

文章编号 1004-924X(2015)增-0791-08

显微镜镜头的圆弧表面缺陷检测

郭庆华¹, 刘海霞¹, 宋丽梅^{1*}, 习江涛²

- (1. 天津工业大学 电气工程与自动化学院 电工电能新技术重点实验室, 天津 300160;
2. 澳大利亚伍伦贡大学 电气计算机和通信工程学院, 澳大利亚 2500)

摘要:针对微型显微镜镜头存在的圆弧表面缺陷,提出了一套圆弧表面缺陷检测系统,以提高镜头的表面质量。在传统的图像边缘检测中,加入了图像预处理和边缘检测的方法,更好地实现了对目标的轮廓提取。然后,利用面向对象的VC++编程工具结合图像检测方法,对提取到的合格镜头和缺陷镜头同时进行图像处理,以找出缺陷镜头圆弧的瑕疵。最后,根据同时对合格镜头和缺陷镜头进行图像处理取得的结果,判断合格与缺陷镜头的差别,提取出缺陷镜头的圆弧表面特征轮廓。实验结果表明:设计的系统的像素精度为 $5.37\ \mu\text{m}$,缺陷检测精度为96%,能够实现对微型显微镜镜头圆弧表面的边缘提取与检测。

关键词:微型显微镜;镜头;圆弧表面缺陷;图像预处理;边缘检测;VC++

中图分类号:TP391.4;TH742.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152313.0791

Detection of arc surface defects in microscope lens detection system

GUO Qing-hua¹, LIU Hai-xia¹, Song Li-mei^{1*}, XI Jiang-tao²

- (1. *Electrical Engineering and Automation College, Key Laboratory of Advanced Electrical Engineering and Energy Technology, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China;*
 2. *School of Electrical, Computer and Telecommunication Engineering, University of Wollongong, Keiraville 2500, Australia*
- * *Corresponding author, E-mail: liliymay1976@126.com*

Abstract: A detection system for arc surface defects of the microscope lens was proposed to improve the manufacturing quality of the lens. The image preprocessing and image edge detection were introduced the morphological operations to realize the contour extraction of a target. The image preprocessing and edge detection were added into the traditional edge detection. Then, VC++ object-oriented programming tools were combined with the image detection for simultaneously processing the qualified lens and the defect lens to find out the faults of the defect lens. Finally, according to the results from the image processing for qualified lens and the defect lens, the difference between the qualified and the defect lenses is judged, thus the arc surface characteristic contour of the defect lens was extracted. The experimental results show that the accuracy of the designed system is $5.37\ \mu\text{m}$ and the accuracy of the defect detection is 96%. The system can realize the edge extraction and edge detection

收稿日期:2015-06-02;修订日期:2015-06-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60808020, No. 61078041);国家科技支撑计划资助项目(No. 2014BAH03F01);天津市应用基础及前沿技术研究计划资助项目(No. 10JCYBJC07200)

of arc surface of the microscope lens.

Key words: miniature microscope; lens; arc surface defect; image preprocessing; edge detection; VC++

1 引言

由于对微小装置的功能、性能及可靠性等的要求越来越高,近年来,微型显微镜的发展与应用变得越来越迅速和广泛。美国加州伯克利大学的科研小组研制出了能深入到细胞内部进行观察和采集微米级图像的微型显微镜^[1-3]。在微型显微镜组件中,镜头是关键部件之一,需要依赖图像处理技术来提取显微镜镜头边缘,所以检测显微镜的镜头质量的优劣具有重要意义。在生产显微镜镜头的模具时,要对其进行严格检测,看其圆弧边缘是否有缺陷,以及直径和圆弧半径等参数是否满足设计需要。然而,单一的检测算法很难取得很好的效果,多种算法的融合是检测发展的必然趋势^[4],国内外很多学者先后提出了使用小波变换、BPF 神经网络、Canny 边缘检测算子以及形态小波等方法来检测边缘,但是上述方法中大部分都是基于高频分量的边缘检测,忽略了低频分量上所包含的部分信息^[5-6]。

