

文章编号 1004-924X(2009)10-2586-08

# 基于模式匹配及其参数自适应的 PCB 焊点检测

吴福培, 邝泳聪, 张宪民, 欧阳高飞

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 为了提高在线自动光学检测(AOI)系统检测印刷电路板(PCB)焊点的准确率和速度,对 PCB 焊点进行了研究。通过研究由特定结构光源和 3CCD 彩色相机获取 PCB 焊点图像,基于常见的良品、多锡、少锡、假焊等焊点类型,提取焊点图像关键子区域的面积特征。在此基础上,建立了 5 种焊点类型的特征矩阵模型,并以同类焊点相似程度最大为原则,设计了检测焊点的模式匹配算法。此外,给出了一种参数自适应方法对各检查项所用到的阈值参数进行学习与校正。在实验研究中,对含有 1 040 个 Chip 焊点的 PCB 进行了检测,结果显示提出的算法对焊点检测的准确率可达 96.5%,检测所用时间为 9 s。研究表明,本文算法具有较高检测准确率和检测速度。

**关键词:** 自动光学检测系统;焊点检测;特征矩阵;模式匹配;参数自适应

**中图分类号:** TP274.5;TP391.4 **文献标识码:** A

## Pattern matching and parameter adaptive based PCB solder joint inspection

WU Fu-pei, KUANG Yong-cong, ZHANG Xian-min, OUYANG Gao-fei

*(School of Mechanical and Automotive Engineering,**South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)*

**Abstract:** In order to improve the inspection success rate and velocity of an in-line Automated Optical Inspection (AOI) system of Printed Circuit Boards (PCBs), the solder joints of a PCB are examined. The solder joint images are acquired by a structure illuminator and a 3-CCD color camera. Based on these images, the area features of the conventional types of PCB solder joints such as good, excessive, poor and pseudo are extracted with respect to the key sub-region in the solder joint. Five kinds of feature matrix models of solder joints are presented. A pattern matching algorithm for inspecting the solder joint is developed by maximizing the similarity of the same type of solder joints. To solve the problem of the threshold determined by experiences, a parameter adaptive learning strategy is presented. Finally, 1 040 chip solder joints on a PCB are inspected. Experimental results show that the success rate is as high as 96.5% and the inspection time is 9 s by using the proposed algorithm. This indicates that the proposed algorithm can achieve both a high success rate and inspection velocity.

**Key words:** automatic optical inspection (AOI) system; solder joint inspection; feature matrix; pattern matching; parameter adaptive

收稿日期:2008-09-20;修订日期:2008-12-09.

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(No. 50825504);粤港关键领域突破项目(东莞专项 No. 200816822);广东省广州科技攻关项目(No. 2008A010300002)

## 1 引言

随着印刷电路板(PCB)上的电子元件尺寸愈来愈微小、贴装密度越来越高以及因推行无铅化生产而导致的焊点变化<sup>[1-3]</sup>,使得依靠人工目检(MVI)炉后 PCB 无铅焊点的焊接质量的传统方法已越来越难以满足生产质量的要求,为了适应生产的需要,基于机器视觉检测无铅焊点焊接质量的自动光学检测(AOI)系统正在兴起并已初步应用于表面贴装技术(SMT)中。AOI 系统可对 PCB 的焊点进行重复、可靠、标准一致的快速检查,这使得 AOI 系统在 SMT 中的地位显得越来越重要<sup>[4-7]</sup>。

受温度、焊锡量的多少和元件贴装位置等因素的影响,各焊点的形状与表面千差万别,而且焊点的图像易受光源和相机稳定性的影响,这给焊点的图像检测带来了诸多困难<sup>[8-9]</sup>。为了解决这些问题,文献[10]从结构光源的角度对焊点与焊点图像之间的关系进行了比较全面的分析,较好地诠释了基于特定光源获取的焊点图像对焊点进行检测的可行性。文献[11-12]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[13]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[14]在提取焊点的几何特征和小波特征后,通过神经网络对焊点进行分类,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。这些结果对焊点的检测产生了积极推动作用,但在追求检测准确率的过程中忽略了对检测时间的考虑,而检测速度跟不上快速的流水线作业正成为在线 AOI 系统应用的瓶颈。生产线要求 AOI 系统在焊点检测的过程中应同时具备有较高的检测准确率和较快的检测速度。针对这一问题,本文分三步对焊点的检测进行了深入的研究以实现既快又准的检测。首先分析了焊点与焊点图像的关系,其次在分析焊点图像的基础上建立了良品、多锡、少锡、假焊等焊点类型的特征模型,最后,为了提高算法在应用中的自动化水平,对特征模型的阈值参数进行了自适应

