一种新的光学元件表面划痕检测算法

冯凯萍1,吕笑文1,张丽文1,杨耀雨1,陈良奇1,江晓亮12

(1.衢州学院 机械工程学院,浙江 衢州 324000; 2. 西南交通大学 机械工程学院,四川成都 610031)

摘要:针对光学元件表面划痕存在的对比度低、边界模糊等问题,提出一种基于局部熵的表面划痕检测方法。首先利用局部熵算法对光学元件表面缺陷进行分割,然后结合区域填充、断点连接等形态学操作对图像进行处理,从而得到完整连续的划痕区域。实验结果证明,该算法能够有效地识别弱划痕,且在准确性和分割效率方面有明显的优势,可以满足实际应用的需要。

关键词:光学元件;划痕检测;局部熵;图像处理;形态学操作

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1009-3044(2018)01-0230-03

DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2018.0216

A New Algorithm for Measuring Scratches on Optical Element Surface

FENG Kai-ping¹, LV Xiao-wen¹, ZHANG Li-wen¹, YANG Yao-yu¹, CHEN Liang-qi¹, JIANG Xiao-liang^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Quzhou University, Quzhou 324000, China; 2. College of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at the problems of low contrast and fuzzy boundaries on the scratches of optical element surface, this paper proposed a detection method of surface scratches Based on local entropy. Firstly, the surface defects of optical element are segmented by local entropy algorithm. Then, the image is processed to get the full continuum of the scratch area by using morphological operations such as area filling, breakpoint connection. Experimental results demonstrate that the proposed method can effectively extract weak scratches and has obvious advantages in accuracy and segmentation efficiency, which can meet the needs of engineering practice.

Key words: optical element; scratch detection; local entropy; image processing; morphological operations

1 背景

在现实生活中,光学元件的应用无处不在。大到航天、军事、科学研究等精密仪器,小到眼镜、手表、医学、农业等日常用品。无论光学元件应用在哪个领域,其表面划痕、麻点、破边等凹各种疵病,如图1所示,它们所引起的衍射和散射都将严重降低光学系统的性能。为此,对光学元件表面疵病检测技术的研究显得尤为重要[2-3]。





图1 表面划痕及麻点 现如今,国内外有较多方法可以进行精密光学元件表面疵

病的检测,主要包括目视法[4-5]、成像法[6-7]等。其中最基本、最常用的是目视法,但这种方法的缺点也是显而易见的,主要包括:对观察者的知识结构和实践经验水平要求较高,而且无法量化疵病等级、费时费力、劳动强度较大。

为了有效地提取光学元件的表面划痕,提出一种基于局部 熵的划痕边缘检测方法。通过实验表明,该方法受光照不均的 影响较小,处理速度较快,具有重要的理论价值与实际应用 背景。

2局部熵算法

1948年,Shannon[®]首先提出了熵的概念,它的描述如下:设某个概率系统中有n个事件 x_1, x_2, \dots, x_n ,第i个事件发生的概率是 P_i ,则信息熵可被定义成:

$$E(I) = -\sum_{i=1}^{n} P_i \log P_i \tag{1}$$

在任一灰度图像中,不同的像素点拥有不同灰度值,如果 把信息熵理论引入到图像处理算法中,即将图像看成是一段信

收稿日期:2017-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51605253); 浙江省自然科学基金项目(LY16E050011); 浙江省公益技术应用研究项目(2016C37058, 2016C31127)

作者简介:冯凯萍(1987—),男,讲师,硕士,主要方向为精密加工技术及其装备研究;江晓亮(1987—),男,讲师,博士,主要方向为图像处理和模式识别、图像分割。

