

基于 Canny 和双线性插值的镍片边缘提取算法

杨舒¹, 曾寿金¹, 刘震², 唐辉¹, 方宇轩¹
(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;
2. 福建星云电子股份有限公司, 福建 福州 350015)

摘要: 手机锂电池保护板在生产过程中需要利用视觉检测镍片角度偏差、折叠等各类缺陷, 但由于镍片尺寸小且这些缺陷在灯光下会产生不同程度的反光, 导致获得的镍片图像边缘不清晰。为此, 本研究提出了一种基于 Canny 算子和双线性插值的高亮镍片边缘提取算法。首先对原始图像分割出感兴趣区域并进行灰度处理, 再利用 Canny 算子提取其像素级边缘, 最后用双线性插值法提取其亚像素级边缘。为验证该算法的有效性, 将其与工程中常用的 Sobel 边缘提取算法进行实验对比, 计算边缘内部包含面积的像素数量、等级及边缘提取的时间, 判断两类算法在精度和效率上的优劣。实验结果表明, 基于 Canny 算子和双线性插值的高亮镍片边缘提取算法能精准提取镍片的亚像素边缘, 提取的像素精度达到了 0.1 pixel, 平均边缘提取时间为 0.835 s, 比 Sobel 节省了 20.57% 的时间, 能够满足工业生产的精度需求与效率要求。

关键词: 边缘提取; 锂电池保护板; 镍片; Canny 算子; 亚像素

中图分类号: TP16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2022)06-0567-06

**Edge extraction algorithm of nickel sheet
based on Canny operator and bilinear interpolation**
YANG Shu¹, ZENG Shoujin¹, LIU Zhen², TANG Hui¹, FANG Yuxuan¹
(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Fujian Nebula Electronics Co., Ltd., Fuzhou 350015, China)

Abstract: In the production process of the lithium battery protection plates of the mobile phone, visual detection has to be used for various defects such as angle deviation, folding and so on. However, due to the small size of the nickel plate and the fact that these defects will produce different degrees of reflection under the light, the edge of the obtained nickel plate image is not clear. Therefore, an algorithm based on Canny operator and bilinear interpolation is proposed to extract the edge of the highlighted nickel sheet. Firstly, the original image was divided into regions of interest (ROI), which would then receive gray-scale processing, and then the pixel-level edges were extracted by Canny operator, and sub-pixel-level edges were extracted by bilinear interpolation. In order to verify the effectiveness of the algorithm, it was compared with Sobel edge extraction algorithm, which is commonly used in engineering, and the number and grade of pixels in the area inside the edge and the time of edge extraction were calculated. The advantages and disadvantages of the two algorithms in accuracy and efficiency were judged. Experimental results show that the edge extraction algorithm based on Canny operator and bilinear interpolation can accurately extract the sub-pixel edge of nickel sheet. The pixel accuracy is up to 0.1 pixel, and the average edge extraction time is 0.835 s, which saves 20.57% of time compared with Sobel. The proposed method can meet the precision and efficiency requirements of industrial production.

收稿日期: 2022-06-14
基金项目: 福建省区域发展项目(2020H4003); 福建省自然科学基金(2021J011052)
第一作者简介: 杨舒(1998—), 男, 浙江金华人, 硕士研究生, 研究方向: 机器视觉与智能装备。
通信作者: 曾寿金(1978—), 男, 福建永定人, 副教授, 博士, 研究方向: 智能装备研发与应用、增材制造技术。

Keywords: edge extraction; lithium battery protection plate; nickel sheet; Canny operator; sub-pixel

随着便携式电子产品的更新换代,锂电池朝着高容量、长寿命、低污染方向迅猛发展^[1]。给锂电池搭配保护电路板,防止锂电池的过度充放电,可提高锂电池的安全性、延长其使用寿命^[2]。手机锂电池保护板镍片是锂电池保护板上的一个重要部件^[3]。但是由于工艺条件等原因,在将锂电池保护板通过冲压方式从拼板上分割下来的过程中,保护板上的镍片会出现各种缺陷,这些缺陷会极大减少手机的使用寿命,增加锂电池爆炸或自燃的几率。电池保护板镍片的缺陷形态主要包括角度偏差、折叠等缺陷,需要利用一定的手段检测。现有的检测方式有人工检测、激光红外检测、机械触测等,但这些检测方式的效率和准确率都比较低,无法适应手机等电子产品大批量、高质量的生产需求。

