

基于势函数的印刷电路板定位孔快速定位算法

郭峰林¹, 管庶安¹, 何健¹

武汉工业学院计算机与信息工程系, 武汉 430023

摘要 分析了 Sobel 算子检测印刷电路板 (PCB) 定位孔的缺陷, 提出了一种基于势函数的定位孔快速精确定位算法。该算法对焊盘图像中亮斑干扰不敏感, 对模糊成像的适应能力强, 能有效纠正因蚀刻质量较差而引起的焊盘局部形状变形问题。模拟实验表明, 该算法性能稳定、定位精度高、速度快, 能较好地满足工程实时处理要求。

关键词 势函数; 定位孔; 粗定位; 机器视觉

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)16-0071-03

Fast and Accurate Positioning Algorithm Based on the Potential Function for the Center of PCB Location Hole

GUO Fenglin, GUAN Shu'an, HE Jian

Department of Computer and Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China

Abstract It is shown in this paper that there are some defects in the Sobel operator to detect the location hole of Printed Circuit Board (PCB) and a fast and accurate positioning algorithm based on the potential function is proposed, which provides a two-step algorithm for the effective and accurate location of the pad hole center. (1) Coarse positioning of the radius and the center of the location hole through the region dividing and connected region searching method based on the smooth processing to the original image. (2) Setting up the potential function, which reflects the strength of the circle edge, then dynamically adjusting the offset of the radius and the center of the pad based on the circle parameter obtained in step (1). When the value of the potential function reaches the maximum, the radius and the center of the pad is obtained. The algorithm is not sensitive to the interfering bright spots within the pad image, can be quite adaptable to the fuzzy pad image, and, at same time, can effectively correct the pad shape deformation due to the poor quality of the circuit board corrosion. Experiments show that the algorithm has a stable performance, a high positioning accuracy and a good efficiency, which can be better meet the engineering real-time requirements.

Keywords potential function; location hole; coarse positioning; machine vision

0 引言

在印刷电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 钻孔工序中, 首先要钻定位孔, 再以定位孔孔心坐标为基准、PCB 设计文件中的孔心为相对坐标钻元件孔。定位孔位置精度将直接影响到元件孔的位置精度, 若采用手工作业, 不仅工效低下, 而且精度乃至正确性难以保证。

采用计算机视觉方法可以快速、准确地检测到定位孔, 精

确地计算出孔心坐标。目前常见的方法是: 先用 Sobel 算子检测边缘点, 再运用 Hough 变换检测出圆周, 进而计算圆心^[1-2]。图 1 是由实际 PCB 板拍摄的定位孔图像和运用 Sobel 算子做边缘检测的结果。图 1(a) 中, 由于定位孔的焊盘由具有镜面反射效果的金属镀膜组成, 在辅助光源下形成亮纹干扰, 检测出来的边缘中含有大量非圆周边缘; 图 1(b) 采用模糊成像, 虽然损失了图像细节, 大大减少了亮纹干扰, 但边缘不尖

收稿日期: 2010-05-10; 修回日期: 2010-07-20

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2004ABA033)