边缘检测的实质就是采用某种算法或者多种算法的结合来提取图像中对象与背景间的交界线,并用边缘检测算子构造模板,在每个像点的邻域内做卷积运算,输出边缘幅度后通过阈值比较判定其是否为满足条件的边缘点^[7-8]。在检测过程中,先进行图像预处理可大幅降低噪声对边缘检测的影响,其中首先进行的灰度变换和形态学处理是预处理图像的关键,而后进行锐化处理和形态学运算。

本文提出的显微镜镜头圆弧表面的边缘检测系统,能够完成从最初的图像采集到最终的边缘提取的全部检测过程,克服了之前算法中图像采集与处理需要单独、重复进行的缺点。当发现图像效果不理想时,可以及时进行重复采集,减少了图像处理返回到图像采集的时间,从而可以减轻研究者的工作负担,提高工作效率。

2 系统总体方案设计

微型显微镜镜头的尺寸很小,故曲面特征对

其影响很大,若直接对镜头进行采集,采集到的图像可能达不到图像处理的最低要求,同时获取到的图像可能会丢失重要边缘信息,后续图像处理困难。而显微视觉通过对被测物体聚焦,可以获得清晰图像,具有视场小、景深短等特点^[9],通过显微镜可以拍摄到镜头的高清晰图像。因此本文选取显微镜对物体进行放大聚焦。

要完成显微镜镜头圆弧表面边缘检测系统的设计,不仅需要良好的硬件设备作为基础支撑,还需要对系统的每一部分进行最优化,最关键的是要合理地设计检测系统使其切合实际,且使每一部分达到理想效果,本文所设计的检测系统如图 1 所示。

图 1 中,显微镜仅用于放大所采集物体的信息,选取普通显微镜即可,若要获得更高质量的图像信息,换成更高级的电子显微镜即可;本文所采用白色的 LED 照明灯作为辅助光源,用于对显微镜载物台上某些部分进行补充光照。亦可采用其它的光源设备,比如智能手机上带的手电筒亦或其它可发光的光源;使用的传输设备是 MEM1300 数字目镜,这种目镜有 1.3 万像素,它适用于任意标准的生物显微镜、立体显微镜和金相显微镜。此目镜可以将图像转化为数字信号,并将其发送到电脑上,这样能够在采集和分析数字图像的同时,还能与他人交流;所采集到的图像可输出到任意一台安装有“图像边缘提取”软件的计算机,以便能够对其进行后续处理;软件处理指使用自主开发的“图像边缘提取”软件对采集到的

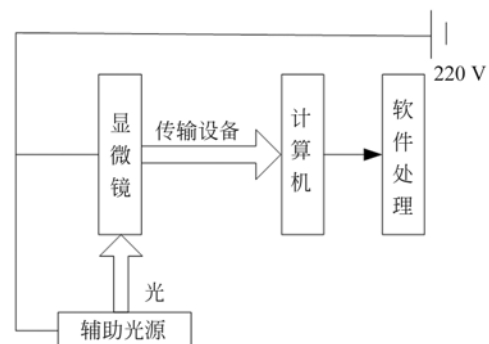


图 1 系统总体方案设计

Fig. 1 Overall system of image detection

图像进行相关处理,并最终得到所需要的边缘信息。“图像边缘提取”软件要实现的主要功能包括:图像预处理(包括灰度变换及相关的滤波环节)、边缘检测(包括锐化处理及边缘提取)以及形态学处理(采用了基本运算开运算及腐蚀);设备连接方法:辅助光源可以自由变换位置为被测对象提供辅助光照;显微镜与计算机之间通过 MEM1300 数字目镜进行传输数据,将数字目镜的镜头放在显微镜的目镜里;输出端通过 USB 接口与计算机进行连接,能够将采集到的图像实时传输到计算机上。

该系统的基本工作原理为:微型显微镜镜头经过显微镜放大后,通过数字目镜将放大后的图像转化为数字信号,并发送给计算机,在计算机上使用“图像边缘提取”软件进行图像处理。由图 1 可知,当镜头经过显微镜聚焦放大后,数字目镜采集其图像并将采集到的图像传输到计算机中,在计算机上使用软件对图像进行处理,从而实现镜头的非接触性检测。