近年来,国内外许多学者围绕电子元器件的缺陷视觉检测方法展开了深入研究^[4]。例如,Qiao Nao-Sheng 等^[5]针对印刷电路板(PCB)光电图像在获取过程中含有噪声和较模糊的边缘等各种原因,利用小波变换抑制了图像噪声并用Canny算子提取了PCB板各元器件边缘特征。Fen Bin Lin^[6]提出了通过边缘匹配计算结构在图像中的位置获得每个像素中的结构层数并划分为子区域,利用Canny算子提取每个子区域的边缘。Ying Huang 等^[7]提出了一种改进的开关中值滤波应用于Canny算法,使IC芯片管脚边缘更完整,去除噪声效果更好。Tianhu Liu 等^[8]在使用Canny检测器定位像素边缘基础上提出了一种单像素多点插值方法来提取亚像素级平滑轮廓,但该方法应用在镍片亚像素级边缘上无法满足工业生产的效率要求。

本研究在上述研究的基础上从工程应用出发,以锂电池保护板镍片为对象,利用工业相机提取锂电池保护板镍片边缘特征,提出一种基于Canny算子和双线性插值的高亮镍片边缘提取算法。

1 镍片边缘检测总体方案设计

镍片在线检测时需要在机械手第二关节臂固定工业相机进行实时拍摄,无法从其他方向获取图像,只能采用俯视方向的拍摄。故获取锂电池保护板硬板(PCB板)图像如图1(a),框选的为

镍片,其中图1(b)为折叠缺陷的镍片,图1(c)(d)为角度偏差缺陷的镍片。搭建视觉检测系统如图2,系统包含工业相机、球形光源、计算机处理软件等。

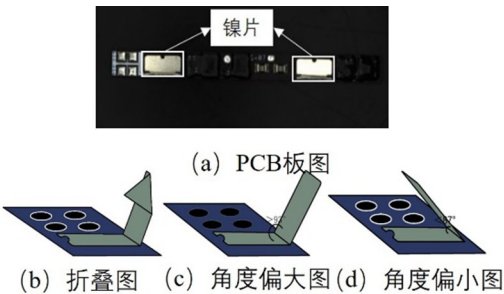


图 1 相机采集的 PCB 板图
Fig.1 PCB plate's picture collected by camera

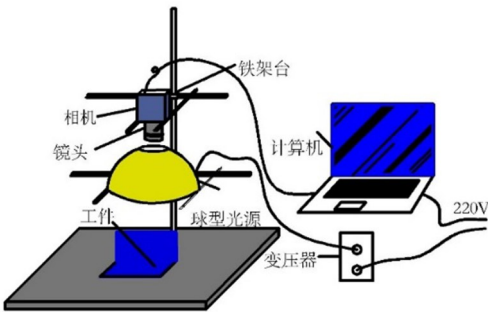


图 2 视觉检测系统示意图
Fig.2 Diagram of visual detection system

相机采集的PCB板图像质量可能出现形状失真、边缘不清晰等问题,而输出的图像质量关系到识别的准确率和速度,因此需要对图像进行处理,以方便对镍片缺陷类型的检测和识别。图像的预处理流程如图3所示。

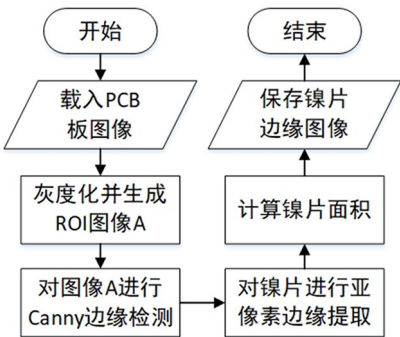


图 3 图像预处理
Fig.3 Image preprocessing

2 基于 Canny 算子的镍片像素级边缘提取算法

2.1 图像灰度化分割 ROI

镍片图像是用工业相机拍到的彩色图像,需要对图像进行灰度化变换,以减少处理信息。灰度化变换将原本的三维彩色图像的每个像素点在色彩空间中的值通过线性关系映射到一维灰度空间^[9],只是通过改变像素点的灰度值来减少处理信息,不会改变像素点的坐标信息,其表达式为:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (1)$$

