

文章编号 1004-924X(2009)09-2283-09

综合边缘和颜色特征的 IC 类贴装器件的检测

吴晖辉, 张宪民, 洪始良

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:为了适应印刷电路板(PCB)上 IC 类贴装器件检测的实时性要求,提出了一种基于边缘积分投影和颜色统计特征的检测算法。分析了不同贴装质量的 IC 类器件在三色(红、绿、蓝)结构光下的特征,用 Sobel 算子提取图像的水平 and 垂直边缘,并对边缘做积分投影,从而避免了设置边缘阈值的困难。在此基础上,利用最大邻域梯度法和滑动定位窗算法定位引脚的水平 and 垂直边界,并检测缺件、错件、偏移、歪斜等缺陷,最后,引入 HSI(色度、饱和度和亮度)空间的颜色统计特征,完成对翘脚、极性错误的检测。实验结果表明:该算法可有效地检测 IC 类器件常见的贴装缺陷,整体准确率为 97.9%,检测单个 IC 器件的时间约为 30 ms,能够满足在线检测系统高准确率和实时性的要求。

关键词:自动光学检测; IC 类器件; 引脚; 积分投影; 颜色统计特征

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Inspection of surface mounted IC devices with edge and color features

WU Hui-hui, ZHANG Xian-min, HONG Shi-liang

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

Abstract: In order to satisfy the on-line inspection requirements of the surface mounted Integrated Circuit(IC) devices on Printed Circuit Boards (PCB), an inspection algorithm based on the edge integral projection and color statistical features was presented. The features of the IC devices with different mounted qualities under a three-color (red, green, blue) structure light source were analyzed. Then, the horizontal and vertical edges were extracted with the Sobel arithmetic operator and the edges were projected for avoiding the difficulty of right thresholding. Based on the integral projections of the edges, the horizontal and vertical borders of the IC leads were obtained by the maximum neighbor gradient algorithm and the sliding location window algorithm, respectively. After location the leads, the defects such as missing devices, wrong devices, shifts and skews were inspected. Finally, the statistical color features in HSI (hue, saturation, intensity) space were extracted to detect the defects of lift leads and wrong polarity. Experiment results show that the proposed method can identify the defects of the IC devices effectively, the total success rate is 97.9% and the time consuming for single IC device is about 30 ms. It has verified the validity of this algorithm in terms of the recognition rate and speed.

收稿日期: 2009-01-11; **修订日期:** 2009-03-24.

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(No. 50825504); 广东省科技攻关重点项目(No. 2008A010300002); 粤港关键领域重点突破招标项目(东莞专项: No. 200816822)

Key words: Automatic Optical Inspection (AOI); IC devices; lead; integral projection; color statistical feature

1 引言

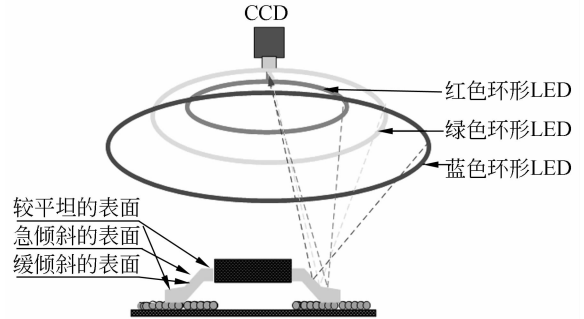
随着表面贴装技术(SMT)向高密度化方向发展,为了适应生产“零缺陷”的需要,基于机器视觉的自动光学检测(AOI)系统已应用于表面贴装技术中^[1-12]。但是目前 AOI 大多侧重于对炉后的焊点进行检测^[1-5],对贴装后(炉前)检测的研究并不多。通常,及早发现缺陷,就可以防止缺陷产品流入到下一个工序,从而减少维修的困难和节约成本,因此贴装后的检测是十分必要的^[8-10]。