3 边缘检测系统的图像处理方法

3.1 图像处理流程

显微镜镜头检测在传统检测技术上增加了图像预处理等图像处理技术,并在 Microsoft Visual Studio 2012 软件上,利用面向对象的 VC++ 的编程工具,结合相关图像处理技术,自主开发了“图像边缘提取”的软件。本文利用该软件实现了图像采集后对图像边缘进行提取的过程。本文所采用的完整图像处理过程如图 2 所示,全文以提取微型显微镜镜头圆弧表面的轮廓为例,讲述该系统的完整工作过程。

3.2 图像预处理

在进行特征提取之前要先分割图像,将目标特征区域与其背景区分开。图像预处理的主要目的是抑制图像噪声及其它小的波动,以改善图像质量,进而提高图像清晰度^[10]。本文进行图像预处理时,首先将图像的 RGB 彩色颜色模式转化成能反映图像形态特征的灰度图像,再使用平滑处理中的邻域平均法结合中值滤波来减弱或消除图像中的高频分量噪点。本文以在相同背景等条件下采集到的合格镜头与有缺陷的镜头为例作为说明,如图 3 所示。其中,图 3 各小图左侧为合格

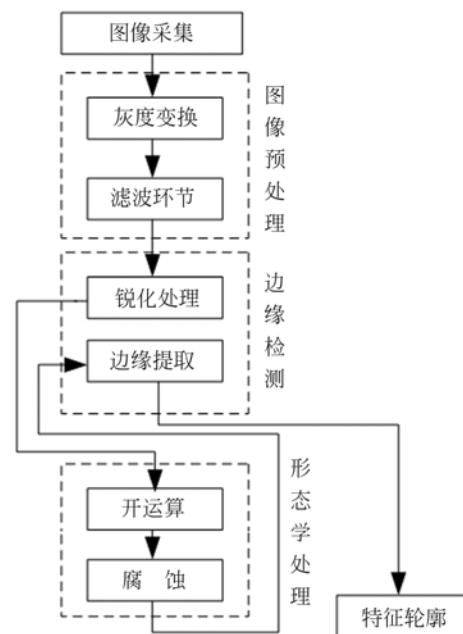


图 2 图像处理流程图

Fig. 2 Flowchart of image processing

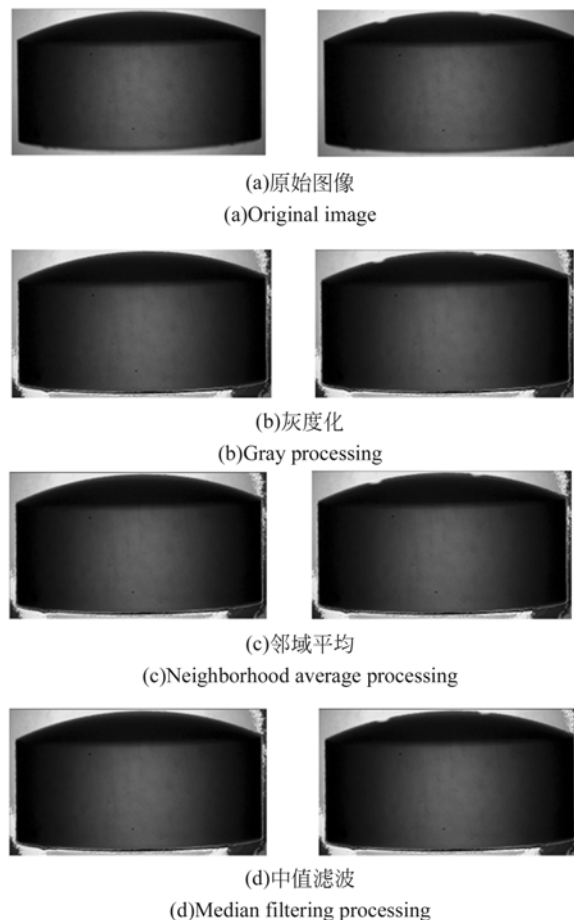


图 3 图像预处理

Fig. 3 Image preprocessing

镜头,右侧为缺陷镜头。

在实际图像处理时,一般根据实际需要可任意组合其它形式的分段线性变换,灵活地控制输出灰度分布,并改善输出图像质量^[11],其函数形式如下:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{y_1}{x_1} x, & x < x_1 \\ \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ \frac{255 - y_2}{255 - x_2} (x - x_2) + y_2, & x > x_2 \end{cases} \quad (1)$$

