

DOI:10.16136/j.joel.2023.11.0670

印制电路板光电图像边缘信息提取

乔闹生^{1,2*}, 尚雪²

(1. 湖南文理学院 国际学院, 湖南 常德 415000; 2. 湖南文理学院 数理学院, 湖南 常德 415000)

摘要:针对印制电路板(printed circuit board, PCB)光电图像模糊且含噪声的具体情况,提出了改进的边缘信息提取算法。首先分别对自适应模糊集增强算法与数学形态学边缘检测算法(edge detection algorithm of mathematical morphology, EDAMM)实施改进,并分析了其基本原理。然后结合这两种算法对PCB光电图像进行预处理及边缘信息提取。最后对两幅由不同成像系统获取的PCB光电图像进行了边缘信息提取实验。结果表明:用本文算法获得的PCB光电图像明暗对比度较高,并提取了精确且清晰的图像边缘信息,明显减少了噪声,所得图像的优质系数较高,两幅图像的优质系数分别是0.8852、0.8749,均高于本文中所提到的另外4种算法的结果。可见,采用本文算法可以更好地去除PCB光电图像中的模糊与噪声,并精确地提取出PCB光电图像的边缘信息。

关键词:边缘信息提取;印制电路板(PCB)光电图像;模糊集增强;数学形态学;优质系数

中图分类号: O439 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2023)11-1187-06

Edge information extraction for printed circuit board photoelectric image

QIAO Naosheng^{1,2*}, SHANG Xue²

(1. International College, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China; 2. Mathematics and Physics Science College, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China)

Abstract: Aiming at the specific situation of the fuzzy and noisy in the printed circuit board (PCB) photoelectric image, an improved edge information extraction algorithm is presented. Firstly, the adaptive fuzzy set enhancement algorithm and the edge detection algorithm of mathematical morphology (EDAMM) are improved, respectively, and their basic principles are analyzed. Then the two algorithms are combined to preprocess the PCB photoelectric images and extract their edge information. Finally, the experiments for edge information extraction are carried out with two PCB photoelectric images acquired by different imaging systems. The results show that the contrasts between light and dark of two images obtained by this algorithm are higher, and the accurate and clear edge information is extracted, the noise is significantly reduced. And the excellent quality coefficient of the obtained image is higher, which are 0.8852 and 0.8749 of the two images, there are higher than which of the other four algorithms mentioned in this paper, respectively. This shows that our algorithm can better remove the fuzziness and noise of PCB photoelectric images, and it can accurately extract their edge information.

Key words: edge information extraction; printed circuit board (PCB) photoelectric image; fuzzy set enhancement; mathematical morphology; excellent quality coefficient

0 引言

印制电路板(printed circuit board, PCB)光电图像的质量决定了PCB的质量,PCB光电图像的

内部信息很重要,但其边缘包含的信息是非常丰富的,是图像信息最集中的地方,故其图像边缘信息又决定了图像自身的质量,因此PCB光电图像的边缘信息提取意义十分重大,应用价值非常广

* E-mail: naoshengqiao@163.com

收稿日期:2022-10-02 修订日期:2022-12-03

基金项目:湖南省教育厅科学研究重点项目(22A0484)和国家自然科学基金(12104150)资助项目

泛,国内外不少学者对其进行了研究^[1-4]。

因电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)^[5]等图像采集系统、外界噪声、人为因素等各种原因,所获得的PCB光电图像有时模糊且含有噪声^[6],对其后续的进一步处理造成影响。为了减小或消除PCB光电图像的模糊与噪声,不少学者提出了图像预处理方法^[7-9]。2009年,乔闹生等^[7]在频域空间利用同态滤波器对光照不均蜕化的PCB光电图像进行滤波处理,从而增强了其目标与背景的对比特度。2014年,TIAN等^[8]通过图像增强方法提高了PCB缺陷光电图像质量,为图像的后续处理奠定了基础。2017年,ZHANG等^[9]提出了用去冗余灰度与灰度尺度变换的图像增强方法来进行图像预处理,有效地去除了图像的模糊与噪声。

