

doi: 10.3788/gzxb20164504.0410001

印制电路板缺陷图像边缘检测

乔 闹 生

(湖南文理学院 物理与电子科学学院, 湖南 常德 415000)

摘 要: 为了提取含噪声印制电路板(PCB)光板缺陷图像边缘信息,提出了一种基于混合法的图像边缘检测方法.在分析类间最大距离法图像分割基本原理的基础上提出了一种改进的类间最大距离法(IMDBC);设计了结合中值滤波、IMDBC、改进的数学形态学边缘检测算子与 LOG 算子进行 PCB 光板缺陷图像边缘检测的混合方法.用 CCD 及显微镜成像系统获取 4 幅 PCB 光板缺陷图像,结果表明:用本文方法提取出的图像边缘信息清晰且较精确,噪声点较少,所得到的 4 幅图像优质系数是其它 6 种方法的 1.0111~1.3586 倍.

关键词: 边缘检测;图像分割;印制电路板缺陷图像;改进的类间最大距离法;改进的数学形态学;LOG 算子

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2016)04-0410001-7

Edge Detection of Printed Circuit Board Defect Image

QIAO Nao-sheng

(School of Physics and Electronic, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China)

Abstract: To extract the edge information of noisy Printed Circuit Board (PCB) defect image, an image edge detection method based on mixed method was proposed. The basic principle and advantages of the image segmentation method based on the Maximum Distance Between Categories (MDBC) were analyzed, and its improved segmentation method (IMDBC) was proposed. The image edge detection method based on the mixed method by combining with median filter, IMDBC, the improved mathematical morphology edge detection operator and LOG operator was discussed. The edge information extraction experiment by using four PCB defect images acquired by CCD and microscope imaging system was carried out. The experiment results show that it can extract better the PCB defect image edge information by using this method, and it has lesser noise points. In this method, the image excellent quality coefficients are from 1.0111 to 1.3586 times of other six methods mentioned in this paper.

Key words: Edge detection; Image segmentation; Printed circuit board defect image; Improved maximum distance between categories; Improved mathematical morphology; LOG operator

OCIS Codes: 100.4994; 100.1160; 350.4600; 120.4630; 200.4740; 200.3050

0 引言

印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)光板缺陷图像边缘包含丰富的信息,通过缺陷图像边缘信息提取可以确定 PCB 的质量情况,其边缘信息提取的研究成果在光电检测中有较大的应用价值,已广泛应用于光电行业的各个领域.

随着 PCB 光电行业的发展,对 PCB 图像的研究显

得日益重要,近年来不少学者对 PCB 图像边缘信息提取进行了深入研究^[1-7].1999 年,张利等利用 Hough 变换将边缘检测后的 PCB 图像中不连续边缘像素连接起来,得到图像目标信息与边缘信息^[1];2012 年,熊邦书等结合数学形态学滤波,综合采用面积法、连通域法和缺陷边缘法对 PCB 缺陷图像进行检测,得到了缺陷图像边缘信息^[2];2013 年,乔闹生等应用小波变换与 Canny 边缘检测算子融合的方法得到了较模糊 PCB 光

基金项目:国家自然科学基金(No. 61475045)、湖南省教育厅科学研究重点项目(No. 13A062)、湖南省科技计划项目(No. 2014FJ3027)、中国博士后科学基金(No. 2012M521553)和光电信息集成与光学制造技术湖南省重点实验室基金资助

第一作者:乔闹生(1971-),男,副教授,博士,主要研究方向为光电图像信息检测. Email:naoshengqiao@163.com

收稿日期:2015-10-19; **录用日期:**2016-01-27

<http://www.photon.ac.cn>

电图像边缘检测信息^[3];2008年,Bartoli A利用图像配准与参考比较法对PCB图像进行缺陷检测,可以提取PCB图像定位圆孔边缘信息^[4];2013年,Naosheng Qiao等利用改进的FCM算法对含噪声PCB光电图像进行目标信息分割,可以提取图像的目标信息^[5]。

本文针对PCB光板缺陷图像具体情况,应用改进的类间最大距离法^[8]对经去噪声与模糊后的PCB光板缺陷图像进行图像分割后初步得到目标信息,再用数学形态学^[9-11]进行处理得到较完整目标信息的图像,最后采用LOG算子^[12]提取目标图像边缘信息,得到较高准确度的边缘图像。

