

文章编号: 0253-2239(2010)01-0075-04

印刷电路板圆孔光电图像的同圆心检测方法

乔闹生^{1,2} 叶玉堂¹ 莫春华³ 吴云锋¹ 刘霖¹

(¹ 电子科技大学光电信息学院, 四川 成都 610054; ² 湖南文理学院物理与电子科学学院, 湖南 常德 415000)

³ 四川大学制造科学与工程学院, 四川 成都 610065

摘要 为了有效地检测印刷电路板(PCB)圆孔光电图像同心圆的圆心与边缘,在 Hough 变换的基础上提出了一种新的同心圆检测方法。利用同心圆的几何特点对点 Hough 变换边缘点的点组选取方法和搜索点组的图像扫描方向进行了改进:首先由累加阵列确定同心圆的圆心,然后由圆心到各个有效边缘点距离的均值求出半径,从而检测出同心圆的圆心与边缘。对实际采集的 PCB 定位圆孔光电图像进行对比实验,在提高检测精度、降低内存空间、减少计算时间方面,该检测方法的优势明显。

关键词 图像处理;同心圆检测;Hough 变换;点组选取

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103001.0075

Method for the Detection of Concentric Circles of Photoelectric Image of Circular Hole in Printed Circuit Board

Qiao Naosheng^{1,2} Ye Yutang¹ Mo Chunhua³ Wu Yunfeng¹ Liu Lin¹

¹ School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China

² Department of Physics and Electronics, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China

³ College of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China

Abstract In order to detect the center and radius of concentric circles of photoelectric image of circular hole effectively in printed circuit board (PCB), a novel method for the detection of concentric circles based on Hough transform was proposed. The method for the point sets selection of point Hough transform and the scan direction for image of searching the point sets were improved by using the geometrical characteristic of the concentric circles; The center of the concentric circles was obtained in the accumulative array firstly, radius was obtained by the mean of distance between the circle center and every edge points afterwards, both the circle center and the edge of the concentric circles were detected accordingly. After the contradijective experiments for the detection of photoelectric image of PCB positioning circular hole obtained in reality, the detection method proposed in this paper has obvious advantage in the aspects of increasing detection precision, reducing memory space and time.

Key words image processing; detection of concentric circles; Hough transform; point sets selection

1 引言

1962 年 Hough^[1] 提出 Hough 变换,由于它能对形状有效识别,且对噪声不敏感,因而受到了极大关

注。而在自动化装备、智能检测、特征提取等图像检测领域,圆目标的检测定位占有十分重要的地位^[2,3]。在图像检测中对圆检测采用的方法常见的有 Hough

收稿日期: 2009-02-10; 收到修改稿日期: 2009-03-30

基金项目: 国家重点实验室基金(9140C1406020708)、总装基金(9140A01020507DZ02)、粤港关键领域重点突破项目(20091683)和湖南省科技计划项目(2009FJ3187)资助课题。

作者简介: 乔闹生(1971—),男,博士研究生,讲师,主要从事光电图像处理及光信息处理等方面的研究。

E-mail: naoshengqiao@163.com

导师简介: 叶玉堂(1946—),男,教授,博士生导师,主要从事红外热图像处理及光学工程等方面的研究。

E-mail: ytye@uestc.edu.cn

变换及其相应的改进方法^[4~14]。如林金龙等^[8]提出了用点 Hough 变换实现圆检测的方法。

基于 Hough 变换的同心圆检测方法是圆检测方法中的一种特殊情况,有着广泛的应用,一些学者对它进行了研究。如 X. Cao 等^[9]提出了用水平与竖直地扫描图像来搜索点组(由 3 个边缘点组成一个点组)的方法确定同心圆的参量,S. Margarida^[10]提出了依赖几何约束的不同方向扫描图像来搜索点组(由 3 个边缘点组成一个点组)的多同心圆检测方法;Ying Xianghua 等^[11]提出了用投影同心圆检测方法检测部分看得见的同心圆;Jiang Guang 等^[12]提出了在照相机标度中利用数对同心圆的自动校准技术。

为了有效地检测出印刷电路板(PCB)^[15]圆孔光电图像中同心圆的圆心与边缘,本文对文献[8]的点组选取方法及文献[9]的用于搜索边缘点组的图像扫描方向进行了改进,提出了确定同心圆参量的新方法。从具有相同圆心的最小同心圆开始选择由两个边缘点组成的第一个点组,再利用同心圆的几何特点得到其它同心圆的第一个点组。在同心圆上从各个方向扫描图像来搜索下一个边缘点组。根据圆的性质,依次求出相邻两条不平行的同心圆的弦决定的圆心,然后进行累加,由累加阵列中最大值对应的坐标得到圆心坐标。半径可由圆心到各个有效边缘点距离的均值求得。用本文方法、文献[9]方法及文献[10]方法对含有噪声的 PCB 定位圆孔光电图像进行检测实验,对检测结果从计算时间及检测精度方面进行了比较与分析,证明了采用本文检测方法具有明显的优势。