一般情况下,都要限制 $x < x_1, y_1 < y_2$,从而保证函数是单调递增的,以避免处理过程中图像灰度级发生颠倒。

邻域平均处理方法是以前图像模糊为代价来减小噪声的,其采用模板运算,且模板尺寸越大,噪声减小的效果越显著,具有良好的噪声平滑效果,是最简单的一种平滑方法^[12]。运算过程中一般采用高斯模板,它在数学中的表现就是卷积运算,其数学表达式为:

$$g(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{i,j=s} F(i, j) =$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i,j=s} f(i, j) + \frac{1}{N} \sum_{i,j=s} h(i, j), \quad (2)$$

式中: $g(i, j)$ 为进行邻域处理后的图像; $F(i, j)$ 为含有噪声的图片信号, $F(i, j) = f(i, j) + h(i, j)$; $f(i, j)$ 为图像信号; $h(i, j)$ 为噪声, S 为点 (x, y) 邻域内的点集。

中值滤波法是一种减少边缘模糊的非线性平滑技术,在一定条件下,其可以克服邻域平均所带来的图像细节模糊,能完整地保存边缘信息,而且对脉冲干扰及图像扫描噪声最为有效^[13],因此在进行邻域平均后采取中值滤波进行图像消噪。

中值滤波运算方法是用某种结构的二维滑动模板,将模板内像素按照像素值的大小进行排序,生成单调上升(或下降)的为二维数据序列。

二维中值滤波输出为:

$$g(x, y) = \text{med}\{f(x - k, y - 1), (k, 1 \in W)\}, \quad (3)$$

其中: $f(i, j), g(i, j)$ 分别为原始图像和处理后图像。 W 为二维模板,通常为 $3 \times 3, 5 \times 5$ 区域,也可以是不同的形状,如线状、圆形、方形和圆环形等。

3.3 边缘检测

边缘检测是图像分析中的关键技术,是进行图像轮廓跟踪的主要环节,实现这一过程的主要步骤就是图像锐化。图像锐化能够增强图像边缘及灰度跳变的部分,使图像轮廓变得清晰。本文所采用的锐化方法有 Prewitt 算子、Sobel 算子和 Roberts 算子,它们都可以用一组卷积掩模来表示,每个掩模对应某个方向,一般有 3 个基本模板^[14]。对于 Prewitt 算子来说,它近似一阶导数,其它模板可以通过简单的基本旋转得到:

$$\mathbf{h}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{h}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Sobel 算子所对应的模板算子如下:

$$\mathbf{h}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{h}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Sobel 算子通常用于一个水平或垂直的简单算子,使用 \mathbf{h}_1 和 \mathbf{h}_3 ; 如果 \mathbf{h}_1 的响应是 x, \mathbf{h}_3 的响应是 y , 则可以根据下式得到强度(幅值):

$$\sqrt{x^2 + y^2} \text{ 或 } |x| + |y|. \quad (6)$$

且它的方向为 $\arctan(y/x)$ 。

Roberts 算子是最古老的算子之一,其计算非常简单,它的卷积掩模是:

$$\mathbf{h}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{h}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

因此边缘幅值计算如下:

$$|g(i, j) - g(i + 1, j + 1)| + |g(i, j + 1) - g(i + 1, j)|. \quad (8)$$

对图 3(d) 中值滤波后的图像采用上述 3 种算子进行锐化处理,结果如图 4 所示(同样左侧为合格镜头,右侧为缺陷镜头)。

从图 4 可以看出,由于 Prewitt 算子对图像加权平滑后再微分,故对噪声具有一定的抑制能力,但其不能完全排除虚假边缘,结果它的定位效果虽好,却容易产生多像素宽边缘。Sobel 算子与 Prewitt 算子类似,也是进行加权平滑,故处理

