

文章编号 1004-924X(2011)03-0697-06

# 印刷电路板无铅焊点假焊的检测

吴福培<sup>1</sup>, 张宪民<sup>2</sup>

- (1. 汕头大学 机械电子工程系, 广东 汕头 515063;
2. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:**通过分析由三色 LED 环形结构光源和 3-CCD 彩色相机获取的印刷电路板(PCB)焊点图像特征,设计了一种 PCB 无铅焊点假焊的检测方法,以提高自动光学检测系统检测焊点质量的准确率,降低误判。该方法通过对焊点及其元器件的定位,采用重心法检测假焊;根据焊点及元器件的边缘确定焊点区域及元器件区域,采用面积法二次检测假焊;最后,采用提出的色彩梯度法,检测剩余的假焊焊点。基于以上三步骤,实现对整张 PCB 焊点假焊的检测。实验结果表明,采用重心法、面积法及色彩梯度法相结合的方法,可检测出 PCB 焊点的假焊,检测准确率为 99.2%。

**关键词:**自动光学检测;焊点检测;假焊;印刷电路板;表面贴装

**中图分类号:**TP274.5;TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111903.0697

## Inspection of pseudo solders for lead-free solder joints in PCBs

WU Fu-pei<sup>1</sup>, ZHANG Xian-min<sup>2</sup>

- (1. *Department of Mechatronics Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China;*
2. *School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China*)

**Abstract:** In order to improve the inspection accuracy and reduce misjudgment rate for the solder joint quality inspection in an automatic optical inspection system, a pseudo solder joint inspection method for lead-free solder joints in a Printed Circuit Board(PCB) was proposed based on analyzing the solder joint image acquired by a 3-color LED structure illuminator and a color 3-CCD camera. Three steps were used to detect the pseudo solder joints. Pseudo solder joints were inspected firstly by the center of gravity method after positioning the solder joints and its components. Then, the regions of solder joints and components were figured out based on their edge, and the area method was used to inspect pseudo solder joints. Finally, the missed pseudo solder joints were inspected by the proposed color grad method. The experiment results show that the proposed method composed of the center of gravity method, area method and the color grad method can inspect the pseudo solders effectively, and the inspection accuracy can reach 99.2%.

**收稿日期:**2010-09-25;**修订日期:**2010-10-27.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(No. 60774019);广东省自然科学基金重点资助项目(No. 2006D930304001);广东省科技计划重大专项(No. 2009A080201004, No. 2010A080402010);汕头大学科研启动基金项目(No. NTF10005);青年科研基金项目(No. YR10008)

**Key words:** automatic optical inspection; solder joint inspection; pseudo solder; Printed Circuit Board (PCB); Surface Mounted Technology (SMT)

## 1 引言

随着电子封装的轻薄微小化及生产的无铅化,依靠自动光学检测(Automatic Optical Inspection, AOD)系统检测炉后印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)无铅焊点的焊点质量已越来越广泛地应用于表面贴装技术(Surface Mount Technology, SMT)生产中<sup>[1-2]</sup>。

炉后 PCB 无铅焊点的焊点缺陷较多,文献[3-4]采用两级分类器法对焊点进行检测,在一定程度上可检测出多锡、少锡和良品。文献[5]基于模糊分类的神经网络法对焊点进行检测,该方法能反映专家的知识,具有较高的检测准确率。文献[6]提出基于多层感知器的几何小波特征算法,该方法能较准确地检测出多锡、少锡、良品等焊点。文献[7]对多锡、少锡、偏移等缺陷提出了有效的检测算法。但是作为常见焊点缺陷之一的假焊,目前尚未有较好的检测方法,它是目前较难检测的焊点缺陷之一<sup>[8-9]</sup>。

虽然采用 X 射线可检测可见或不可见焊点的假焊,但是它的检测速度慢,难以适用于在线检测。本文基于 3-CCD 彩色相机和 3 色(红、绿、蓝)LED 阵列环形结构光源获取无铅焊点彩色图像,分析假焊焊点的图像特征,设计了一种焊点缺陷类型为假焊的检测算法,以提高自动光学检测系统检测焊点质量的准确率,降低误判。