校正研究。

## 2 AOI 系统与焊点图像

如图 1 所示,应用于 SMT 炉后的 AOI 系统,由 PCB 图像获取、图像预处理、焊点检测、结果诊断等 4 部分组成。

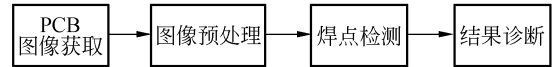


图 1 AOI 系统

Fig. 1 AOI system

本文分析的图像通过 3CCD 彩色相机和 3 色(红、绿、蓝)LED 阵列环形结构光源获取。如图 2 所示,红、绿、蓝 3 色 LED 由高至低分别环布于半球形结构的内侧,3CCD 彩色相机位于结构光源中心的正上方。红色、绿色、蓝色 3 种环形光从不同的高度和角度对 PCB 进行照射,垂直方向的相机摄取 PCB 元件焊点的图像。

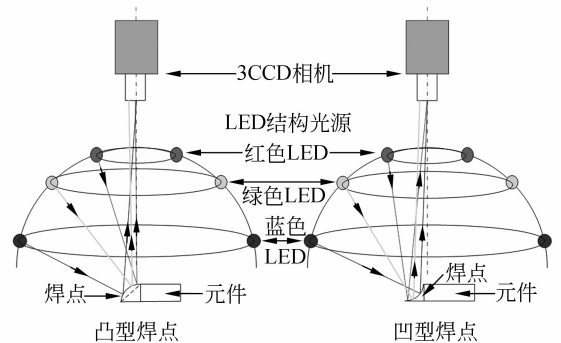


图 2 图像采集系统

Fig. 2 Image acquisition system

焊锡表面具有光的反射性质,因此,照射在焊锡表面的光,遵循入射角等于反射角。如图 2 所示,红色环形光在上层,对 PCB 的入射角最大,所以照射在平坦焊锡表面的光反射至相机镜头上,其它照射在急倾斜和缓倾斜的焊锡表面的光,不能反射到相机镜头,因此,相机对平坦的焊锡表面摄取到红色的图像。同理,相机分别对缓倾斜和急倾斜的焊锡表面摄取绿色和蓝色的图像。而同色图像的不同灰度值,反映对应焊锡表面变化的趋势。如图 3 所示,图 3(a)是焊点的三维图像,图 3(b)是环形结构光源下获取的理想焊点的二维图像,图 3(c)是对应焊点的侧视图,红色表

示比较平坦的焊点表面,蓝色表示急倾斜的焊点表面,绿色是蓝色到红色的过渡色,表示缓倾斜的焊点表面。因此,通过本图像采集系统获取的焊点图像,能比较全面地反映焊点的三维信息<sup>[15]</sup>。

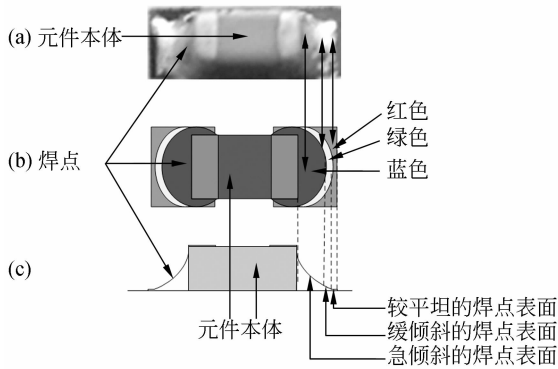


图 3 焊点及其二维图像

Fig. 3 Solder joints and their 2 dimension images

### 3 焊点分析与建模

#### 3.1 分析焊点图像

虽然焊点间的形状与表面差别很大,但是根据焊点的缺陷类型可将焊点分为如下几种:良品、多锡、少锡、假焊。如图 4 所示,左边是焊点的二维彩色图像,右边是对应焊点的侧视图像。