本栏目责任编辑:梁 书

息的话,那么其中的像素点就是一个信息,灰度就是信息的不确定性。于是,可以利用信息熵计算出整幅图像的灰度的分布,进而对图像进行识别、分析或分割。

假设对于一幅图像 $I:\Omega \subset R^2$,图像域中的每一个点 x 都存在一个半径为 r 的邻域 $\Omega_x \subset \Omega$ 。根据熵的定义,给出图像局部熵的表达式如下^[9]:

$$E(x, \Omega_x) = -\frac{1}{\log |\Omega_x|} \int_{\Omega_x} P(y, \Omega_x) \log P(y, \Omega_x) dy$$
 (2)

其中, Ω_x 是以x为中心的一个邻域,y是邻域中的像素, $P(y,\Omega_x)$ 为邻域像素灰度级的分布函数,则 $P(y,\Omega_x)$ 可以表示为:

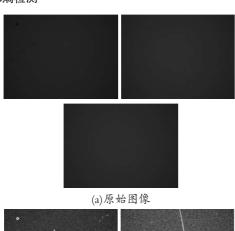
$$P(y, \Omega_x) = I(y) \int_{\Omega} I(z) dz, \quad y \in \Omega_x$$
 (3)

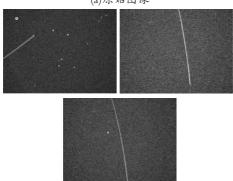
根据香农信息熵的定义,在图像局部区域内灰度值接近的 地方(即同质区域),熵值比较小;相反,在图像边缘或者噪声区 域时,由于灰度值变化较大,熵的值也很大。

3基于局部熵的划痕检测算法

基于局部熵的划痕检测算法的基本流程是:首先利用局部 熵算法对缺陷图像进行处理,然后结合二值化、断点连接、区域 填充等形态学操,从而来得到完整的划痕区域。

3.1 局部熵检测





(b)局部熵检测结果

图 2 原始图像与局部熵检测结果

如图2所示,(a)为利用疵病检测系统所采集的原始图像数据,(b)是局部熵检测结果。从图中可以发现,局部熵能够精确地找到目标与背景之间的灰度变化边界,即在局部熵的空间下,图像具有明显的背景和前景。通过局部熵操作,图像中划痕与背景之间的灰度差值进一步扩大。

3.2 二值化处理

为了更好地体现出划痕的特性,需要对检测结果进行二值 化操作[10,11],从而得到需要显示的那个部分,其结果如图3所 示。经二值化处理之后划痕等缺陷的特征更加明显,但部分划 痕出现不同程度的断裂,且在图像中存在一些干扰因素,如灰 尘、噪音等。

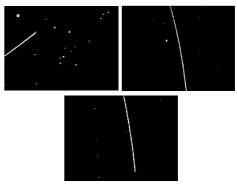


图3 二值化处理后图像

3.3 形态学操作

划痕边缘的断裂会在一定程度上影响划痕的精度等级,需要进行膨胀、细化等形态学操作[12-14],从而消除目标不连续问题;而处理后的划痕内部仍然存在少数空洞,因此要利用MAT-LAB中的imfill函数进行区域填充,处理后的结果如图4所示。



图 4 形态学处理后图像

3.4 去除小面

从图4中可以发现,形态学操作后的图像中存在许多白点,因此需要进行去除小面积操作,其目的是为了除去灰尘、过小麻点(直径小于5微米的可忽略不计)等部分干扰^[15],得到独立的疵病信息,处理后的结果如图5所示。

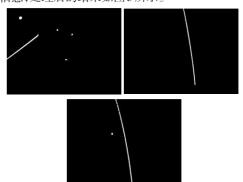


图 5 去除小面积后图像

3.5 剔除麻点

国标中规定,长宽比大于4:1的为划痕,小于4:1的即为麻点。为了提取划痕的参数信息,首先需将连通区域进行标记,然后利用外接矩形的尺寸来表达它的基本形状,如图6所示。

 通过计算连通区域的长宽比来得到连通区域的各个参数,具体表达式为^[16,17]:

$$E = L_{W}$$
 (4)

