Research on Integrated Circuit Welding Quality Monitoring System Based on Image Processing Technology*

ZHANG Lili, BAO Xirong*, WANG Tong, GUO Jialin, YANG Jinzhu
(National Computer Experimental Teaching Demonstration Center, School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110819, China)

Abstract: With the development of computer technology, the application of digital image processing provides new conditions for the inspection of circuit board welding quality. The image registration algorithm of reference image and image to be detected is emphatically studied, The image registration method based on gray level information is adopted. PV interpolation method is used to direct update the joint histogram and calculate the mutual information value of reference image and floating image. Then improved Powell algorithm is used to search the optimal registration parameters, and the registration image is obtained through interpolating according to the registration parameters. In the aspect of defect detection, color recognition is used to find the difference parts between the registered image and the reference image, and histogram matching and edge detection are used to filter out the false defects and noise parts to get the defect part. Finally the defect position is calibrated. Experimental results show that the proposed method can achieve fast and high-precision detection of welding defects, thus further reducing labor costs and improving detection efficiency.

Key words: image processing; image registration; powell algorithm; defect detection; welding quality
EEACC: 6135 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2023.01.010

基于图像处理技术的集成电路焊接质量监测系统研究*

张立立, 鲍喜荣*, 王 彤, 郭嘉林, 杨金柱
(东北大学计算机科学与工程学院, 国家级计算机实验教学示范中心, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 随着计算机的发展, 数字图像处理的应用为电路板焊接质量的检测提供了新的条件。重点研究了参考图像和待检测图像的图像配准算法。采用基于灰度信息的图像配准方法, 使用 PV 插值法直接更新联合直方图并由此计算出参考图像和浮动图像的互信息值。然后采用改进的鲍威尔算法搜索最优配准参数, 根据配准参数进行插值从而得到配准图像。在缺陷检测方面, 通过颜色识别寻找配准图像和参考图像的差异部分, 再通过直方图匹配和边缘检测滤去伪缺陷和噪声部分得到缺陷部分, 最后标定缺陷位置。实验结果表明, 采用所设计的方法可以实现焊接缺陷的快速并且高精度的检测, 从而进一步降低人工成本, 提高检测效率。

关键词: 图像处理; 图像配准; 鲍威尔算法; 缺陷检测; 焊接质量
中图分类号: TP393 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2023)01-0057-05

伴随信息化社会的进步, 电子产品进入了一个新的高速发展的时期。电子器件在电路板上的集成度越来越高, 焊接的缺陷检测[1]是电路板生产环节中是非常重要的一环。在传统工业生产中, 人们惯用肉眼和放大镜检查电路板。弊端主要有: 其一, 检测质量不稳定, 细微的缺陷和隐蔽的焊点往往无法被发现, 其二, 人工的工作效率不够高, 人的眼睛会有视觉疲劳感, 人在工作一段时间后效率会下降而且准确度无法保证。其三, 人工检测依赖于工作人员的经验水平, 不同工人检测的结果也是不一致的。其四, 人工劳动的成本较高, 在信息化时代的高速发展下, 科技必将把人类从这种重复性的劳动中解放出来。自动光学检测(Automatic Optical Inspection, AOI)技术[2]是一项新式检测技术, 它发展迅速, 国内外很多公司都有生产 AOI 设备的能力。在制造业蓬勃发展的背景下, AOI 算法的研究[3]对电路板的焊接质量检测有着十分重大的意义。

自动光学检测技术在国外研究[4]的相对较早, 技术比国内来说要成熟的多, 设备能够检测大多数电路板中存在的焊接缺陷。市场占有率比较高的是

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(61671141, 61501038)
收稿日期: 2021-12-20 **修改日期**: 2022-02-14

Ormon 公司生产的 AOI 设备,他们的设备同时采用彩色光源、彩色 CCD 摄像头和彩色图像处理技术,能够做到更加精确的缺陷检测[5]。国内第一台 AOI 检测系统为品牌 Aleader 的 ALD-H-350,于 2004 年 5 月在广东省东莞市研发成功,并投入生产使用,但是检测水平比国外相对较差。此外,国内有些公司也在 AOI 方面进行了研究,如深圳的郑华兴科技有限公司、台湾凌华科技有限公司等[6]。但是严峻的事实是,国内对 AOI 技术研发机构还是相对较少,并且国外的产品在市场上占有率比较高,加之他们对核心技术进行了保密。所以 AOI 算法技术的研究在我国仍就处于起步的阶段,和发达国家相比仍然有相当的差距,有着十分广阔的发展前景。