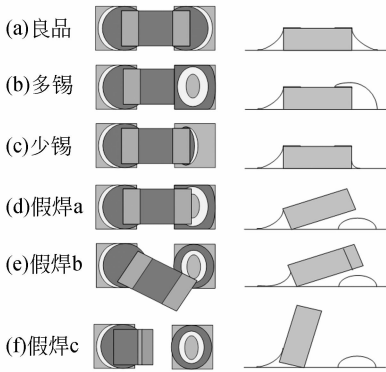


图 4 焊点图像

Fig. 4 Images of solder joints

良品的焊点,如图 4(a)所示,在靠近元件本体的焊盘区域蓝色较多,边缘的绿色较少,最外层是红色,层次分明,对应凹型的焊点;如果焊点多锡,如图 4(b)所示,在焊点的中央有红色斑点,周围以绿色过渡到最外层的蓝色,对应凸型焊点,这类焊点容易导致桥接;焊点少锡,如图 4(c)所示,

靠近元件本体的焊盘区域蓝色较少,最外层的红色较多;因元件翘起而产生的假焊,如图 4(d)所示,靠近元件本体的焊盘区域呈红色,之后是绿色过渡到蓝色,其焊点似锡珠状;因元件偏移而产生的假焊,如图 4(e)所示,元件本体相对焊点发生了偏移,焊点的颜色由中央至最外层分别是红,绿,蓝分布,其焊点为锡珠状;因元件立碑(元件直立)而产生的假焊,如图 4(f)所示,元件与焊点完全分离,焊点图像的颜色由中央往外分别是红,绿,蓝分布,其焊点为锡珠状。

根据以上分析可知,不同类型的焊点,其焊点表面及其相应的焊点图像差异明显。以良品焊点为基准,从焊点图像中提取如下 4 个子区域:电极、焊点中央、焊点前端、贴装。如图 5 所示,电极位于良品焊点元件的两端;焊点中央为位于电极的前端,是焊点的中心区域;远离元件一侧的焊点区域为焊点前端;贴装位于元件本体中部且靠近电极的一侧。

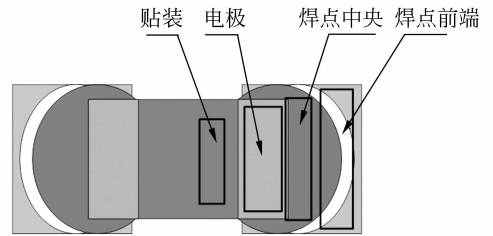


图 5 焊点的几何划分

Fig. 5 Geometric partitioning of solder joint

#### 3.2 提取焊点特征与建模

从焊点图像的分析可知,焊点的不同子区域对应的焊点表面及其图像色调特征依焊点类型的不同而差别明显。将彩色焊点图像分解为红、绿、蓝 3 种单色图像,并对各单色图像进行阈值分割,提取焊点的特征。在每个子区域内,分别计算焊点红、绿、蓝的面积以衡量焊点特征的分布情况。令  $p$  表示单色图像, $p=1$  表示红色图像, $p=2$  表示绿色图像, $p=3$  表示蓝色图像; $q$  表示焊点的子区域, $q=1$  表示电极  $D_1$ , $q=2$  表示焊点中央  $D_2$ , $q=3$  表示焊点前端  $D_3$ , $q=4$  表示贴装  $D_4$ 。则子区域  $D_q$  内相应于单色图像  $p$  的面积为:

$$g_{p,q} = \sum_{i,j \in D_q} g_p(i,j), \quad (1)$$

其中, $(i,j)$  表示像素坐标。

将焊点各子区域的面积写成如下的矩阵形式:

$$G = \begin{bmatrix} \sum_{i,j \in D_1} g_1(i,j) & \sum_{i,j \in D_2} g_1(i,j) & \sum_{i,j \in D_3} g_1(i,j) & \sum_{i,j \in D_4} g_1(i,j) \\ \sum_{i,j \in D_1} g_2(i,j) & \sum_{i,j \in D_2} g_2(i,j) & \sum_{i,j \in D_3} g_2(i,j) & \sum_{i,j \in D_4} g_2(i,j) \\ \sum_{i,j \in D_1} g_3(i,j) & \sum_{i,j \in D_2} g_3(i,j) & \sum_{i,j \in D_3} g_3(i,j) & \sum_{i,j \in D_4} g_3(i,j) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