## 2 无铅焊点的彩色图像

基于 3-CCD 彩色相机和 3 色(红、绿、蓝)LED 阵列环形结构光源获取的无铅焊点彩色图像<sup>[9-10]</sup>,其不同的色彩分布反应不同的焊点表面形状分布。

对可接受的焊点,其图像如图 1 所示。图 1(a)是在环形结构光源下获取的彩色图像,图 1(b)是焊点在自然光下获取的三维彩色图像,图 1(c)是在环形结构光源下理想的 2-D 彩色图像模型,图 1(d)是对应焊点的侧视截面图。从图 1 可知,从元件本体两端经焊点到 PCB 面板,其表面

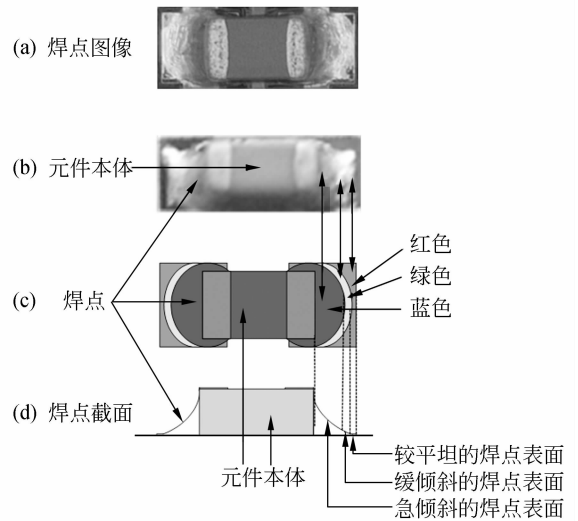


图 1 可接受焊点的图像

Fig. 1 Image of acceptable solder joint

形状依次是平坦、急倾斜、缓倾斜、平坦,其颜色规律是元件本体色(红色)—蓝色—绿色—红色。

当焊点的缺陷为假焊时,其图像如图 2 所示。

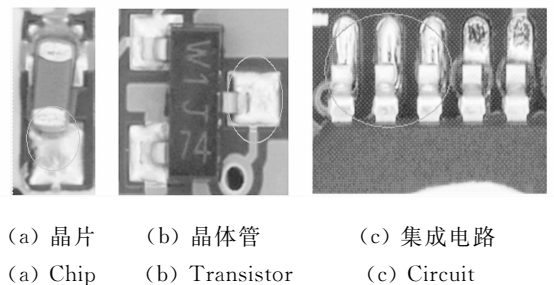


图 2 假焊的焊点图像

Fig. 2 Solder joint image of pseudo solder

图 2(a)是晶片焊点的假焊图像,图 2(b)是晶体管焊点的假焊图像,图 2(c)是集成电路(IC)焊点的假焊图像。从图 2 可知,当焊点的缺陷类型为假焊时,焊点图像靠近元件电极或引脚的部分呈现红色的图像,即自元件本部经焊点至 PCB 的图像颜色分布规律是元件本体色(红)—红—绿—蓝—红—PCB 色。因此,元件本部与焊点焊接的部分,其周围的焊点部分存在红色的图像时,是判断为假焊的重要特征。为了在检测中能准确检测电极或引脚周围的焊点区域是否存在红色图像,

首先需要对元件电极或引脚的边缘进行准确的定位,之后,自元件电极或引脚的边缘向焊点区域搜索,在设定的范围内检测该区域是否存在红色图像。

### 3 元件边缘的定位及焊点特征提取

将彩色图像可分解为红、绿、蓝3张单色的子图像,在彩色图像的每一点上,每张子图像都拥有相应的灰度值  $c_R(x,y)$ ,  $c_G(x,y)$ ,  $c_B(x,y)$ , 将之表示为向量的形式:

$$C(x,y) = [c_R(x,y) \quad c_G(x,y) \quad c_B(x,y)]^T, \quad (1)$$

其中  $c_p(x,y) \in \{0,1,2,\dots,255\}$ ,  $p \in \{R,G,B\}$ ,  $(x,y)$  表示某一点的像素坐标,分别表示红色子图像、绿色子图像、蓝色子图像。