1 基本原理

1.1 改进的类间最大距离法

类间最大距离法是指在某个适当的阈值下,用目标与背景这两个类别中心与阈值之间的距离差来度量两个类间的差异,当分割后的前景目标与背景两个类间的差异最大时认为是最佳分割^[8]。

其算法步骤为^[8]

给定一个初始阈值 $Th = Th_0$,将图像分为背景 C_1 与前景目标 C_2 两类。

设输入图像函数为 $f(x, y)$,两类中的灰度均值表达式为

$$u_i = \frac{1}{N_{C_i}} \sum_{(x,y) \in C_i} f(x, y) \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

式中 N_{C_i} 为第 i 类中的像素个数。 $i=1$ 时表示背景类, $i=2$ 时表示前景目标类。

相对距离度量值为

$$S = \frac{(u_2 - Th)(Th - u_1)}{(u_2 - u_1)^2} \quad (2)$$

自动选择最佳阈值 $Th = Th^*$,使得图像按照该阈值分为背景 C_1 与前景目标 C_2 两大类,此时的距离度量值为

$$S|_{Th = Th^*} = \max\{S\} \quad (3)$$

这种阈值分割方法的优点明显,能较好地地将图像中目标信息从背景中分割出来。但由于它没有考虑每个类内自身的离散性,所以不能更全面地反映出分类的好坏,分割效果不是很理想。

为了更准确地从背景中提取出目标信息,现对传统方法进行改进,提出一个改进的阈值分割法。

由于类间最大距离法把两类的类间方差作为判别依据,认为使得类间方差最大的阈值即为所求的最佳阈值。

背景类与前景目标类的像素灰度值所对应的一维类间方差为

$$\delta_i = \omega_0 (u_{0i} - u_i)^2 + \omega_b (u_{bi} - u_i)^2 \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

式中 ω_0 与 ω_b 分别表示目标与背景所占的比例, u_{0i} 与

u_{bi} 分别表示第 i 类中目标与背景的灰度均值。

因为 δ_i 是图像灰度值分布均匀性的一种度量, δ_i 越大,说明图像的均匀性越好,即构成图像的两部分差别越小,因此目标与背景之间错分的概率最小,此时背景类与前景目标类的类间距离最大。

定义像素灰度值对应的分类的离散测度为

$$t_{di} = \omega_0 d_{0i} + \omega_b d_{bi} \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

式中 d_{0i} 与 d_{bi} 分别表示目标灰度值与背景灰度值所在点到中心灰度值点间的距离。

由于背景类与前景目标类中各像素与各类中心间的距离越小,各类中的像素的内聚性越好。因此可用 t_{di} 来度量各类内聚性的好坏, t_{di} 越小,类内中像素越均匀,内聚性越好,因而图像的分割效果越好。

为了使图像有最佳程度的分割效果,既要保证类间距离最大,又要保证各类内聚性最好,即要求 δ_i 最大,同时要求 t_{di} 最小。

联合考虑式(4)与式(5),构建一个改进的阈值识别函数为

$$\varphi_i = \frac{\omega_0 (1 - \omega_0) \delta_i}{t_{di}} \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

式中 $1 - \omega_0 = \omega_b$ 。

综合考虑式(6)中 t_{di} 的最小值及 δ_i 的最大值可得到 φ_i 的最大值,从而得到一个最大的阈值,最大可能地实现类内一致性,使类间达到最大程度的分离。

1.2 改进的数学形态学方法

传统数学形态学是一种非线性滤波方法,可用来检测图像结构及其各个部分之间的关系,较好地识别与分析图像特征信息^[9-11]。

设 \ominus 、 \oplus 、 O 、 \cdot 分别是数学形态学的腐蚀运算、膨胀运算、开运算与闭运算符号^[13-14]。

为了更好地提取缺陷图像的边缘信息,对传统数学形态学运算进行改进。设 $f(i, j)$ 为输入图像 $f(x, y)$ 中位于点 (i, j) 处的像素灰度值, $\overline{f(i, j)}$ 为 $f(x, y)$ 中位于点 (i, j) 处相邻像素的平均灰度值,取 $f(x, y)$ 中点 (i, j) 处新的像素灰度值为