鉴于PCB光电图像边缘信息的重要性,国内外学者在研究其边缘信息的提取方面取得了较好的成绩^[10-13]。2018年,QIAO等^[10]采用改进的Hough变换对PCB光电图像中的圆形目标进行了检测,精确地提取了图像中的同心圆边缘信息。2019年,VOLKAU等^[11]为了更好地检测出PCB中的缺陷,利用无监督特征提取较好地获得了PCB光电图像中的边缘信息。2020年,GEETHA等^[12]研究了基于图像处理中数学表达式的PCB缺陷检测,取得了较好的边缘信息提取效果。2022年,ZHANG等^[13]基于深度学习的基本原理,对工业印制板的X射线图像焊点缺陷进行了边缘检测,成功地提取了PCB光电图像焊点的缺陷信息。

本文根据PCB光电图像模糊且含有噪声的具体情况,结合改进的自适应模糊集增强算法与改进的数学形态学边缘检测算法(improved edge detection algorithm of mathematical morphology, IEDAMM)对PCB光电图像进行增强、去噪预处理及边缘信息提取,用优质系数客观地衡量图像边缘信息的提取性能,实验表明使用该算法能够得到较好的PCB光电图像边缘信息的提取结果。

1 基本原理

由于模糊且含有噪声的图像处理相对困难,难以提取图像的边缘信息,从而影响了图像处理的一系列后续工作。

1.1 改进的自适应模糊集增强算法

在通常的模糊图像边缘信息提取中,可先采用自适应模糊集增强算法对图像进行增强预处理,以满足人眼的感官要求。

首先设计一个隶属度函数将空间域中待增强的

原始图像 $f(x,y)$ 变换到模糊集域。1983年,Pal等人设计的隶属度函数为^[14]:

$$F(i,j) = T[f(i,j)] = [1 + \frac{(L-1) - f(i,j)}{F_d}]^{-F_e}, \quad (1)$$

式中, $f(i,j)$ 表示 $f(x,y)$ 中的点 (i,j) 处的像素灰度值, L 为 $f(x,y)$ 中最大像素的灰度级, F_d 与 F_e 表示模糊变换参数, $0 \leq F(i,j) \leq 1$ 。

然后,对隶属度函数 $F(i,j)$ 进行非线性变换,从而增强图像对比度。设在非线性变换中的模糊增强算子为 F_m 。

该算法在模糊图像增强处理中有一定的优势,可使图像更加清晰。但在处理过程中收敛速度慢,容易丢失部分边缘细节信息及陷入局部最优问题。

为了使图像能突出其中的细节信息,进一步增强图像对比度,解决该算法的不足之处,对它进行修改,定义一个新的隶属度函数为:

$$F'(i,j) = \begin{cases} \frac{F(i,j)}{L}, F_m < [1 + \frac{L}{F_d}]^{-F_d} \\ [1 + \frac{(L-1) - f(i,j)}{F_d}]^{-F_d}, F_m \geq [1 + \frac{L}{F_d}]^{-F_d} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)是在模糊集域中对 $F'(i,j)$ 进行了新的非线性变换,从而衰减了低灰度区域的像素,增强了高灰度区域的像素,于是更加明显地增强了图像的对比度,进一步去除了模糊。为此,需要减小低灰度区域的 F_m ,增加高灰度区域的 F_m ,因而设计新的模糊增强算子为:

$$F'_m = \begin{cases} k_1 F'(i,j)^2, 0 \leq F'(i,j) \leq P_T \\ 1 - k_2 [1 - F'(i,j)]^2, P_T < F'(i,j) \leq 1 \end{cases}, \quad (3)$$

式中, P_T 为类间分割点所对应的隶属度阈值,用以表示待增强图像均值所对应的隶属度值自适应变化, $k_1 = 1/P_T$, $k_2 = 1/(1 - P_T)$ 。

由式(3)可见,新的模糊增强算子 F'_m 相比原来的 F_m 来说,在低于 P_T 的范围内被有效减小,在高于 P_T 的范围内被有效增大,从而进一步增强了图像对比度,保护了图像的边缘细节信息。因此新的模糊增强算法能够一定程度改进传统算法的慢收敛速度及易于局部最优的问题。

