

基于计算机图像处理的印刷电路板孔检测

何伟,李薇,张玲,陈方泉,易卫明
(重庆大学通信工程学院,重庆 400044)

摘要:提出了基于计算机视觉的图像处理技术的印刷电路板孔检测的四种算法:直径法、最大直径法、跳跃法以及重心法,并讨论了各算法的复杂度和优劣。

关键词:印刷电路板 钻孔 圆心 重心 算法

通信、计算机、消费电子等产业的飞速发展,促进了印刷电路板业的快速发展。同时,印刷电路板 PCB(Printed Circuit Board)行业面临着巨大的挑战,即 PCB 的质量问题。现有的 PCB 检测手段已经不能适应当今 PCB 的发展趋势。目前,印刷电路板的设计层数已经达到 46 层(富士公司)甚至更多。电路板的层数越多,问题越突出,造成的废品率越高^[1]。因此,高效、高速、高精度、高性价比的 PCB 板缺陷自动检测设备已经成为国内 PCB 行业迫切的需要^[1]。自动光学检测 AOI(Automatic Optic Inspection)在降低系统成本、提高效率和可靠性方面有更多优势,图像处理作为一种非接触式计算机视觉在线无损检测技术而成为其核心。笔者进行了基于计算机图像处理的 PCB 孔检测算法研究,提出了 PCB 孔心及孔半径计算的四种快速易行的在线无损自动检测算法,以此为基础针对不同质量 PCB 图像进行分级判断,综合运用四种算法于计算机视觉在线自动光学检测系统,以满足可靠、快速、精确的检测需求。

1 PCB 检测系统结构和处理流程

整个在线 PCB 缺陷自动检测系统(AOI)包含无频闪照明单元、图像采集单元、运动控制单元以及计算机图像数据处理单元和误差分析处理单元。系统组成结构如图 1 所示。图像采集单元主要由高精度线性 CCD、高精度近对焦镜头、图像采集卡、图像采集程序构成;运动控制单元由 XYZ 三维工作台、伺服电机、运动控制卡、运动控制程序构成;计算机测控系统则主要包含图像数据

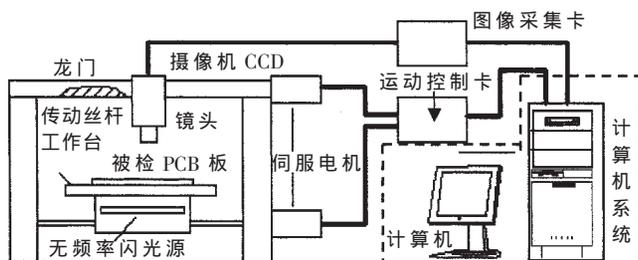


图 1 系统组成结构

采集、图像数据处理、误差分析、工作台运动控制等核心检测控制功能。

完整的处理流程如下:三维精密机床用线性 CCD 摄像机将 PCB 图像分块摄入,经图像采集卡数字化后送入计算机,在计算机的 PCB 图像处理系统软件平台对此数字图像进行数据分析、压缩、识别并提取有用信息后将各个块图像的信息统计汇总分析结果,及时将结果与标准 PCB 文件数据比对,输出当前数控钻孔机床的性能并对之进行参数的调整。本文主要讨论采用线阵 CCD 采集 PCB 板得到数字图像并进行拼接后,通过计算机 PCB 图像处理系统对钻孔进行精确检测这个阶段的检测方法,即下面讨论的 PCB 数字图像的孔心和半径进行求解的方法。

2 孔的圆心和半径求解算法

采集的图像经过二值化处理后为黑白二值灰度图像。黑色区域的灰度值为 0,白色区域的灰度值为 255^[4]。数字图像用二维矩阵来表示,每个元素表示一个采样点(即像素),其值是图像中该点的灰度值。灰度图像(或彩色分量)矩阵表示如下^[2-3]:

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & \cdots & f(0,n-1) \\ \vdots & & \vdots \\ f(m-1,0) & \cdots & f(m-1,n-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中,矩阵行数、列数分别为数字图像在横、纵方向上的像素数,即水平、垂直分辨率。求解圆心的比较经典的算法有著名的霍夫变换^[5],但是这种算法计算量极大且复杂,不适合对高达数万个孔的电路板的实时检测。

