DOI：10.13382/j.jemi.B2104620

光器件金线图像高光区域的检测与去除

叶　婷[1]　赵立宏[2]　李　明[3]　王炀其[3]

（1.南华大学电气工程学院　衡阳　421000；2.南华大学核科学技术学院　衡阳　421000；
3.浙江兰特普光电子技术有限公司　诸暨　311800）

摘　要：针对视觉检测过程中光器件金线表面出现的高光现象，提出一种光器件金线图像高光区域的检测与去除方法。首先，根据采集的金线图像进行特征分析，利用 OTSU 算法分割高光区域；其次，调用 MATLAB 中的 bwareaopen( ) 函数删除小面积对象，即高光闭合区域，并通过图像的差值运算提取高光区域图像；最后，采用八邻域像素平均值的方法更新高光区域像素值，该方法既可以去除高光区域，又可以保证此区域像素值在图像中的均衡分布。通过仿真实验结果分析，验证了金线图像高光区域检测与去除方法的有效性和可行性，同时为后续金线的质量检测提供有力保障。

关键词：光器件金线；图像处理；OTSU 算法；高光去除

中图分类号：TP391.9　　**文献标识码**：A　　**国家标准学科分类代码**：520.6040

Detection and removal of highlight area in metal wire image of optical device

Ye Ting[1]　Zhao Lihong[2]　Li Ming[3]　Wang Yangqi[3]

（1. School of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang 421000, China;
2. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421000, China;
3. Zhejiang Lightip Technologies Co., Ltd., Zhuji 311800, China）

Abstract: In this paper, aiming at the highlight phenomenon on the surface of optical device metal wire in the process of visual detection, a method for detecting and removing the highlight area of optical device metal wire image is proposed. First, according to the feature analysis of the collected metal wire image, the highlight area is segmented by the OTSU algorithm. Then, the bwareaopen function in MATLAB is called to delete small-area objects, that is, the highlight closed area, and the highlight area image is extracted through the image difference operation. Finally, the pixel value of the highlight area is updated by the method of the average value of the eight-neighborhood pixels. This method not only removes the highlight area, but also ensures the balanced distribution of the pixel value of this area in the image. Through the analysis of simulation experiment results, the effectiveness and feasibility of the method for detecting and removing the highlights of the metal wire image are verified. Meanwhile, it provides a strong guarantee for the subsequent quality inspection of the metal wire.

Keywords: metal wires of optical device; image processing; OTSU algorithm; highlight removal

0　引　言

在现实场景中，具有菲涅尔反射特性的金属材质的物体在光照条件下，其表面易产生镜面反射现象。在图像采集过程中出现的高光区域会掩盖物体的固有颜色信息，使得图像中关键区域缺失，导致用于图像分割和识别的视觉算法产生错误结果，进而影响金线后续检测工作[1]。本文以可调谐半导体激光器中的金线为研究对象，为能够完整提取金线，实现光器件制作过程中金线的缺陷识别工作。因此，研究如何去除光器件金线图像的高光区域至关重要。高光去除方法按其工作原理可归纳为基于偏振光原理的高光去除方法、基于色度图和直方图的高光去除方法以及基于颜色和邻域像素信息的高光去除方法[2]。基于偏振光原理的高光去除方法其本质是利用反射光中镜面反射分量和漫反射分量的偏振量差异

收稿日期：2021-08-09　　Received Date: 2021-08-09

性来削弱镜面反射分量[3-4]。文献[5]使用椭圆偏振法实现镜面物体的三维测量,但需要外加偏振器,增加了测量难度。文献[6]提出一种基于偏振的方法去除图像高光,但图像恢复不完整。文献[7]提出一种用于图像中镜面反射和漫反射分量的分离算法,该算法利用反射光的偏振来获取镜面反射分量颜色的局部和独立估计,但不适用于金属表面产生的镜面反射分量。

