

# 低对比度工况下轴安装间隙提取方法研究

甘玉坤, 丁跃尧\*, 罗振威, 吴雪婷, 李旭东

(湖南理工学院, 湖南 岳阳 414000)

**摘要:**针对轴安装间隙图像在间隙处对比度较低的问题,提出一种通过分段线性函数和图像反转来增强图像边缘信息的方法。通过计算图像直方图以确定安装间隙图像的灰度值范围,利用安装间隙的灰度值范围确定线性函数的分段点。用分段线性函数分别处理图像中安装间隙与间隙外的其他区域,将安装间隙灰度值区间之外的灰度值设置为固定值,去除其他区间的灰度值对间隙提取的干扰,同时拉伸间隙灰度区间内的图像对比度,提升间隙处图像的对比度。通过图像反转来反转进行图像增强之后的图像,反转间隙与其他区域的灰度值后,使用 Canny 算法提取间隙边缘。实验结果表明:该方法能去除图像中安装间隙以外的区域对间隙内图像的影响,提升 Canny 算法对轴安装间隙边缘信息的提取效果。

**关键词:**安装间隙;直方图;分段线性函数;图像反转;边缘提取

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)08-0183-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.08.032

## Research of Shaft Installation Clearance Extraction under Low Contrast Condition

GAN Yu-kun, DING Yue-jiao\*, LUO Zhen-wei, WU Xue-ting, Li Xu-dong

(Hunan Institute of Science and Technology, Yueyang 414000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the contrast to the axial installation gap image is low in the gap, a method of enhancing the edge information about the image by piecewise linear function and image inversion is proposed. The segmentation point of the linear function is determined by calculating the image histogram to determine the range of gray values of the installed gap image, using the range of gray values of the mounting gap. The piecewise linear function is used to separately process the installation gap and other areas outside the gap, and the gray value outside the gray interval of the installation gap are set to a fixed value, and the interference in the gray value of the other interval of the gap extraction is removed, and the interference is pulled at the same time. Extend the contrast to the image of the grayscale interval of the gap to increase the contrast to the image of the gap. The image after the image enhancement is reversed by image inversion, and the gray value of the gap and other regions are inverted, and the gap edge is extracted by the Canny algorithm. The experiment shows that the proposed method can remove the influence of the area outside the installation gap between the image of the gap, and improve the Canny algorithm's extraction effects on the edge of the shaft installation gap.

**Key words:** installation gap; histogram; segmentation linear function; image reversion; edge extraction

## 0 引言

电机是电子产品中常用的一个零件,其安装要求旋转轴与工件之间具有一定的间隙,保证其工作过程中不与工件发生摩擦。利用机器视觉方法来提取间隙的常用方法是将工件放在安装有背光光源的检测区内,以近似均匀散射光的背光源照射,通过相机得到非常锐利的工件边缘轮廓图像<sup>[1-2]</sup>。文中所提到的安装间隙在进行图像采集时,打光条件受到工件外形的限制,只能从安装间隙的上方进行打光。电机旋转轴的

表面光滑,光线在其表面产生镜面反射,导致采集的图像在轴的表面出现亮度不均的缺点,轴边缘处的像素点会出现明显的低灰度值<sup>[3]</sup>。因轴边缘与工件之间的间隙内无法形成有效反光,所采集图像在安装间隙内的灰度值同样较低,从而导致灰度差值较小,提取轴边缘和安装间隙边缘信息较为困难<sup>[4]</sup>。

机器视觉研究工作者为了提取充分反映图像特征的边缘信息,提出了各种增强图像对比度的方法以及优化边缘提取效果的方法。Ba Chien 等<sup>[5]</sup>使用分段对

收稿日期:2019-09-09

修回日期:2020-01-10

基金项目:国家重点研发计划“制造基础技术与关键部件”专项(2018YFB2001400)