称  $G$  为检测矩阵。为了衡量各子区域的面积是否合理,设  $g_{p,q} = \sum_{i,j \in D_q} g_p(i,j)$  对应的参考阈值为  $\alpha_{p,q}$ , 根据实际的情况确定  $g_{p,q} \leq \alpha_{p,q}$  或  $g_{p,q} \geq \alpha_{p,q}$ , 每个比较项称为一个检测项。将  $g_{p,q} \leq \alpha_{p,q}$  和  $g_{p,q} \geq \alpha_{p,q}$  统一记为  $g_{p,q} vs \alpha_{p,q}$ , 称  $vs$  为比较算子。矩阵  $G$  的阈值矩阵  $A$  可写成:

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \alpha_{1,3} & \alpha_{1,4} \\ \alpha_{2,1} & \alpha_{2,2} & \alpha_{2,3} & \alpha_{2,4} \\ \alpha_{3,1} & \alpha_{3,2} & \alpha_{3,3} & \alpha_{3,4} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

下面根据各子区域内焊点面积与参考阈值的关系,建立各焊点类型的特征矩阵模型。

良品的焊点:如果焊点的面积特征  $G$  相对于参考阈值  $A$  满足:

$$GusA = \begin{bmatrix} g_{1,1} \geq \alpha_{1,1} & g_{1,2} \leq \alpha_{1,2} & g_{1,3} \leq \alpha_{1,3} & g_{1,4} \geq \alpha_{1,4} \\ g_{2,1} \leq \alpha_{2,1} & g_{2,2} \leq \alpha_{2,2} & g_{2,3} \geq \alpha_{2,3} & g_{2,4} \leq \alpha_{2,4} \\ g_{3,1} \leq \alpha_{3,1} & g_{3,2} \geq \alpha_{3,2} & g_{3,3} \leq \alpha_{3,3} & g_{3,4} \leq \alpha_{3,4} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

则称该焊点为良品。

如果  $\sum_{i,j \in D_q} g_p(i,j) \leq \alpha_{p,q}$  时,令  $f_{p,q} = 1$ ,反之

令  $f_{p,q} = -1$ ,则焊点的特征矩阵可表示为

$$F = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & f_{1,3} & f_{1,4} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & f_{2,3} & f_{2,4} \\ f_{3,1} & f_{3,2} & f_{3,3} & f_{3,4} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

因此,根据式(4),良品的特征矩阵为

$$F_{Normal} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

多锡的焊点:如果焊点的面积特征  $G$  相对于参考阈值  $A$  满足:

$$GusA = \begin{bmatrix} g_{1,1} \leq \alpha_{1,1} & g_{1,2} \geq \alpha_{1,2} & g_{1,3} \leq \alpha_{1,3} & g_{1,4} \geq \alpha_{1,4} \\ g_{2,1} \geq \alpha_{2,1} & g_{2,2} \geq \alpha_{2,2} & g_{2,3} \geq \alpha_{2,3} & g_{2,4} \leq \alpha_{2,4} \\ g_{3,1} \geq \alpha_{3,1} & g_{3,2} \leq \alpha_{3,2} & g_{3,3} \geq \alpha_{3,3} & g_{3,4} \leq \alpha_{3,4} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

则称该焊点为多锡,对应的特征矩阵为

$$F_{Excess-Solder} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

少锡的焊点:如果焊点的面积特征  $G$  相对于参考阈值  $A$  满足:

$$GusA = \begin{bmatrix} g_{1,1} \geq \alpha_{1,1} & g_{1,2} \geq \alpha_{1,2} & g_{1,3} \geq \alpha_{1,3} & g_{1,4} \geq \alpha_{1,4} \\ g_{2,1} \leq \alpha_{2,1} & g_{2,2} \leq \alpha_{2,2} & g_{2,3} \leq \alpha_{2,3} & g_{2,4} \leq \alpha_{2,4} \\ g_{3,1} \leq \alpha_{3,1} & g_{3,2} \leq \alpha_{3,2} & g_{3,3} \leq \alpha_{3,3} & g_{3,4} \leq \alpha_{3,4} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