$$f'(i, j) = \overline{f(i, j)} + k[f(i, j) - \overline{f(i, j)}] \quad (7)$$

式中 k 为放大因子,且 $k > 1$ 。

将点 (i, j) 的结构元素 $B(i, j)$ 应用于开运算与闭运算中,使得

$$\overline{f(i, j)} = [(f(i, j)OB(i, j))] \quad (8)$$

将像素灰度值 $f(i, j)$ 分为两部分,其表达式为

$$f(i, j) = [(f(i, j)OB(i, j))] + [(f(i, j) - (f(i, j)OB(i, j)))] \quad (9)$$

由于式(9)中的 $[(f(i, j) - (f(i, j)OB(i, j)))]$ 部分包含了像素点 $f(i, j)$ 的边缘信息,像素尺寸小于结构元素 $B(i, j)$ 的像素尺寸,因此联立式(7)、式(8)可得

$$f'(i, j) = [(f(i, j)OB(i, j))] +$$

$$k[(f(i,j)-(f(i,j)OB(i,j))] \quad (10)$$

取式(10)中, $k=2$,则可得

$$f'(i,j)=f(i,j)+[(f(i,j)-(f(i,j)OB(i,j))] \quad (11)$$

于是像素点 (i,j) 处新的像素灰度值 $f'(i,j)$ 分为了 $f(i,j)$ 与 $[(f(i,j)-(f(i,j)OB(i,j))]$ 两部分.

在图像存在噪声与模糊的情况下,采用文献[14-15]提出的数学形态学边缘检测方法中的算子来提取式(9)中包含了像素点 $f(i,j)$ 边缘信息的 $[(f(i,j)-(f(i,j)OB(i,j))]$ 部分,其算子表达式为

$$G[f(i,j)]=[(f(i,j)OB(i,j))\oplus B(i,j)-[(f(i,j)B(i,j))\ominus B(i,j))] \quad (12)$$

在此基础上,再利用该算子结合膨胀、腐蚀、开运算与闭运算的优点,可以更有效地抑止图像中噪声、消除边缘模糊性,可以填充图像中目标信息的空洞,滤除目标信息及其周围的干扰点和其它无关信息.

1.3 基于混合法的边缘信息提取

为了得到清晰的含噪声 PCB 光板缺陷图像边缘信息,结合改进的类间最大距离法、改进的数学形态学与 LOG 算子^[12]进行图像目标信息分割、空洞填充、无关信息滤除与边缘信息提取.

中值滤波器具有较好的平滑去噪能力,首先采用中值滤波器^[16]对含噪声 PCB 光板缺陷图像进行滤波初步去除噪声,并对图像进行适当增强处理去除边缘模糊,将彩色图像转换为灰度图像 $f(x,y)$.

改进的类间最大距离法能够尽可能地得到一个最大的阈值 φ ,最大可能地实现类内一致性,使类间达到最大程度的分离.于是再对灰度图像 $f(x,y)$ 应用改进的类间最大距离法进行阈值分割从而初步分割出 PCB 光板缺陷图像中目标信息,但由于分割后的图像存在

较多的干扰点、空洞或其它无关信息,因此分割出来的目标边缘信息不够纯正.

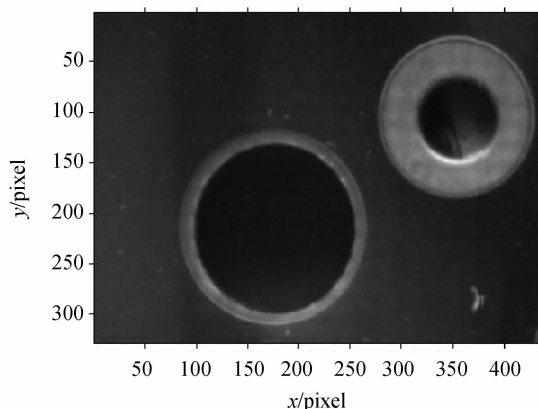
改进的数学形态学运算能够有效抑止图像中噪声、消除边缘模糊,能够较好地滤除目标信息中及其周围的干扰点和其它无关信息.于是再采用改进的数学形态学对初步分割后的目标信息图像进行一系列处理,提取 PCB 光板缺陷图像中包含了像素点 $f(i,j)$ 边缘信息的 $[(f(i,j)-(f(i,j)OB(i,j))]$ 部分.适当采用闭运算填充图像中的空洞从而使缺陷图像比较完整后,多次反复使用开运算、闭运算滤除图像中干扰点及其它无关信息,最后得到包含更加完整目标信息的缺陷图像.

最后采用 LOG 算子最佳平滑去噪及有效边缘提取的优点对最终分割后的缺陷图像目标信息进行边缘信息提取,得到较高准确度含有边缘信息的图像.

