

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.03.012

基于机器视觉的软包锂电池表面缺陷检测

檀甫贵^{1,2,3}, 邹复民¹, 刘丽桑^{1,2,3}, 李建兴^{1,2,3}

(1.福建工程学院 信息科学与工程学院,福建 福州 350118;
2.福建省工业集成自动化行业技术开发基地,福建 福州 350118;
3.福州市工业集成自动化行业技术创新中心,福建 福州 350118)

摘要: 针对软包锂电池表面缺陷检测,基于机器视觉技术提出了一种改进的自动检测方法。对图像进行预处理后,将 Canny 算子检测法和 Close_Edges 算子检测法相结合,分割出软包锂电池表面的缺陷;最后以最小外接矩形法计算出划痕的长度和宽度,以累加法计算出针孔的直径。实验结果表明该方法能够有效分割出软包锂电池表面的划痕和针孔,缺陷尺寸计算的误差低于 5%。

关键词: 软包锂电池;缺陷检测;机器视觉;边缘检测

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1672-4348(2020)03-0267-06

Surface defect detection of soft-pack lithium battery based on machine vision

TAN Fugui^{1,2,3}, ZOU Fumin¹, LIU Lisang^{1,2,3}, LI Jianxing^{1,2,3}

(1.School of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2.Research and Development Center for Industrial Automation Technology of Fujian Province, Fuzhou 350118, China;
3.Innovation Center for Industrial Automation Technology of Fuzhou, Fuzhou 350118, China)

Abstract: An improved automatic detection method based on machine vision technology was proposed for detecting surface defects of soft-pack lithium batteries. After the image was preprocessed, the Canny operator detection method and the Close_Edges operator detection method were combined to segment the defects on the surface of the soft-pack lithium battery; finally, the length and width of the scratches were calculated by the minimum external rectangle method, and then the diameter of the pinhole was calculated by the accumulation method. Experimental results show that this method can effectively detect the scratches and pinholes on the surface of the soft-pack lithium battery, and the error of the defect size calculation is mostly within 5%.

Keywords: soft-packed lithium battery; defect detection; machine vision; edge detection

软包锂电池作为新一代储能电源,性能优越、应用广泛,但它使用的铝塑膜外壳材料质地较软,易受损伤,可能会引起电池内部电解质外泄,甚至引发火灾等安全事故。目前软包锂电池厂家大多采用人工观察的方式检测其表面缺陷,检测结果受主观因素影响很大、无法较长时间持续检测,效率和准确率偏低。因此,研发一套高精度软包锂电池表面缺陷自动检测系统具有迫切的市场

需求。

为了解决机械产品表面划痕的检测问题,李克斌等^[1]提出了一种多特征加权融合的划痕检测方法,检测的正确率达到 95.7%。冯凯萍等^[2]提出一种基于局部熵的光学元件表面划痕检测方法小。王思宇等^[3]提出了一套手机屏幕划痕定量检测方法,对划痕面积和弧长的检测精确度均达到 98 % 以上。为满足铝箔生产企业对微小针

收稿日期: 2020-03-04
第一作者简介: 檀甫贵(1994—),男,安徽池州人,硕士研究生,研究方向:电气控制工程、机器视觉。
通信作者: 李建兴(1968—),男,福建古田人,教授,硕士,研究方向:网络化控制系统、模糊控制、新型传感器、过程控制与 PLC 应用技术。

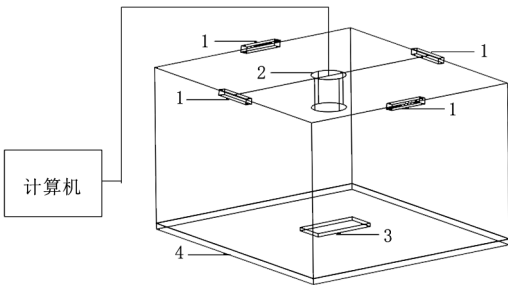
孔在线检测需求, 四川大学的廖声洋等^[4]利用机器视觉技术开发了一套铝箔针孔高速在线检测系统, 该系统采用背光源设计, 可在 12 ms 内判断 1 幅图像中是否存在针孔缺陷, 这种方法也是目前检测针孔的主流方法。此外, 卢颖颖和孙育^[5]设计了一种电镀件表面缺陷检测系统, 通过计算缺陷区域边界的白色像素点个数, 并与设定的阈值相比较, 能够有效检测出电镀件表面针孔、漏镀、花斑和色差缺陷。