作者简介: 郭峰林, 副教授, 研究方向为图形图像处理、嵌入式系统应用, 电子信箱: cflguo@gmail.com

锐,检测困难;图1(c)由于蚀刻质量较差,圆周有畸变。大量无用边缘点的干扰,不仅大大增加了Hough变换的计算量,而且直接影响到结果的准确性和可靠性。

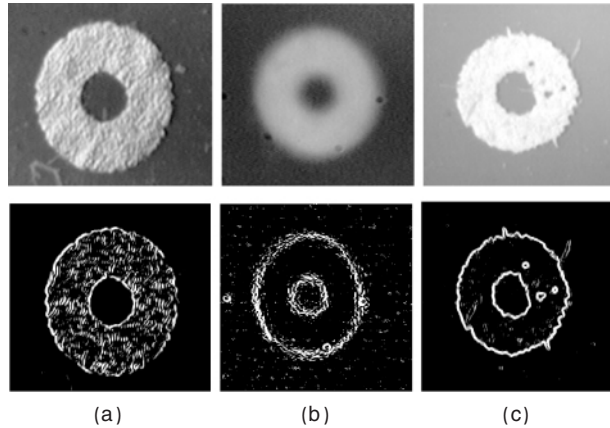


图1 典型PCB焊盘图像与Sobel变换结果
Fig. 1 Typical PCB pad image and Sobel transformation

本文采用两步定位法算法实现孔心坐标的快速精确定位。①对原图像作平滑处理,采用区域分割和连通区搜索法,粗定位出孔的半径和孔心坐标;②建立关于圆上反映边缘强度的势函数,以粗定位圆周为初始输入,动态调整半径和孔心坐标偏移量,使势函数达到全局最大值时的半径和孔心坐标即为所求。实验表明,该方法对焊盘图像亮斑干扰不敏感,对模糊成像的适应力强,能有效纠正因蚀刻质量较差引起的焊盘局部形状变形问题,且算法鲁棒性强、速度快。

1 孔心粗定位

孔心粗定位^[3]方法如下。设PCB灰度图像为 $f(x, y)$,为了减弱亮纹干扰,对 $f(x, y)$ 作 9×9 均值滤波,得到 $g(x, y)$,如图2(a)所示。求 $g(x, y)$ 的直方图,再由峰谷法获得分割阈值 T 。对 $g(x, y)$ 二值化,得到 $B(x, y)$,

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 & g(x, y) > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

在 $B(x, y)$ 中,由“1”像素构成的连通区是焊盘。采用基于堆栈的连通区搜索算法,可获得包围焊盘的最小矩形框 S ,如图2(b)中的虚线框。

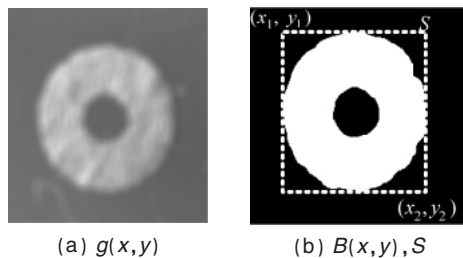


图2 图1(a)图像的滤波
Fig. 2 Filter, binarization and connected area searching of the image in Fig. 1(a)

考虑一般性,设焊盘边缘为椭圆,用向量 X 描述, $X=(a, b, x_0, y_0)$ 。其中, a, b 分别为长轴和短轴, x_0, y_0 为孔心坐标。由粗定位可以求得 X 的初始值 X_0 ,计算式为

$$X_0 = \left(\frac{x_2 - x_1}{2}, \frac{y_2 - y_1}{2}, \frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2} \right) \quad (2)$$

椭圆的极坐标方程为

$$x = x_0 + a \cos \theta \quad y = y_0 + b \sin \theta \quad r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (3)$$

为了加快均值滤波速度,累加求和时应尽可能避免重复计算。设以 (x, y) 为中心的 9×9 区域中的所有像素灰度之和为 $L(x, y)$,则 $L(x+1, y)$ 可按下式计算:

$$L(x+1, y) = L(x, y) + \sum_{j=-4}^4 [f(x+4, y+j) - f(x-4, y+j)] \quad (4)$$

速度可提高4倍以上。

2 孔心精确定位算法

一般来说,粗定位精度达不到工程要求。其原因主要是:

- ① 均值滤波使边缘变得模糊,难以找到一个合适的分割阈值,使得分割得到的边缘点均落在实际边缘上;
- ② 经过二值化的图像,原图像中边缘处的灰度随空间位置连续变化的信息已经丧失,无法通过考查灰度的变化情况来精确定位边缘。因此,边缘的精确定位应该在灰度图像 $f(x, y)$ 上进行。

