质引起的。目前,国内外主要采用目视法进行疵病检测,根据疵病的种类、数量、位置和大小对镜片进行分级。该方法具有简单易行、成本低、对环境要求低的特点,但是其检测速度慢,检查结果极易受人为主观因素影响,对疵病主要通过经验判定其尺寸,导致不同操作人员对镜片的分级结果相差很大。通过车间抽样调查得知,每片镜片耗时7~10 s,分级准确率为84%~95%,平均

收稿日期: 2013-08-26; **收到修改稿日期**: 2013-09-10; **网络出版日期**: 2013-11-08

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@jus.edu.cn

准确率约为 91%。

机器视觉通过光学装置和非接触传感器自动地接收和处理真实物体的图像,以获得所需信息或用于控制机器人运动,广泛应用于产品缺陷的检测^[1-3]、物体的识别^[4]、实时监控^[5]以及产品尺寸的测量^[6]等工业领域。对于大尺寸产品,图像的采集方法主要是子孔径拼接^[7-9],但是这种方法采集速度慢^[10],对机械结构运动精度要求高^[11],无法满足在线生产的速度要求,而且采集的数据量大,影响图像处理速度。

针对镜片疵病的检测现状和疵病尺寸的特点,为提高图像采集速度和图像处理速度,设计了基于两级图像采集的在线检测系统,利用图像处理技术对疵病进行识别和测量,并根据识别和测量的结果对镜片分级。实验结果表明本文的设计可以满足在线实时检测的快速性、稳定性和准确性的要求。

2 两级图像采集系统

2.1 两级图像采集系统的原理

镜片疵病如图 1 所示。不同种类疵病的尺寸范围不同,在全视场检测时,采用较低的精度虽然可以实现对较大尺寸疵病的测量,但无法实现对较小尺寸疵病(羽毛和划痕)的准确测量;采用较高的精度会导致系统成本较高,同时增加了图像采集时间和检测时间。由于疵病在镜片中离散随机分布,并且合格的镜片允许的疵病数量和长度一定(对于羽毛和划痕,总数量不超过两个,长度不超过 10 mm),所以,镜片包含羽毛或划痕的敏感区域的面积并不大。因此,为了对羽毛或划痕有较高的检测精度,设计两级图像采集系统,第一级通过全视场实现对点杂质和气泡的检测,并对羽毛和划痕定位、测量其长度,第二级通过较小的视场采集疵病的图像以实现较高的检测精度。通过两级图像采集结构,减少了对冗余信息的采集,在满足系统检测精度的同时,提高了图像采集速度,减小了图像采集数据量,从而提高图像处理速度,提高了系统的整体运行速度。

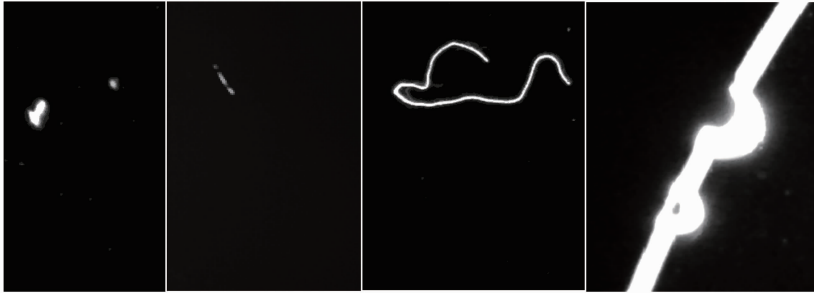


图 1 镜片疵病(点杂质、划痕、羽毛和气泡)

Fig. 1 Defects of lens including point-like impurities, scratches, feathery impurities and bubbles

2.2 系统的设计

如图 2 所示,图像采集系统由两级采集系统构成:第一级采集系统包括环形光源、工业相机和模拟/数字(A/D)卡;第二级系统包括两个相同的子采集系统,每个子系统包括环形光源、工业相机、A/D 卡、步进电