在 PCB 检测系统的研发过程中对 CCD 采集、拼接、滤波、二值化后的不同质量的 PCB 孔数字二值化灰度图像(如图 2 所示)进行了分级判断,综合以下四种算法的检测优势进行孔心和孔半径的检测,并做出了精度误差分析。

2.1 直径算法

直径算法的原理为:一条经过与圆相交的任意直线的中点的垂直线,它同圆相交的线段长必为圆的直径,

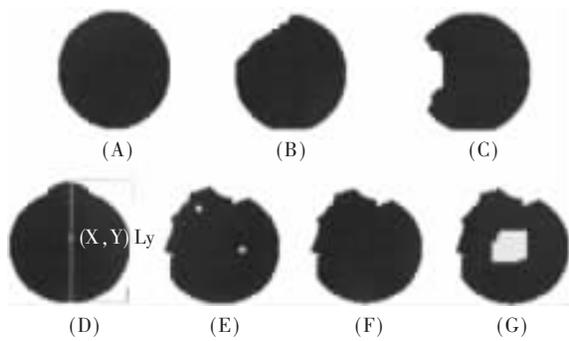


图 2 不同质量的孔形

这条线段的中点即为圆心,如图 3 所示。

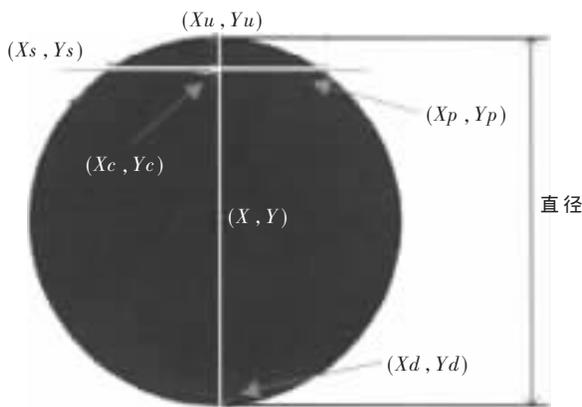


图 3 直径算法的原理图

一幅灰阶图该如何进行检测得到所有孔的圆心和半径呢?先看如何得到一个圆的圆心和半径。假设从左沿着 X 方向开始逐一扫描,当发现灰度值为 0(黑)时,即为孔的开始边界点,记录为 (X_s, Y_s) ;继续向前扫描,直到灰度值为 255(白)时,记录前一个点 (X_p, Y_p) ,即为结束边界点,可以得到这两个点的中点坐标 (X_c, Y_c) 。

$$X_c = (X_s + X_p) / 2; \quad Y_c = (Y_s + Y_p) / 2;$$

再从 (X_c, Y_c) 点竖直向上和向下搜索满足灰度的点分别记录为 (X_u, Y_u) 、 (X_d, Y_d) ,则圆心坐标应该是:

$$(X, Y) = ((X_u + X_d) / 2, (Y_u + Y_d) / 2)$$

$$\text{圆的半径 } R = |Y_d - Y_u|;$$

这个方法最简单、巧妙和直接,速度最快。但遇到有缺陷的图像如图 2(B),直径和圆心偏差就较大,其抗干扰能力差,从而以此基本算法为基础推导出最大直径法。

2.2 最大直径法

最大直径法原理为:无数经过圆的直线与圆相交所得到的线段中最长的那条线段即为直径,这条线段的中点即圆心。先看如何得到一个圆的圆心和半径。

(1)从左往右沿着 X 方向开始逐一扫描,当发现灰度值为 0 时,记录为 (X_s, Y_s) ,继续向前扫描,直到灰度值为 255 时记录前一个点 (X_p, Y_p) ,计算本扫描行为 0(黑)像素的个数,记录本行黑线段的长度 L_1 并找到其中点坐标 (X_c, Y_c) ,接着从中点坐标 (X_c, Y_c) 处开始沿 Y 轴方向作纵向扫描,计算出本列黑线段长度 L_{y1} 并记录。