#### 3.1 重心法检测焊点

如图3所示,采用鲁棒积分投影法<sup>[11]</sup>对焊点和元件定位,结合元件实际尺寸的大小,提取元件电极或引脚的边缘。图3所示分别为定位前和定位后的示意图。确定焊点及元件电极所在的区域分别为:  $D_{S,i}$ 、 $D_{E,i}$ ,  $i$  表示焊点的系列号,  $i=1,2,3,\dots$ 。对晶片元件,  $i=1,2$ ; 对晶体管和集成电路元件,  $i$  的最大取值为对应元件的引脚数。

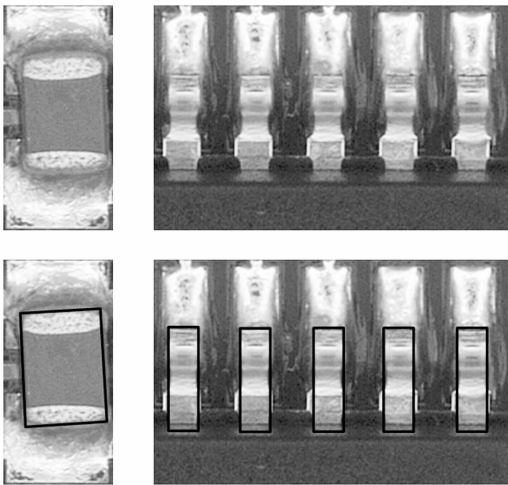


图3 元件定位

Fig. 3 Component positioning

元器件定位后,初步对焊点与元件的相对位置进行检测。若相对位置偏离标准位置的偏差大于生产工艺标准,则判定该元件焊接不合格,确定

其为假焊的形式之一;若偏差在工艺标准范围内,则继续进行后续的检测,从中检测出假焊的焊点。

下面对焊点与元件的相对位置进行检测。

对焊点及元件电极所在的区域进行相应的图像分层与处理,在给定的阈值  $c_{p0}(x,y)$  下,对焊点图像进行二值化:

$$f_{ap}(x,y) = \begin{cases} 1 & c_p(x,y) \geq c_{p0}(x,y) \\ 0 & c_p(x,y) < c_{p0}(x,y) \end{cases}, \quad (2)$$

其中  $f_{ap}(x,y)$  表示在子区域  $D_a$  内,像素点  $(x,y)$  是否为对象特征;1表示对象,0表示背景。

为了描述对象在子区域  $D_{ap}$  内的位置及其走向,定义对象的重心  $M_{D_{ap}} = (x_{D_i}, y_{D_j})$ :

$$x_{D_{ap}} = \frac{1}{A_{D_{ap},f}} \sum_{x,y \in D_a} x \cdot f_p(x,y), \quad (3)$$

$$y_{D_{ap}} = \frac{1}{A_{D_{ap},f}} \sum_{x,y \in D_a} y \cdot f_p(x,y), \quad (4)$$

其中,  $A_{D_{ap},f} = \sum_{x,y \in D_a} \omega_p(x,y)$ ,  $(x_{D_{ap}}, y_{D_{ap}}) \in D_a$ , 如图4所示。

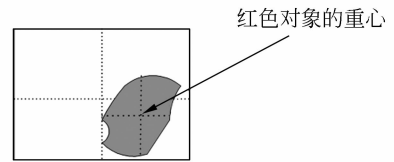


图4 红色对象的重心

Fig. 4 Center of gravity of red object

设对象理想的重心是  $M_{D_{ap}} = (x_{D_i}, y_{D_j})$ , 则对象的偏移为

$$\rho_{M_{D_{ap}}} = \frac{|M_{D_{ap}} - \underline{M}_{D_{ap}}|}{L} \times 100\%, \quad (5)$$