式(1)中 $g(x, y)$ 是处理后的图像,即灰度化后的图像; $f(x, y)$ 为待处理的数字图像; T 定义的是一种作用于 f 的操作,对单幅数字图像一般定义在点 (x, y) 的邻域。结合式(1)并根据人眼对 RGB 三色的敏感度不同将3个分量以不同的权重进行加权平均,得到式(2)为:

$$g(x, y) = 0.114B + 0.587G + 0.299R \quad (2)$$

利用式(2)得到期望的镍片灰度化图像。在基于图像的镍片边缘检测中,相机所采集的图像不仅包含了镍片的信息,还混杂着其他的无关信息,既消耗计算时间,还会干扰镍片特征的提取^[10]。可以将图像缩减到感兴趣区域(region of interest, ROI)以减少待处理的信息。对得到的灰度化图像进行 ROI 选取,将需处理的信息缩小到镍片,得到如图4所示的效果图。



图4 灰度化和 ROI 后的镍片图

Fig.4 Nickel sheet after gray scaling and ROI

2.2 基于 Canny 算子的镍片像素级边缘提取

Canny 边缘检测的基本思想是首先对图像选择高斯滤波器进行平滑滤波,再采用非极值抑制技术处理得到最后的边缘图像,用双阈值法确定最终边缘。郑金驹^[11]等人开发了基于机器视觉的 QFP 芯片外观检测系统,采用 Canny 算子边缘检测算法。为了尽可能快地消除噪声,采用高斯滤波。式(3)为高斯函数 $H(x, y)$:

$$H(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$$G(x, y) = f(x, y) * H(x, y) \quad (4)$$

公式(3)(4)中, $f(x, y)$ 是图像数,即图像灰度化过程中的 $g(x, y)$, 图像 $G(x, y)$ 是滤波后的图像, σ 是标准差。用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向,式(5)为一阶差分卷积模板:

$$H_1 = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}, H_2 = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (5)$$

把两个差分卷积模板分别与镍片图像进行卷积,得到了其横向和纵向的梯度,再使用梯度计算得到幅值与方向,计算方法如式(6)~(9),其中 φ_1 和 φ_2 为横向和纵向的梯度, $\varphi(x, y)$ 是梯度幅值, θ_φ 是梯度方向。

$$\varphi_1(x, y) = f(x, y) * H_1(x, y) \quad (6)$$

$$\varphi_2(x, y) = f(x, y) * H_2(x, y) \quad (7)$$

$$\varphi(x, y) = \sqrt{\varphi_1^2(x, y) + \varphi_2^2(x, y)} \quad (8)$$

$$\theta_\varphi = \arctan \frac{\varphi_2(x, y)}{\varphi_1(x, y)} \quad (9)$$

为了确定镍片边缘,还必须对所得到的梯度幅值进行非极大值抑制。将局部梯度值最大的点进行保留而非清零,从而得到细化边缘的效果。对图像全局梯度进行遍历,以如图5所示的每个 3×3 邻域为例,将邻域的中心像素 P 和梯度方向上的两个像素相比,若 P 比两个邻域像素的梯度值小,则令 $P = 0$ 。

0	1	2
7	P	3
6	5	4

图5 3×3 邻域图

Fig.5 3×3 neighborhood

最后,采用双阈值算法检测边缘。选取两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_1 < T_2$), 利用高阈值 T_2 分割需要检测的镍片部分与背景,找到每条有效线段;利用低阈值 T_1 在这些线段的两个方向上延伸寻找边缘的断裂处,并连接镍片的不连续边缘。使用两个阈值 T_1 和 T_2 得到两个阈值边缘图像 $N_1[i, j]$ 和 $N_2[i, j]$ 。 $N_2[i, j]$ 是使用高阈值得到,可以有效地将背景与镍片分割开来并只含有较少的假边缘,但由于阈值过高导致得到的边缘不连续。在 $N_2[i, j]$ 中把边缘连接成轮廓,当到达轮廓的端点

时,该算法就在 $N_1[i,j]$ 的 8 个邻域点位置寻找可以连接到轮廓上的边缘,用同样的方法在 $N_1[i,j]$ 中不断地收集边缘并连接,直到将 $N_2[i,j]$ 连成不间断为止。