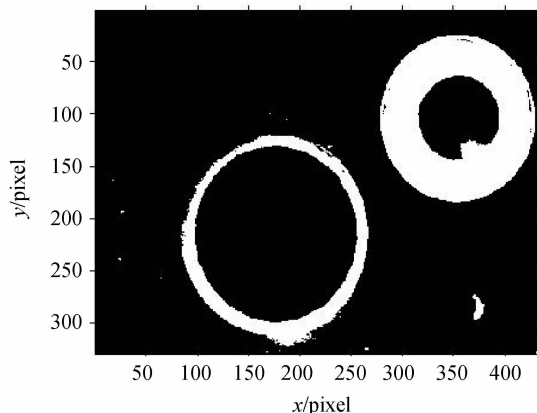
2 实验结果

由于 CCD 及显微镜成像系统、外界环境等多方面的因素,所获取的 PCB 光板缺陷图像难免存在一些缺陷,因此需要对缺陷图像进行检测处理.

由 CCD 获取并截取其中一部分的第一幅含噪声 PCB 光板缺陷图像中如图 1(a);采用中值滤波器对图 1(a)的原始缺陷图像初步去噪声与模糊处理后,利用类间最大距离法对其进行分割处理,得到缺陷图像目标信息如图 1(b);再采用改进的数学形态学对初步分割后的目标信息图像进行一系列处理,得到最后的包含更加完整信息的缺陷图像如图 1(c);应用 LOG 算子对图 1(c)进行边缘信息提取后得到较高准确度的目标信息边缘图像如图 1(d).



(a) Original PCB image with dark and noisy



(b) Target information extracted with IMDBC

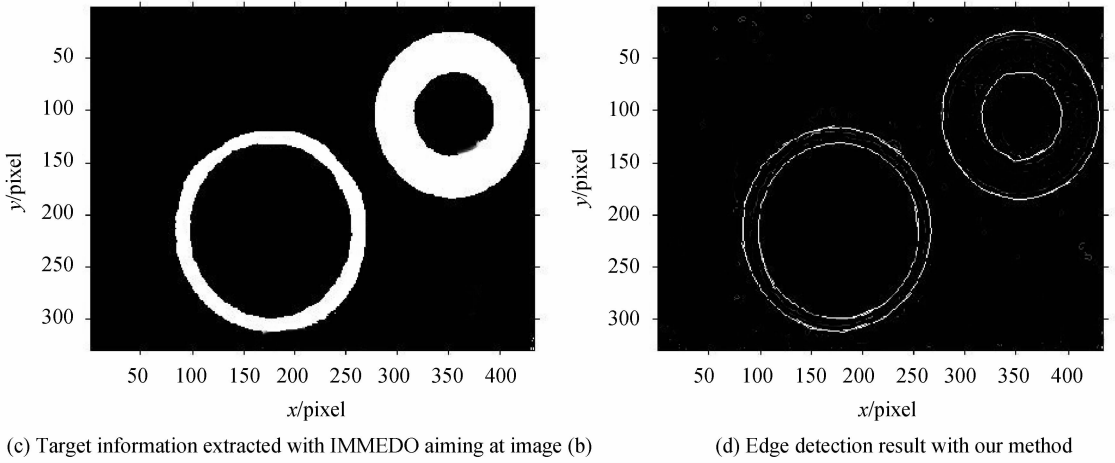


图 1 由 CCD 获取后截取的第一幅模糊含噪声印刷电路板缺陷图像实验结果

Fig. 1 Experiment results of the first dark and noisy defect image of printed circuit board acquired by CCD