其中  $L$  是子区域  $D_{ap}$  内最大的偏移量。

设允许的偏移是  $\rho_{M_{D_{ap}}}$ , 如果

$$\rho_{M_{D_{ap}}} \leq \rho_{M_{D_{ap}}}, \quad (6)$$

则判定该对象的重心位置是可接受的。

#### 3.2 面积法检测焊点

假设子区域  $D_{ap}$  的面积是  $A_{D_a}$ , 而在该区域内对象的面积是  $A_{D_{ap}0}$ 。其中

$$A_{D_{ap}0} = \sum_{x,y \in D_a} f_{ap}(x,y), \quad (7)$$

则子区域  $D_{ap}$  内,对象的面积占有率为:

$$A_{D_{ap},radio} = \frac{A_{D_{ap}0}}{A_{D_a}} \times 100\%, \quad (8)$$

假如  $\bar{A}_{D_{ap},radio}$  是子区域  $D_{ap}$  内对象理想的面积占有率,如果  $A_{D_{ap},radio} \leq \bar{A}_{D_{ap},radio}$  (或者  $A_{D_{ap},radio}$

$\geq \bar{A}_{D_{ap,radio}}$ ), 则判定该对象的面积占有率是可接受的。

### 3.3 色彩梯度法检测焊点

如图 5 所示,判断是否为假焊,主要考虑焊点中心、尤其是电极前端(或引脚前端)与焊点交接处至焊点四周的色彩分化分布,即色彩梯度。

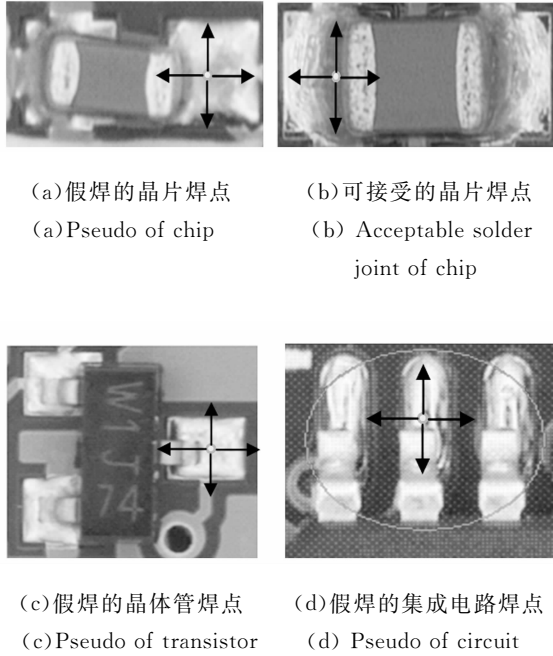


图 5 焊点及其色彩梯度

Fig. 5 Solder joints and their color grads

色彩梯度的判断:

假设焊点区域的长为  $l$ , 宽为  $w$ , 焊点区域的中心坐标为  $(x_0, y_0)$ 。在焊点区域内, 若

$$c_R(x, y) = \max\{c_R(x, y), c_G(x, y), c_B(x, y)\}, \quad (9)$$

则令  $\alpha=1, \beta=0$ 。

若

$$c_G(x, y) = \max\{c_R(x, y), c_G(x, y), c_B(x, y)\}, \quad (10)$$

则令  $\alpha=0, \beta=1$ 。

重新定义焊点区域内的灰度值为:

$$c(x, y) = \max\{c_R(x, y), c_G(x, y), c_B(x, y)\} + 255 \times 2\alpha + 255\beta. \quad (11)$$

在焊点区域内, 以焊点区域的中心, 尤其是电极前端(或引脚前端)与焊点交接处为中心, 以远离该中心的方向为正方向, 将该区域色彩梯度定义为:

$$D(t, k) = \frac{c(x_0, y_0) - c(x_0 + t, y_0 + k)}{\sqrt{t^2 + k^2}}, \quad (12)$$

其中  $t = \pm l/2, k = \pm w/2$ 。

若  $D(t, k)$  的值总体趋势为正值, 表明该区域自中心至外的色彩梯度为: 红—绿—蓝, 判定为假焊, 否则判定为非假焊。由此, 在前两种方法检测焊点的基础上, 进一步以色彩梯度法检测假焊, 通过以上 3 种方法, 最终判断出焊点类型为假焊的焊点。