作者简介:甘玉坤(1995-),男,硕士,研究方向为数字图像处理;通信作者:丁跃尧(1967-),男,教授,硕导,兼任中南大学硕导、湖南科技大学硕导,研究方向为工业过程控制、智能控制与鲁棒控制。

比拉伸技术,根据相对于人眼视觉系统的感知量化器来调整粗略重建的 LDR 图像的像素分布。无论是在视觉质量和 TMQI 度量均取得了较好的效果。Yu T H 等<sup>[6]</sup>通过对图像的辐照分量和反射分量进行非线性变换,然后对输出图像进行线性对比度拉伸,来实现对雾霾图像的对比度增强。分段对比拉伸技术对低对比度图像有较好的增强效果,对于安装间隙提取,增强间隙对比度的同时也应该考虑间隙之外区域对间隙提取的影响。文中提出通过将图像安装间隙内灰度值区间之外的区间的像素点设置为固定值,来去除其他区域对边缘提取效果的影响。Canny 算法由于其优越的性能,被广泛应用于边缘检测。Xu Q 等<sup>[7]</sup>提出了一种分布式 Canny 边缘检测算法,该算法根据图像块类型和梯度在图像块中的局部分布自适应地计算边缘检测阈值,解决了 Canny 算法计算量大、高延时的问题。Chen J 等<sup>[8]</sup>使用一种可调节尺度的自适应高斯算法对图像进行平滑,使用基于梯度阈值法和简单统计方法的自适应双阈值选择方法对非最大抑制梯度图像边缘进行检测,该方法能在一定程度上防止边缘丢失、提取出假边缘。Canny 算法性能优异,但对于安装间隙图像轴边缘处的灰度值明显低于其他区域的情况,其对轴边缘信息提取效果不理想<sup>[9]</sup>。文中提出图像反转方法,将安装间隙与其他区域的灰度反转,再通过 Canny 来提取边缘信息,提升轴边缘信息的检测效果。

## 1 图像去噪及直方图分析

### 1.1 图像平滑

文中获取图像所使用的机器视觉系统相机像素数目为 500 万,镜头为 16 mm 焦距,使用一个近射光圈减小最近对焦距离,获取安装间隙图像时,因工件的安装间隙区域较小,且受镜头参数的影响,所拍摄的图像视野范围过大,不便于处理。文中仅截取安装间隙区域的图像进行图像处理操作,该区域的分辨率为 475 \* 112,如图 1 所示。



图 1 安装间隙图像

因打光条件受限,进行图像采集时,感光元件接收到的来自间隙内的光信号较弱,采集的图像在间隙处不可避免地出现灰度值不均匀的现象和噪声,进行对比度拉伸时会放大该缺陷,从而严重影响安装边缘提取的效果,对图像进行平滑处理可以消除或减弱该缺陷,提升后续图像处理算法的处理效果<sup>[10-12]</sup>。文中对比分析了三种图像平滑方法(双边滤波、高斯滤波和

中值滤波)的处理效果,其处理结果如图 2 所示。



图 2 滤波结果

在利用图像滤波方法去除灰度值不均匀现象和噪声的同时,也应该考虑尽量保留安装间隙图像中的边缘信息,防止因图像滤波而导致图像边缘变得模糊。通过对比实验结果可得知,高斯滤波在平滑图像的效果上优于中值滤波和双边滤波,但是其在一定程度上平滑了轴边缘到间隙内的灰度值过渡,模糊了图像的边缘信息不宜边缘提取;双边滤波对边缘的灰度差值保留最好,边缘信息保存完整,但是平滑效果不理想;中值滤波在平滑图像的同时,保留了轴边缘和间隙两个区域内像素点的灰度差值,对边缘信息保留得较好,较符合预期。增大滤波器的内核后发现,三种算法均在一定程度上降低了整体图像的灰度值和灰度差值,模糊了图像的边缘信息。因此文中取使用 5 \* 5 内核的中值滤波器滤波后的图像进行后续处理。