图 2(a)为由 CCD 获取后截取的第二幅印刷电路板缺陷图像、图 2(b)、(c) 和(d)分别为其相应处理

结果。

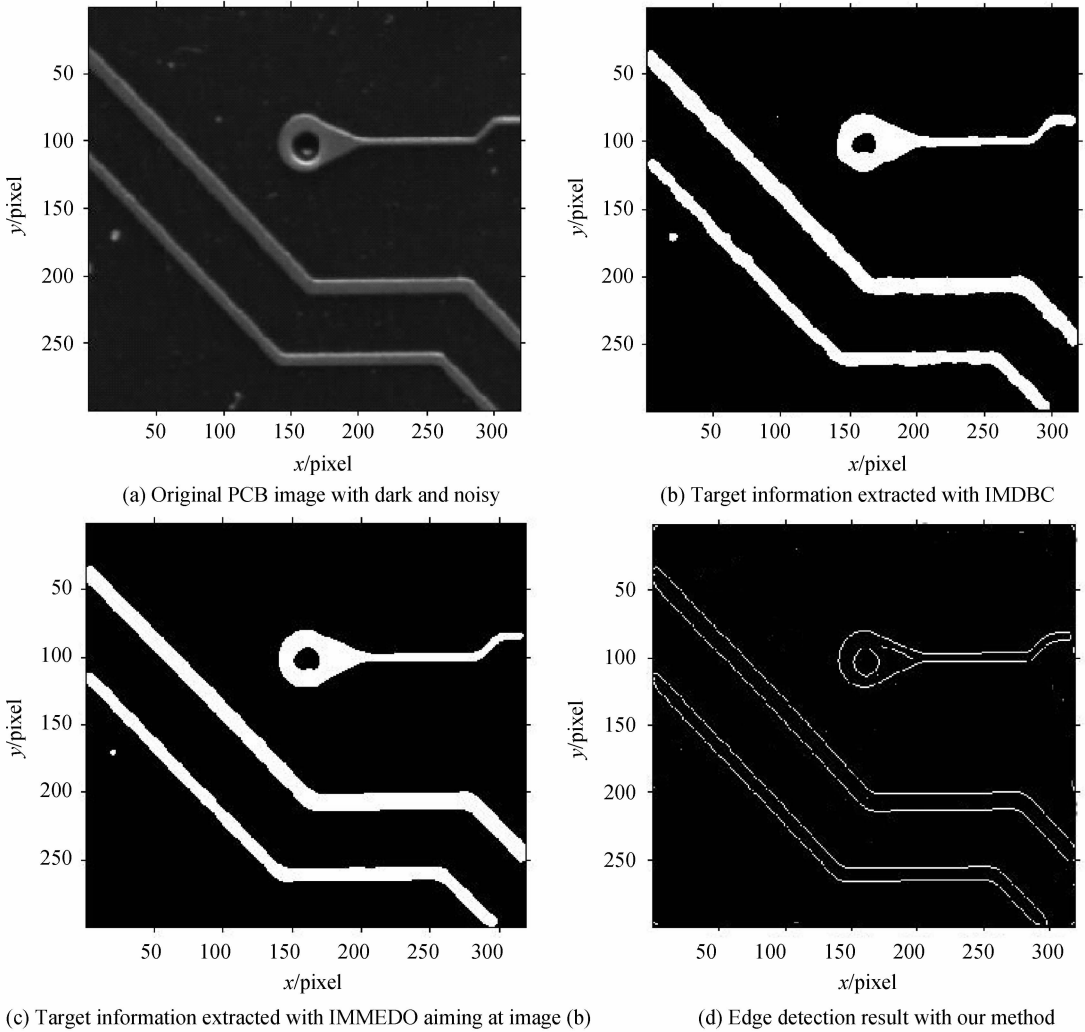


图 2 由 CCD 获取后截取的第二幅模糊含噪声印刷电路板缺陷图像实验结果

Fig. 2 Experiment results of the second dark and noisy defect image of printed circuit board acquired by CCD