则称该焊点为少锡,对应的特征矩阵为

$$F_{Lacking Solder} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

假焊  $a$  的焊点:如果焊点的面积特征  $G$  相对于参考阈值  $A$  满足:

$$GusA = \begin{bmatrix} g_{1,1} \geq \alpha_{1,1} & g_{1,2} \geq \alpha_{1,2} & g_{1,3} \leq \alpha_{1,3} & g_{1,4} \geq \alpha_{1,4} \\ g_{2,1} \leq \alpha_{2,1} & g_{2,2} \geq \alpha_{2,2} & g_{2,3} \geq \alpha_{2,3} & g_{2,4} \leq \alpha_{2,4} \\ g_{3,1} \leq \alpha_{3,1} & g_{3,2} \leq \alpha_{3,2} & g_{3,3} \geq \alpha_{3,3} & g_{3,4} \leq \alpha_{3,4} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

则称该焊点为  $a$  类假焊,简称为假焊  $a$ ,对应的特征矩阵为

$$F_{Pseudo-Jointa} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

假焊  $bc$  的焊点:如果焊点的面积特征  $G$  相对于参考阈值  $A$  满足:

$$GusA = \begin{bmatrix} g_{1,1} \leq \alpha_{1,1} & g_{1,2} \geq \alpha_{1,2} & g_{1,3} \leq \alpha_{1,3} & g_{1,4} \geq \alpha_{1,4} \\ g_{2,1} \geq \alpha_{2,1} & g_{2,2} \geq \alpha_{2,2} & g_{2,3} \geq \alpha_{2,3} & g_{2,4} \leq \alpha_{2,4} \\ g_{3,1} \geq \alpha_{3,1} & g_{3,2} \leq \alpha_{3,2} & g_{3,3} \geq \alpha_{3,3} & g_{3,4} \leq \alpha_{3,4} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

则称该焊点为  $b,c$  类假焊,简称假焊  $bc$ ,对应的特征矩阵为

$$F_{Pseudo-Jointbc} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

## 4 模式匹配

根据上述焊点类型的特征矩阵,建立检测焊点的模式匹配法。以相同类型的焊点其相似程度最大为依据,将待检测焊点的特征矩阵与已知的 5 种类型的焊点特征矩阵分别进行匹配,如果待检测焊点的特征矩阵与某已知类型的特征矩阵匹配值最大,则判定它们属于相同的焊点类型。在检测中,令  $F$  为待检测焊点的特征矩阵,即

$$F = Gusa \quad (15)$$

定义相似度阵列  $S^h$ :

$$S^h = F \oplus F^h \quad (16)$$

即待检测焊点的特征矩阵  $F$  与已知的特征矩阵  $F^h$  异或,  $h=1,2,3,4,5$ , 分别表示的焊点类型是良品、多锡、少锡、假焊  $a$ 、假焊  $bc$ , 如果  $f_{p,q} = f_{p,q}^h$ , 则  $s_{p,q}^h = 1$ , 否则  $s_{p,q}^h = 0$ 。

为了突出各检测项在判定焊点质量时的权重,定义焊点类型的隶属度系数矩阵  $K$ 。在检测中,根据每个检测项的重要程度决定各检测项在确定焊点类型时的权重,并对检测结果进行归一化。设归一化后焊点类型  $h$  的  $(p,q)$  项权重为  $k_{p,q}^h$ , 则焊点类型  $h$  的隶属度系数矩阵  $K$  可表示为:

$$K^h = \begin{bmatrix} k_{1,1}^h & k_{1,2}^h & k_{1,3}^h & k_{1,4}^h \\ k_{2,1}^h & k_{2,2}^h & k_{2,3}^h & k_{2,4}^h \\ k_{3,1}^h & k_{3,2}^h & k_{3,3}^h & k_{3,4}^h \end{bmatrix} \quad (17)$$

因此,焊点  $x$  相对于焊点类型  $h$  的隶属度为:

$$u_h(x) = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^4 s_{p,q}^h k_{p,q}^h \quad (18)$$

取  $u_s = \max\{u_1(x), u_2(x), u_3(x), u_4(x), u_5(x)\}$ , 其中  $s=1,2,\dots,5$ 。  $s$  对应的焊点类型即为被检测焊点的焊点类型。