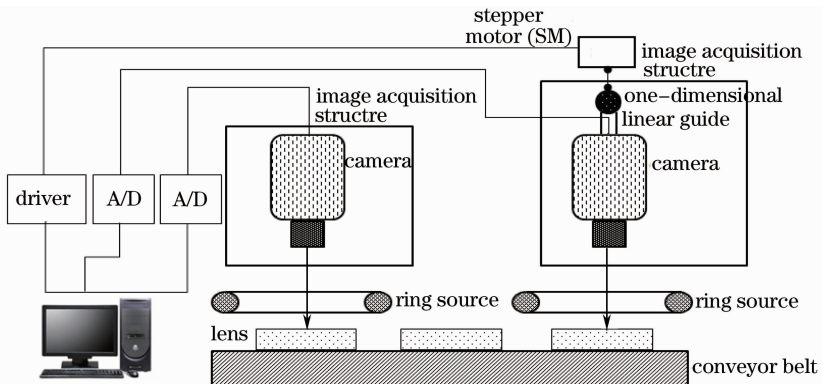


图 2 系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of the system

机、驱动器和一维导轨,工业相机固定在垂直于传送带的一维导轨上,由步进电机控制其移动。

系统采用全内反射照明^[12-13],环形光源以一个低角度从镜片侧面照射镜片,形成全内反射照明,使疵病的特征明显表现出来,获得的图片表现为暗的视场和亮的疵病。

2.3 图像的采集

镜片放置在移动的传送带上,第一级采集系统进行全视场采集,由位置传感器和传送带的移动实现对镜片的定位,通过图像处理进行疵病的识别和测量,同时初步判定镜片等级并判定镜片是否包含羽毛或划痕。如果镜片不含羽毛或划痕或者镜片为废品,第二级采集系统不工作;如果包含羽毛或划痕,第二级系统工作,系统根据第一级处理结果判断疵病的位置并通过位置传感器、传送带的移动和相机的移动实现对敏感区域的定位,采集疵病的图像。镜片如果只含一条划痕或羽毛,则只有一个子系统工作;如果包含两条划痕或羽毛,两个子系统都工作,分别采集两个疵病的图像。采集系统的各级系统沿传送带分布,采用并行工作方式,同时采集镜片的图像。

3 数字图像处理

数字图像处理是采用一定的算法对数字图像进行处理,以获得图像所包含的特定信息,其主要任务是算法的设计和算法的实现。目前,数字图像处理技术在很多领域得到应用,并取得巨大成就。根据不同的任务,图像处理的过程不同,本文设计的图像处理具体过程如图3所示。

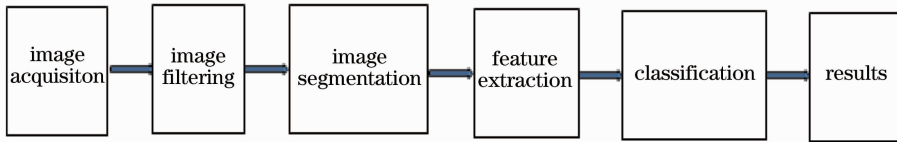


图3 数字图像处理流程图

Fig. 3 Flow chart of digital image processing

3.1 图像的滤波

通过图像采集系统采集一幅图片,如图4所示。在图像的采集和传输过程中会有各种噪声产生,导致图片质量降低,影响疵病特征的提取。镜片图像的主要噪声为镜片表面微尘颗粒产生的噪声,由于中值滤波可有效抑制这类噪声,同时可以保持图像的边缘细节,对判断疵病尺寸的影响比较小,因此首先采用中值滤波对图像进行处理,以改善图像质量,使其中的疵病更加突出和明显。



图4 疵病的图像(羽毛)

Fig. 4 Picture of defect (feathery imperities)

3.2 图像的分割

图像分割是目标识别与特征提取的基础,图像分割结果的好坏直接影响到后续的特征提取与目标识别。图像分割的目的是利用目标的独特特征将图像中有意义的特征或区域从背景提取出来。传统的方法包括基于区域的、基于边缘的和两者结合的图像分割方法^[14-16]。

基于边缘检测的分割方法通过图像不同区域边缘灰度值的变化实现对图像的分割。在镜片的灰度图像中,疵病部分与镜片相比具有区域灰度值高、轮廓曲线明显的特点,并且镜片边缘与背景相比同样具有区域灰度值高、轮廓曲线明显的特点,利用疵病与镜片的这些特点,可以采用基于边缘分割的方法实现缺陷与镜