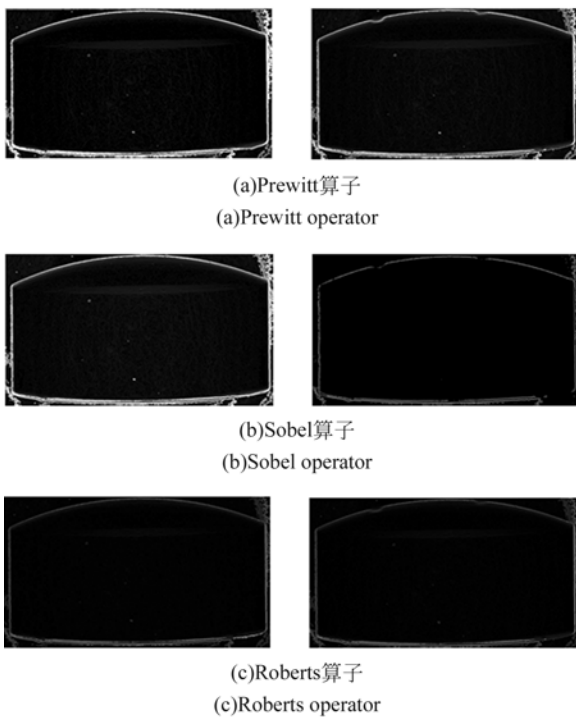


图 4 锐化处理

Fig. 4 Sharpening processing

效果近似,不同点在于,Sobel 算子认为邻域像素对当前像素产生的影响不是等价的,所以距离不同的像素具有不同的权值,对结果的效果影响也不相同,一般来说,距离越远产生的影响越小。Roberts 算子是利用局部差分算子寻找边缘的,

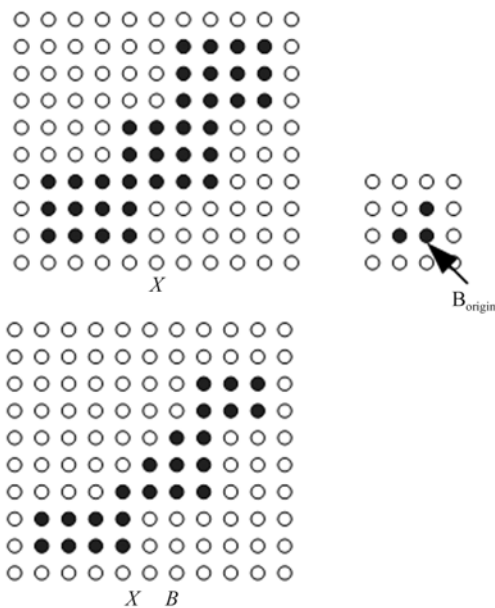


图 5 膨胀运算过程

Fig. 5 Expansion operation processing

故边缘定位高,但对噪声比较敏感,容易丢失部分边缘信息。因此,在图像处理过程中,可以根据实际需要选取不同的锐化方法,以达到理想的效果。

由于图像处理的方法多种多样,处理的顺序亦不相同,为了达到良好的处理效果,本文将边缘检测中的边缘提取作为图像轮廓提取的最后步骤,来进一步提取图像轮廓。

3.4 形态学运算

图像处理中的形态学运算是通过物体和结构元素相互作用的某些运算,可以得到物体更本质的形态,主要用来简化图像、量化和保留物体的主要形状特征,从而达到改善图像质量的目的^[15]。

基本的形态学运算是腐蚀和膨胀,腐蚀是消除边界点,使边界向内部收缩的过程,膨胀是腐蚀的对偶运算,是使边界向外扩张的过程,其它的运算方法都是在这两个运算基础上变换出来的。

膨胀采用向量加法对两个集合进行合并,是所有向量加之和的集合,可以得到任意可能的组合,其数学表达式如下^[16]:

$$X \oplus B = \{ p \in \epsilon^2, p = x + b, x \in X \text{ 且 } b \in B \}, \quad (9)$$

图 5 为膨胀运算示意图,拿结构元素 B 的中心点和被处理图像 X 上的点及 X 周围的点一个一个地进行对比,如果 B 上有一个点落在 X 的范围内,则该点就为黑;右边是膨胀后的结果。可以看出,它包括 X 的所有范围,就像 X 膨胀了一圈。