基于上述研究, 本研究采用目前比较成熟的机器视觉技术对软包锂电池表面缺陷进行检测。该技术在液晶屏、铝箔、钢材、瓷砖以及多晶硅太阳能电池等产品的表面缺陷检测领域已经得到广泛使用^[6], 检测速度快、精度高, 对被检测物体不会造成二次伤害, 且可以长时间工作。

1 缺陷检测系统方案设计

1.1 硬件系统

试验采用的硬件系统如图 1 所示, 主要由相机、光学镜头、条形 LED 光源、黑色背景板、计算机等构成。



1—条形LED光源; 2—相机; 3—软包锂电池; 4—黑色背景板

图 1 系统硬件结构

Fig.1 System hardware structure

软包锂电池表面呈银白色, 易产生光线反射现象。因此在其底部放置一表面粗糙的黑色背景板, 以最大限度地减少光线反射, 并增强软包锂电池与背景的对比度, 便于后期分割背景。条形 LED 光源采用四面倾斜对称布置, 以突显缺陷区域, 且表面加装了漫反射板, 避免光线直射到电池表面, 造成强烈反光。相机采用海康威视公司生产的 500 万像素彩色相机, 分辨率达到 2 592×2 048, 像素尺寸为 4.8 μm×4.8 μm。镜头采用华谷动力公司生产的 1 000 万像素镜头, 总体畸变率低于 1%。

1.2 系统检测流程

首先调整好相机、软包锂电池的位置以及光源照射的角度和强度, 控制 CMOS 相机采集到清晰的软包锂电池图像; 然后依次对图像进行畸变校正、背景分割、高斯滤波等预处理; 其次用边缘检测算法分割出其表面的缺陷区域; 最后计算各缺陷的尺寸。

2 软包锂电池表面缺陷分割

2.1 图像预处理

分析了 50 块 250 mm×110 mm 的软包锂电池样本表面缺陷, 98.5% 以上的缺陷形态为划痕或针孔。其中 99% 以上的划痕缺陷呈直线状, 宽度在 0.1 mm 及以上; 98.3% 的针孔缺陷近似为圆形, 直径不小于 0.1 mm。因此, 将划痕和针孔缺陷作为研究对象。实验所用软包锂电池样本中共有划痕 6 条(缺陷编号分别为 1、4、5、6、8、9), 针孔 3 个(缺陷编号分别为 2、3、7), 实际尺寸如表 1 所示。

表 1 实际缺陷尺寸
Tab.1 Actual defect sizes

mm			
缺陷编号	长度	宽度	直径
1	12.13	1.47	/
2	/	/	1.24
3	/	/	0.98
4	31.66	1.48	/
5	33.74	1.47	/
6	14.89	1.10	/
7	/	/	1.26
8	10.15	1.46	/
9	30.42	1.78	/

在对缺陷检测之前, 需要对采集到的图像进行相应的预处理, 去除图像中的无关信息。

2.1.1 畸变校正

目前相机和镜头的制造和组装工艺还存在偏差, 精度没有达到理想的要求, 相机采集到的二维图像都会存在一定程度的畸变。因此首先要消除图像的畸变, 利用机器视觉软件 HALCON 自带的畸变校正模块先对相机进行标定以获取相机的成像模型, 然后校正采集到的软包锂电池表面图像。

2.1.2 背景分割

背景部分为非目标区域,会增加图像的大小,从而增大计算量,降低运算速度,因此在对目标区域进行处理之前,将背景部分去除。软包锂电池与黑色背景板对比较明显,直接采用全局阈值法提取电池区域,去除黑色背景部分,如公式(1)所示:

$$G(i,j) = P(i,j) \quad \text{if } P(i,j) \geq K \quad (1)$$
式中 $G(i,j)$ 为去除背景后的图像, $P(i,j)$ 为原始图像, K 为设定的全局阈值。