算法的流程如图 6。

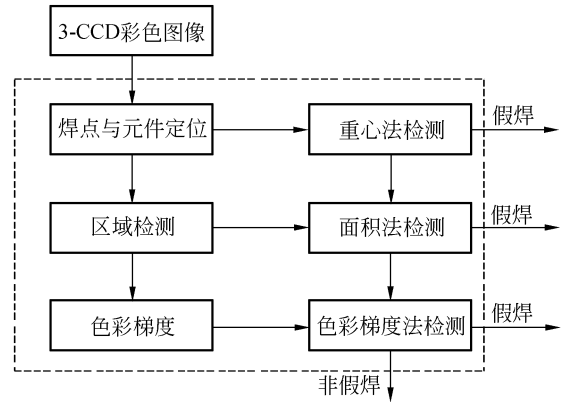


图 6 算法流程图

Fig. 6 Flow chart of algorithm

## 4 实验结果与分析

如图 7 所示, 以课题组成功开发并已实现产业化的 AOI 系统为实验平台, 编写本文提出的检测算法, 并结合 SMT 生产线进行实验。对某 MP4 的多张 PCB 板进行检测, 该 PCB 板为 AOI 测试板, 已知它有 1 038 个元器件, 其中假焊的焊点为 127 个。



图 7 实验系统

Fig. 7 Experiment system

实验分3部分进行,首先分别采用文中提出的重心法、面积法、色彩梯度法对PCB进行检测,记录检测结果,见表1。其次采用三者相结合的方法对PCB进行检测,记录检测结果,见表2。最后,将本文方法与其它方法的检测准确率进行比较,见表3。

表1 分别检测的准确率

Tab.1 Results of inspection respectively

	重心检测法	面积检测法	色彩梯度检测
假焊点/个	17	19	113
检测准确率/%	13.4	15.0	89.0

表2 三者相结合的检测准确率

Tab.2 Results of inspection by 3 steps

	重心检 测法	面积检 测法	色彩梯 度检测	总计
假焊点/个	17	11	98	126
检测准确率/%	13.4	8.7	77.2	99.2

表3 5种方法的性能比较

Tab.3 Performance comparison among five methods

采用的方法	文献 [4]	文献 [5]	文献 [6]	文献 [9]	本文 方法
检测准确率/%	94.1	97.1	95.8	96.5	99.2

从表1可知,分别采用重心法、面积法、色彩梯度法对PCB进行检测,均不能完全检测出PCB

上假焊的焊点,其中仅采用重心法检测的焊点数最小,准确率最低,仅为13%;仅采用色彩梯度法检测的焊点数最多,为113个,其准确率为89%。准确率不高,难以用于生产实践。

采用重心法、面积法及色彩梯度法相结合的方法,即采用重心法排除部分假焊的焊点,再用面积法检测排除部分的假焊的焊点,最后采用色彩梯度法检测剩下的PCB焊点,从而实现对整个PCB焊点的检测。从表2可知,采用这种方法,可实现高达99.2%的检测准确率。从表3可知,与其它方法相比,本文所提方法有明显的提高。说明重心法、面积法及色彩梯度法之间具有较强的互补性,三者相结合,可实现对假焊的准确检测。

## 5 结论

本文提出了一种PCB焊点的假焊检测方法。针对3-CCD彩色PCB焊点图像,基于提出的重心法、面积法及色彩梯度法,实现了对焊点假焊的检测。实验结果表明,重心检测法与面积检测法仅能检测出少部分的假焊,使用色彩梯度法检测假焊的准确率也仅为89%;而分步采用重心法、面积法及色彩梯度法三者相结合的方法检测假焊,其检测准确率高达99.2%,可实现对假焊的准确检测。

## 参考文献:

[1] LIN S C, SU C H. A visual inspection system for surface mounted devices on printed circuit board [C]. *Cybernetics and Intelligent Systems*, 2006 *IEEE Conference*, 2006:1-4.