2 Hough 变换的基本原理

Hough 变换就是指把图像空间中的检测问题转换到参量空间,将前者中的边缘信息映射为参量,从而将图像空间中具有一定关系的像素进行聚类,利用某一解析式转化到参量空间,通过在参量空间进行简单的累加统计而完成检测任务。

若圆的圆心坐标为 (a, b) , 半径为 r , 则利用 Hough 变换检测圆的方程为

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2, \quad (1)$$

式中有 3 个参量 a, b, r , 因而要在参量空间中检测圆就必须确定这 3 个参量。

3 新的同心圆检测方法的原理

同心圆检测的关键也是圆心与半径的参量确

定。利用同心圆的几何特点,在具有相同圆心的最小同心圆上对文献[8]的点组选取方法进行改进。同时结合同心圆的性质与文献[9],将点组选取方法由单圆扩展为含多个具有相同圆心的同心圆,将搜索边缘点组的图像扫描方向由水平与垂直方向扩展为各个方向。具体方法如下:

以含有两个同心圆的情况为例,如图 1 所示。以内圆边缘上某一点 A_1 作为起始点,沿着边缘顺时针(或逆时针)方向间隔 n 个(n 取值适当)点取一点 A'_1 ,将两个点 A_1 与 A'_1 组成内圆第一个点组。连接 $A_1A'_1$ ($A_1A'_1$ 长度小于内圆直径)并两边延长,则内圆弦的延长线可能相交于外圆边缘的离散点,也可能在外圆边缘的两个离散点之间。设外圆上最靠近弦 $A_1A'_1$ 两端延长线的两点(若延长线与外圆边缘的离散点相交,则交点即为所求)为 B_1 和 B'_1 。若这两点或其中一点在延长线上,则这两点或其中一点与 A_1, A'_1 共线;若这两点或其中一点不在延长线上,因其到 $A_1A'_1$ 所在直线的距离远小于外圆的弦长 $B_1B'_1$,该距离可忽略不计,也可认为其与 B_1, B'_1 共线,即认为其在外圆上。因此可得到外圆的第一个点组 B_1 和 B'_1 。做 $A_1A'_1$ 的中垂线 l_1 。

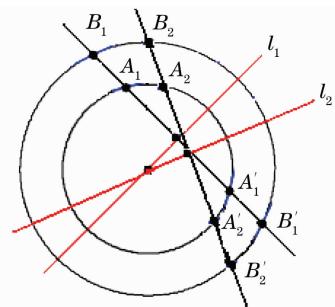


图 1 同心圆检测原理图

Fig. 1 Principle for the detection of concentric circles

再沿着内圆边缘在与点 A_1 顺时针(或逆时针)方向相隔 m 个点($m \neq n$)处取点 A_2 ,与点 A_2 顺时针(或逆时针)方向相隔 n 个点取点 A'_2 ,得到由 A_2 与 A'_2 组成的内圆第二个点组。用上述同样方法得到外圆第二个点组 B_2 与 B'_2 。做 $A_2A'_2$ 的中垂线 l_2 。

设直线 l_1 与 l_2 交于点 O_1 ,由圆中不平行的两弦中垂线相交于圆心的性质可知,点 O_1 为内圆的圆心。由于外圆与内圆是同心圆,则由同心圆的性质可知,点 O_1 也是外圆的圆心。因此点 O_1 为同心圆的圆心。

同理在内圆上依次选取下一个点组,则依次得到外圆的下一个点组。求出内圆的每一个点组所确定的弦的中垂线,从而得到由所有相邻中垂线确定

的圆心 O_i ,直到内圆的最后一个点组的起点回到内圆的起始点 A_1 附近,完成搜索。

每一次确定了圆心,就将求得圆心对应点的累加器加 1。搜索完毕后,累加阵列中最大值对应的坐标就是所求的圆心坐标。在同心圆内圆上的每两条相邻弦可确定一个圆心 $O_i(a_i, b_i)$,然后加以统计,量最多的即可确定为同心圆的圆心 $O(x_o, y_o)$ 。半径就是圆心到各个有效边缘点距离的均值:

$$\begin{cases} r_1 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \sqrt{(x_o - x_{1i})^2 + (y_o - y_{1i})^2} \\ r_2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \sqrt{(x_o - x_{2i})^2 + (y_o - y_{2i})^2} \end{cases}, \quad (2)$$