最后将经过非线性变换后的隶属度函数从模糊集域逆变换到空间域,从而得到了去模糊增强后的图像 $f'(x,y)$ 。

经过改进的自适应模糊集增强后所得到的图像 $f'(x,y)$ 具有明显的明暗对比度,适合于人眼的感觉观测,且有较均匀的像素分布与清晰的边缘细节

信息。

1.2 IEDAMM

数学形态学因其良好的图像噪声滤除、图像特征识别与分析的性能,在图像边缘信息提取中使用较为广泛^[15-17]。

为了得到较好的图像边缘细节,提高图像检测过程中的抗噪声能力,对传统的数学形态学进行改进,从而得到改进的检测算法。

取两个不同的结构元素 $B_1(i, j)$ 与 $B_2(i, j)$, 如式(4)所示:

$$B_1(i, j) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_2(i, j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}。 (4)$$

用 \oplus 、 \ominus 、 \cdot 、 \circ 分别表示数学形态学的膨胀运算、腐蚀运算、闭运算与开运算符号^[18]。用式(4)中的结构元素对已增强的输入图像滤波得到图像边缘集,其中的图像边缘点如式(5)所示:

$$\begin{cases} y_d(i, j) = \{[(f'(i, j) \circ B_1(i, j)) \cdot B_2(i, j)] \oplus B_2(i, j)\} \cdot \\ B_2(i, j) - [f'(i, j) \circ B_1(i, j)] \cdot B_2(i, j) \\ y_e(i, j) = [(f'(i, j) \circ B_1(i, j)) \cdot B_2(i, j)] \ominus \{[(f'(i, j) \circ \\ B_1(i, j)) \cdot B_2(i, j)] \oplus B_2(i, j)\} \cdot B_2(i, j) \end{cases} (5)$$

式中, $f'(i, j)$ 表示 $f'(x, y)$ 中的点 (i, j) 处的像素灰度值。

对图像边缘集做最小值运算,从而得到图像的细节边缘集为:

$$E_{\min} = \min \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_d(i, j), \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_e(i, j) \right]。 (6)$$

IEDAMM 具有更强的抗噪声能力,其最终的图像边缘如式(7)所示:

$$f''(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y(i, j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_d(i, j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_e(i, j) + E_{\min}。 (7)$$

这样更易于提取到含噪声图像的边缘信息,从而提高效益,使得到的图像边缘更加清晰。

1.3 PCB 光电图像边缘信息提取

由于 CCD 成像系统或显微镜成像系统的性能、电子噪声和外部光源等诸多因素影响,所获得的 PCB 光电图像具有局部模糊、噪声较大等特点,因此会加大后续处理过程中的特征提取和识别难度,必须实现图像增强、噪声和模糊消除等预处理过程。

为了从模糊且含噪声的 PCB 光电图像中提取清晰的边缘信息,对自适应模糊集增强算法与数学形态学边缘检测算法(edge detection algorithm of

mathematical morphology, EDAMM)进行了改进,将两种改进的算法有机结合起来。首先采用改进的自适应模糊集增强算法消除 PCB 光电图像中的模糊现象,得到具有对称性和全局亮度特点的图像。然后应用 IEDAMM 去除图像中噪声,在此基础上再提取图像中的边缘信息。