### 1.2 直方图计算

图像的灰度直方图能直观地表现出灰度图像中所含有的每一级灰度值像素的个数,直观地表现出图像中每种灰度级出现频率以及图像中大致灰度值分布情况<sup>[13]</sup>。对安装间隙图像进行直方图计算可以得知安装间隙图像中像素点灰度值的主要分布范围,以及安装间隙图像中包含边缘信息的像素点所分布的灰度区间,为分段线性对比度拉伸分段点的选取提供可靠依据。图 3 为安装间隙图像的直方图以及截取图像中的左右两个间隙局部及其灰度直方图。

分析图 3(a)、(b)可知,安装间隙图像的像素点的像素点灰度值主要分布在 20 ~ 250 这一范围内,并在灰度值 40 以及灰度值 240 处,像素点分布较为密集。分析图 3(c)、(d)可知,在间隙图像的左间隙部分,像素点灰度值集中分布在灰度值为 20 ~ 60 的区间内,分析图 3(e)、(f)可知,在间隙图像的右间隙部分,像素点灰度值集中分布在灰度值为 20 ~ 100 的区间内。

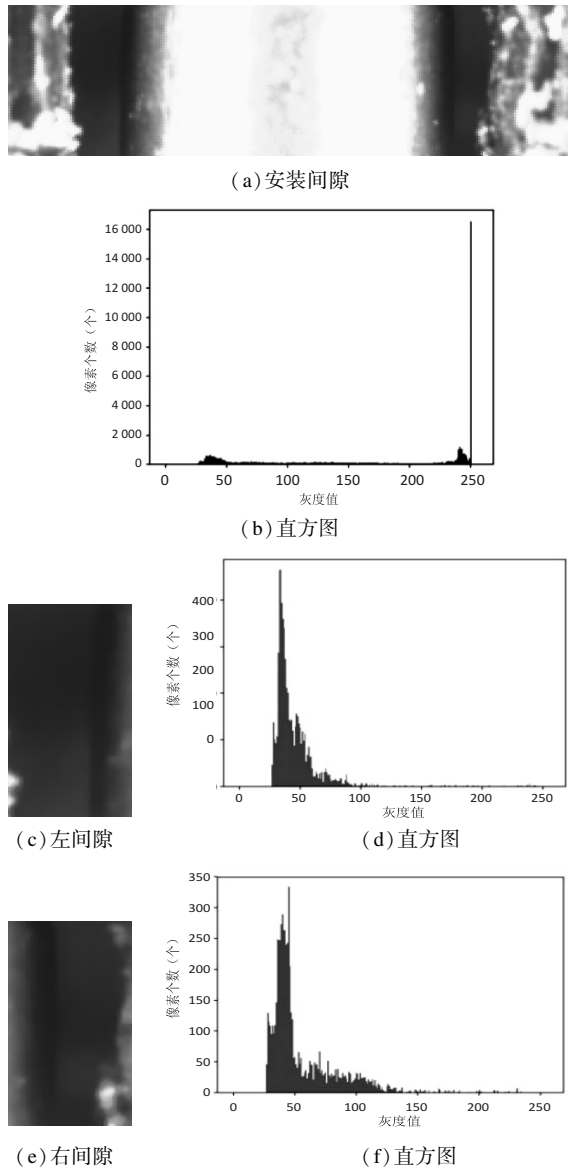


图3 安装间隙和间隙局部及其灰度直方图

对比度拉伸区间的选取应该尽可能多地包含目标区域内的像素点,同时尽可能缩小灰度值区间长度来增强对比度拉伸效果。文中选取区间时,除了尽可能多地包含安装间隙内的像素点,也需要利用分段线性函数尽可能地去除安装间隙之外像素点对安装间隙提取的影响,考虑到左右间隙像素点的灰度值区间,理想的分段点应该在 20 ~ 80 区间内选择。为了验证该方法的有效性,文中将选择区间扩大为 20 ~ 130,逐步缩小区间,以提供对比验证。