对于金属表面产生的高光问题,文献[8]提出一种基于粒子群算法-大津法(PSO-OSTU)的金属工件高光处理方法,该方法利用直方图规定法降低高光区域的灰度值,再通过图像融合算法达到去除高光的目的。文献[9-10]提出一种基于色彩空间转换技术的图像高光去除方法,通过将 RGB 颜色空间转换为 YCbCr 颜色空间,再对其亮度值进行调整以消除金属件表面上的高光,但该方法对图像采集过程中的光照强度有严格限制要求。文献[11]采用频域滤波的方法去除高光,但该方法是应用于结构光三维测量金属部件时形成的高光区域,不适用于金线高光区域的去除。基于颜色和邻域像素信息的高光去除方法实际上是根据图像中高光区域的颜色分布特征检测高光区域,再利用邻域像素信息来实现高光区域的去除[12-15]。文献[12]利用图像高光区域在 HSV 颜色空间中的颜色分布特征检测高光区域,根据饱和度值低而亮度值高的区域“内核”变化判断该区域是否为高光区域,进而选择高光区域的亮度下降幅度对高光区域进行分割,但对亮度变化大且形状复杂的反光区域检测效果不佳。文献[13]提出一种无人船视频监视海面反光区域的检测和去除方法,该方法通过海面图像的 RGB 颜色通道亮度比例关系去除海面的高光区域。除了上述方法外,还有一种方法是根据图像中背景层和反射层移动速度的差异性更新反光区域[16-17],该方法适用于多幅图像的反光区域处理。

目前,在光器件中的金线检测中暂无专门处理金线高光问题的算法,故本文根据金线高光区域像素的分布特点,提出一种针对光器件金线高光区域的检测与去除方法。该方法不需要外加偏振器且对光照强度没有严格要求的条件下实现反光区域的去除。其基本思想是:首先,利用模板匹配方法定位芯片,对芯片进行阈值分割寻找高光区域;其次,根据二值图中金线高光区域为闭合小区域的特征提取高光区域;最后,采用高亮像素点的八邻域像素值去更新高光区域像素值,从而达到金线图像高光区域的去除目的。

1　金线高光区域的检测和分割

通常,物体在光照条件下表面会产生镜面反射,使得图像原始信息丢失,进而出现饱和像素的高光区域。同理,光器件金线在采集图像过程中,金线二次焊接接口处会出现高光现象,造成金线的灰度值分布不均,以至于后期金线提取过程出现的不连续现象,对金线缺陷检测和识别结果产生误判断,因此,在光器件金线的缺陷检测前,必须先解决金线高光问题。金线高光去除过程如图 1 所示。

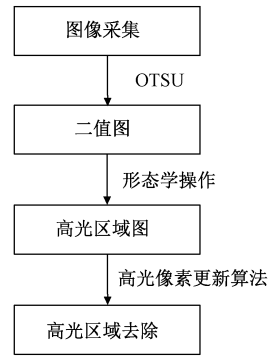

图 1　高光处理流程

Fig. 1　Highlight processing flow

1.1　高光区域的检测

由于本文是针对光器件金线的高光问题,考虑到金线的高光部分主要集中在芯片内部,故本文只针对芯片内部区域中金线的高光问题进行处理。在处理前首先进行模板匹配[18]寻找芯片的位置并将其提取出来。模板匹配基本原理如下。

模板匹配是利用模板图在目标图上依次滑动,每滑动一次,计算模板图与目标图中子图的相似度,最后选择使相似度最大的坐标作为匹配区域矩形的左上角坐标,并以模板图的宽度和高度截取出匹配的子图,该子图即为实际需要获取的最佳匹配图。常用的模板匹配方法有 6 种,分别为平方差匹配法、归一化平方差匹配法、相关匹配法、归一化相关匹配法、相关系数匹配法和归一化相关系数匹配法。综上所述,本文选择归一化相关系数匹配法进行实验,具体原理如下。

假设模板图 T 的大小为 $m \times n$,原图 I 的大小为 $M \times N$,先从原图中选择一块大小为 $m \times n$ 的子图,再从左往右、自上而下进行搜索,每移动一次计算一次当前像素点坐标下模板图和原图重叠部分的相似度函数,相似度函数计算公式如下:

$$R(x,y) = \sum_{x',y'} (T(x',y') \cdot I(x+x',y+y')) \quad (1)$$

式中:(x,y) 为子图左上角在原图 I 中的像素点坐标,$0 \leqslant x \leqslant M-m, 0 \leqslant y \leqslant N-n$;(x',y') 为模板图 T 的像素点坐标,$0 \leqslant x' \leqslant m-1, 0 \leqslant y' \leqslant n-1$。归一化相关系数如下:

$R(x,y) =$

$$\frac{\sum_{x',y'}(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y'))}{\sqrt{\sum_{x',y'}T(x',y')\cdot\sum_{x',y'}I(x+x',y+y')}} \tag{2}$$

归一化相关系数值 $R(x,y)$ 越大表明模板图和原图匹配区域越相似，$R(x,y)=1$ 表明原图匹配区域和模板图相同。

图2所示为LDCOC(laser diode chip on carrier)的灰度图，即本次实验的搜索图。图3所示为模板图，即为芯片图。通过模板图对原图进行搜索，找到原图中的最佳匹配图，如图4所示。其中，星号标记的方框区域为最佳匹配图，最佳匹配图左上角星号标记的位置为最大相关点，标记最大相关点的目的是便于后期匹配子图可以快速映射到原图坐标。

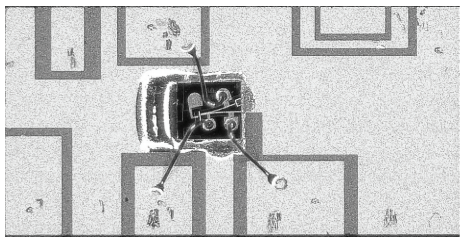

图2　LDCOC原图

Fig. 2　Original image of LDCOC

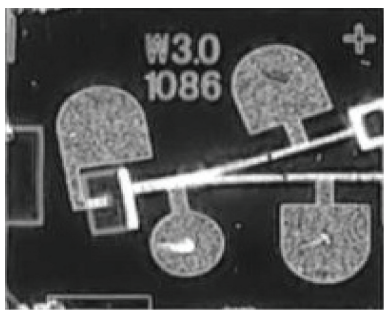

图3　模板图

Fig. 3　Template image

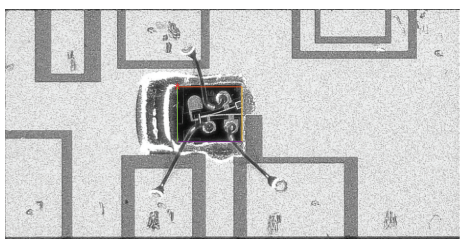

图4　模板匹配后标记图

Fig. 4　Marked image after template matching

1.2　高光区域的分割

图2所示为实验对象原图，中间黑色部分为芯片，由图分析可知，金线的像素值比芯片的像素值略大，而金线高光区域属于高亮像素区域，像素值差别明显，故采用阈值分割的方法分割高光区域。

1)OTSU的基本原理

OTSU是由Nobuyuki otsu提出的一种将图像进行二值化处理的最大类间方差法，又称大津法。该算法通过设定一个阈值将图像分为前景和背景两个部分，使得前景与背景的方差达到最大。

对于图像 $f(x,y)$，其像素总数为 N，灰度变化范围为 $[0,1,\cdots,L-1]$，每个灰度级 i 对应的像素数为 n_i，则每个灰度值出现的概率为：

$$p_i=\frac{n_i}{N}\quad i=0,1,\cdots,L-1 \tag{3}$$

阈值 t 将图像像素分成 C_0 和 C_1 两个区域，则整幅图像的平均灰度为：

$$u=\sum_{i=0}^{L-1}ip_i \tag{4}$$

区域 C_0 和 C_1 的平均灰度分别为：

$$u_0=\sum_{i=0}^{t}\frac{ip_i}{w_0},u_1=\sum_{i=t+1}^{L-1}\frac{ip_i}{w_1} \tag{5}$$

其中，

$$w_0=\sum_{i=0}^{t}p_i,w_1=\sum_{i=t+1}^{L-1}p_i \tag{6}$$

图像的总平均灰度为：

$$u=w_0\cdot u_0+w_1\cdot u_1 \tag{7}$$

前景和背景图像的方差为：

$$g=w_0\cdot(u_0-u)^2+w_1\cdot(u_1-u)^2 \tag{8}$$

式中：w_0 为前景的像素点占整幅图像的比例；u_0 为前景图像的平均灰度；w_1 为背景像素点占整幅图像的比例；u_1 为背景图像的平均灰度；u 为图像的总平均灰度；g 为类间方差。