3 基于双线性插值的镍片亚像素级边缘提取算法

使用基于 Canny 算子的镍片边缘提取算法得到的像素级边缘无法满足镍片缺陷检测的精度要求,需要用插值算法计算其亚像素级精度边缘。亚像素级精度的计算需要在得到的两个相邻像素之间继续细分,将每个像素分为更小的单元从而对这些更小的单元实施插值算法,亚像素级精度一般能达到 0.1~0.5 个像素,相当于精度提高了 2 到 10 倍。插值的类型主要有 3 种,分别是最邻近插值法、双线性插值法和双立方插值法。3 种插值方法都是先根据比例关系得到目标像素映射在原图中的浮点像素坐标位置。其中,最邻近插值法是将得到的坐标数值的小数四舍五入直接取值,这样的插值精度并不理想,难以满足实际生产线的需求。双立方插值法是在得到位置坐标的基础上取周围 $4 \times 4 = 16$ 个像素,根据位置关系计算出权重,最后把周围 16 个像素值算加权和得出目标像素的像素值;该插值法计算量大,需要消耗更多的时间。而双线性插值在得到的小数坐标位置基础上,利用双线性插值计算出目标像素点的像素值;该方法是根据周围 4 个像素值和距离位置关系求值,插值精度比最邻近插值法的更高,执行速度比双立方插值法的更优,插值精度虽然稍低但能满足实际应用需求。综合考虑执行速度和插值精度,本研究采用双线性插值法。

双线性插值,又称为双线性内插,是有两个变量的插值函数的线性插值扩展,其核心思想是在坐标系的 X 和 Y 两个方向分别进行一次线性插值。假想得到未知函数 f 在点 $P = (x, y)$ 的值,已知函数 f 在 $Q_{11} = (x_1, y_1)$, $Q_{12} = (x_1, y_2)$, $Q_{21} = (x_2, y_1)$ 以及 $Q_{22} = (x_2, y_2)$ 4 个点的值。首先在 X 方向进行线性插值得到 Z_1 和 Z_2 ,然后在 Y 方向进行线性插值用同样的方法得到 P ,从而得到所要的结果 $f(x, y)$ 。插值原理如图 6。

根据上述原理,将每个像素的 4 个顶点带入 Q_{11} 、 Q_{12} 、 Q_{21} 、 Q_{22} 。首先进行 X 方向上的线性插值,在 Q_{12} 和 Q_{22} 中间插入 Z_1 , Q_{11} 和 Q_{21} 中间插入

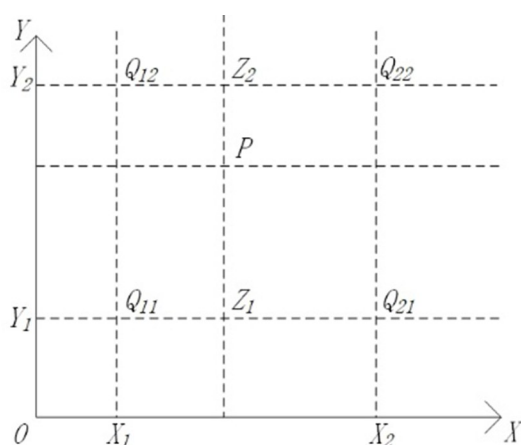


图 6 插值原理图

Fig.6 Interpolation schematic diagram

Z_2 , 得到 Z_1 和 Z_2 。再利用 Z_1 和 Z_2 进行 Y 方向上的线性插值,通过第一步计算出的 Z_1 与 Z_2 在 Y 方向上插值计算出 P 点。计算方法如式 (10) ~ (12):

$$f(Z_1) \approx \frac{X_2 - X}{X_2 - X_1} f(Q_{11}) + \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} f(Q_{21}) \quad (10)$$

$$f(Z_2) \approx \frac{X_2 - X}{X_2 - X_1} f(Q_{12}) + \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} f(Q_{22}) \quad (11)$$

$$f(P) \approx \frac{Y_2 - Y}{Y_2 - Y_1} f(Z_1) + \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} f(Z_2) \quad (12)$$

线性插值的结果与插值的顺序无关。先进行 Y 方向的插值,再进行 X 方向的插值,所得到的结果是一样的。根据以上运行过程遍历由 Canny 算法提取出来的像素级边缘图,对每一个像素进行插值找到 P 点并将所有 P 点相连,得到最终的镍片亚像素级边缘图。