2.1.3 图像滤波

此时得到的图像光照不均匀,部分区域过暗,且存在很多小的噪声,如果直接进行缺陷检测,会把很多噪声误分类成缺陷,因此需要去除图像中的噪声^[7]。高斯滤波是一种线性滤波算法^[8],相比于中值滤波和均值滤波,它不仅能去除噪声,边缘信息也保留得更好,故选择高斯滤波算法平滑图像去除噪声。经过畸变校正、背景分割以及高斯滤波预处理之后得到的图像如图 2 所示。

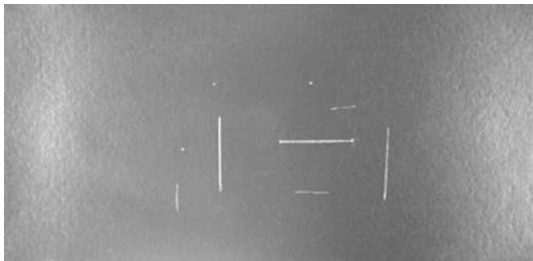


图 2 预处理后的软包锂电池表面图像
Fig2 Surface image of soft-pack lithium battery after pretreatment

2.2 缺陷分割

缺陷分割的主要目的是将图像中缺陷区域提取出来,分割的效果直接影响后续缺陷尺寸计算的精度。

2.2.1 Canny 算子检测法

Canny 算子利用高斯函数的一阶微分性质,把边缘检测问题转换为检测准则函数极大值的问题,能在边缘检测和抵制噪声之间取得较好的平衡^[9]。首先对图像进行高斯滤波;再计算图像的梯度大小和方向;然后进行非极大值抑制以确定真实的边缘,将当前像素点的梯度大小与沿正负梯度方向上的两个像素点的梯度大小对比,非极大值对应点的灰度值置为 0,保留局部梯度最大的点;最后通过设置高阈值 H 、低阈值 L 再次检测,具体方法如下。

- (1)如果边缘像素的梯度值高于 H , 则将其标记为强边缘像素,并保留该像素点。
- (2)如果边缘像素的梯度值小于 H 并且大于 L , 则将其标记为弱边缘像素,然后判断其 8 邻域空间内的像素是否存在高于高阈值的像素,如果存在,则保留该像素点,否则该像素点被抑制为 0;
- (3)如果边缘像素点的梯度值小于 L , 则该点灰度值直接被抑制为 0。

设置不同高阈值 H 和低阈值 L 的分割结果如图 3 所示。

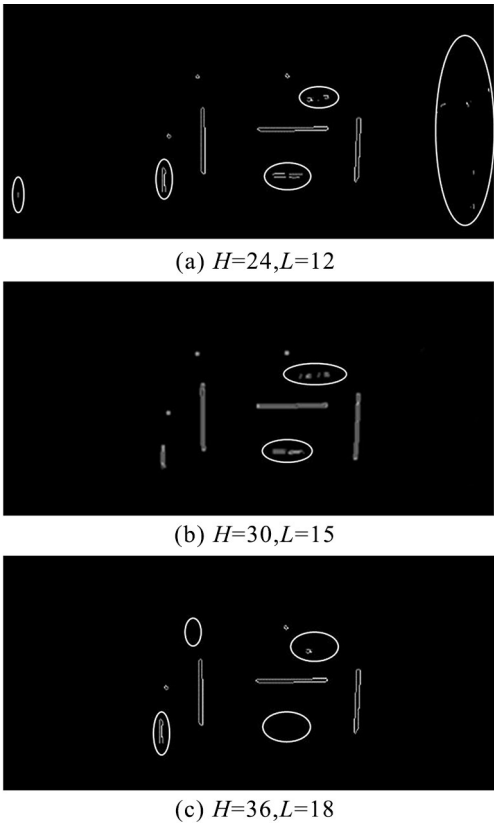


图 3 Canny 算子检测法分割结果
Fig.3 Segmentation results by Canny operator detection

图 3(a)中不仅部分缺陷出现了断续,还伴随有大量的误分割区域,检测效果最差;图 3(c)中虽然没有误分割区域,但部分缺陷断续情况严重,甚至有缺陷被漏检;图 3(b)的检测效果最好,但是仍未完整地检测出所有的缺陷,部分划痕的边缘未被检测出,出现了断续。这是因为经非极大值抑制处理后,得到的缺陷既有被误分割的假边缘,缺陷也存在断续的部分,而 Canny 算子中的双阈值检测机制,仅仅是对可能被误分割的区域(假边缘)进行抑制,没有对缺陷边缘的间断部分进行