式中, E 表示长宽比的值, L 和 W 分别为连通区域外接矩形的长度与宽度。

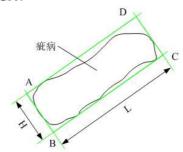


图6 外接矩形示意图

根据麻点的形态特点,滤去图像中长宽比小于4:1的区域,从而获取独立的划痕缺陷信息,其处理结果如图7所示。

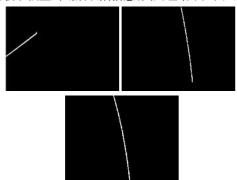


图7 去除麻点后图像

从图中可以看出,虽然划痕与周围邻域的对比度不明显,本文算法也能够有效地提取划痕所在的区域,且与专家观测得到的结果非常接近。从时间上看,专家在高倍镜下观测疵病等级耗时较长(平均在30min左右),且无法量化疵病等级、费时费力、劳动强度较大。而本文算法处理一张图像所需要的时间约0.5s(若采用VC+多线程,运行速度更快)。故本文所提出算法在精度和效率上都有一定的优势,便于实现工程应用。

4 结束语

本文以光学元件表面图像为对象,针对划痕存在的对比度低、边界模糊等问题,提出一种基于局部熵的表面划痕检测方法。该方法能够有效地识别弱划痕,受光照不均的影响较小。然而,对于曲率半径较大的光学元件有一定的局限性,会对划痕的检测结果产生影响,这些问题仍需做更深一步的研究。

参考文献:

- [1] 光学零件表面疵病: GB/T 1185-2006 [S]. 北京: 中国标准 出版社. 2006.
- [2] 苏森. 大口径光学元件表面疵病检测[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017.
- [3] 王兰, 吕昊. 基于数字图像的光学元件表面缺陷检测[J]. 激光杂志, 2017, 38(1):47-50.
- [4] 赵丽敏. 基于机器视觉的表面缺陷定量检测技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [5] 王璠璟, 肖文, 潘锋, 等. 光学元件表面的数字全息在线检测 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(6):1182-1187.
- [6] Conder A, Chang J, et al. Final optics damage inspection (FO-DI) for the national ignition facility [J]. Optics & Photonics for Information Processing IV, 2010, 7797(1):125-131.
- [7] 王世通, 杨甬英, 赵丽敏, 等. 光学元件表面缺陷散射光成像数值模拟研究[J]. 中国激光, 2015, 42(7):1-10.
- [8] Shannon C. A Mathematical Theory of Communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27: 379-423.
- [9] Jiang X, Li B, Yuan J, Wu X. Active contour driven by local Gaussian distribution fitting and local signed difference Based on local entropy [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. 2016, 30(3):1655011.
- [10] 张万绪, 孟虹岐, 吴长忠, 等. 弱光背景下文本图像二值化 提取算法[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2017, 47(2):191-196
- [11] 潘梅森, 张奋, 雷超阳. 一种车牌号码图像二值化的新方法 [J]. 计算机工程, 2008, 34(4):209-211.
- [12] 张博, 倪开灶, 王林军, 等. 基于背景校正和图像分割定量分析光学元件表面疵病的新算法[J]. 光学学报, 2016(9):112-121.
- [13] 于广婷, 朱聪, 李柏林, 等. 光学图像中一种新的边界断点连接方法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(4):1264-1266.
- [14] Tao X, XU D, Zhang Z T, et al. Weak scratch detection and defect classification methods for a large aperture[J]. Optics Communications, 2017, 387; 390–400.
- [15] 李璐, 杨甬英, 曹频, 等. 大口径光学元件表面灰尘与麻点自动判别[J]. 强激光与粒子束, 2014, 26(1):103-108.
- [16] 朱聪, 于广婷, 李柏林, 等. 一种新的精密光学镜片表面疵病宽度测量方法[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(12):259-261.
- [17] 陈少杰, 李柏林, 赵文川, 等. 一种快速鲁棒的光学表面划痕高精度检测方法[J]. 激光技术, 2016, 40(3):377-382.