本文重点研究图像配准技术,采用基于灰度信息的配准算法。在无约束优化问题的求解上,实现了坐标轮换法、改进的鲍威尔算法对图像配准参数的求解。利用 PV 插值法计算联合直方图数据,并由此计算出图像经过几何变化后的互信息值。在 PV 插值的基础上加以改进,将原来的 2 阶 PV 算法改为 4 阶。避免了原有插值算法容易陷入局部极大值的情况。最后根据配准图像与模板图像的差异特性,再进行降噪和边缘提取。最终通过逻辑运算提取出焊点信息。

1 图像配准的原理

图像配准就是将不同时间、不同传感器或者在其他不同条件下获取的两幅图像进行匹配[7]。配准的主要任务就是寻求最佳空间变换参数能够使得浮动图像和参考图像达到最佳的对准。

图像配准主要有四个主要的方面。其一,特征选取部分指的是选取能够将两幅图像用于图像配准的特征指标,常用的方法有基于图像灰度信息的、基于变换域的和基于特征法的。其二,是搜索空间,这部分指的是在配准过程中图像变换的范围和图像变换的方式。图像变换的范围可以是局部的,也可以是全局的。变换的方式可以分为线性的或是非线性的。其三,相似性度量准则。图像每次变换后,需要进行对配准程度的好坏做一个评估。如果没有达到最佳的配准精度,那就需要继续优化参数。其四,搜索策略。搜索策略就是寻找配准参数的一种方法,它的作用就是对最佳参数的求解。

2 基于灰度信息的配准算法

2.1 改进的鲍威尔搜索算法

鲍威尔算法[8]第一轮先用坐标轮换法进行迭代,然后用计算所得到的迭代最小值与初始点相连,构成一个新的方向,并以此方向为最末一个方向,去掉第一个方向,从而得到第二轮迭代的 n 个方向,形成新的搜索方向组。从这一轮的搜索终点出发沿着新的搜索方向进行一维搜索,进而得到极小值点,作为下一轮迭代的起始点。

因为在这个基本算法中,对这 n 个搜索方向没有进行过衡量,一旦搜索方向变成线性相关的就无法进行下去。导致之后的迭代计算是在降维的空间中进行,可能无法求出极值。为了解决这个问题,提出了改进算法。

在鲍威尔基本算法中,每一次迭代都用连结初始点和终点所产生的搜索方向去替换原搜索方向组的第一个搜索方向,而不去管这样的替换是否符合线性相关,这是鲍威尔基本算法的根本缺陷。改进的鲍威尔算法在每一轮产生新的搜索方向后,先判断原向量组是否可以用于下一轮的迭代。如果可以,那就直接使用。否则,进一步判断原搜索方向组哪一个方向上的函数值下降量最大,然后用新的搜索方向去替换这个下降量最大的搜索方向,以保证每一轮迭代的搜索方向都是线性无关的。

2.2 PV 插值法

PV(Partial Volume)插值法是一种针对两幅图像的联合直方图更新的一种插值技术[9]。它不同于之前所说的灰度插值技术,因为通过 PV 插值法并不能计算出后向映射对应的灰度值。它的作用在于图像配准的过程中,待配准图像经过几何变换后,不需要对图像进行灰度重采样,就直接可以计算几何变换后图像与参考图像的联合直方图的值,并由此计算它们的互信息值。

计算过程如下,设 x_0 是待配准图像上的一点,x_1 为 x_0 通过后向映射得到的参考图像上的一个非整数坐标点。设 D_m 是 x_1 的 4 个领域点($m=1,2,3,4$)。每一个点对应有一个权重 k_m,计算公式为:

$$k_m = f(dmx) \times f(dmy) \tag{1}$$

式中:dmx,dmy 分别是点 D_m 与点 x_1 在 x 轴,y 轴方向上的距离。设待配准图像为 F,参考图像为 R。则 PV 插值的计算联合直方图的公式如下,:

$$hab = (F(x_0), R(Dm)) += k_m, m = 1,2,3,4 \tag{2}$$

式(2)是二阶的 PV 插值计算式,参与运算的只有 4 个点。可以在此基础上增加计算的点数,扩展到 16 个点参加运算。那么类似的就会有:

$$hab = [F(x_0), R(Dm)] += k_m, m = 1,2,3,4,\cdots,16 \tag{3}$$

式中:"+="表示自加操作。

可以由式(3)看出,点数增加到了 16 个点。

2.3　互信息计算

互信息是信息理论中的一个基本概念,通常用于描述两个系统之间的统计相关性[10]。所以可以将两幅图像的互信息值作为配准程度的一个评估指标。如果两幅图像的互信息达到最大值,那么就可以认为此时达到了最佳配准。互信息可用熵来描述。公式如下:

$$I(A,B)=H(A)+H(B)-H(A,B) \tag{4}$$

式中:$H(A)$,$H(B)$分别为系统 A 和系统 B 的熵,$H(A,B)$是它们的联合熵。根据香农信息公式可计算:

$$H(A)=-\sum_{a} PA(a)\log_2 PA(a) \tag{5}$$

$$H(B)=-\sum_{b} PB(b)\log_2 PB(b) \tag{6}$$

$$H(A,B)=-\sum_{a,b} PAB(a,b)\log_2 PAB(a,b) \tag{7}$$

那么就有:

$$I(A,B)=-\sum_{a} PA(a)\log_2 PA(a)-\sum_{b} PB(b)\log_2 PB(b)+\sum_{a,b} PAB(a,b)\log_2 PAB(a,b) \tag{8}$$

2.4　配准流程

本文采用了基于灰度信息的图像配准方法,先按照给定的初始点使用 PV 插值法更新联合直方图,并由此计算出参考图像和浮动图像的互信息值。然后采用鲍威尔算法搜索最优配准参数,最后根据配准参数进行插值从而得到配准图像。在搜索的过程中会不断地重复进行空间变换和 PV 插值,最优化判断的过程。流程图如图 1 所示。

图 2 是用 MATLAB 的 imshowpair 函数对两幅未配准的图像进行的伪彩色处理。它们差异部分会用两种色彩处理,在视觉上就感觉到有重影和模糊的感觉。

经过配准后,处理掉一种色彩。重影和模糊的感觉也没有了。剩下的一个色彩就是它们的差异部分,这些差异的信息不仅有焊接缺陷,也包含了一些边缘信息和噪声,如图 3 所示。

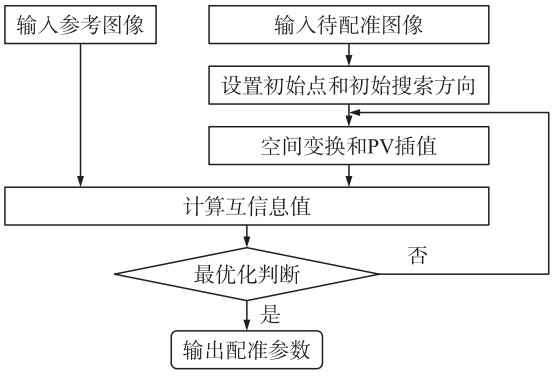


图 1　配准流程图

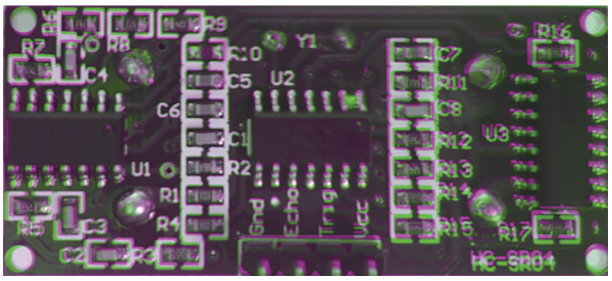


图 2　未配准的图像

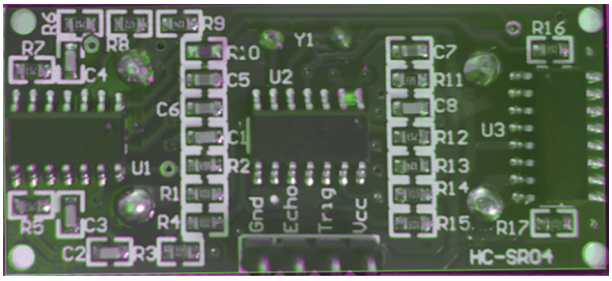


图 3　配准后的图像

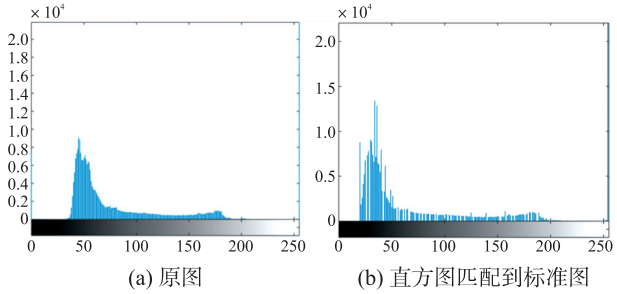
3　缺陷检测实验

3.1　直方图匹配

在第 2 节中获得的配准图像分别提取三通道的分量,分别为 R 通道、G 通道和 B 通道分量。可以看到分解图像后,红色分量和蓝色分量对应的是参考图像,而绿色分量对应的是配准后的图像。绿色分量图像表面覆盖了一层白膜,为了去掉这层白膜。可以采用直方图匹配的策略。