处理,导致虽然假边缘甚至是实际的边缘被明显抑制,但缺陷间断区域仍然存在,所以 Canny 算子在对缺陷边缘间断部分的处理存在欠缺。

2.2.2 Close_edges 算子检测法

Close_edges 算子检测法首先利用 Sobel 算子计算图像的一次导数得到二值化图像,此时该二值化图像的边缘还并不完整。有的缺陷区域存在断续的情况,还有的边缘并不是真实的缺陷,可能是噪声的影响。然后利用 Close_edges 算子遍历上述图像边缘点的邻域,判断每个相邻点的梯度是否大于设定的阈值 m 。若该点的梯度大于等于 m ,则将该点添加到真实的边缘;否则该点是假边缘,该像素点被舍弃,其灰度值被抑制为 0。如此往复,直至边缘的间隙被关闭或者找不到梯度大于阈值 m 的点。

设置不同阈值 m 的分割结果如图 4 所示。

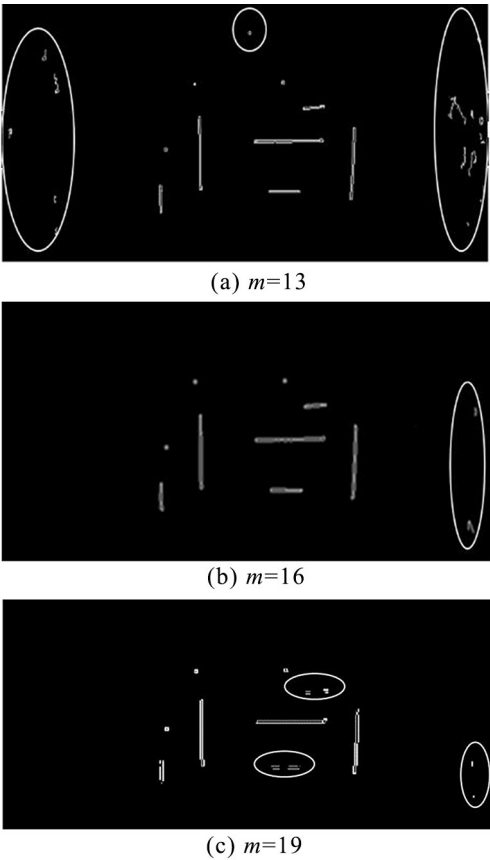


图 4 Close_Edges 算子检测法分割结果
Fig.4 Segmentation results by Close_Edges operator detection

图 4(a) 的缺陷虽然被完整地检测出来,但仍有大量的误分割区域;图 4(c) 的误分割区域已经

明显减少,但部分缺陷却出现了断续;图 4(b) 的检测效果最好,缺陷均已被完整分割出,但在图像中仍有少量的误分割区域,如图 4 中右侧白色椭圆部分。观察其 Sobel 算子的分割结果发现,在其对应被误分割区域的位置,均有面积较小的误分割区域,如图 5 中右侧白色椭圆部分所示。

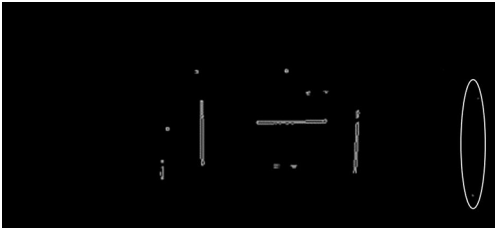


图 5 Sobel 算子分割结果
Fig.5 Segmentation results by Sobel operator

Close_Edges 算子在修补 Sobel 算子分割结果的间断处时,虽然能够将实际缺陷边缘的间隙连接起来,但也将被误分割的区域当作实际缺陷的边缘,对其邻域进行检测,导致被误分割区域增大。所以 Close_Edges 算子无法抑制初次检测出的假边缘,甚至会将其延长。