## 2 分段线性对比度拉伸

分段线性对比度拉伸是对图像的不同灰度区间使用不同的变换关系来改变图像的对比度,以此来增强图像。选择的斜率不同对图像的增强效果不同,同时可以将区间的灰度值设置为固定值,以去除这一区间的灰度值对图像的其他区域的影响。分段线性变换的

函数形式为:

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

其中,  $f(x)$  为变换后的像素值,  $x$  为原像素值,  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$  为分段点。

文中通过图像的直方图分析安装间隙的灰度值分布,在安装间隙的灰度值分布范围内选择对比度拉伸的区间,使用分段线性对比度拉伸拉升所选择的区间,来提升安装间隙图像间隙内的对比度。而对于灰度值低于这一区间的像素点通过线性函数将灰度值设置为 1,将灰度值高于这一区间的像素点通过线性函数将灰度值设置为 255,从而去除图像中高于灰度区间以及低于灰度区间的像素点对边缘提取算法的干扰。所使用的分段线性变换的函数形式为:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x < x_1 \\ \frac{255}{x_2 - x_1}(x - x_1) & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 255 & x > x_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $f(x)$  为变换后的像素值,  $x$  为原像素值,  $(x_1, y_1)$  为拉伸区间,区间在灰度值 20 ~ 130 之间选择。

根据上文对安装间隙图像直方图的分析,分段点在 20 ~ 130 这一区间内选择,为了对比验证分段线性对比度拉伸的有效性,文中分别以 25 ~ 130、25 ~ 100、25 ~ 80、25 ~ 70、25 ~ 60、25 ~ 50、30 ~ 60 为拉伸区间进行对比实验,结果如图 4 所示。

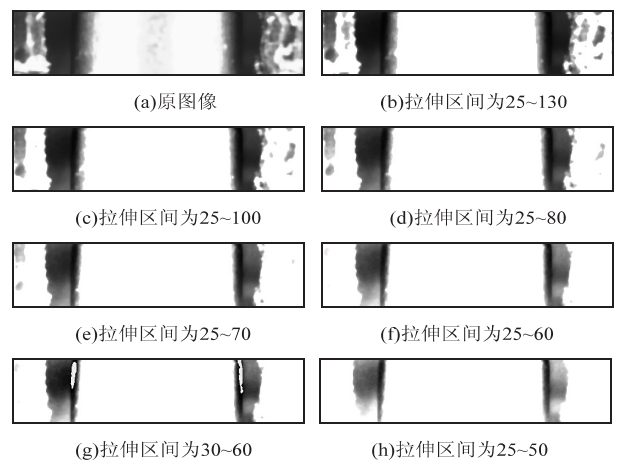


图4 分段线性对比度拉伸

从图 4 中可以看出,随着拉伸区间缩小,对比度拉伸效果逐渐增强,图中轴边缘与间隙内的灰度值差异也因拉伸区间的缩小而增大,间隙外灰度值被转变成 255 的像素点面积逐渐增大,对比度增强效果逐渐明显。图 4(b) 以 25 ~ 130 为拉伸区间,其区间最大,图



像对比度拉伸的效果不明显,对比原图其将一部分间隙之外区域的灰度值转变为 255,但图像低对比度的情况未发生明显改善;图 4(c)、(d)、(e)、(f)的拉伸区间分别为 25 ~ 100、25 ~ 80、25 ~ 70、25 ~ 60,可以看出随着区间的减小,安装间隙的对比度发生明显改善,更多区域内像素点的灰度值被转变成 255,区间为 25 ~ 60 时图像中除安装间隙之外的大部分区域灰度值都被设置成 255,对比度的改善效果达到最佳;图 4(g)、(h)的拉伸区间分别为 30 ~ 60、25 ~ 50,因其线性函数的斜率过高,造成处理之后的图像中的安装间隙内的部分灰度值发生颠倒。文中取效果最优的 25 ~ 60 区间进行边缘提取操作,同时取 25 ~ 130、25 ~ 100、25 ~ 80、25 ~ 70 区间进行边缘提取处理,以对比验证该方法的有效性。