2)阈值分割结果

根据OTSU分割原理，对模板匹配后的子图进行阈值分割，芯片图阈值分割前和分割后的图像分别如图5、6所示。其中，图5为模板匹配后的子图，图中金线高亮部分即为光照不均匀引起的高光问题，非金线断开。图6为阈值分割后的芯片区域图，由该图可知，阈值分割使得芯片本身黑色区域和金线的非高光区域像素值为0，而芯片中的波导和3个电极以及金线的高光区域为1。故选用OTSU算法可以分割出金线的高光区域。

2　金线高光区域的去除

2.1　高光区域的提取

由于金线高光区域在图片中为高亮像素区域，与周围黑色芯片区域相比较，像素值差别明显，故阈值分割后

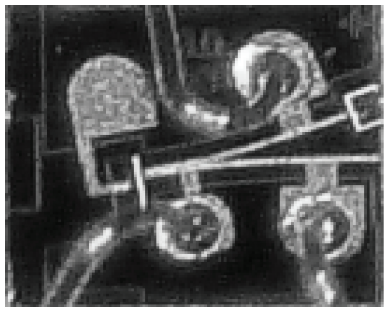

图 5　阈值分割前芯片图

Fig. 5　Chip image before threshold segmentation

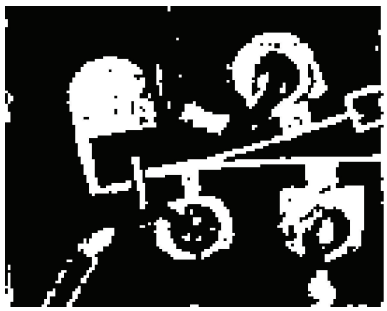

图 6　阈值分割后芯片图

Fig. 6　Chip image after threshold segmentation

的高亮像素区域呈现闭合小区域，同时为了避免对芯片内部的焊盘区域进行误操作，调用 MATLAB 中 bwareaopen( ) 函数删除二值图中小于 150 pixel 的四连通域，得到去除高光区域的二值图像，如图 7 所示。其中，白色区域为芯片中波导和焊盘部分，在实际场景中为一个整体。

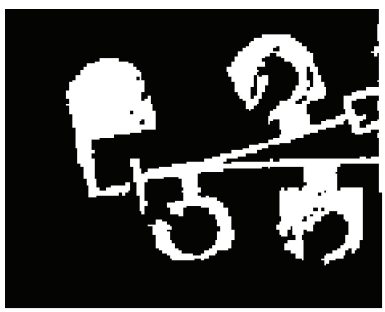

图 7　去除高光区域的二值图

Fig. 7　Binary image with the highlight area removed

再调用一次 bwareaopen( ) 函数删除阈值分割后芯片图中小于 50 pixel 的四连通区域，将图 7 与第 2 次调用 bwareaopen( ) 函数删除的四连通区域图像做差值运算，即可提取高光区域图像，如图 8 所示。

2.2　金线高光区域的去除

去除金线高光区域，其关键因素是处理高光区域的

图 8　金线高光区域二值图

Fig. 8　Binary image of metal wire highlight area

高亮像素，使得该区域能够恢复为真实像素，从而保障后期金线的正确提取，提高金线缺陷判断的概率。考虑本文是通过高亮区域周围的像素值解决高光问题，故对金线高光区域处理前，需要增强目标图像的对比度和亮度以提高图像整体质量[19]。本文选取高斯滤波去除噪声的方法对目标图像进行平滑处理[20]，保留图像的边缘细节特征。一维高斯函数如下：