2.2.3 改进的 Close_Edges 算子检测法

综上可见,Canny 算子检测法能够有效抑制误分割出的假边缘,但对缺陷边缘的间隙却无法修补;而 Close_Edges 算子检测法能够有效连接缺陷边缘的间隙,但不能抑制被误分割出的假边缘,甚至会延伸误分割出的假边缘。根据这两个算子互补的特点,将二者相互结合,先用 Canny 算子替换 Close_Edges 算子检测法中的 Sobel 算子,进行边缘检测,最后再用 Close_Edges 算子连接边缘间隙。这样既能有效抑制前期边缘检测中被误分割出的假边缘,也能很好地连接缺陷边缘的间隙,克服了单一算子检测效果的不足。改进的 Close_Edges 算子检测法的分割结果如图 6 所示。

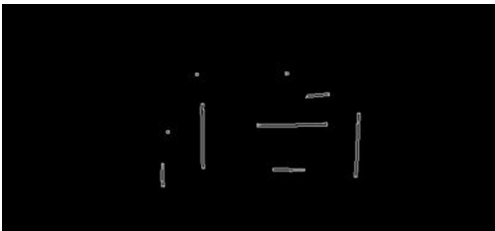


图 6 改进的 Close_Edges 算子检测法分割结果
Fig.6 Segmentation results by improved Close_Edge operator detection

从图 6 可以看出,软包锂电池表面的各缺陷均已被完整地分割出,且没有被误分割区域,检测效果最好。

3 缺陷尺寸计算

3.1 划痕缺陷的尺寸计算

软包锂电池的实际尺寸为 250 mm×110 mm,图像的像素尺寸为 612×285。由于本课题所研究的对象软包锂电池表面的划痕均为直线,为了简便计算,以各划痕的最小外接矩形的长和宽近似等效为划痕的长和宽,其计算过程如下:

- (1)求取划痕当前位置在水平和垂直方向的最大和最小坐标,以这 4 个坐标构成划痕的外接矩形,并计算其面积;
- (2)将划痕逆时针旋转一个角度 θ , θ 一般取 $3^{\circ[10]}$,再次以相同的方法计算其外接矩形的面积;
- (3)重复步骤(2),直至将划痕旋转 90° ,比较每次求得的外接矩形的面积,当面积取最小时,该矩形即为划痕的最小外接矩形。设此时外接矩形在水平方向的最大坐标和最小坐标分别为 x_2 和 x_1 ,在垂直方向的最大和最小坐标分别为 y_2 和 y_1 ,则外接矩形的像素宽 w 和高 h 分别为:

$w = x_2 - x_1$ (2)

$h = y_2 - y_1$ (3)

对应的实际宽度 W 和高度 H 分别为:

$W = \frac{w}{612} \times 250$ (4)

$H = \frac{h}{285} \times 110$ (5)

W 和 H 中较大者为划痕的长度,较小者为划痕的宽度。

3.2 针孔缺陷的尺寸计算

针孔均近似圆形,其面积与其所占像素点的个数成正比,图像的像素尺寸和实际尺寸均已知,则针孔的面积 S 为:

$S = \frac{n}{612 \times 285} \times 250 \times 110$ (6)

式中 n 为针孔所占像素点的个数,根据圆的面积公式,可求得针孔的直径 d 为:

$d = 2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ (7)

Canny 算子检测法、Close_Edges 算子检测法以及改进的 Close_Edges 算子检测法缺陷计算结果分别如表 2、3、4 所示。

表 2 Canny 算子检测法的缺陷尺寸计算结果

Tab.2 Defect size calculation results by Canny operator detection

缺陷	计算长度/mm	长度误差/%	计算宽度/mm	宽度误差/%	计算直径/mm	直径误差/%
1	12.69	4.62	1.58	7.48	/	/
2	/	/	/	/	1.29	4.03
3	/	/	/	/	1.02	4.08
4	33.21	4.90	1.52	2.70	/	/
5	35.21	4.36	1.56	6.12	/	/
6	不完整	/	/	/	/	/
7	/	/	/	/	1.30	3.17
8	不完整	/	/	/	/	/
9	31.95	5.03	1.95	9.55	/	/