图 3(a)为第一幅由显微镜获取的印刷电路板缺陷图像,图 3(b)、(c) 和(d)分别为其相应处理结果图。

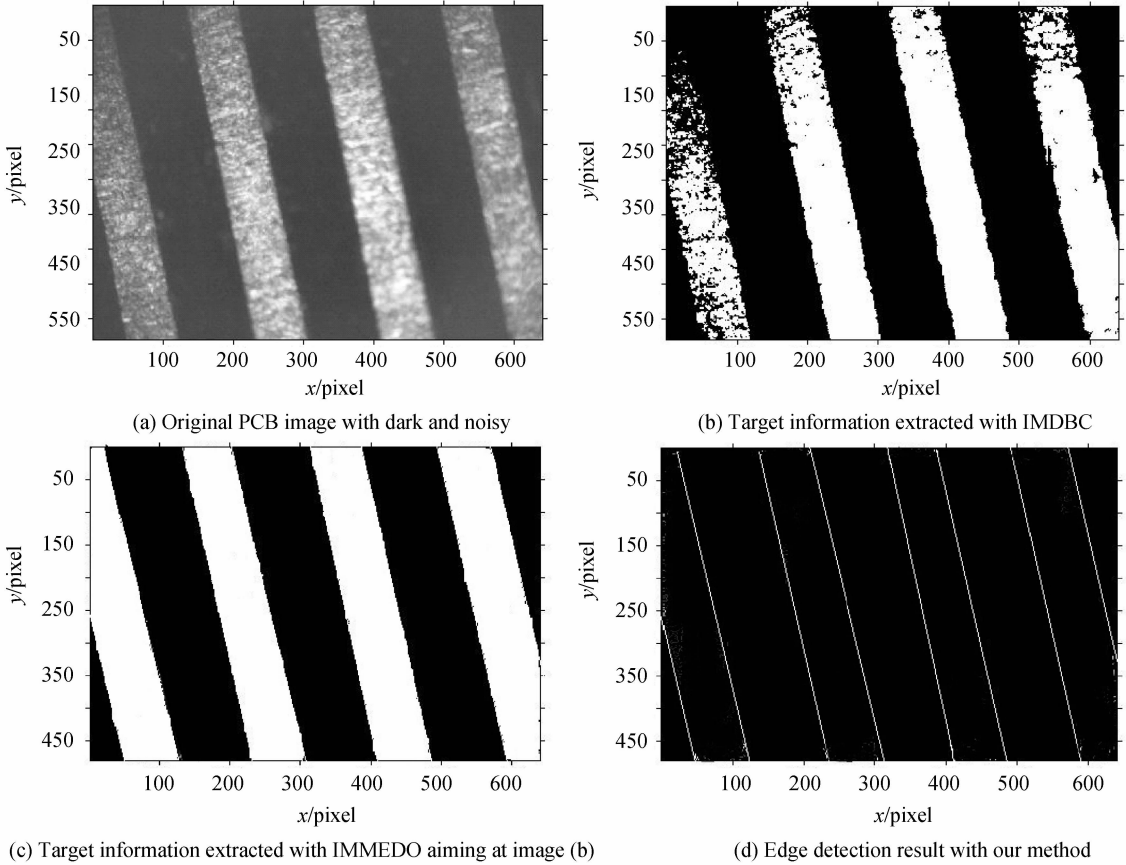


图3 由显微镜获取后截取的第一幅模糊含噪声印刷电路板缺陷图像实验结果

Fig. 3 Experiment results of the first dark and noisy defect image of printed circuit board acquired by microscope

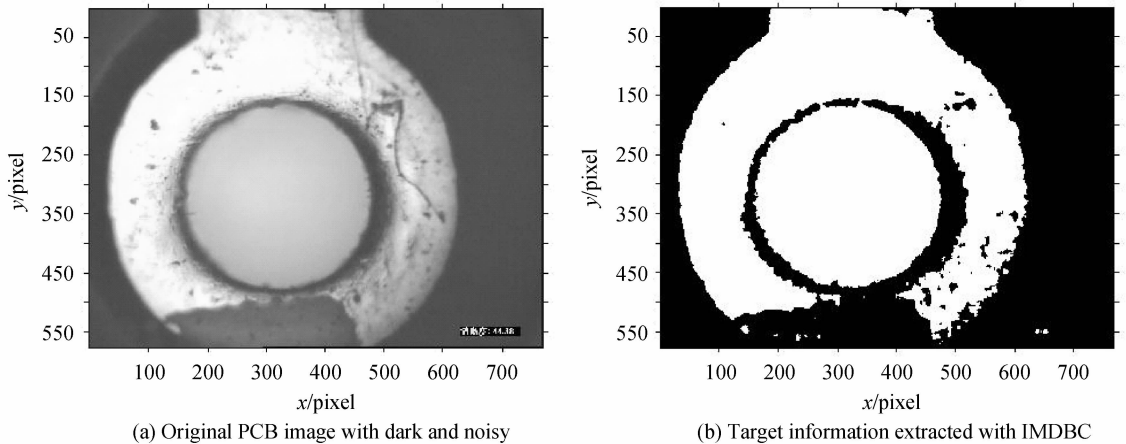
图4(a)为由显微镜获取的第二幅印刷电路板缺陷图像,图4(b)、(c)和(d)分别为其相应处理结果。

由图1至图4实验结果可见,单独采用类间最大距离法难以较好地提取PCB光板缺陷图像的目标信息,会不可避免地带有的一些诸如孤立点、空洞等干扰的无关信息;结合改进的数学形态学对初步分割后的目标信息进行处理后,得到最终的目标信息更加完整;通过前两步处理后,再采用LOG算子可精确地提取出目标图像的边缘信息。

为了客观地评价图像边缘信息提取效果,采用优质系数 P_l 作为边缘信息提取性能的评价指标, P_l 定义为^[14,17]

$$P_l = \frac{1}{\max\{n_o, n_d\}} \sum_{i=1}^{n_o} \frac{1}{1 + \partial d_i^2} \quad (13)$$