### 3 边缘信息提取及结果分析

#### 3.1 图像反转

获取的安装间隙图像在轴边缘处像素点的灰度值明显低于其他区域像素点的灰度值。Canny 算法采用双阈值选择特性会导致其将灰度值较低轴边缘判断为弱边缘,导致提取效果不佳<sup>[14]</sup>。电机旋转轴相对于产品其他部位而言其公差小且易于测量,通过实际测量旋转轴获得其宽度,与图像中轴的两条边缘距离之间所包含的像素数目进行数学运算,可以用于相机标定,因此增强轴的边缘提取效果十分重要。

图像反转可以将低灰度值转换成高灰度值,图像反转在视觉上最直观的表现将白色变为黑色,其在函数形式为:

$$f(x) = 255 - g(x) \quad (3)$$

其中,  $f(x)$  为反转后的像素的灰度值,  $g(x)$  为原像素灰度值。

文中将以区间 25 ~ 130、25 ~ 100、25 ~ 80、25 ~ 70、25 ~ 60 进行对比度拉伸的图像后的图像反转,反转效果如图 5 所示。

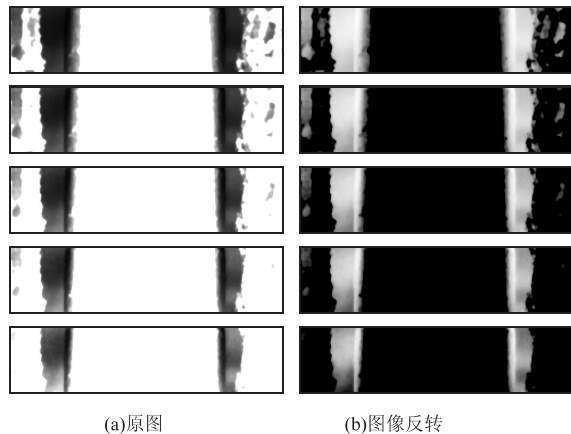
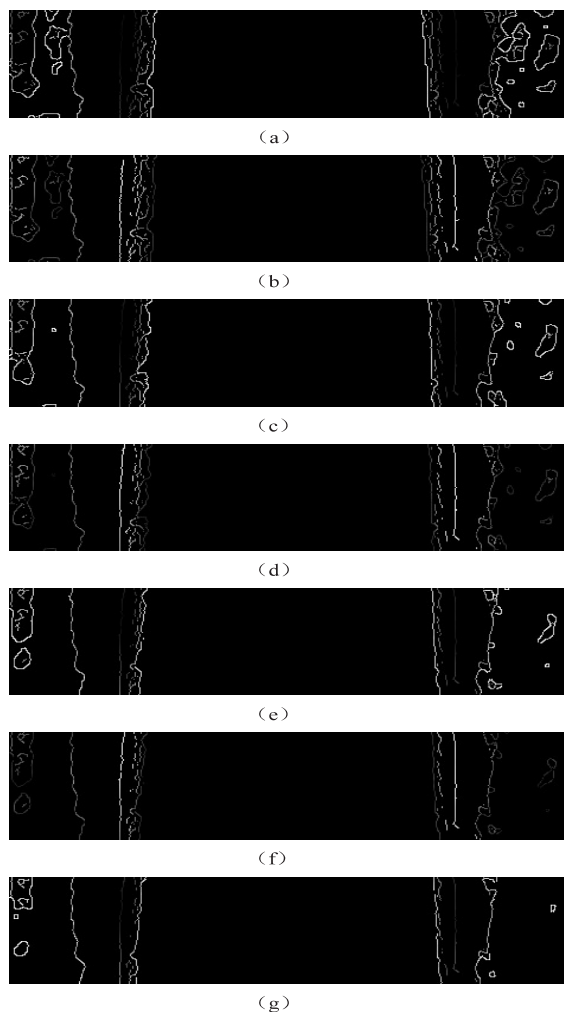