直方图匹配又称直方图规定化。它可以人为地改变原始直方图的形状,使其成为特定样式的直方图形状。处理的步骤如下:分别计算原图像与目标图像的概率分布,再对它们进行直方图均衡化处理。最后利用组映射关系使得原图像按照规定进行变换。G 通道匹配前后对比如图 4 所示,图中横坐标代表灰度级,纵坐标代表灰度级出现的次数。

经过直方图规定化处理后,解决了绿色分量图像中存在着一层白膜所导致的图像整体偏绿的情况。



(a) 原图　　(b) 直方图匹配到标准图

图 4　G 通道直方图

3.2 边缘检测

本文提取了图像中的绿色像素后,发现残留着部分的边缘信息。为了减去这部分多余的残留量,可以先提取出图像的边缘[11]。

寻找图像的边缘可以通过检测灰度变化来实现。用梯度来描述图像边缘的强度和方向,梯度用 ∇f 来表示,并用向量来定义。

为了得到一幅图像的梯度,通常采用模板进行计算[12]。这些模板通常被称为梯度算子、差分算子等。常用的有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子。

本文使用 Sobel 算子[13]提取图像的边缘特征,这些边缘信息只能大致与残留量相近,并不能完全覆盖残留量。对此,可以将所提取的边缘进行膨胀处理。

在二值图像中,问题集合是二维整数空间 Z^2 的元素,在该空间中,集合的每个元素都是一个二维向量,这些多元组的坐标是图像中的一个白色像素的坐标。

设 A 和 B 是 Z^2 中的集合,B 对 A 膨胀的定义为:

$$A \oplus B = \{ z \mid (\bar{B})z \cap A \neq \varnothing \} \tag{9}$$

这个公式是以 B 关于它的原点的映像,并且以 z 对映像进行平移为基础。B 对 A 的膨胀是所有位移 z 的集合,这样,$\bar{B}$ 和 A 至少有一个元素是重叠的。

3.3 特征提取

设 A 是将绿色像素提取出来的图像,其中含有焊接特征量 A_0,边缘分量 A_1。B 是经过 Sobel 算子提取并且膨胀过后的边缘图像。先对其求交集:

$$K = A \cap B = (A_0 \cup A_1) \cap B \tag{10}$$

再用集合 A 减去 K 就可以得到焊接的特征量:

$$A_0 = A - K = (A_0 \cup A_1) - (A_0 \cup A_1) \cap B \tag{11}$$

除去 A 中边缘分量的关键在于 A_1 一定要是 B 的子集才可以。所以需要对图像边缘膨胀有一定的要求。如果膨胀太小,就无法除去边缘分量。如果膨胀过多,就可能影响焊接特征量。

经过上述算法处理,得到提取绿色像元后的结果,如图 5 所示,去掉边缘和噪声后的图像如图 6 所示,图 7 是最终的识别结果,可以看出消除了提取的边缘特征点,留下了真正的焊接缺陷特征,完成了焊接缺陷的标定。