表 3 Close_Edges 算子检测法的缺陷尺寸计算结果

Tab.3 Defect size calculation results by Close_Edge operator detection

缺陷	计算长度/mm	长度误差/%	计算宽度/mm	宽度误差/%	计算直径/mm	直径误差/%
1	12.64	4.20	1.57	6.8	/	/
2	/	/	/	/	1.28	3.23
3	/	/	/	/	1.01	3.06
4	33.24	4.99	1.55	4.73	/	/
5	35.17	4.24	1.52	3.40	/	/

续表

缺陷	计算长度/mm	长度误差/%	计算宽度/mm	宽度误差/%	计算直径/mm	直径误差/%
6	15.58	4.63	1.18	7.27	/	/
7	/	/	/	/	1.31	3.97
8	10.66	5.02	1.42	2.74	/	/
9	31.78	4.47	1.91	7.30	/	/

表 4 改进的 Close_Edges 算子检测法的缺陷尺寸计算结果

Tab.4 Defect size calculation results by improved Close_Edge operator detection

缺陷	计算长度/mm	长度误差/%	计算宽度/mm	宽度误差/%	计算直径/mm	直径误差/%
1	12.66	4.37	1.54	4.76	/	/
2	/	/	/	/	1.27	2.42
3	/	/	/	/	1.00	2.04
4	33.09	4.52	1.54	4.05	/	/
5	35.13	4.12	1.54	4.76	/	/
6	15.52	4.23	1.16	5.45	/	/
7	/	/	/	/	1.29	2.38
8	10.62	4.73	1.54	5.48	/	/
9	31.86	4.73	1.93	8.43	/	/

由表 2-4 数据可以看出, Canny 算子检测法的测量误差最大,且缺陷 6 和 8 未被完整检测出; Close_Edges 算子检测法虽然能够完整检测出所有缺陷,但其测量误差较改进的 Close_Edges 算子检测法略大,且分割结果中右侧有两处有明显的误分割区域;改进的 Close_Edges 算子检测法的测量误差最小,所有缺陷均被完整检测出,且无误分割区域,所以该方法检测效果最好。

4 结论

针对目前软包锂电池表面缺陷自动检测的空

白,以及人工检测准确率与效率均较低的问题,基于机器视觉技术提出了一种改进的 Close_Edges 算子检测法。实验结果表明,软包锂电池表面的划痕和针孔缺陷均被完整检测出,缺陷尺寸计算结果的误差均在 5%以内。该方法既能充分抑制前期边缘检测中被误分割出的假边缘,也能有效地连接缺陷边缘的间隙,克服了单一算子检测效果的不足,为软包锂电池表面缺陷检测提供了一种更高效的检测的方法。

参考文献:

[1] 李克斌,余厚云,周申江. 基于形态学特征的机械零件表面划痕检测[J]. 光学学报, 2018, 38(8): 260-266

[2] 冯凯萍,吕笑文,张丽文,等. 一种新的光学元件表面划痕检测算法[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(1): 230-232.

[3] 王思宇,郭阳宽,郭会梁,等. 手机屏幕表面划痕检测系统研究[J]. 数字技术与应用, 2018(4): 57-58.

[4] 廖声洋,韩震宇,董先飞. 基于机器视觉的高速宽幅铝箔针孔检测系统[J]. 计测技术, 2013, 33(5): 49-52.

[5] 卢颖颖,孙育. 基于机器视觉的电镀件表面缺陷检测系统[J]. 电镀与环保, 2019, 39(2): 59-61.

[6] 罗菁,董婷婷,宋丹,等. 表面缺陷检测综述[J]. 计算机科学与探索, 2014, 8(9): 1041-1048.

[7] LUKAC R. Adaptive color image filtering based on center-weighted vector directional filters[J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2004, 15(2): 169-196.

[8] 黄玉龙. 基于视频图像的管道裂纹缺陷检测方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.

[9] 常云浩. 铁路轨道近景影像边缘提取与线形计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.

[10] 范勋. 实验小鼠体态特征图像识别算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.

(责任编辑: 方素华)