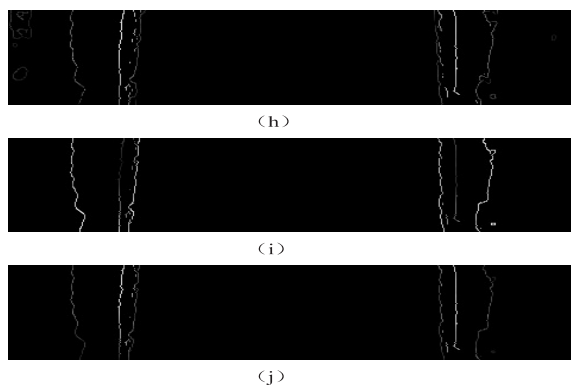
图 5 原图及图像反转

从图 5 可以看出,图像反转将图像中原本低灰度值的间隙区域反转为高灰度值区域,低灰度的黑色轴边缘区域被转变成白色高灰度;原本灰度值高的区域反转成为灰度值低的区域,间隙之外的较高灰度值的白色区域转变黑色低灰度值。

#### 3.2 边缘提取

边缘是区分图像不同区域的重要特征,从图像边缘中能够获取用于识别、计算等操作的信息。图像边缘主要表现为图像局部灰度特征的不连续性,即图像中灰度值相差较大的区域<sup>[15-17]</sup>。Canny 算子在计算过程中使用了两个阈值来定位边缘,若像素梯度高于上阈值则接受像素为边缘,并定义为强边缘,若像素梯度低于下阈值则拒绝它,若像素梯度处于上阈值和下阈值之间则定义为弱边缘,上阈值与下阈值的比例通常选择 3 : 1<sup>[18]</sup>。为了验证图像反转能有效改善 Canny 算法,将轴边缘判定为弱边缘的情况,增强边缘提取的效果。文中使用 Canny 算法分别对图 5 的原图及反转后的图像提取边缘信息,并进行对比验证。为了避免阈值不同对检测效果的影响,对同一拉升区间下的图像选择相同的下阈值使用 Canny 算法,其结果如图 6 所示。





(a)、(b)的拉伸区间为25~130,下阈值为15;(c)、(d)的拉伸区间为25~100,下阈值为23;(e)、(f)的拉伸区间为25~80,下阈值为29;(g)、(h)的拉伸区间为25~70,下阈值为35;(i)、(j)的拉伸区间为25~60,下阈值为51

图6 安装间隙提取

分析图6(a)、(c)、(e)、(g)、(i)以及图6(b)、(d)、(f)、(h)、(j)可以得出结论,在对比度拉升区间较大时,Canny算法虽然也能提取出边缘信息,但是间隙之外的区域同样也被Canny算法识别为边缘,边缘信息相对复杂。随着拉伸区间宽度的减小,间隙之外的区域的像素点逐渐被分段线性函数转化为固定值,被转化成固定值的像素点逐渐被Canny算法所剔除,对于间隙处的轴边缘及主要间隙边缘的提取效果逐渐增强,在25~60的拉伸区间下仅保留了主要的边缘信息。

对比分析图6(a)(b)、(c)(d)、(e)(f)、(g)(h)、(i)(j)可得出结论,反转前的图像在提取边缘的时候,轴边缘的信息因像素点灰度值较低被Canny算法判断为弱边缘,相对于其他边缘信息,轴边缘信息的提取效果不佳;图像反转后,因间隙图像边缘处的低灰度值像素点反转成为高灰度值像素点,Canny算法将轴的两条边缘判断为强边缘,同时,高灰度值像素点因被反转为低像素点被Canny算法判断为弱边缘,更好地突出了轴的边缘信息。