2 实验结果及分析

对基本原理的分析进行验证,采用如图 1 所示的 CCD 成像系统及显微镜成像系统获取模糊且含噪声的 PCB 光电图像。

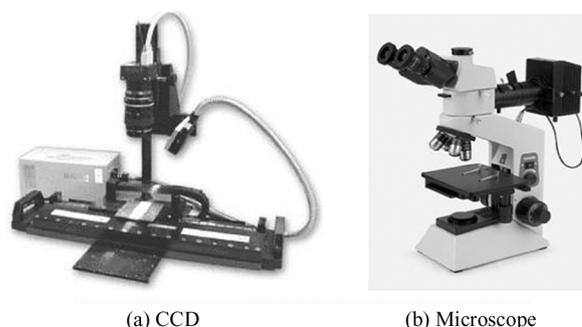


图 1 成像系统

Fig. 1 Imaging system

采用 CCD 成像系统获取的真实 PCB 如图 2 所示。

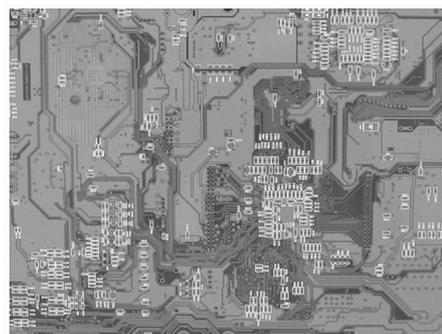


图 2 真实 PCB

Fig. 2 Actual PCB

从图 2 中截取的部分模糊且含有噪声的 PCB 光电图像如图 3(a)所示,对该图像实施边缘信息提取实验,使用 EDAMM、IEDAMM、文献[18]算法、文献[12]算法及本文算法所得结果分别如图 3(b)—(f)所示。

再采用显微镜成像系统从图 2 所示的真实 PCB 中获取显微图像进行实验,所获得的 PCB 光电图像同样模糊且含噪声,如图 4(a)所示。采用图 3 对应

的相关算法得到的实验结果分别如图4(b) — (f)所示。

从图3、图4的结果可见,原始的PCB光电图像模糊且含噪声,使用EDAMM算法提取PCB光电图像边缘信息的效果最差,边缘图中噪声较多,一些边缘信息稍模糊而无法提取;使用IEDAMM算法的效果次之,图中噪声较少,但边缘信息不连续;使用文献[18]中提到的算法效果较好,但也有少许噪声,且有少部分边缘信息没有提取;使用文献[12]中提到

的算法几乎没有噪声,边缘信息比较完整;使用本文算法能够有效去除图像中的噪声,边缘信息连续精确且清晰可见。

现采用优质系数 P_l 作为客观评价图像边缘信息提取效果的指标,其定义式如下所示^[18]:

$$P_l = \frac{1}{\max\{n_o, n_d\}} \sum_{i=1}^{n_d} \frac{1}{1 + \partial d_i^2}, \quad (8)$$