## 5 算法步骤

综上所述,将焊点检测的算法流程总结如图 6。

如图 6 所示,输入为结构光源获取的焊点图像,按照本文算法的步骤运算,最后根据隶属度的最大值确定焊点的类型。

在适当的图像处理操作后,与现有的其他方

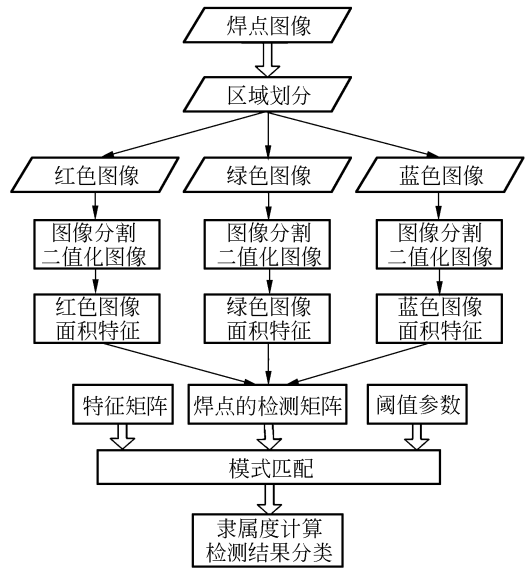


图 6 算法流程图

Fig. 6 Flowchart of algorithm

法相比,由于本文方法仅需要对各特征进行统一的比较操作,根据匹配的程度即可检测出焊点的类型,因此,在检测方面,速度较快。

## 6 阈值参数自适应学习

检测中,式(3)的阈值参数取值合理时才能得到满意的检测效果。目前在应用上阈值参数是根据人的经验进行人工设定的,此法很难得到理想的阈值,而且效率不高,已有的理论方法也鲜有涉及这方面的应用研究。下面研究如何进行参数的自适应学习,调整阈值参数不断接近理想值,以实现满意的检测效果和提高编写检测程序的效率。

为了实现阈值参数不断接近理想值,应当根据每次的检测误差,对阈值参数进行相应的调整。如图 7 所示,对待检测的焊点图像  $x$ , 计算其检测矩阵  $G$ ,  $G$  与阈值矩阵  $A$  进行比较,得检测的误差矩阵  $E$ :

$$E = G - A \quad (19)$$

为了提高参数学习的效率,学习中仅针对关键的阈值参数进行校正。根据已知的检测矩阵  $G$  和初始的阈值矩阵  $A$ ,求得待检测焊点的特征矩阵  $F = Gusa$ 。通过分类器确定待检测焊点所属的焊点类型  $F^h$ ; 将  $F^h$  与  $F$  的各元素进行比较,不相同的项便是阈值参数学习的关键项。定义符号

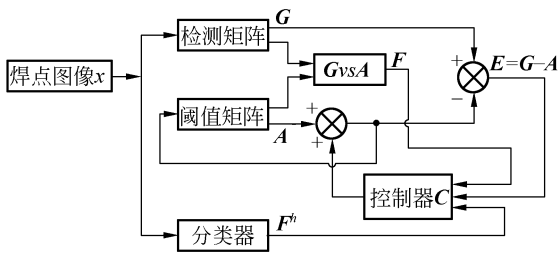


图 7 参数自适应学习

Fig. 7 Adaptive learning of parameters

函数:

$$\text{sign}(y) = \begin{cases} +1 & y > 0 \\ 0 & y = 0 \\ -1 & y < 0 \end{cases} \quad (20)$$

根据以上分析,得自适应控制器 C

$$C = \text{sign}(F^h - F) \cdot \beta E \quad (21)$$

对焊点  $x$  进行学习后, 阈值矩阵  $A^x$  变为  $A^{x+1}$ :

$$A^{x+1} = A^x + \text{sign}(F^h - F) \cdot \beta E \quad (22)$$

其中,  $\beta$  为学习系数。  $0 \leq \beta \leq 1$ ,  $\beta$  越大, 收敛速度越快, 稳定性越差;  $\beta$  越小, 稳定性越好, 但学习速度较慢。

所以, 对焊点  $x$  学习后, 阈值矩阵的参数调整为:

$$\alpha_{p,q}^{x+1} = \alpha_{p,q}^x + \text{sign}(f_{p,q}^h - f_{p,q}) \beta \cdot e_{p,q} \quad (23)$$