式中的 (x_{1i}, y_{1i}) 表示内圆上的有效边缘点, (x_{2i}, y_{2i}) 表示外圆上的有效边缘点; r_1 表示内圆的半径, r_2 表示外圆的半径。

同理,在含有两个以上具有相同圆心的同心圆情况下,也是从最小圆开始,用上述方法由单圆检测

扩展为含多个圆的同心圆检测。

4 实验结果及分析

4.1 实验结果

因定位圆孔在 PCB 图像中普遍存在,且有重要的作用,现对一含有噪声的 PCB 定位圆孔光电图像进行实际检测。首先将其由彩色图像转换为灰度图像,再由 Canny 算子得到其边缘,最后由本文方法检测出同心圆。

含有噪声的 PCB 定位圆孔光电图像如图 2(a) 所示;用 Canny 算子检测其边缘如图 2(b) 所示,再对图 2(b) 分别用文献[9,10]方法、本文方法进行检测,结果分别如图 2(c),图 2(d),图 2(e) 所示,标号“+”表示同心圆的圆心,检测出的同心圆边缘用实线表示。

在一次运行中用各种检测方法所花时间如表 1 所示。

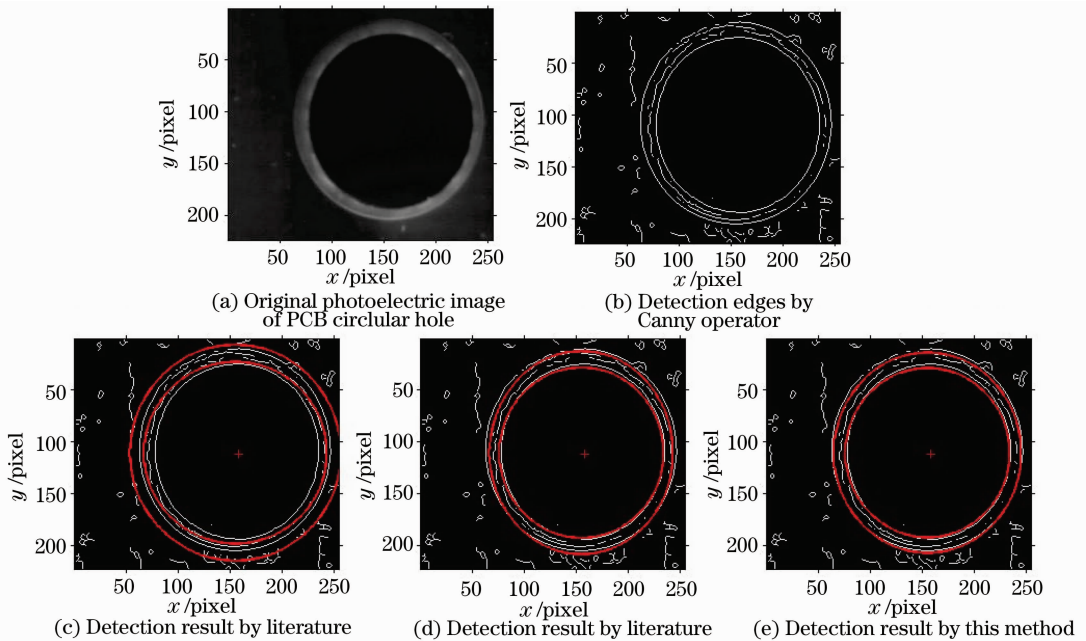


图 2 实验结果

Fig. 2 Experimental results

表 1 不同检测方法所花时间

Table 1 Time consumption with different detection methods

Literature [9]/s	Literature [10]/s	This method /s
1.3552	1.3603	0.4069

由图 2(c),图 2(d),图 2(e) 可见:采用本文方法与文献[10]方法的检测精度较高,能较好地检测出同心圆的边缘。采用文献[9]方法的检测精度较低,检测出的圆的边缘有一定偏离;由表 1 可见,采用本文方法所花时间相对于采用文献[9,10]方法所

花时间少很多。

4.2 实验分析

由于采用本文方法在每次确定圆心 O_i 时都有一条来自前一次确定圆心时的弦,因此确定 n 个圆心需要每个圆上的 $n+1$ 条弦与 $2n+2$ 个边缘点,从而减少了累加空间;而采用文献[9,10]方法确定的每个圆心都是来自于变化的相邻两条弦,因此确定 n 个圆心需要每个圆上的 $2n$ 条弦与 $3n$ 个边缘点,累加空间较大。可见在点组的两点间距相同而确定相