式中, n_o 和 n_d 分别表示从图像边缘提取的理想点和真实点, ∂ 表示用于调整 P_l 与理想边缘点间存在偏

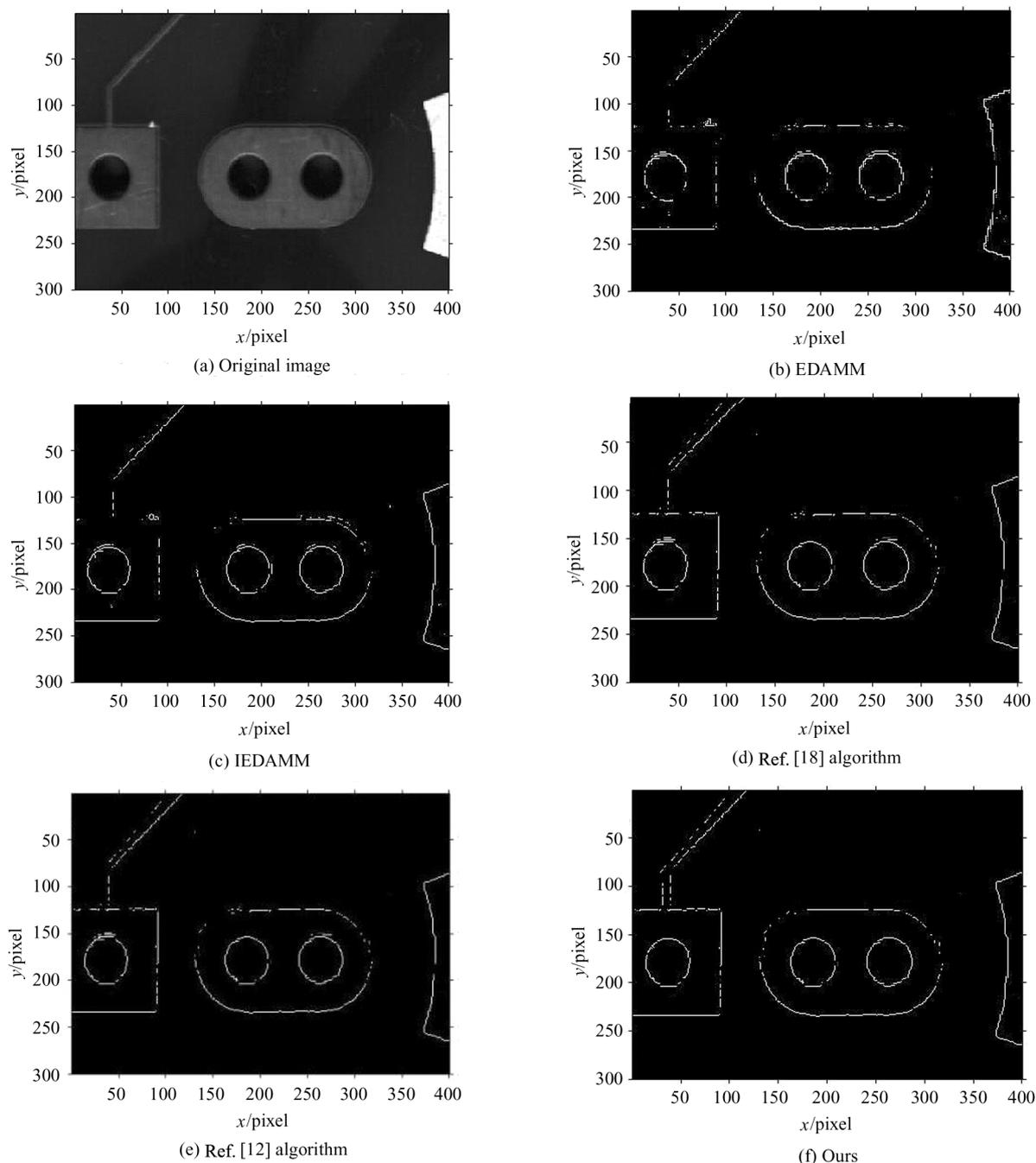


图 3 CCD 成像系统获取后截取图像提取的边缘信息对比

Fig. 3 Comparison of edge information extracted for images acquired by CCD imaging system