腐蚀是一种消除边界点,使边界向内部收缩的过程,可以用来消除较小且无意义的物体,是膨胀的对偶运算^[17],但它们是不可逆运算^[17],一般意义的腐蚀概念定义为:

$$E = X \odot B = \{ (x, y) \mid B_{x,y} \subseteq X \}. \quad (10)$$

图 6 为腐蚀运算的过程的示意图,同样拿 B 的中心点和 X 上的点一个一个地进行对比,如果 B 上的所有点都在 X 的范围内,则保留该点,否则将该点去掉;右边是腐蚀后的结果。可以看出,它仍在原来的 X 范围内,且比 X 包含的点要少,就像 X 被腐蚀掉了一层。

开运算是先腐蚀后膨胀的过程,用来消除小物体,在纤细点处分离物体,在平滑较大物体边界的同时并不明显改变其面积。

$$OPEN(X, B) = X_B = X \circ B = (X \otimes B) \oplus B. \quad (11)$$

图 7 为开运算实现过程。

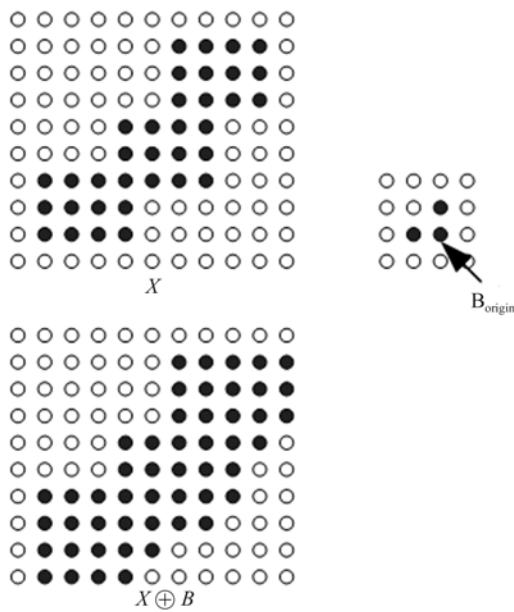


图 6 腐蚀运算过程
Fig. 6 Corrosion operation processing

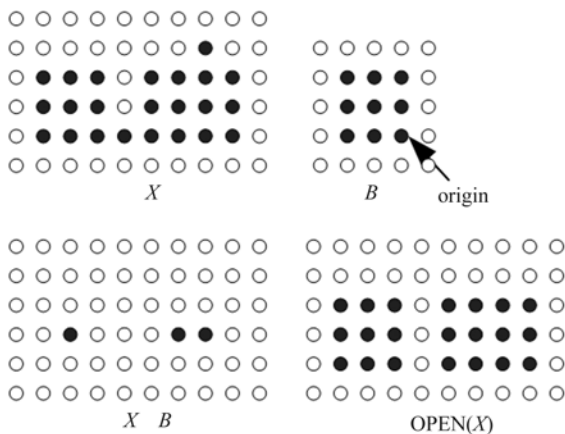


图 7 开运算
Fig. 7 Open operation

本文采用的是先腐蚀后膨胀的开运算,来消除小物体、在纤细点处分离物体以及平滑大物体边界,在经过锐化处理后的图 4(a)和图 4(b)的基础上进行开运算后,腐蚀得到的结果如图 8 所示。

Roberts 算子的定位比较精准,故可以不用进行形态学处理,直接进行边缘提取,最后对图 8 (a)、(b)以及图 4(c)分别进行边缘检测中的边缘提取,得到的最终结果为图 9。