4 实验与分析

本研究采用 HALCON 软件平台,以锂电池保护板为实验对象,对算法进行检测实验。

4.1 基于 Canny 算子的边缘检测

为了验证提出的 Canny 算子提取像素级边缘的准确性和细化程度,对所得的图像使用 Canny 算法进行轮廓的提取,并分别使用 Sobel、Roberts、Prewitt 等常用的边缘检测算子进行镍片边缘提取并比较提取结果。用各算法提取的结果如图 7 所示。

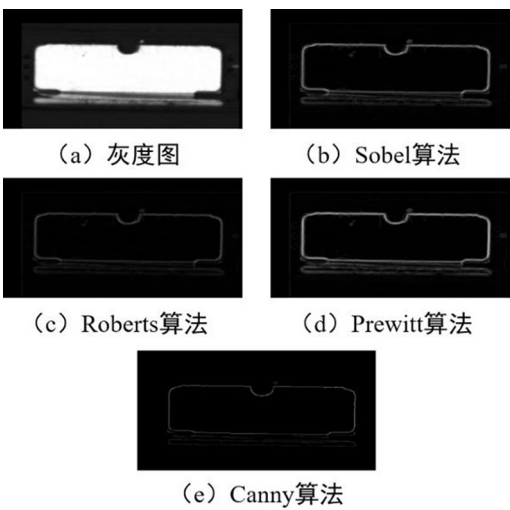


图 7 不同算法比较图
Fig.7 Comparison of different algorithms

为了确保实验的真实严谨性,每个程序都设定一样的高斯标准差参数,阈值都使用最大间类方差法测算阈值并进行阈值分割。实验结果表明,Sobel 算子的定位精度相对较低,噪声多容易造成误判;Prewitt 算子对边缘的定位不够精确,提取的边缘线条较粗;Roberts 算子的边缘分割虽然非常准确,但它对噪声很敏感无法抑制噪声的影响;Canny 算子最大程度地标识出了镍片的实际边缘。根据图 7 的实验结果得出,本研究算法采用的 Canny 算子是最适合边缘分割的算子。

4.2 亚像素级边缘提取

在基于 Canny 算法提取的边缘上采用双线性插值法进行亚像素级边缘提取,结果如图 8 所示。

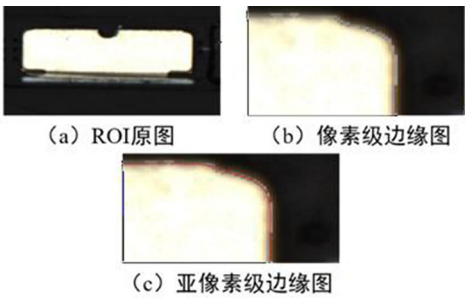


图 8 像素与亚像素比较图
Fig.8 Pixel and subpixel comparison diagram

通过上述实验可以得到亚像素级边缘,图 8 (b)中前景与背景交界处的由小正方形组成的不间断边缘为像素级边缘;图 8(b)中的小正方形为

像素点,而亚像素边缘就是将像素点内的插值点连接起来,形成不间断边缘;图 8(c)中的像素级边缘上不间断的细线便是亚像素边缘,可以观察到亚像素级边缘细于像素级边缘,更加精准。根据得到的亚像素级边缘,利用本研究的算法和工程上常用的 Sobel 检测算法进行对比,采用 area_center 算子计算面积,利用软件算得选定封闭边缘内的像素数,采用 7 组工件图像实验得到结果如表 1 所示,检测面积单位为像素数(pixel)。

表 1 镍片检测不同算法面积对比
Tab.1 Area comparison of different algorithms for nickel sheet detection

序号	Sobel 算法检测的面积/pixel	本研究算法检测的面积/pixel
1	29 849	29 208.7
2	29 857	29 211.3
3	29 819	29 199.5
4	28 247	27 516.3
5	36 849	36 246.2
6	29 810	29 205.9
7	29 823	29 209.6

通过图 8 可以直观地看出通过本研究的算法提取的亚像素边缘更加细化。通过表 1 的像素值,分析得到工件 4 为折叠缺陷工件,工件 5 为角度偏差工件,如图 9 所示,其余工件为正常工件。对比像素级与亚像素级的像素个数, Sobel 算法只能精确到整数值,而本研究提出的算法将亚像素级的像素数精准到了小数点后一位,精确到了 0.1 pixel,可得到更精准的镍片面积,从而提高生产镍片的精密性,能满足生产厂家的精度需求。