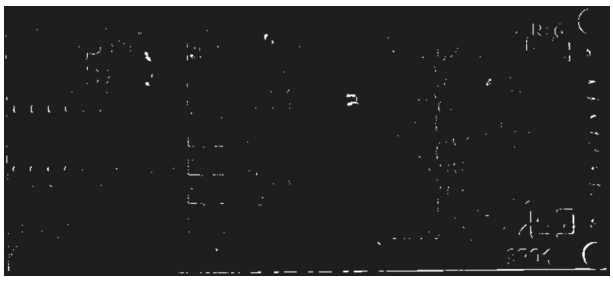


图 5 初步提取的特征图像



图 6 特征提取后的图像

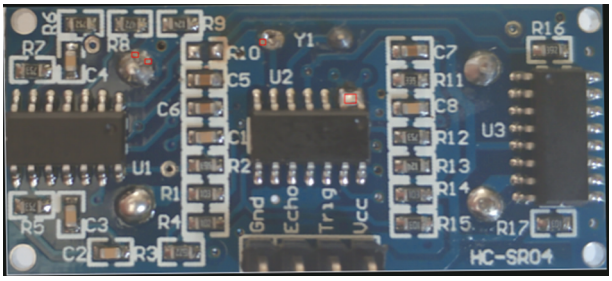


图 7 标定检测结果

4 结论

随着电子技术的发展,电子元器件在电路板的集成度越来越高。这不仅仅对焊接工艺有着更高的要求,而且要求检测技术更加精准和快速。本文利用两幅图像的联合直方图,计算它们的互信息值,作为评判配准优良的指标。PV 插值算法提供了一种可以直接计算两幅图像的联合直方图的方法,而不用对浮动图像进行空间变换和插值,可以加快程序的运行速度。图像增强方面,直方图均衡技术并不具有自适应性,而且并没有考虑局部信息很容易导致噪声的增强或者背景过分增强。本文采用基于局部标准差实现图像增强的方法,能够自适应增强图像的高频成分,不会导致图像的过分增强。

目前来说 PCB 缺陷检测的方法有很多,但是不管是哪种检测算法都是有一定的局限性。以后随着电路板结构愈加复杂,PCB 的图像需要处理的信息也将大幅增加。这将会大幅度增加图像配准的时间,需要进一步研究一种新的高效的配准算法去解决。

参考文献:

[1] Tripicchio P, Camacho G G. Welding Defect Detection: Coping with Artifacts in the Production Line[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 111(6): 1659-1669.

[2] 卢荣胜,吴昂,张腾达,等. 自动光学(视觉)检测技术及其在缺陷检测中的应用综述[J]. 光学学报,2018,38(8):23-58.

[3] 王瑞丰,魏嘉莉,周静,等. 一种基于 AI 的 Chip 类元件 AOI 自动复判方法[J]. 电子测量技术,2021,44(15):114-121.

[4] Ardhy F,Haridi F I. Development of SBC Based Machine-Vision System for PCB Board Assembly Automatic Optical Inspection[C]//2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices(ISESD),Bandung,Indonesia,2016:386-393.

[5] 王秋佳. 基于图像处理的 PCB 焊接缺陷检测技术分析及研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2019,11-20.

[6] 刘晓川,谌德荣,李承英,宫久路.器件焊接质量的图像异常检测方法[C]//第五届中国指挥控制大会,北京,2017,283-288.

[7] Jean M G,Wyke H,Valerio F,et al. Groupwise Multichannel Image Registration[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics,2019,23(3):1171-1180.

[8] Ge G Y,Shen K,Yang M Q,et al. Powell-Based Cuckoo Search Algorithm [C]//2018 14th International Conference on Natural Computation,Fuzzy Systems and Knowledge Discovery(ICNC-FSKD),Huangshan,China,2018,489-493.

[9] 臧丽日,杨树文,张萌生,等. 耦合梯度互信息与 PV 插值的影像配准算法[J]. 测绘科学,2021,46(4):68-74.

[10] Taskesen B,Koz A,Alatan A,et al. Change Detection for Hyperspectral Images Using Extended Mutual Information and Oversegmentation[C]//2018 9th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing:Evolution in Remote Sensing(WHISPERS),Amsterdam,Netherlands,2018,1-5.

[11] Chu H,Bao X C,Li M Q. Research on Image Edge Detection Method Based on Multi-Sensor Data Fusion[C]//2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications(ICAICA),Dalian,China,2020,789-792.

[12] 刘晨,池涛,李丙春,张宗虎. 一种新的活动轮廓模型图像分割方法[J]. 工程科学与技术,2017,49(5):101-108.

[13] 范明亮,郭子涵,柴晓楠,等. 面向 FT-M7002 的 Sobel 边缘检测算法优化实现[J]. 计算机工程,2022,48(6):193-199.



张立立(1984—),女,辽宁阜新人,高级实验师,主要研究方向为无线传感器网络、实验技术管理等;



鲍喜荣(1978—),男,湖北当阳人,讲师,主要研究方向为嵌入式系统技术、数字信号处理等;



王　彤(1989—)女,辽宁沈阳人,中级实验师,主要研究方向为数据结构算法与程序设计、嵌入式系统、实验技术管理等;



杨金柱(1979—),男,内蒙通辽人,博士,教授,主要研究方向为人工智能、影像处理分析等。