(2)从上往下沿 Y 轴移动一个点到 (X_c, Y_{c+1}) ,左右扫描寻找本行边界点并记录 (X_{s2}, Y_{s2}) 、 (X_{p2}, Y_{p2}) ,计算本行黑线段长度 L_2 并找到本行黑线段中心点 (X_{c2}, Y_{c2}) ,纵向扫描计算经过中心点的垂线段长度 L_{y2} 。

(3)重复(2),每沿 Y 轴扫描一个点同时向这个点的左右即 X 方向扫描记录下 X 方向扫描的长度 L_i ,以及经过这点的水平黑线段的中垂线段的长度 L_{yi} 。所有行扫描结束后比较所有 X 方向长度 L_i 和 Y 方向的长度 L_{yi} ,选最长的线段为直径,其中心也就是圆心。如图 4 所示。

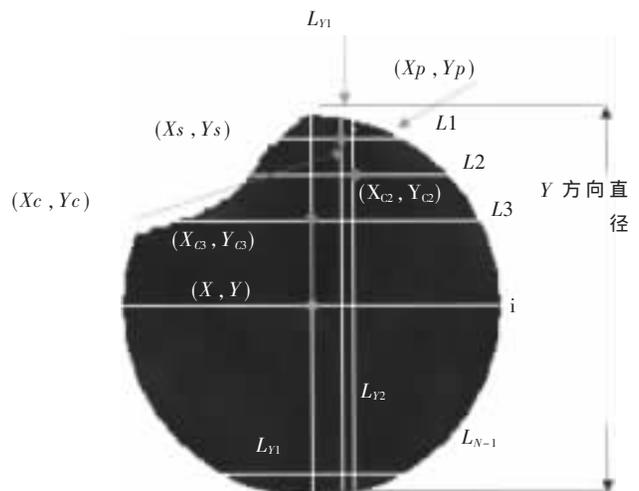


图 4 最大直径方法图

2.3 跳跃检测法

当生产过程中遇到更复杂的孔需要检测时,还有一些问题需要解决,主要是^[6];如果遇到图 2(B)、图 2(C),最大直径法可以精确求出其圆心和半径;但如果遇到图 2(D)的情况,圆心坐标就有向上的偏差,直径也偏大。图 2(E)的情况可先用中值滤波法得到如图 2(F),也可以用给定一个检测跳跃度,在扫描中遇到开始边界点后继续沿 X 或 Y 方向扫描的过程中,若遇到可能的结束边界点仍然再多扫描 m 个点(m 由实际情况定,如电路板最小孔孔径的 $1/3$ 等),如果在 m 个点的长度内出现某段或几段连续黑点,则仍然把多扫描的 m 长度内那些为白色的点算做黑点。这实际也是近似于中值滤波,但这种算法因为只处理孔内部的缺损,故其速度远远快于先经过中值滤波再进行孔扫描检测的算法。

在遇到类似图 2(G)圆的内部为空而且比较大的时候,就很难再用上面的中值滤波或者跳跃检测算法弥补这个空洞,更不能直径法和最大直径法来检测圆心和半径。于是产生加权法。

2.4 加权法求圆心及半径(重心法)

此算法仍然采取相同的扫描方式,但计算圆心和半径的方式则采用加权法求圆心和半径。

加权算法的基本思想是利用求物体重心的方法来精确求取孔的圆心。横向切割圆的每条线段中点是这条

线段所有点的数学期望,而孔的圆心又是每条线段中点的数学期望,所以圆心为圆上所有点的数学期望。

设 (X_i, Y_i) 为第 i 条线段的中点坐标, X_{ij} 为第 i 条线段的第 j 个点, m_i 为第 i 条线段上的点的个数。

$$X_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} X_{ij} \quad (2)$$

$$Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} Y_{ij} \quad (3)$$

X_i 为第 i 条线段的中点坐标, (X, Y) 为圆心坐标。

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (5)$$

由式(2)、式(4)得到:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} X_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (6)$$

由式(3)、式(5)得到:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (7)$$

圆的半径为每条线段上距离圆心较远的端点^[1-2]到圆心的距离的期望值^[5]。

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(\sqrt{(X_{i1}-X)^2+(Y_{i1}-Y)^2}, \sqrt{(X_{im_i}-X)^2+(Y_{im_i}-Y)^2}) \quad (8)$$