$$G(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \tag{9}$$

式中：a 为高斯曲线尖峰的高度；b 为尖峰中心对应的坐标；c 为标准方差。

高斯滤波去噪前后的灰度直方图如图 9、10 所示，由图对比分析可以得出，高斯滤波后的图像更加平滑。

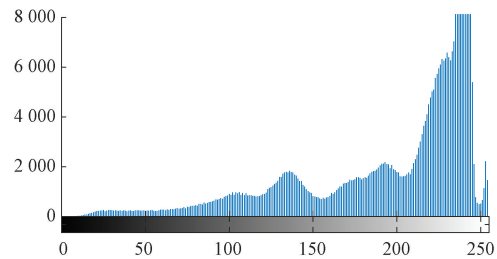

图 9　原图的灰度直方图

Fig. 9　Gray histogram of the original image

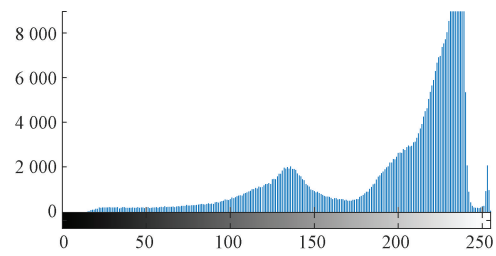

图 10　高斯滤波后的灰度直方图

Fig. 10　Gray histogram after Gaussian filtering

高斯滤波去噪后，需要利用八邻域像素平均值的方法更新高光区域像素值。在高光区域中，其中心像素点

值一般较大,而中心点周围的像素点亮度会随着远离中心点逐渐减弱,故本文采用逐行处理的方式对高光区域进行去除。首先,利用图 8 中高光像素点(白色像素点)坐标 $I_sub(x',y')$ 定位目标图中对应的像素点坐标 $I_gray(x,y)$,将 $I_gray(x,y)$ 周围的八邻域像素值依次与 $I_gray(x,y)$ 进行比较,若周围像素值小于 $I_gray(x,y)$,则保留两者的正差值,否则保留 0,通过保留后的 8 个像素值计算总像素和 I_sum ;其次,分别计算更新后的 8 个像素值与总像素和的比重;最后,计算 8 个像素点的加权和替换当前高亮像素点 $I_gray(x,y)$ 。其流程如图 11 所示,其中掩模图像为本文金线高光区域二值图,即图 8。

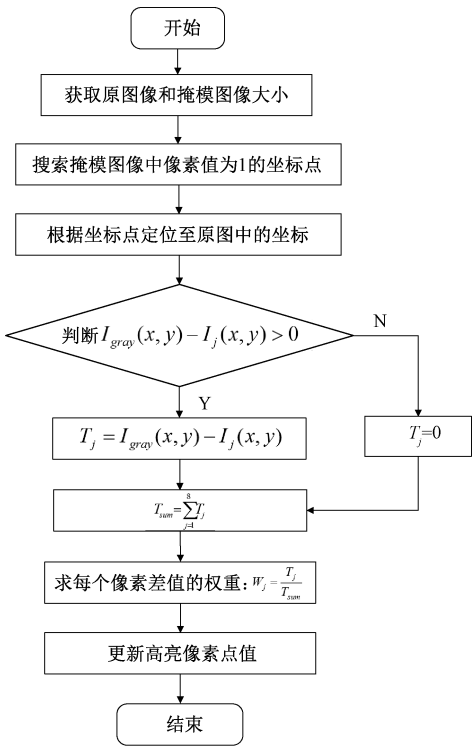

图 11 高光区域去除流程

Fig. 11 The process of removing the highlight area

3 实验结果与分析

3.1 实验对象与实验环境

本次实验选用可调谐激光器 LDCOC 中的金线(即焊线)作为研究对象,如图 2 所示,中间黑色部分为半波耦合 V 型腔可调谐激光器芯片,芯片焊接在垫块的特定位置中,3 根焊线一头分别焊接在芯片的 3 个电极上,另一头焊接在垫块的 3 个绝缘区域内,整个垫块尺寸 2.773 mm×1.367 mm。

实验的软硬件环境如下:硬件采用科士威的 CSW-H200AL 显微镜获取图像,该硬件图像传输稳定性高、高分辨率、色彩还原性强;软件使用 MATLAB 2017b 进行编程和编译,并获取仿真结果。

3.2 实验结果与分析

本文针对金线在芯片内部区域的高光区域进行检测和去除,如图 12 ~ 14 所示。为减少运行时间,首先对 LDCOC 图像进行模板匹配,提取出芯片区域;然后利用形态学处理找到具体高光位置,在处理过程中,小部分的白点也视为高光,处理结果不影响最后的判断;其次,根据芯片中找到的每个高光位置一一对应到 LDCOC 原图像中的位置;最后以高光点在原图中的坐标位置为中心,通过对中心像素点的八邻域像素值来更新中心像素点像素值。