## 4 结束语

针对对比度较低的轴安装间隙图像,使用分段线性对比度拉伸能够有效增强轴边缘与间隙的对比度,同时,其将拉伸区间外的灰度值转变为固定值,能有效去除区间外的像素点所提取出非目标边缘信息对轴安装间隙边缘信息的干扰。Canny算法对低灰度值边缘不敏感,导致其对低灰度值轴边缘区域的边缘提取效果不佳,利用图像反转将低灰度值像素点转变成高灰度值像素点能有效解决这一问题。文中所使用的方法能够有效增强图像对比度,准确有效地提取出轴安装间隙的边缘信息,但仅完成了提取的工作,对于间隙宽度计算、相机标定等内容尚未涉足。在处理的过程中,拉伸

区间的选择方法较为繁琐,如何利用程序自适应选择拉伸区间仍可进行进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] 华才健,蹇红梅,张燕.基于机器视觉的火花塞间隙检测技术[J].中国测试,2014,40(5):108-110.
- [2] KARIMI M H,ASEMANI D. Surface defect detection in tiling Industries using digital image processing methods;analysis and evaluation[J]. ISA Transactions,2014,53(3):834-844.
- [3] 孙阔原,蒋理兴,王俊亚,等.轴类工件表面视觉自动检测系统[J].无损检测,2016,38(6):53-57.
- [4] 蒋洁琦,杨庚,刘沛东,等.表面弱边缘瑕疵检测算法及应用[J].计算机技术与发展,2019,29(5):142-147.
- [5] CHIEN B,MOKRAOUI A,MATEI B. Contrast enhancement and details preservation of tone mapped high dynamic range images[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2019,58:589-599.
- [6] YU T H,MENG X,ZHU M,et al. An improved multi scale retinex fog and haze image retinex fog and haze image enhancement method[C]//2016 international conference on information system and artificial intelligence (ISAI). Hong Kong:IEEE,2016.
- [7] XU Q,VARADARAJAN S,CHAKRABARTI C,et al. A distributed canny edge detector;algorithm and FPGA implementation[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2014,23(7):2944-2960.
- [8] JIE C,WANG Z H,DOU L H. Scale adaptive canny edge detection method[J]. Opto-Electronic Engineering,2008,35(2):79-84.
- [9] SANGEETHA D,DEEPA P. FPGA implementation of cost-effective robust Canny edge detection algorithm[J]. Journal of Real-time Image Processing,2019,16(4):957-970.
- [10] 屈正庚,牛少清.一种改进的自适应加权中值滤波算法研究[J].计算机技术与发展,2018,28(12):86-90.
- [11] 成宝芝,张丽丽.基于双边滤波的最优波段子空间高光异常目标检测[J].液晶与显示,2019,34(9):897-904.
- [12] KOU X Y,WANG C S,LI L. A detection system of tool condition based on image processing technology[J]. Advanced Materials Research,2012,510:375-379.
- [13] 王永康,汪云甲,毕京学,等.一种基于图像灰度直方图相似度计算的室内定位方法[J].测绘通报,2018(4):63-67.
- [14] TONG J,SHI H,WU C,et al. Skewness correction and quality evaluation of plug seedling images based on Canny operator and Hough transform[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2018,155:461-472.
- [15] 黄玉蕾.基于形态学滤波结合LOG算法的边缘检测[J].计算机测量与控制,2019,27(7):257-260.
- [16] 温金玉,宣士斌,肖石林.基于小波变换的自适应水岭边缘检测技术[J].计算机技术与发展,2018,28(6):77-79.
- [17] YU X,LIN X,DAI Y,et al. Image edge detection based tool condition monitoring with morphological component analysis[J]. ISA Transactions,2017,69:315-322.
- [18] 肖瑞莹,杨帆,董正宏.用于Canny算子边缘检测的广度优先算法研究[J].计算机技术与发展,2018,28(6):39-42.