

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

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<sup>[9]</sup>:

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

其中,  $\Omega_x$  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:

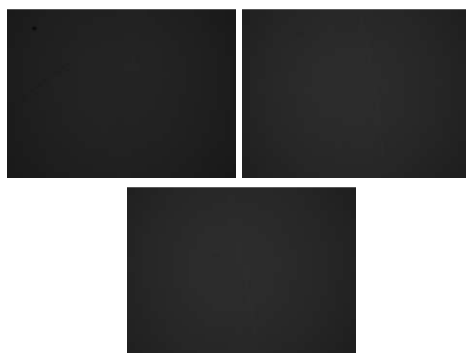
$$P(y, \Omega_x) = I(y) \int_{\Omega_x} I(z) dz, \quad y \in \Omega_x \quad (3)$$

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。

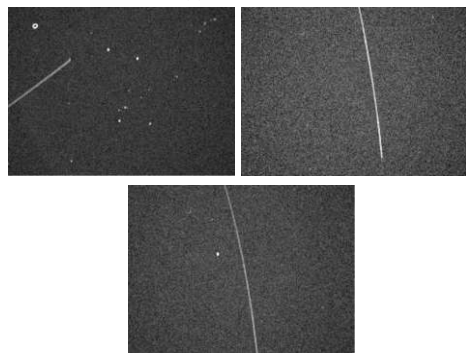
### 3 基于局部熵的划痕检测算法

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作,从而得到完整的划痕区域。

#### 3.1 局部熵检测



(a) 原始图像



(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<sup>[10,11]</sup>,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。

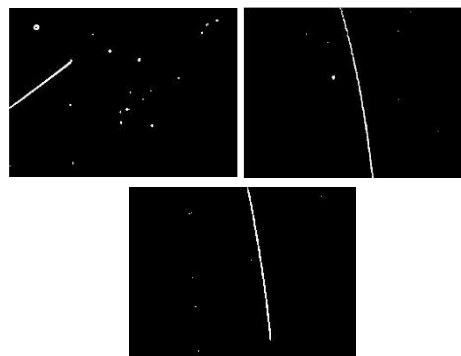


图3 二值化处理后图像

#### 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<sup>[12-14]</sup>,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 MATLAB 中的 imfill 函数进行区域填充,处理后的结果如图4所示。

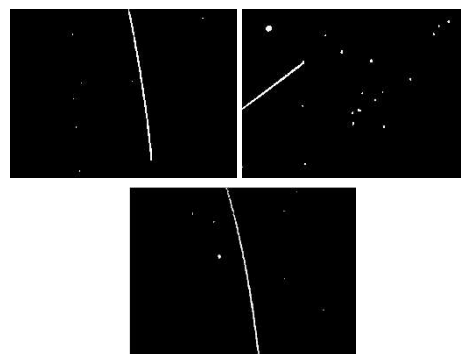


图4 形态学处理后图像

#### 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<sup>[15]</sup>,得到独立的疵病信息,处理后的结果如图5所示。

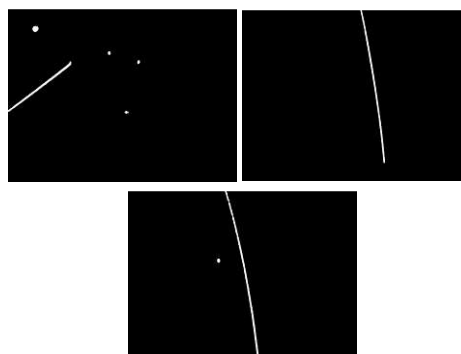


图5 去除小面积后图像

#### 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<sup>[16,17]</sup>:

$$E = L/W \quad (4)$$

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。

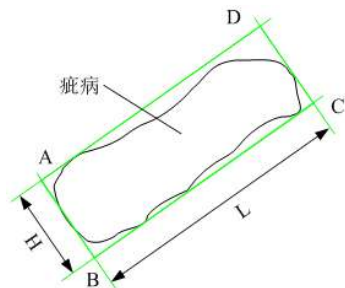


图6 外接矩形示意图

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。

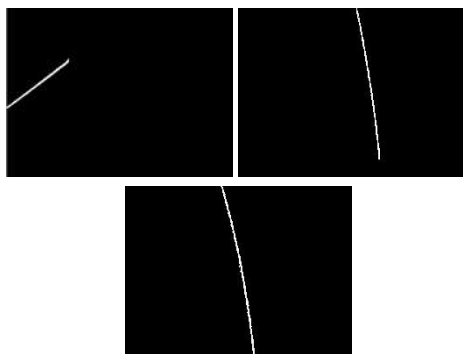


图7 去除麻点后图像

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] 王璠璠, 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.