由(4)、(5)式得到圆心坐标容易理解,再由(2)、(4)、(3)、(5)式得到(6)、(7)式后,从(6)、(7)式可以看出原来圆心坐标不过是圆内所有点坐标的数学期望值。很明显由(4)、(5)、(8)式可以算出图 2(F)的圆心和半径,由(6)、(7)、(8)式可以算出图 2(G)的圆心和半径,但实际中(4)、(5)式同样可以用于对图 2(G)的计算,所以可以根据情况选用不同的公式和扫描方式。下面只讨论对公式(4)、(5)的扫描,公式(6)、(7)同样类似地扫描。

先沿着 X 方向做行扫描,当遇到开始边界点时记录该点的坐标 (X_{i1}, Y_{i1}) ,继续向前扫描,扫描到可能结束的边界点时,记录该点为 (X_{im}, Y_{im}) ,这时可以得到这个过程中扫描到的黑线段总像素个数和黑线段的中点坐标,再用得到的像素数目对该中点进行加权。例如,得到的像素数目为 10,中点坐标为 $(70, 50)$,则把该中点的权

值赋为 10。继续按照最大直径法扫描方式进行扫描,直到把圆的所有行的黑线段中点找到。只要扫描完整幅图像,则所有的圆心和半径也就求出了。

利用加权法使得求得圆心和半径的精度大大提高。由于算法只有一次扫描,以及算法的复杂度为 $O(n)$ (n 为图像像素总点数),从而使测试速度达到了复杂孔图像处理的最优化。

这几种算法各有利弊,在实际应用时,对于不同质量的图像采集,可以使用不同的方法。如果采用背透光,图像质量较好,则直径法或最大直径法就可以满足需求,在图像质量较差或一般的情况下则应该采用加权法。

经过不断的实验和检测实践,最终采用了分级判断图像采集质量,适当选择合适的孔心和半径检测算法的一种混合检测方法,以达到计算机视觉在线检测系统的实时性、精确性、可靠性的检测需求。

以上讨论了利用计算机图像处理技术实现 PCB 孔心以及半径的在线无损自动检测的四种算法,通过 VC++6.0 编写仿真。利用这种对不同质量 PCB 采集图像分级判断,选择合适算法的综合方法来实现的 PCB 检孔机现已准备批量生产。检测钻孔系统界面如图 5 所示,其中视图 1 为标准孔图像,视图 3 为实际扫描的电路板二值化图像,视图 2 为该电路板圆心与标准孔心误差星云图。实验结果数据如图 6 所示。

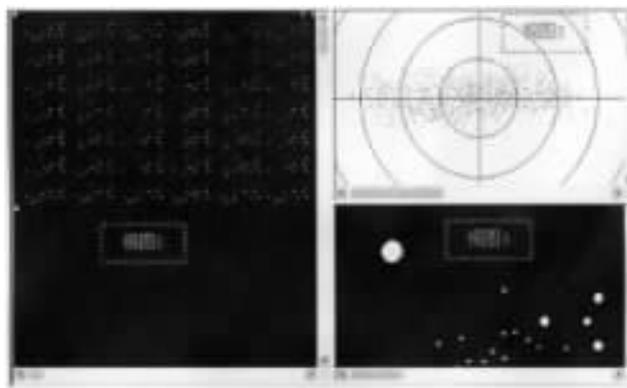


图 5 检测钻孔系统界面

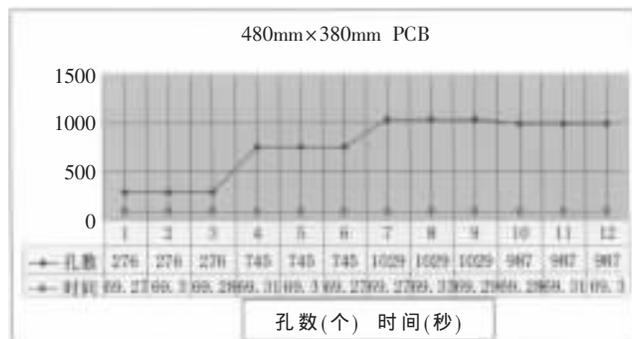


图 6 实验结果

由图 6 可知该系统对相同尺寸的 PCB 板检测时间十分接近,可证明系统在产品尺寸固定的条件下不受孔

一种印刷重影检测方法

赵 键,刘 雨,肖 飞

(国防科技大学 电子科学与工程学院 信息工程系,湖南 长沙 410073)