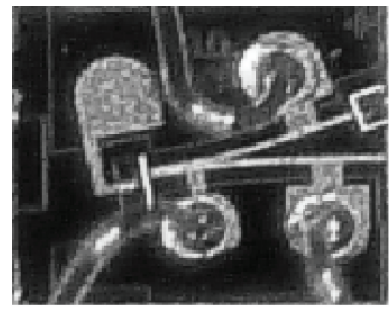

图 12 去高光前芯片

Fig. 12 Chip before highlight removal

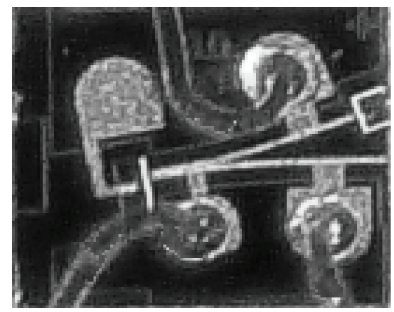

图 13 去高光后芯片

Fig. 13 Chip after highlight removal

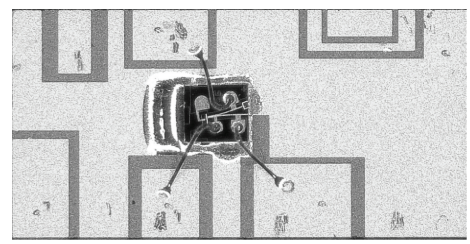

图 14 高光去除

Fig. 14 Highlight removal image

对比图 12、13 可看出,芯片内部的金线高光区域经

过处理后已被填充新的像素值,使得金线图像更加完整。由图 14 可知,本文提出的方法可以解决光器件金线图像中出现的高光问题,并且在去除高光区域高亮成分的同时可实现金线像素值的均匀分布,为后续金线的质量检测提供了检测基础。

4　结　论

本文基于 OTSU 算法和八邻域像素平均值的方法,提出一种解决光器件金线图像高光区域的检测与去除方法,该方法是根据金线高光区域的特点而设计,首先利用模板匹配找到芯片区域,然后根据芯片区域中的像素分布特点以及高光区域的形态特征提取出高光区域,最后针对高光区域中的每个高亮像素点,依次用其八邻域灰度值进行更新。仿真结果验证了本文所提出的方法能够实现光器件金线图像高光区域的检测和去除。因此,未来可以在去除高光的金线图基础上,展开金线提取和缺陷检测研究工作。

参考文献

[1] 苏国营, 曲兴华, 张福民. 金属表面特性对差动式视觉测量的影响实验[J]. 光学学报, 2013, 33(1): 153-158.
SU G Y, QU X H, ZHANG F M. Experiments on metal surface characteristics effect on differential visual measurement[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(1): 153-158.

[2] 侯成刚, 金一, 竺长安. 基于照明恢复算子的单幅图像高光去除方法[J]. 工业控制计算机, 2020, 33(10): 90-93.
HOU CH G, JIN Y, ZHU CH AN. Single image specular highlight removal based on illumination recovering operator [J]. Industrial Control Computer, 2020, 33(10): 90-93.

[3] LI F, TIAN J D, TANG Y D, et al. An image highlights removal method with polarization principle [C]. International Conference on Communication, Electronics and Automation, 2015: 426-431.

[4] WEN S, ZHENG Y, LU F. Polarization guided specular reflection separation [J]. Computer Science, 2021, arXiv:2103. 11652.

[5] TSURU T. Tilt-ellipsometry of object surface by specular reflection for three-dimensional shape measurement[J]. Optics Express, 2013, 21(5): 6625-6632.

[6] ZHU Z M, XIANG P, ZHANG F M. Polarization-based method of highlight removal of high-reflectivity surface[J]. Optik, 2020, 221: 165345.

[7] 祝振敏, 裴爽, 陈世明, 等. 基于偏振信息的强反射工件高光去除及视觉测量方法[J]. 光学学报, 2018, 38(11): 175-185.
ZHU ZH M, PEI SH, CHEN SH M, et al. Highlight removal of high reflectivity workpiece and vision measurement based on polarization information[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(11): 175-185.

[8] 费继友, 汪政, 李花, 等. 基于 PSO-OTSU 算法的金属工件高光处理[J]. 大连交通大学学报, 2020, 41(3): 28-33.
FEI J Y, WANG ZH, LI H, et al. Highlight processing of metal workpiece based on PSO-OTSU algorithm[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2020, 41(3): 28-33.