为了得到边缘处的灰度变化的信息,先对 $f(x, y)$ 作2D小波变换^[5]如下:

$$\begin{cases} W_s^1(x, y) = \iint_{(u, v) \in \sigma} f(x+u, y+v) \cdot \psi_s^1(u, v) du dv \\ W_s^2(x, y) = \iint_{(u, v) \in \sigma} f(x+u, y+v) \cdot \psi_s^2(u, v) du dv \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\psi_s^1(u, v), \psi_s^2(u, v)$ 为小波基函数,尺度为 s ,有效定义域为 σ 。选择高斯函数的一阶导数作为小波基函数,有

$$\begin{cases} \psi_s^1(u, v) = -(u/s) \exp \left[-\frac{(u/s)^2 + (v/s)^2}{2} \right] \\ \psi_s^2(u, v) = -(v/s) \exp \left[-\frac{(u/s)^2 + (v/s)^2}{2} \right] \end{cases} \quad (6)$$

取小波变换的模 $Mf(x, y)$ 作为边缘强度,有

$$Mf(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2} \quad (7)$$

由所选小波基函数性质可知, $Mf(x, y)$ 具有良好的光滑性,在边缘点上 $Mf(x, y)$ 有极大值。再构造 X 上势函数 $V(X)$,

$$V(X) = \sum_{(x, y) \in X} [Mf(x, y)]^2 \quad (8)$$

$V(X)$ 随 X 变化而变化,当 X 与边缘重合时, $V(X)$ 取得最大值,记为 $\max_c V(X)$,其中 C 为 X 的有效活动区域。于是,孔心精确定位算法可以表述为求满足 $\max_c V(X)$ 的 X 。

3 快速算法

为满足工程应用中的实时处理,必须采用快速算法完成上述计算。设 X 的增量为 $dX=(da, db, dx_0, dy_0)$ 。相应地, $V(X)$ 在 X 的各分量上有增量 $dV(X)$,

$$dV(X) = \left(\frac{\partial V}{\partial a} da, \frac{\partial V}{\partial b} db, \frac{\partial V}{\partial x_0} dx_0, \frac{\partial V}{\partial y_0} dy_0 \right) = (dV_a, dV_b, dV_{x_0}, dV_{y_0}) \quad (9)$$

设 ε 为一适当小常数, N 为算法中的迭代次数上限。快速算法如下:

```

输入  $X=X_0$ , 计算  $V(X_0)$ ;
do{
按式(9)分别计算  $dV_a, dV_b, dV_{x_0}, dV_{y_0}$ ;
if( $dV_a > 0$ )  $a+=da$ ; else  $a-=da$ ;
if( $dV_b > 0$ )  $b+=db$ ; else  $b-=db$ ;
if( $dV_{x_0} > 0$ )  $x_0+=dx_0$ ; else  $x_0-=dx_0$ ;
if( $dV_{y_0} > 0$ )  $y_0+=dy_0$ ; else  $y_0-=dy_0$ ;
按式(8)计算  $V(X)$ ;
 $dV = \| V(X_0) - V(X) \|$ ;  $V(X_0) = V(X)$ ;
}while( $dV > \varepsilon$  && 迭代次数  $< N$ );
输出  $X$ 
    
```

上述算法中,需要计算 X 上各点的 2D 小波变换,为尽可能避免重复计算,且不计算未涉及的点,需建立存放 2D 小波变换结果的二维数组 $Mf[x][y]$ 。计算前,将 $Mf[x][y]$ 中的各元素全部置为一个充分大的数(2D 小波变换不可能达到的数)。计算中,若 $Mf[x][y]$ 充分大,说明点 (x, y) 的 2D 小波变换未计算。

4 实验结果和分析

图 3 给出了采用上述算法的定位效果。实验程序用 VC++ 6.0 编写,运行环境:Dell OptiPlex 330 PC 机,Windows XP 操作系统。计算中,选用小波变换的尺度因子 $s=5$, $Mf[x][y]$ 图像如图 3 所示。为方便观察,图中对所有点的小波变换均进行了计算。实际中,排除重复和未涉及的点,需要进行小波变换的点少很多。迭代计算中,取各增量为: $da=0.5, db=0.5, dx_0=0.5, dy_0=0.5$,迭代次数上限 $N=50$,误差上限 $\varepsilon=2$ 。图 3(d)、(e)、(f)分别为图 3(a)、(b)、(c)的定位结果。可以看出,定位误差不大于 1 像素(约 $25\mu\text{m}$)。