摘 要: 将数码相机自动聚焦方法中的 FSWM(频率可选加权中值滤波)算子应用到烟标印刷重影检测中。与现有的几种方法进行了性能比较。

关键词: 印刷重影 自动聚焦 FSWM 算子 鲁棒性

印刷技术的缺陷在印刷过程中常会引发多种问题。以烟标印刷为例,常见的缺陷有飞墨造成的污迹、印刷套色不准引起的重影、压凸部分与对应的图案或文字没有对准造成的压凸缺陷等。目前,国内主要是通过目测法来进行印刷品的质量检测。这种方法效率低、成本高、主观性强并且错误率较高。利用机器视觉检测来替代现有的人工检测方法已经成为国内外研究的重点。

印刷重影由于其缺陷特征细微,极易受噪声和图像配准精度的影响。因此如何精确、快速、可靠地检测出诸如重影等细微缺陷一直是研究的热点也是难点问题。目前针对印刷重影检测的方法有差值图像法^[1]、互相关匹配法^[2]等。这些方法虽然简单易行,但是在噪声和图像配准精度的影响下会导致检测准确率下降。

针对现有方法的不足,本文将数码相机自动聚焦方法中的 FSWM 算子应用到烟标文字重影的检测中,较好地实现了对噪声和图像配准精度的鲁棒性的改进。

1 基于 FSWM 算子的重影检测方法

烟标的重影缺陷主要是由于套印不准所导致的,多半发生在图案或文字区域。比较图 1 和图 2 可以看到,存在重影的文字区域具有文字笔画边缘不清晰、整体模



图 1 有重影的文字区域



图 2 无重影的文字区域

糊的特征。根据傅立叶光学理论,图像清晰的程度主要由光强分布中的高频分量的多少决定,高频分量少则图像模糊,高频分量丰富则图像清晰。从图 2 中可见,由于文字笔画边缘清晰,包含边缘的信息的高频分量显然要比图 1 中的多,因此,可以将图像边缘信息的高频分量的多少作为判断烟标文字区域是否存在重影的测度。

目前,在数码相机自动聚焦方法中应用比较广泛、利用图像边缘高频分量来作为判断图像清晰度的评价函数^[3]主要有以下两类:

(1)梯度类函数:包括 Tenengrad 算子、SML 算子、SMD

望电子出版社,2003.

[3] RAMESH J, RANGACHAR K, BRIAN G. Schunck. Machine Vision[M]. China Machine Press, 2003.

[4] 吴焕明,方漪.基于计算机立体视觉的图像检测技术[J]. 工程图学学报,2002,(4):60-67.

[5] 陈檬湘,罗飞路,潘孟春.立体视觉测量中的图像匹配策略研究[J].光学技术,2002,(9):392-394.

[6] NABIL R A. ATLURI V, HUANG W K. Modeling and analysis of workflows using petri nets[J]. Journal of Intelligent Information Systems, 1998, 10(2): 1-29.

[7] 周鸿.基于线阵 CCD 阵列的在线检测方法[J].半导体技术,2001,26(11):1-4.

(收稿日期:2006-09-20)

(接上页)

数的影响,较稳定可靠,同时检测时间也限定在一分钟左右,实现了实时检测。由图 5 误差星云图(视图 2)可获得检测精度,达到 1/1000 毫米,实现了较高精度孔心和孔半径检测。实践证明,分级判断、结合运用四种算法的综合方法比传统霍夫变换检测等方法更有效,达到了整个孔检测系统的可靠性、实时性、精确性要求。

参考文献

[1] RAVI S S. Separation of duties in computerized information systems[C]. In: Sushil Jajodia, Carl Landwehr eds. Database Security, IV: Status and Prospects, North Holland, 1991: 179-189.

[2] 朗锐.数字图像处理学 Visual C++实现[M].北京:北京希