式中, n_o 和 n_d 分别代表理想与实际提取出的图像边缘上的点数; ∂ 为比例系数,用以调节与理想边缘点有偏差的 P_l ; d_i 为实际提取出的第 i 点边缘点到理想边缘线的法线距离,单位为像素数。



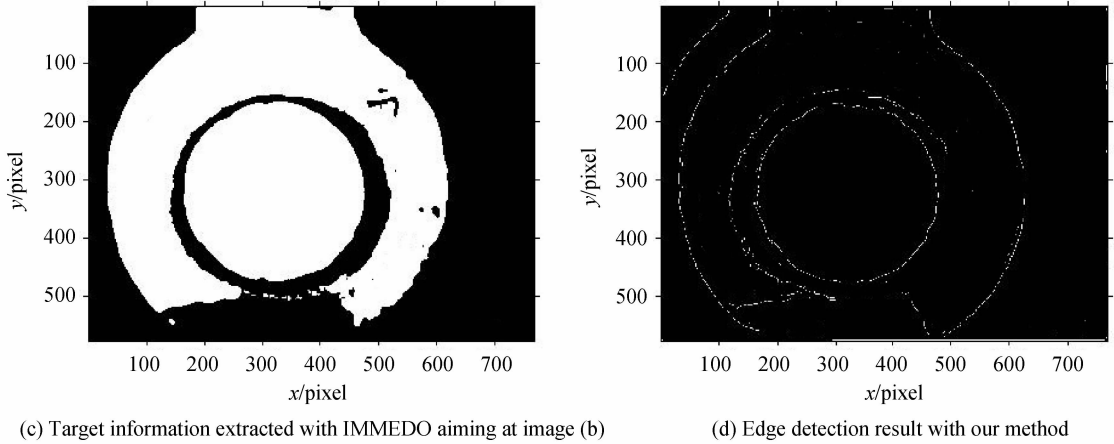


图4 由显微镜获取后截取的第二幅模糊含噪声印刷电路板缺陷图像实验结果

Fig. 4 Experiment results of the second dark and noisy defect image of printed circuit board acquired by microscope

取 $\vartheta=0.1$, 对图 1(a)、图 2(a) 所示 PCB 光板缺陷图像分别采取改进的类间最大距离法、改进的数学形态学、LOG 算子、文献[2]方法、文献[10]方法、文献

[14]方法、本文方法进行图像边缘信息提取, 实验得到各自的优质系数 P_i 如表 1.

表 1 各种边缘信息提取方法的优质系数

Table 1 Image excellent quality coefficients by using different edge information extraction methods

	IMDBC	IMMEDO	LOG operator	Ref. [2]	Ref. [10]	Ref. [14]	Proposed method
Fig. 1	0.748 3	0.820 3	0.644 3	0.910 9	0.921 4	0.931 5	0.960 3
Fig. 2	0.685 1	0.762 1	0.583 4	0.858 2	0.860 8	0.870 6	0.880 3
Fig. 3	0.721 6	0.807 5	0.623 5	0.901 3	0.916 0	0.924 2	0.951 2
Fig. 4	0.641 9	0.716 3	0.541 9	0.830 1	0.841 6	0.850 8	0.872 1

从表 1 可见, 由于本文方法是中值滤波、改进的类间最大距离法、改进的数学形态学、LOG 算子方法的综合利用, 集中了各自的优点, 有较大的优质系数, 可以较好地提取 PCB 光板缺陷图像的边缘信息.

3 结论

本文结合中值滤波、改进的类间最大距离法、改进的数学形态学与 LOG 算子有关基本原理, 对含噪声 PCB 光板缺陷图像进行了图像预处理、缺陷图像目标信息分割、空洞填充、无关信息滤除及边缘检测, 提取了清晰且较精确的 PCB 光板缺陷图像边缘信息.

参考文献

- [1] ZHANG Li, GAO Yong-ying, WANG Hao, *et al.* Study on detecting marks in the testing of PCB[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1999, **4**(8): 659-662.
张利, 高永英, 汪浩, 等. PCB 板检测中的定位研究[J]. *中国图象图形学报*, 1999, **4**(8): 659-662.
- [2] XIONG Bang-shu, XIONG Zhen-jiao, MO Yan, *et al.* Detection method of printed board defect based on image[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2012, **33**(2): 303-306.
熊邦书, 熊振姣, 莫燕, 等. 线路板缺陷的图像检测方法[J]. *半导体光电*, 2012, **33**(2): 303-306.
- [3] QIAO Nao-sheng, Deng Lei, CHENG You-bing, *et al.* Study of noisy and darker PCB photoelectricity image edge detection [J]. *Journal of Optoelectronics . Laser*, 2013, **24**(4): 740-745.
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.