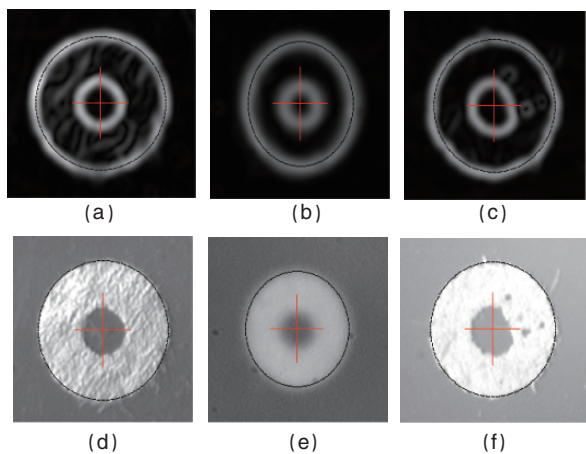


图 3 定位结果

Fig. 3 Positioning result

表 1 给出了迭代次数和耗时。其中,迭代耗时包括小波变换时间,由调用查询 CPU 时钟计数器的 API 函数 QueryPerformanceCounter(&T)得到。由表 1 可知,定位一个焊盘所需迭代次数仅 20 次左右,说明算法的收敛性能良好;每焊盘的定位时间仅约 10ms,比常规方法快得多^[14];另外,用快速均值滤波算法完成一幅 640×480 像素的滤波,耗时仅 9.7ms。将该算法应用于广东省梅州振声包装技术有限公生产的打靶机,经过连续数月的测试发现,对于人眼能够辨别的定位孔,孔心的机器视觉识别率达 98.5%以上。

表 1 图 3 图像的处理时间

Table 1 Processing time of the image in Fig. 3

焊盘 图样	实物 直径/mm	成像 直径/pixel	相邻像素 间距/m	迭代 次数	迭代 耗时/ms
图 3(a)	3.0	141	21.3	18	10.0
图 3(b)	3.0	119	25.2	18	9.2
图 3(c)	3.0	141	21.3	24	13.2

实际工程应用表明,该算法性能稳定,对模糊成像、亮纹干扰有较强的适应能力。而且由于定位精度高,速度快,因此能较好地满足了工程实时处理要求。

5 结论

基于势函数的 PCB 定位孔快速算法,一方面对原图像成像质量要求不严格,且具有一定的抗干扰性;另一方面,通过建立定位孔边缘强度的势函数,并采取快速孔心定位算法,使印刷电路板定位孔孔心坐标能被快速、精确地定位。本算法应用于 PCB 板打靶机中,从产品实际应用效果来看,算法稳定、可靠、准确,适应性强。

参考文献 (References)

- [1] 柏长冰,齐春,宋福民,等. Hough 变换快速检测圆形 PCB Mark [J]. 光电工程, 2005, 32(9): 75-78.
Bai Changbing, Qi Chun, Song Fumin, et al. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(9): 75-78.
- [2] 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): 659-668.
Zhang Li, Gao Yongying, Wang Hao, et al. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(8): 659-668.
- [3] 商飞,王丰贵,田地,等. 一种基于圆内接直角三角形的圆检测方法[J]. 光学学报, 2008, 28(4): 739-743.
Shang Fei, Wang Fenggui, Tian Di, et al. Acta Optica Sinica, 2008, 28(4): 739-743.
- [4] 于新瑞,王石刚,关柏青,等. 一种快速检测圆的抗干扰模板方法 [J]. 光学学报, 2004, 24(8): 1115-1119.
Yu Xinrui, Wang Shigang, Guan Baiqing, et al. Acta Optica Sinica, 2004, 24(8): 1115-1119.
- [5] Ibrahim Z, Al-Attas S A R, Aspar Z. Model-based PCB inspection technique using wavelet transform [C]//Proceedings of the 4th Asian Control Conference. Singapore, 2002: 2026-2029.

(责任编辑 朱宇)