图 9 缺陷工件实物图
Fig.9 Physical drawing of defective workpiece

4.3 生产效率

使用本研究的算法与 Sobel 检测算法进行生产效率上的比较,实验对象为表 1 中的 7 个工件,检测时间单位为秒(s)。在主算法前插入 Seconds1,在算法结束后插入 Seconds2,计算 Seconds2-Seconds1 得出算法所需时间,并得到表 2 结果。通过表 2 可以看出本算法的检测时间明显优于 Sobel 算法。

表 2 镍片检测不同算法时间对比

Tab.2 Time comparison of different algorithms for nickel detection

序号	Sobel 算法检测时间/s	本研究算法检测时间/s
T1	1.049 2	0.788 5
T2	1.055 5	0.835 6
T3	1.046 1	0.859 3
T4	1.041 1	0.858 7
T5	1.053 7	0.857 7
T6	1.012 3	0.798 7
T7	1.100 4	0.846 3

根据表 2 计算 Sobel 算法的平均时间为 1.051 2 s,基于本研究算法的平均时间为 0.835 0 s,节约了近 20.57%的时间。

参考文献:

[1] 邓绍刚,汪艳,李秀清,等. 锂电池保护电路的设计[J]. 电子科技, 2006, 19(10):68-72.

[2] 陈炜明. 锂电池组充放控制电路保护措施[J]. 中国新技术新产品, 2020(17):56-57.

[3] KUMAR M, SINGH N K, KUMAR M, et al. A novel approach of standard data base generation for defect detection in bare PCB [C]//International Conference on Computing, Communication & Automation. Greater Noida, India; IEEE, 2015: 11-15.

[4] 刘浩,陈再良,张良. 基于机器学习的刀具表面缺陷检测及分类方法[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6):64-68.

[5] 乔闹生,邓磊,曾友兵,等. 含噪声且较模糊的印刷电路板光电图像边缘检测研究[J]. 光电子 激光, 2013, 24(4): 740-745.

[6] LIN B, WANG J, YANG X, et al. Defect contour detection of complex structural chips[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021 (3):1-11.

[7] HUANG Y, PAN Q, LIU Q, et al. Application of improved canny algorithm on the IC chip pin inspection[J]. Advanced Materials Research, 2011, 317-319:854-858.

[8] LIU T H, LI G Q, NIE X N, et al. Enhancement of contour smoothness by substitution of interpolated sub-pixel points for edge pixels[J]. IEEE Access, 2021, 9:44236-44246.

[9] 王奉涛,薛宇航,王洪涛,等. GLT-CNN 方法及其在航空发动机中介轴承故障诊断中的应用[J]. 振动工程学报, 2019, 32(6):1077-1083.

[10] 张文影,李礼夫. 针对车辆与行人检测的感兴趣区域自适应分割算法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(5):1967-1972.

[11] 郑金驹,李文龙,王瑜辉,等. QFP 芯片外观视觉检测系统及检测方法[J]. 中国机械工程, 2013, 24(3):290-294, 301.

5 结论

1)针对高亮镍片边缘提取效率低下和边缘不清晰的问题,提出了基于 Canny 算子的镍片像素级边缘提取算法,使用灰度变换、ROI 选取得到最简镍片信息图像,通过 Canny 算子中的非极大值抑制和双阈值边缘检测算法,解决高亮度反光的镍片与底座白色区域混为一体难以检测出有限边缘的问题,能够得到期望的像素级边缘以及提升效率。

2)针对像素级边缘的提取无法满足镍片缺陷判定的精度要求,提出一种基于双线性插值的镍片亚像素级边缘提取算法,对提取出的像素级边缘进行双线性插值,实现镍片的亚像素级边缘的提取,填充并计算亚像素级边缘内的面积,解决由于镍片尺寸小、偏差角度小导致的尺寸精度不够的问题。

实验结果表明,本研究针对锂电池保护板镍片设计的图像灰度化分割 ROI、基于 Canny 算子的边缘检测、亚像素级边缘提取的方法有效节省了锂电池保护板缺陷检测前期所需的时间,节省了镍片工序近 20.57%的时间,精准提取亚像素级边缘并精确到 0.1 个 pixel,有效提升了边缘提取的效率。

(责任编辑:方素华)