片、镜片与背景的分割。

Canny 边缘检测具有信噪比高、边缘定位精度高、单边响应的优点^[17]。由于需要检测疵病的几何尺寸,对疵病边缘的定位要求精度比较高,因此采用 Canny 算子边缘检测法对图像进行分割,图像分割的效果如图 5 所示。虽然 Canny 算子不具有自适应的特点,固定的阈值对不同图像的检测结果相差很大,但考虑到镜片为成批次生产,相同批次的图像相差不大,并且具有自适应性的算法速度比较慢,因此,在检测同一批次镜片时,通过系统预设,人工确定阈值。

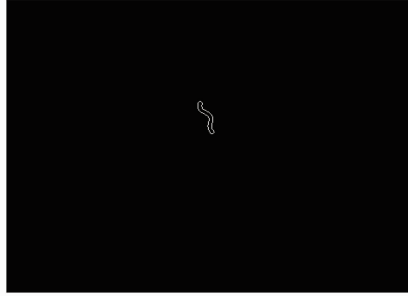


图 5 边缘分割后的图像

Fig. 5 Picture after image segmentation

4 疵病的识别

疵病的识别是通过提取分割后的图像疵病的特征实现。为了满足在线检测快速性的要求,提高疵病的识别速度,需要用最少的特征反映最丰富的疵病信息,因此选取的特征为疵病的位置和填充度(FF),填充度指疵病的面积与最小外接圆的面积比。根据疵病的特征,填充度小于阈值 T 为划痕(scr.)或羽毛(fea.),大于 T 并与镜片边缘接触的为气泡(bub.),大于 T 且与镜片边缘无接触的为点杂质(poi.),与边缘接触的点杂质对镜片质量无影响且图像被边缘的像掩盖,为提高系统效率,这里不做识别。对于镀膜之后的镜片,羽毛和划痕有相同的检测标准,在此将二者归为一类,不做区别。根据采样处理结果,得出疵病填充度的值,见表 1。

表 1 疵病的填充度

Table 1 Filling factor of defects

Defect	FF	Defect	FF	Defect	FF	Defect	FF
fea. 1	0.0091	scr. 1	0.035	bub. 1	0.63	poi. 1	0.75
fea. 2	0.083	scr. 2	0.091	bub. 2	0.55	poi. 2	0.51
fea. 3	0.017	scr. 3	0.11	bub. 3	0.43	poi. 3	0.42
fea. 4	0.13	scr. 4	0.069	bub. 4	0.69	poi. 4	0.63
fea. 5	0.026	scr. 5	0.056	bub. 5	0.71	poi. 5	0.49
fea. 6	0.072	scr. 6	0.072	bub. 6	0.50	poi. 6	0.82

通过实验测得疵病填充度的值,可以看出线状疵病羽毛和划痕的填充度比较小,选取阈值 $T=0.2$ 作为判定羽毛和划痕的依据。

5 镜片的分级

镜片的分级主要是通过疵病的种类、数量、位置和大小进行判定,疵病的位置是指疵病离镜片中心的距离。相同尺寸的疵病,在边缘对镜片质量的影响最小,在中心影响最大,据此,镜片由中心向外被分为三个区域,不同区域对疵病的尺寸要求不同,相同区域的要求相同。

由于散射光的影响,疵病的尺寸和实际尺寸并不是完全的线性关系^[18],但是点杂质和气泡的直径、羽毛和划痕的长度都比较大,在第一级全视场采集时,可以近似认为呈线性关系,从而实现对点杂质和气泡的直径、羽毛和划痕的长度的测量。由于羽毛和划痕的直径比较小,不能近似为线性关系。第二级采集系统由于减小了视场,提高了分辨率,羽毛和划痕的直径可以与实际尺寸近似认为是线性关系。综合两次识别和测量的结果,根据疵病的种类、数量、位置和大小即可实现对镜片的分级。根据多组样品实验结果,得出镜片分级

结果,见表2。

表2 分级结果
Table 2 Results of classification

Group	Number of lenses	Precision rate /%	Group	Number of lenses	Precision rate /%
1	100	89	7	100	91
2	100	89	8	100	90
3	100	91	9	200	90
4	100	90	10	200	90.5
5	100	91	11	200	89
6	100	90	12	200	90

通过多组实验得到,镜片的分级准确率为89%~91%,可知检测的稳定性远高于人工检测;平均准确率为90%,稍低于人工检测的平均准确率,但可以满足产品的质量要求。实验表明该技术方案可以满足产品在线检测分级的稳定性和准确性要求。镜片的分级时间由图像采集时间、图像处理时间和分级时间决定,每片约为1.5 s,通过采用高性能的处理系统和改善机械结构,还可以缩短镜片分级时间。