- [4] BARTOLI A. Groupwise geometric and photometric direct image registration[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, **30**(12): 2098-2108.
- [5] QIAO Nao-sheng, ZOU Bei-ji. A segmentation method for noisy photoelectric image[J]. *Optik*, 2013, **124**: 4092-4094.
- [6] QIAO Nao-sheng, SUN Ping. Circuitry detection in printed circuit board[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, **42**(11): 1355-1359.
乔闹生, 孙萍. 印制电路板线路检测研究[J]. *光子学报*, 2013, **42**(11): 1355-1359.
- [7] QIAO Nao-sheng, YE Yu-tang, MO Chun-hua, *et al.* Method for the detection of concentric circles of photoelectric image of circular hole in printed circuit board[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(1): 75-78.
乔闹生, 叶玉堂, 莫春华, 等. 印刷电路板圆孔光电图像的同圆心圆检测方法[J]. *光学学报*, 2010, **30**(1): 75-78.
- [8] 于殿泓. 图像检测与处理技术(第一版) [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 149-150.
- [9] JIANG Tao, WANG Jian-zhong, SHI Jia-dong. Path planning method in autonomous returning for mini-mobile robot [J]. *Computer Engineering*, 2015, **41**(1): 164-168.
姜涛, 王建中, 施家栋. 小型移动机器人自主返回路径规划方法[J]. *计算机工程*, 2015, **41**(1): 164-168.
- [10] MA Wen-wei, ZHAO Yong-qiang, ZHANG Guo-hua, *et al.* Infrared dim target detection based on multi-structural element morphological filter combined with adaptive threshold segmentation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(7): 1020-1024.
马文伟, 赵永强, 张国华. 基于多结构元素形态滤波与自适应阈值分割相结合的红外弱小目标检测[J]. *光子学报*,

- 2011, **40**(7): 1020-1024.
- [11] MA Shuang, CHEN Jiang-ning, LU Hu, *et al.* Approach for license plate location using edge features filter and multi-decision mechanism [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, **50**(9): 145-149.
马爽,陈江宁,卢虎,等. 边缘特性筛选与多判定机制下的车牌定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2014, **50**(9): 145-149.
- [12] LOU Yue, XIANG Li-bin, LIU Bo. A fast background roughness-based infrared naval vessel target detection algorithm[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(9): 1759-1763.
娄越,相里斌,刘波. 基于背景粗糙度估计的红外目标检测算法[J]. 光子学报, 2007, **36**(9): 1759-1763.
- [13] 何东健. 数字图像处理(第二版) [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2008: 186-188.
- [14] QIAO Nao-sheng, ZOU Bei-ji, ZENG Lei, *et al.* An edge detection method based on image fusion in noisy image[J]. *Journal of Optoelectronics . Laser*, 2012, **23**(11): 2215-2220.
乔闹生,邹北骥,邓磊,等. 一种基于图像融合的含噪图像边缘检测方法[J]. 光电子·激光, 2012, **23**(11): 2215-2220.
- [15] DONONO D L, JOHNSTONE I M. Adaptive to unknown smoothness via wavelet shrinkage[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1995, **90**(432): 1200-1224.
- [16] FANG Jing, CHENG Le-hong, ZHANG Yu-ping, *et al.* Improved iterative tomography based on fan-beam geometry of double projections[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2014, **43**(10): 1011003.
方静,程乐红,张玉萍,等. 基于扇束双投影方向的改进迭代层析成像法[J]. 光子学报, 2014, **43**(10): 1011003.
- [17] SHIH M Y, TSENG D C. A wavelet-based multiresolution edge detection and tracking[J]. *Image and Vision Computing*, 2005, **23**(4): 441-451.

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61475045), the Key Scientific Research Fund of the Hunan Provincial Education Department of China (No. 13A062), the Program Research Foundation of the Hunan Province Science-Technology Department of China (No. 2014FJ3027), the China Postdoctoral Science Foundation (No. 2012M521553) and the Key Laboratory of Photoelectricity Information Integration and Optics Manufacture Technology in Hunan Province