[2] LOH H H, LU M S. Printed circuit board inspection using image analysis[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1999,35(2):426-432.

[3] KIM T H, CHO T H, MOON Y S, et al.. Visual inspection system for the classification of solder joints[J]. *Pattern Recognition*, 1999, 32(4):565-575.

[4] JAGANNATHAN S. Automatic inspection of wave soldered joints using neural networks[J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 1997,16(6):389-398.

[5] KO K W, CHO H S. Solder joints inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method [J]. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 2000, 23(2):93-102.

[6] ACCIANI G, BRUNETTI G, FORNARELLI G. Application of neural networks in optical inspection and classification of solder joints in surface mount technology[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2006,2(3):200-209.

[7] 卢盛林,张宪民,邝泳聪.基于神经网络的PCB焊点检测方法[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2008,36(5):135-139.

LU SH L, ZHANG X M, KUANG Y C. Neural network-based inspection method of PCB solder joint[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2008, 36

(5):135-139. (in Chinese)

[8] 吴福培,张宪民. SMT 炉后晶体管类元件无铅焊点的自动光学检测算法[J]. 焊接学报, 2009,30(7):5-8.

WU F P, ZHANG X M. An AOI algorithm for transistor lead-free solder joint of SMT[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2009,30(7):5-8.

[9] 吴福培,张宪民. 基于模式匹配及其参数自适应的 PCB 焊点检测算法[J]. 光学 精密工程, 2009,17(10):2586-2593.

WU F P, ZHANG X M. Pattern matching and parameter adaptive based PCB solder joint inspection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,17(10):2587-2593. (in Chinese)

[10] 卢盛林,张宪民. 无铅焊点检测的光源分析与优化设计[J]. 光学 精密工程, 2008,16(8):1377-1383.

LU S L, ZHANG X M. Analysis of optimal design of illuminator for leadless tin solder joint inspection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(8):1377-1383. (in Chinese)

[11] 吴福培,张宪民. 基于灰度积分投影法对无铅焊点的鲁棒定位[J]. 华南理工大学学报(自然科学版) 2009,37(9):98-102.

WU F P, ZHANG X M. Robust positioning algorithm of lead-free solder joints based on gray-level integration projection[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2009,37(9):98-102. (in Chinese)

#### 作者简介:



吴福培(1980—),男,广西玉林人,博士,副教授,2009 年于华南理工大学获工学博士学位,主要研究方向为机器视觉、自动光学检测和自适应图像识别。  
E-mail: fpwu@stu.edu.cn



张宪民(1964—),男,河北涿州人,博士,教授,博士生导师,1993 年于北京航空航天大学获博士学位,主要研究方向为机器视觉、柔顺机构分析与设计和精密装备的振动控制。E-mail: zhangxm@scut.edu.cn

#### ● 下期预告

## 五相混合式步进电动机在空间扫描驱动机构中的应用

李先峰,颜昌翔,于平

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

在成像光谱仪的运动补偿应用中,由步进电动机、谐波减速器和绝对式编码器构成的扫描镜驱动机构方案是一种减小体积和质量的新尝试。说明了选用五相混合式步进电动机的合理性,对五相混合式步进电动机在该应用中的特殊性,驱动技术和控制实现方法等进行研究。指出了扫描镜和相应驱动方案对步进电动机的特殊要求。针对扫描镜低速运动补偿和高速运行回归初始位置两种工况,提出了一种基于隔相五边形绕组联结方式的新型驱动方法,即调频调压结合恒频变脉宽 PWM 的方法。重点分析了该驱动方式下对于扫描机构运行性能的影响。最后,利用相关测试设备和相应方法对扫描镜的运行精度进行了实验测量。实验结果表明:扫描镜在  $0.1 \sim 0.5(^{\circ})/s$  进行匀速运行和跟踪给定运动补偿曲线运行两种情况下,角速度的均方根误差均  $< 5.5\%$ ,基本满足一般成像光谱仪对扫描机构的工程应用要求。