[9] 王中任, 全燕鸣. 一种金属零件图像高光消除技术[J]. 机械与电子, 2008(10): 7-9.
WANG ZH R, QUAN Y M. An approach for removing highlight from image of metal parts[J]. Machinery & Electronics, 2008(10):7-9.

[10] YU W, ZHENG L, MA Y, et al. Research on method of highlight elimination based on color space conversion in metal images[C]. Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation, 2016, 378: 471-477.

[11] 柴玉亭, 王昭, 高建民, 等. 基于频域滤波的高光去除方法[J]. 激光与光电子学进展, 2013(5): 135-143.
CAI Y T, WANG ZH, GAO J M, et al. Highlight removal based on frequency-domain filtering[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013(5): 135-143.

[12] 许晗, 汪剑鸣, 王胜蓓. 室内导航图像中反光区域的检测与分割算法[J]. 天津工业大学学报, 2013, 32(6): 59-62.
XU H, WANG J M, WANG SH B. Algorithm of illuminant reflection detection and segmentation in indoor image for navigation[J]. Journal of Tiangong University, 2013, 32(6): 59-62.

[13] 时俊楠, 金久才, 张杰. 无人船监视图像反光区域检测与去除方法及实验验证[J]. 海洋科学, 2018, 42(1): 82-87.
SHI J N, JIN J C, ZHANG J. A detection and removal method for specular regions in USV monitoring images and experimental verification [J]. Marine Sciences, 2018, 42(1): 82-87.

[14] TAN R T, IKEUCHI K. Separating reflection components

of textured surfaces using a single image[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(2): 178-93.

[15] REN W H, TIAN J D, TANG Y. Specular reflection separation with color-lines constraint [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(5): 2327-2337.

[16] SINHA S N, KOPF J, GOESELE M, et al. Image-based rendering for scenes with reflections [J]. Acm Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 1-10.

[17] XUE T, RUBINSTEIN M, LIU C, et al. A computational approach for obstruction-free photography [J]. ACM Transactions on Graphics, 2015, 34(4): 1-11.

[18] SIBIRYAKOV A. Fast and high-performance template matching method [C]. Computer Vision & Pattern Recognition. IEEE, 2011, 1417-1424.

[19] 张艳, 张明路, 蒋志宏, 等. 基于改进的LIP算法低照度图像增强算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(11): 147-154.
ZHANG Y, ZHANG M L, JIANG ZH H, et al. Low-illumination image enhancement based on improved LIP model [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(11): 147-154.

[20] 刘鹏, 罗红娥, 顾金良, 等. 基于三维测量中的图像复原技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(4): 102-106.
LIU P, LUO H E, GU J L, et al. Study on image restoration technique based on 3D measurement [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2018, 37(4):102-106.

作者简介

叶婷,2019年于安徽工业大学工商学院获得学士学位,现为南华大学硕士研究生,主要研究方向为图像处理。
E-mail:1248506209@qq.com

Ye Ting received her B. Sc. degree from Industrial & Commercial College Anhui University of Technology in 2019. Now she is a M. Sc. candidate in University of South China. Her main research interest includes image processing.

赵立宏,分别在1987年、1989年获得浙江大学的学士学位和硕士学位,现为南华大学核科学技术学院院长,主要研究领域为核设施的放射性环境下检测技术。
E-mail: zhaolh@usc.edu.cn

Zhao Lihong received his B. Sc. and M. Sc. from Zhejiang University in 1987 and 1989, respectively. Now he is the Dean of the School of Nuclear Science and Technology at Nanhua University. His main research interest includes detection technology in the radioactive environment of nuclear facilities.

李明,2001年于武汉大学获得学士学位,现为浙江大学工商管理硕士研究生,并担任浙江兰特普光电子技术有限公司总经理,主要研究方向为企业管理。
E-mail: ming.li@lightip.com.cn

Li Ming received his B. Sc. from Wuhan University in 2001. Now he is a M. Sc. candidate of Business Administration of Zhejiang University, and serves as the general manager of Zhejiang Lightip Technologies Co., Ltd. His main research interest includes enterprise management.