## 7 实验结果与分析

为了验证该算法的有效性, 实验分两部分进行: 一是验证算法检测的准确性; 二是验证算法检测的速度。如图 8 所示, 以某公司生产的在生 AOI 系统(型号为 FL-V3)为实验平台, 将本文算法嵌入该系统中。采用的 PC 是 Intel(R) Pentium(R) Dual CPU E2200, 开发环境为 VB.net。



图 8 在线 AOI 系统

Fig. 8 On-line AOI system

按本文算法步骤对生产线上同一批 PCB 的焊点进行检测。在焊点图像中, 由于红色图像与蓝色图像最能反映焊锡量的多少, 而绿色只是两者间的过渡色, 份量较少。根据实验检测的经验, 对红色图像和蓝色图像, 取较大的权重, 每个检测项分别占 10%, 而绿色图像的检测项分别占 5%。即各焊点类型的权重取相同的值, 即

$$K = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 \\ 0.05 & 0.05 & 0.05 & 0.05 \\ 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 \end{bmatrix}$$

参数学习过程中, 为了保持较快的学习速度和良好的稳定性, 对学习系数, 取  $\beta = 0.618$ 。

每学习一张 PCB 后, 检测 5 张 PCB(共 5 200 个 Chip 焊点), 将检测结果记录下来并进行统计。如图 9 所示, 实验结果发现, 阈值参数的学习次数与检测的误判率之间存在密切的关系, 参数学习的次数越多, 检测的误判率就越低, 说明阈值参数越接近理想的状态。在学习了 24 张 PCB 后, 对焊点检测的误判率在 3.0%~3.5% 之间, 即准确率高于 96.5%。

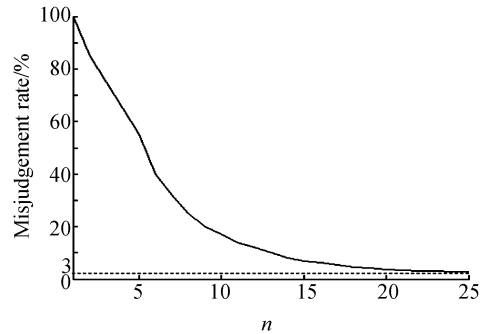


图 9 参数学习与误判率的关系

Fig. 9 Relationship of parametric learning and misjudgement rate

在检测准确率与检测时间方面, 对文献[12-14]所提出的几种算法以及本文算法对焊点的检测情况进行了对比。在相同的硬件环境下, 对同一批含有 1 040 个 Chip 焊点的 PCB 进行检测, 并将检测结果制进行统计, 如表 1。

表 1 4 种算法的性能比较

Tab. 1 Performance comparison among four algorithms

采用的算法	文献[12]	文献[13]	文献[14]	本文算法
检测准确率	94.1%	97.2%	95.8%	96.5%
检测 1 040 个焊点的时间	16 s	14 s	18 s	9 s

从表 1 可知,在检测准确率方面,文献[13]方法以 97.2% 明显较优,但在检测时间方面,用时 14 s。文献[14]方法用时最多,准确率为 95.8% 的情况下用时达 18 s。文献[12]方法的准确率最低,用时 16 s。本文算法以 96.5% 的准确率用时 9 s,综合检测准确率和检测时间可知,本文算法更能适用在线 AOI 系统的要求,具有较强的实用性。

## 8 结 论

基于焊点图像的分析,针对良品、多锡、少

锡、假焊等焊点类型的特点,提取了焊点关键子区域的面积特征。在此基础上,建立了 5 种焊点类型的特征矩阵模型,并对特征矩阵中的阈值参数给出了自适应学习的校正方法,给出了一种基于模式匹配的焊点检测方法。从检测的准确性和检测速度两方面对该算法进行验证,实验结果表明,在阈值参数学习较好的情况下,该匹配算法对焊点检测的准确率可达 96.5%,检测速度也有明显提高。