本文随机选取了 50 个缺陷镜头作为实验样品集来验证系统的缺陷检测精度,使用本检测系统得到的检测结果如表 1。

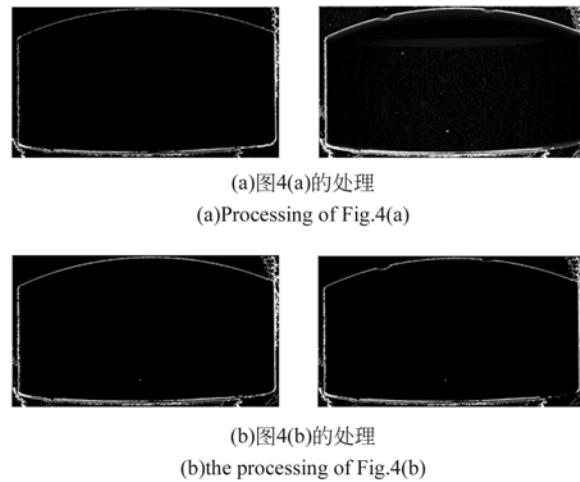


图 8 形态学运算
Fig. 8 Morphological operation

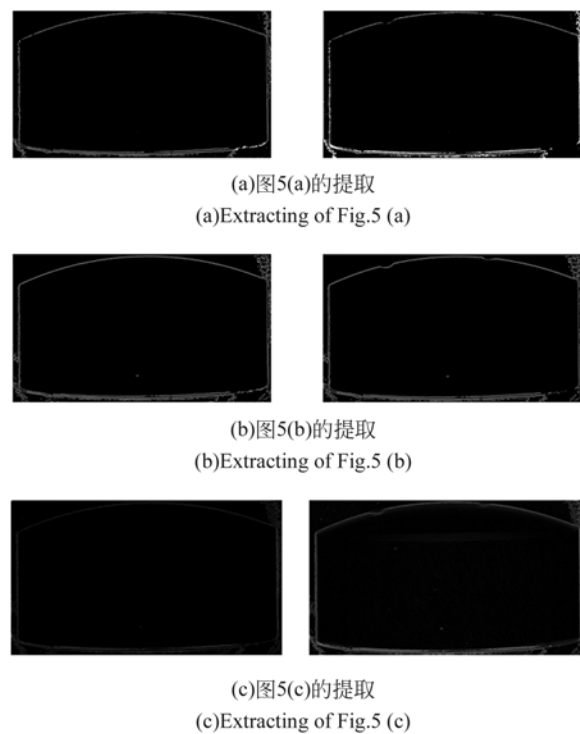


图 9 特征提取
Fig. 9 Feature extraction

表 1 缺陷检测结果
Tab. 1 Results of flaw detection

缺陷性质	缺陷个数	百分比/(%)
划痕	23	46
凸起	12	24
毛刺	8	16
其它	5	10

由表 1 可知,该检测系统的缺陷检测精度为 96%,其不但可以检测到圆弧表面的缺陷,还可以清晰提取到缺陷形状,这样可以根据缺陷形状对缺陷镜头进行分类回收处理,减少资源浪费。

4 结 论

本文针对显微镜镜头生产中镜头圆弧表面缺陷检测问题,提出了显微镜镜头圆弧表面缺陷检测系统。本文在传统的图像边缘检测中,加入了图像预处理方法,从而可以较好地实现目标的轮廓提取,在一定范围内,可以满足特征轮廓提取的要求。采用相同的处理过程进行缺陷镜头圆弧轮

廓的提取,可以很清晰地提取出轮廓,由结果图可以很明显地看到,缺陷镜头圆弧有瑕疵,对合格镜头与缺陷镜头采用相同处理过程,可以起到验证作用,排除其它干扰因素。实验结果表明:本设计系统的像素精度为 $5.37\mu\text{m}$,缺陷检测精度可达 96%。此外,在对微型显微镜镜头圆弧表面缺陷的边缘提取与检测的同时,还可以实现对镜头的某些处理,为其它的数据提取做准备。目前,需要进一步进行研究和改进的是对兴趣区域的有选择性的采集和放大,也可以对图像处理和参数的检测方法进行改进,以降低误差值,来提高系统的总体精度。

参考文献:

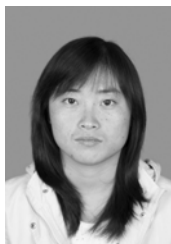
- [1] 杨丽雯,曾朝阳,张永继.一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测方法[J].国外电子测量技术,2012,31(2):27-30.
YANG L W, ZENG CH Y, ZHANG Y J. Method for the edge detection of gray-scale image based on mathematical morphology [J] *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2012, 31(2): 27-30. (in Chinese)
- [2] 辛国江.模拟人类视觉机理的图像处理方法[D].南京:中南大学,2013.
XIN G J. *Simulation mechanism of human visual image processing method* [D]. Nanjing: South University, 2013. (in Chinese)
- [3] SUNG W P, SHIH M H, ZHAO Y K. Digital Image Correlation (DIC) method for detecting crack development in construction materials subject to loading[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2011: 44-47(1-4), 2524-2528.
- [3] WANG Y F, WANG X Y, XU W J, et al.. Study on laser cutting quality of aluminum alloy sheet based on image processing[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2014, 6, 41(1).
- [4] SONKA M, HLAVAC V. 图像处理分析与机器视觉[M].北京:清华大学出版社,2012.
SONKA M, HLAVAC M. *Image Processing, Analysis And Machine Vision*[M]. Beijing: Tsinghua university press, 2012. (in Chinese)
- [5] WANG Y F, WANG X Y, XU W J, et al.. Study on laser cutting quality of aluminum alloy sheet based on image processing[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2014, 6, 41(1). (in Chinese)
- [6] 罗菁,林树忠,唐湘琳,等.基于 ZOPCA 和 EBFNN 的指纹识别方法[J].光学精密工程,2008,16(9):1773-1780.
LUO J, LIN SH ZH, SHAN X L, et al.. A novel fingerprint recognition algorithm based on ZDPCA and EBFNN [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(9): 1773-1780. (in Chinese)
- [7] DUBEY R, SINGH R P, JAIN S, et al.. Quantum methodology for Edge detection: A compelling approach to enhance edge detection in digital image processing[C]. 2014 5th International Conference on Confluence-the Next Generation Information Technology Summit Confluence, 2014: 631-636.
- [8] 孙茜,封皓,曾周末.基于图像处理的光纤预警系统模式识别[J].光学精密工程,2015,23(2):334-341.
SUN Q, FENG H, ZENG ZH M. Recognition of optical fiber pre-warning based on image processing [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(2): 334-341. (in Chinese)
- [9] 周丽平 孙志峻 张泉.显微视觉系统的自动聚焦及控制[J].光学精密工程,2013,21(3):807-812.
ZHOU L P, SUN ZH J, ZHANG Q. Auto-focusing and control of micro-vision system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(3): 807-812. (in Chinese)
- [10] 赵文达,续志军,赵建,等.基于梯度直方图变换增强红外图像的细节[J].光学精密工程,2014,22(7):1962-1968.
ZHAO W D, XU ZH J, ZHAO J, et al.. Enhancement of infrared image detail based on gradient his-

- togram transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(7): 1962-1968. (in Chinese)
- [11] 冯志庆, 杨英慧, 郭景富, 等. 基于神经网络的点目标多光谱信息融合识别方法[J]. *光学精密工程*, 2003, 11(4): 412-415.
FENG ZH Q, YANG Y H, GUO J F, *et al.*. Fusion recognition of dot target multi-spectrum data based on ANN[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(4): 412-415. (in Chinese)
- [12] 陆颖, 宋建中. 模式识别理论在指纹自动识别中的应用[J]. *光学精密工程*, 1998, 6(1): 31-35.
- LU Y, SONG J ZH. The research on applications of pattern recognition in fingerprint identifying [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(1): 31-35. (in Chinese)
- [13] 吕游, 王崇倡. 小波阈值去噪法在非稳定信号处理中的应用[J]. *测绘工程*, 2014, 23(4): 55-57.
LV Y, WANG CH CH. Application of wavelet denoising method in non-stable signal[J]. *Engineering of surveying and mapping*, 2014, 23(4): 55-57. (in Chinese)

作者简介:



郭庆华(1978—),男,河南人,博士,教授,2001年、2004年于西安电子科技大学分别获得学士、硕士学位,2008年于香港城市大学获得博士学位,主要从事信号处理、三维重建、精密测量及自动控制方面的研究。E-mail: qhguoau@gmail.com



刘海霞(1990—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,2014年于天津工业大学获得学士学位,主要从事机器视觉和图像处理等方面的研究。E-mail: 1641552335@qq.com



宋丽梅(1976—),女,河北秦皇岛人,博士,教授,1999年、2001年和2004年于天津大学分别获得学士、硕士和博士学位,主要从事计算机视觉、三维光学测量、逆向工程和模式识别等方面的研究。E-mail: lilimay1976@126.com



习江涛(1962—),男,河南宜阳人,博士,教授,1982年于北京理工大学获得学士学位,1985年于清华大学获得硕士学位,1995年于澳大利亚伍伦贡大学获得博士学位,主要从事光电信号处理、机器视觉、三维重建和图像处理等方面的研究。E-mail: jiangtao@uow.edu.au