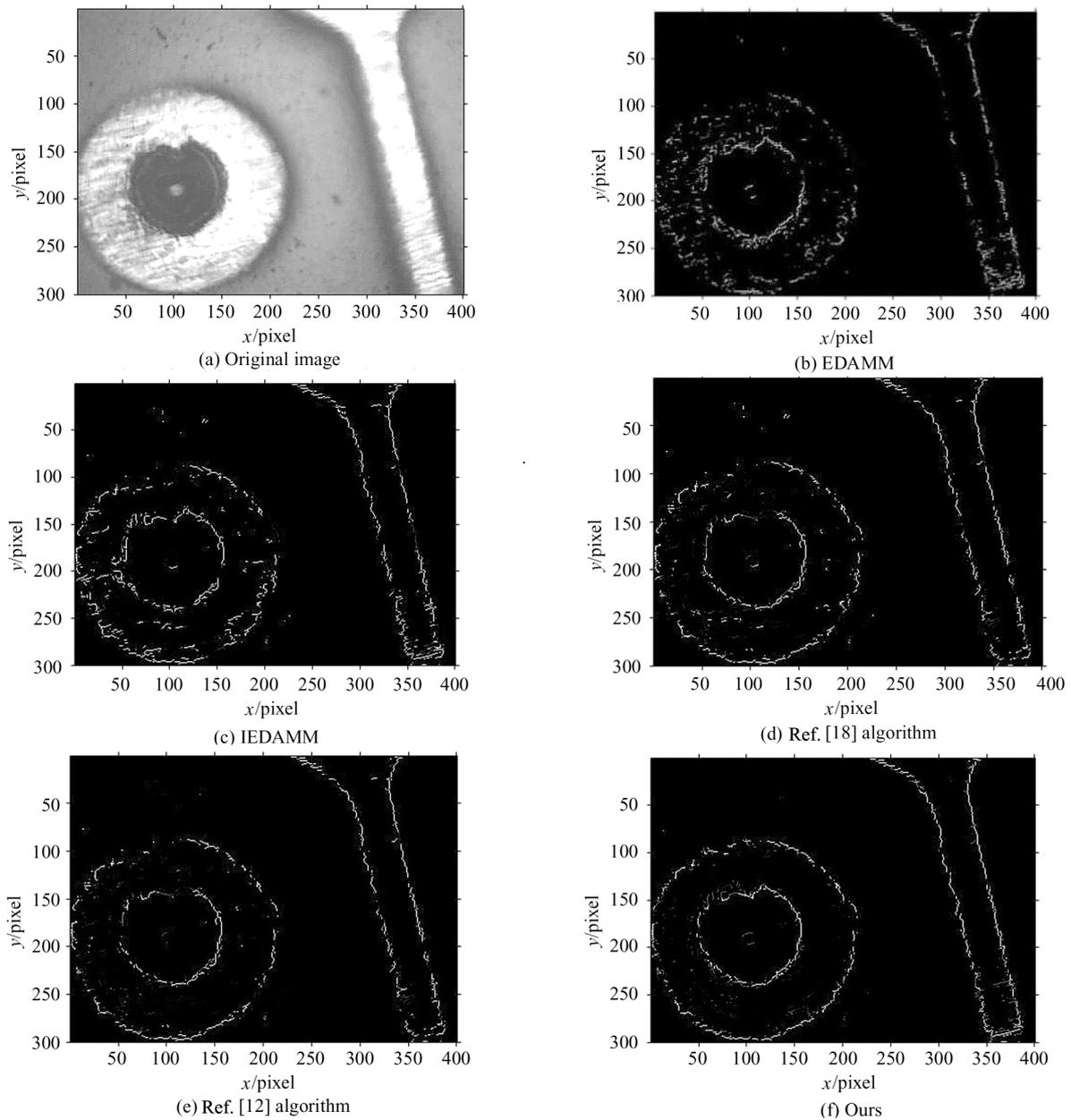


图 4 显微镜成像系统获取图像提取的边缘信息对比

Fig. 4 Comparison of edge information extracted for images acquired by microscope imaging system

差的比例系数, d_i 表示实际实验中提取第 i 个边缘点到理想边缘线之间的法线距离, 其单位为 pixel。经过多次比较, 取 $\vartheta = 0.12$ 。针对上述两幅原始图像分别使用图 3、图 4 中所述的几种算法进行边缘信息提取, 所得到的优质系数比较如图 5 所示。采用本文算法所得到的两幅图像的优质系数分别是 0.8852、0.8749, 均高于本文中所提到的另外 4 种算法的结果。

从图 5 中的数据可见, 采用本文算法提取图像的边缘信息具有相对较高的优质系数。因为它结合了改进的自适应模糊集增强算法与 IEDAMM 来进行边缘信息提取, 可有效地去除图像的模糊与噪声,

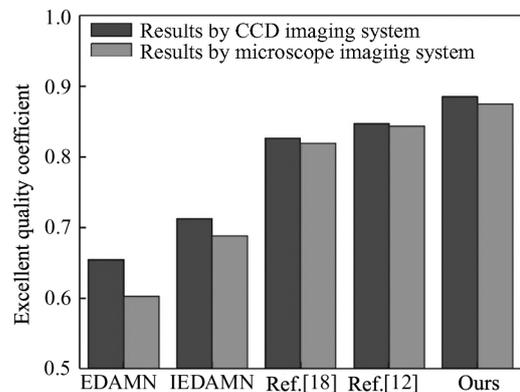


图 5 采用不同边缘信息提取算法得到的优质系数比较

Fig. 5 Comparison of excellent quality coefficients by using different edge information extraction algorithms

增加图像边缘信息的提取能力。可见,采用本文算法可以更好地提取模糊且含噪声的 PCB 光电图像的边缘信息。

3 结 论

为了较好地提取模糊且含噪声的 PCB 光电图像中精确且清晰的边缘信息,结合了改进的自适应模糊增强算法与 IEDAMM 来提取图像的边缘信息,用实验进行了有效验证并得到了较好的实验结果:用本文算法得到的边缘图像噪声减少,边缘信息清晰,图像优质系数较高,两幅图像的优质系数分别是 0.885 2、0.874 9,高于本文所提到的另外 4 种方法。表明采用本文算法来提取 PCB 光电图像边缘信息的效果较好。

参考文献:

- [1] TIBYANI, HAYATI N, SUTRISNO I, et al. Design of printed circuit board detection with image information technology [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1175(1): 012011.
- [2] QIAO N, SUN P. Mixed method of printed circuit board photoelectric image edge information extraction [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1775(1): 012004.
- [3] LIU G H, WEN H T. Printed circuit board defect detection based on Mobile Net-Yolo-Fast [J]. Journal of Electronic Imaging, 2021, 30(7): 043004.
- [4] QIAO N S, TANG J. Study of edge detection of printed circuit board photoelectric image based on multi-scale wavelet transform [J]. Advanced Materials Research, 2012, 542-543: 850-853.
- [5] ZHANG P H, HU M, XU M M, et al. Non-Doppler lidar wind measurement system based on convolutional neural network [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2021, 32(10): 1039-1045.
张平慧, 胡森, 许蒙蒙, 等. 基于卷积神经网络的非多普勒激光雷达测风系统 [J]. 光电子·激光, 2021, 32(10): 1039-1045.
- [6] LOU W, ZHONG C, ZHANG G S. Research on PCB image denoising algorithm based on regularized denoising model of L1-L2 norm [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2020, 31(2): 168-174.
娄伟, 钟彩, 张观山. 基于 L1-L2 范数的正则项去噪模型的 PCB 图像去噪算法研究 [J]. 光电子·激光, 2020, 31(2): 168-174.
- [7] QIAO N S, YE Y T, MO C H, et al. Study of capturing and preprocessing of printed circuit board photoelectric image [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(4): 984-988.
乔闹生, 叶玉堂, 莫春华, 等. 印刷电路板光电图像获取与预处理研究 [J]. 光学学报, 2010, 30(4): 984-988.
- [8] TIAN X, LIANG Z, DONG H. Application of image processing in the detection of printed circuit board [C] // IEEE Workshop on Electronics, Computer & Applications, May 8-9, 2014, Ottawa, ON. New York: IEEE, 2014: 157-159.
- [9] ZHANG F, QIAO N S, LI J F. A PCB photoelectric image edge information detection method [J]. Optik, 2017, 144: 642-646.
- [10] QIAO N S, XIAO K, WEI C. PCB photoelectric image circle detection based on improved Hough transform [J]. Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering, 2018, 11(4): 457-459.
- [11] VOLKAU I, ABDUL M, DAI W, et al. Detection defect in printed circuit boards using unsupervised feature extraction upon transfer learning [C] // 2019 International Conference on Cyberworlds (CW), October 2-4, 2019, Kyoto, Japan. New York: IEEE, 2019: 101-108.
- [12] GEETHA R, BHARATHI M. Printed circuit board defect detection using mathematical expression in image processing [C] // Proceedings of the First International Conference on Advanced Scientific Innovation in Science, Engineering and Technology, ICASISSET 2020, May 16-17, 2020, Chennai, India. Belgium: European Alliance for Innovation, 2020: 16-17.
- [13] ZHANG Q, ZHANG M, GAMANAYAKE C, et al. Deep learning based solder joint defect detection on industrial printed circuit board X-ray images [J]. Complex & Intelligent Systems, 2022, 8(2): 1525-1537.
- [14] PAL S K, KING R A. One edge detection of X-ray images using fuzzy sets [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, 5(1): 69-77.
- [15] MA T B, WU Q, DU F, et al. Spot image segmentation of lifting container vibration based on improved threshold method and mathematical morphology [J]. Shock and Vibration, 2021, 2021(2): 1-11.
- [16] ASHOURI M, SILVA F, BAK C L. Analysis and validation of mathematical morphology filters for single-ended fault localization in VSC-HVDC links [J]. Electrical Engineering, 2021, 103(3): 1583-1596.
- [17] WANG J, DUAN S, ZHOU Q. An adaptive weighted image denoising method based on morphology [J]. International Journal of Circuits, 2021, 15: 271-279.
- [18] QIAO N S. Edge detection of printed circuit board defect image [J]. Acta Photonica Sinica, 2016, 45(4): 0410001.
乔闹生. 印制电路板缺陷图像边缘检测 [J]. 光子学报, 2016, 45(4): 0410001.

作者简介:

乔闹生 (1971—), 男, 博士/博士后, 教授, 硕士生导师, 主要从事光学三维传感、图像处理与光电信息检测等方面的研究。