同数目的圆心时,采用本文方法所需要弦的条数与边缘点数都是最少的,因此采用本文方法相对于采用文献[9,10]方法降低了内存空间、减少了计算时间。

文献[9]方法是基于水平与竖直方向扫描图像来搜索边缘点的,因而当圆存在闭塞或变形时扫描不充足。另外,采用的该方法因梯度方向受噪声影响大而影响了搜索。因此检测结果与圆的边缘有一定偏离;而采用的文献[10]方法、本文方法是从各个方向扫描图像来搜索边缘点的,因此能较好地检测出同心圆边缘,检测精度较高。

5 结 论

在 PCB 定位圆孔光电图像检测中,为了提高检测精度、降低内存空间、减少计算时间,对文献[8]的点组选取方法及文献[9]的用于搜索边缘点组的图像扫描方向进行了改进。利用 Hough 变换的基本原理及同心圆的几何特点,依次求出相邻两条不平行的同心圆的弦决定的圆心,然后进行累加,由累加阵列中最大值对应的坐标得到圆心坐标;同心圆的半径由圆心到各个有效边缘点距离的均值求得。

对实际采集的 PCB 定位圆孔光电图像运用文献[9,10]方法与本文方法进行对比实验,证明了本文检测方法在提高检测精度、降低内存空间和减少计算时间方面具有明显的优势。

参 考 文 献

- 1 P. V. C. Hough. Method and means for recognizing complex patterns[P]. *United States Patent* 3069654, 1962, **12**: 18
- 2 Ao Lei, Tan Jiubin, Cui Jiwen *et al.*. Fast and precise center location for circle target of CCD laser autocollimator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 253~258
敖磊,谭久彬,崔继文等.一种快速高精度激光 CCD 自准直仪圆目标中心的定位方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 253~258
- 3 Ao Lei, Tan Jiubin, Cui Jiwen *et al.*. Anti-noise and precise circle target center location method of CCD laser autocollimator[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(12): 1609~1614
敖磊,谭久彬,崔继文等.激光 CCD 自准直仪圆目标中心抗

- 噪声精确定位方法[J]. *中国激光*, 2006, **33**(12): 1609~1614
- 4 X. Lei, O. Erkki, K. Pekka. A new curve detection method: Randomized hough transform[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1990, **11**(5): 331~338
- 5 T. C. Chen, K. L. Chung. An efficient randomized algorithm for detecting circles [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2001, **83**(2): 172~191
- 6 Shang Fei, Wang Fenggui, Tian De *et al.*. A method for circle detection based on right triangle inscribed in a circle[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 739~743
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
- 7 Yu Xinrui, Wang Shigang, Guan Baiqing *et al.*. A fast interference-resistant deformable template method for detecting the circle [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(8): 1115~1119
于新瑞,王石刚,关柏青等.一种快速检测圆的抗干扰变形模板方法[J]. *光学学报*, 2004, **24**(8): 1115~1119
- 8 Lin Jimlong, Shi Qinyun. Circle recognition through a point Hough transformation [J]. *Computer Engineering*, 2003, **39**(11): 17~18
林金龙,石青云.用点 Hough 变换实现圆检测的方法[J]. *计算机工程*, 2003, **39**(11): 17~18
- 9 X. Cao, Deravi F. An efficient method for the detection of multiple concentric circle[C]. *IEEE ICASSP'92*, San Francisco, 1992, **3**: 137~140
- 10 S. Margarida. An algorithm for the detection of multiple concentric circles[C]. *IbPRIA 2005*, Estoril, 2005, **3523**: 271~278
- 11 Ying Xianghua, Zha Hongbin. An efficient method for the detection of projected concentric circle[C]. *IEEE International Conference on Information Processing*, San Antonio, 2007, **5**: 560~563
- 12 Jiang Guang, Quan Long. Detection of concentric circles for camera calibration [C]. *Proc. Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*, Beijing, 2005, **1**: 333~340
- 13 Yang Yaoquan, Shi Ren, Yu Xining *et al.*. An algorithm to raise the locating precision of laser spot center based on Hough transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(12): 1655~1660
杨耀权,施仁,于希宁等.用 Hough 变换提高激光光斑中心定位精度的算法[J]. *光学学报*, 1999, **19**(12): 1655~1660
- 14 Wang Kejia, Ping Ziliang, HaiYing *et al.*. Modified randomized hough transform to detect circular and elliptic cells in pleural effusion images[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2008, **19**(3): 420~422
王可佳,平子良,海鹰等.用改进的随机 Hough 变换检测胸水图像中的细胞[J]. *光电子·激光*, 2008, **19**(3): 420~422
- 15 Zhang Fei, Zeng Xiaoyan, Li Xiangyou *et al.*. Laser etching and cutting printed circuit board by 355 nm and 1064 nm diode pumped solid state lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(10): 1637~1643
张菲,曾晓雁,李祥友等.355 nm 和 1064 nm 全固态激光器刻蚀印刷电路板[J]. *中国激光*, 2008, **35**(10): 1637~1643