### 参考文献:

- [1] DOUGLAS W R, DOMINIC F H. Why automated optical inspection [C]. *International Test Conference*, 1997:1033.
- [2] LIN SH CH, SU CH H. A visual inspection system for surface mounted devices on printed circuit board [C]. *Cybernetics and Intelligent Systems*, 2006 *IEEE Conference*, 2006:1-4.
- [3] CHEN Y S, WANG C S, FAN C T, *et al.*. Reliability assessment of Sn-Pb and Pb-free solder joints under the cyclic bend and shear tests [C]. *Electronic Packaging Technology*, ICEPT 2007, 8th International Conference, 2007:1-6.
- [4] 李志敏,林越伟,黄俊,等. PCB 走线检测的预处理算法[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(2):272-276.  
LI ZH M, LIN Y W, HUANG J, *et al.*. Preprocess algorithm of PCB line detecting [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2):272-276. (in Chinese)
- [5] 史建卫. 无铅焊接工艺中常见缺陷及防止措施[J]. *电子工艺技术*, 2008, 29(1):53-56.  
SHI J W. Solder defects and solutions in lead-free soldering technology [J]. *Electronics Process Technology*, 2008, 29(1):53-56. (in Chinese)
- [6] 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 inspecting method of PCB solder joint [J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2008, 36(5):135-139. (in Chinese)
- [7] 吴黎明,崔山领,王立苹,等. 重复图案晶片自动检测新方法[J]. *光学 精密工程*, 2008, 16(5):925-930.  
WU L M, CUI SH L, WANG L P, *et al.*. Novel automatic inspection method for repetitive patterned wafer [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5):925-930. (in Chinese)
- [8] WU F P, ZHANG X M, KUANG Y C, *et al.*. An AOI algorithm for PCB based on feature extraction [C]. *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Chongqing, 2008:240-247.
- [9] ROH Y J, LEE D Y, KIM M Y, *et al.*. A visual inspection system with flexible illumination and auto-focusing [C]. *Proc. of SPIE*, 2002, 4902:463-475.
- [10] LOH H H, LU M S. Printed circuit board inspection using image analysis [J]. *IEEE Transaction on Industry Applications*, 1999, 35(2):426-432.
- [11] 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.
- [12] JAGANNATHAN S. Automatic inspection of wave soldered joints using neural networks [J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 1997, 16(6):389-398.
- [13] KO K W, CHO H S. Solder joints inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method [J]. *IEEE Transactions on Elec-*

*tronics Packaging Manufacturing*, 2000, 23(2): 93-102.

- [14] 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.

- [15] 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 SH 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)

#### 作者简介:



吴福培(1980—),男,博士,主要从事自动光学检测和机器视觉方面的研究。  
E-mail: wufupe@163.com



邝泳聪(1970—),男,博士,讲师,主要从事机器视觉、检测技术及其应用方面的研究。E-mail: yckuang@scut.edu.cn

#### 通讯作者:



张宪民(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事精密定位、精密电子装备与现代控制技术方面的研究。E-mail: zhangxm@scut.edu.cn



欧阳高飞(1978—),男,博士,主要从事机器视觉、图像处理、检测与信息处理方面的研究。E-mail: scut\_gaofei@yahoo.com.cn

#### ● 下期预告

## 混凝土结构裂缝宽度波前编码测量系统的设计

蔡怀宇, 王金玉, 方超, 黄战华, 张尹馨

(天津大学精密仪器与光电子工程学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

混凝土结构裂缝宽度测量对监测建筑结构的健康状态、避免混凝土结构破坏性缺陷具有十分重要的意义。为了克服基于传统光学成像技术设计的手持式混凝土裂缝宽度测量系统焦深小准确调焦困难,以及由于存在像差和混凝土表面凹凸过大致使视场内图像无法完全清晰等缺陷,采用波前编码技术重新进行缝宽检测系统的设计,以便有效地拓展景深(焦深)。首先,讨论了波前编码立方型相位板规一化参数及其与实际系统相位板设计参数之间的关系,接着利用 CODE V 光学设计软件,完成了手持式裂缝宽度波前编码测量系统的设计,然后,加工制作了立方型相位板并进行了初步实验。实验表明,采用基于单透镜的波前编码系统设计,在满足  $50\ \mu\text{m}$  分辨率、 $F$  数为 6 的前提下,可将景深拓展为 15 mm,达到传统光学系统相同  $F$  数时景深理论值的 4.5 倍。该系统能够满足混凝土结构裂缝宽度测量中扩大景深和成像的基本要求。