6 结 论

根据树脂镜片疵病在线检测的要求,设计了两级图像采集系统,实现对不同尺寸疵病不同精度的采集,既满足对疵病尺寸的高精度测量要求,又提高了图像采集速度,减少了数据采集量。应用图像处理技术进行图像处理,实现对疵病的自动检测和对镜片的自动分级。实验表明:本文采用的技术方案和算法是可行的,可满足对镜片的分级要求,分级时间约为每片1.5 s,分级准确率为89%~91%,平均准确率为90%,满足产品在线检测的速度、稳定性和准确度要求。

参 考 文 献

- 1 J A Throop, D J Aneshansley, W C Anger, *et al.*. Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 36(3): 281-290.
- 2 Hao Shen, Shuxiao Li, Duoyu Gu, *et al.*. Bearing defect inspection based on machine vision[J]. *Measurement*, 2012, 45(4): 719-733.
- 3 Navid Razmjoo, B Somayeh Mousavi, F Soleymani. A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2012, 63(1): 268-279.
- 4 Alberto Tellaache, Gonzalo Pajares, Xavier P Burgos-Artizzu, *et al.*. A computer vision approach for weeds identification through support vector machines[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, 11(1): 908-915.
- 5 Gao Shiyu, Ma Lei, Zhang Runsheng. Method of monitoring cutting point state in laser cutting plank process based on vision[J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(2): 0203007.
高士友, 马 雷, 张润生. 基于视觉激光切割厚板切割状态监控方法[J]. *中国激光*, 2012, 39(2): 0203007.
- 6 J Jurkovic, M Korosec, J Kopa. New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system[J]. *Int J Machine Tools and Manufacture*, 2005, 45(9): 1023-1030.
- 7 Dong Liu, Shitong Wang, Pin Cao, *et al.*. Dark-field microscopic image stitching method for surface defects evaluation of large fine optics[J]. *Opt Express*, 2013, 21(5): 5974-5987.
- 8 Huijing Zhang, Haobo Cheng, Hon Yuen Tam, *et al.*. High precision mode of subaperture stitching for optical surfaces measurement[J]. *Frontiers of Optoelectronics*, 2013, 6(2): 167-174.
- 9 Wang Xiaokun, Zheng Ligong, Zhang Xuejun. Testing convex aspheres by subaperture stitching interferometry[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(7): 2022-2026.
王孝坤, 郑立功, 张学军. 子孔径拼接干涉检测凸非球面的研究[J]. *光学学报*, 2010, 30(7): 2022-2026.
- 10 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.
杨甬英, 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.
- 11 Wang Lihua, Wu Shibin, Ren Ge, *et al.*. Location error compensation algorithm for measuring optical system wave front by sub-aperture stitching[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(1): 0112003.
汪利华, 吴时彬, 任 戈, 等. 子孔径拼接检测光学系统波前机械定位误差补偿算法[J]. *光学学报*, 2012, 32(1): 0112003.

- 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): 2247—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): 2247—2254.
- 13 Peng Zhitao, Wei Xiaofeng, Yuan Haoyu, *et al.*. Signal noise ratio of total internal reflection edge illumination for optics damage inspection[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(6): 1111—1114.
彭志涛, 魏晓峰, 元浩宇, 等. 全内反射照明光学元件损伤检测信噪比分析[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(6): 1111—1114.
- 14 Han Siqu, Wang Lei. A survey of thresholding methods for image segmentation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(6): 91—94.
韩思奇, 王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 91—94.
- 15 K S Fu, J K Mui. A survey on image segmentation[J]. Pattern Recognition, 1981, 13(1): 3—16.
- 16 Salem Saleh Al-Amri, N V Kalyankar, S D Khamitkar. Image segmentation by using edge detection[J]. Int J Computer Science and Engineering, 2010, 2(3): 804—807.
- 17 Raman Main, Himanshu Aggarwal. Study and comparison of various image edge detection technique[J]. Int J Image Processing, 2009, 3(1): 1—12.
- 18 Fan Yong, ChenNiannian, Gao Lingling, *et al.*. Digital detection system of surface defects for large aperture optical elements[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2009, 21(7): 1032—1036.
范勇, 陈念年, 高玲玲, 等. 大口径精密表面疵病的数字化检测系统[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(7): 1032—1036.