PCB 上的元器件种类繁多,IC 类器件是一种常见的器件,随着封装技术的发展,其引脚间距已达 0.3 mm 甚至更小,给检测带来了诸多困难。为解决这些问题,文献[11]和文献[12]分别提出了矢量图形技术和统计外形建模算法,其特点是用标准参考器件的外形灰度统计信息或边缘的几何信息与待检测器件作对比,由于忽略了颜色,光照等重要信息,容易出现误报;文献[9]提出了基于贝叶斯估计的分类方法,具有较高的定位精度,但是其仅仅考虑了器件偏移和歪斜的情况;文献[5]在提取器件特征后,利用神经网络识别缺件、错件和偏移等缺陷,有较高的准确率,但在追求检测准确率的过程中忽视了检测的实时性。针对 IC 类器件(下文中简称器件)多引脚,小间距的特点,本文结合多种方法的优势,首先利用 Sobel 算子提取水平和垂直边缘,然后利用边缘的积分投影特征定位引脚,最后在 HSI 空间内提取引脚和极性区域的颜色统计特征,实现了对 IC 类贴装器件全面而快速的检测。

2 贴装器件特征分析

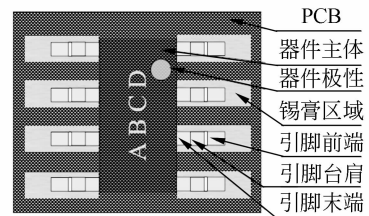
相关研究表明^[13],采用结构光源获取的器件图像更有利于凸现器件特征,因此,本文分析的图像是通过图 1 所示的 3CCD 彩色相机和 3 色(红、绿、蓝)LED 阵列环形结构光源获取的。不同型号的器件形状与尺寸差别很大,根据器件的贴装质量可将器件分为如下几种:良品、缺件、错件、偏移、歪斜、翘脚和极性错误等。为便于检测,

首先分析一个良品(参考器件)的特征,不失一般性,以 8 个引脚的 SOP(Small Outline Package)类 IC 为例,建立一个感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)内的良品器件模型。由图 1(a)可知,器件的引脚表面因为比较光滑,满足光的镜面反射,由于红色环形光在最上层,对 PCB 的入射角最大,由光的反射原理可知,照射在引脚平坦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器件表面的光,不能反射到相机镜头,因此,相机对器件引脚平坦的表面摄取到红色的图像;同理,相机分别对器件引脚的缓倾斜和急倾斜的表面摄取绿色和蓝色的图像。



(a) 侧视图

(a) Side view



(b) 俯视图

(b) Top view

图 1 良品器件模型

Fig. 1 Model of good device

图 1(b)是器件的俯视图,跟图 1(a)相对应,平坦的引脚前端和末端呈现红色,急倾斜的引脚台肩表面呈现蓝色,缓倾斜的引脚台肩呈现绿色,而锡膏和器件主体等因为表面比较粗糙而形成漫反射,对三种颜色的光的反射比较均衡,从而呈现

固有的自然色。由图1(b)可知,良品器件有以下几个特征:(1)器件引脚具有规则的形状(矩形)而且相互对称,间隔均等;(2)每个引脚有清晰的边缘,而且蓝色和红色在引脚里占据大部分面积;(3)极性区域的颜色跟器件主体有比较明显的区别。

类似地,可以建立缺陷器件的模型,如图2所示,分析图2可以得出以下几个结论:(1)如图2(a),(b)所示缺件或者错件的特征在于图像中引脚的数量或者间距跟参考值的不吻合;(2)如图2(c),(d)所示,歪斜器件的特征是两排引脚中心不对称,器件偏移的特征是引脚的中心与印刷在焊盘上的锡膏区域的中心偏移过大;(3)如图2(e)所示,当引脚翘起时,引脚前端不再跟PCB平行,而是有一个角度,使得反射的绿色量增加,导致引脚前端的颜色不再是红色,而是近于黄色(红色和绿色的混色),因此翘脚的特征在于引脚前端的颜色跟良品不一致;类似地,如图2(f)所示,极性错误的特征是在指定的极性位置处颜色特征不满足要求。

由于引脚和极性区域的特征能比较全面地反映器件的贴装质量,所以本文主要研究对引脚和极性区域的检测。

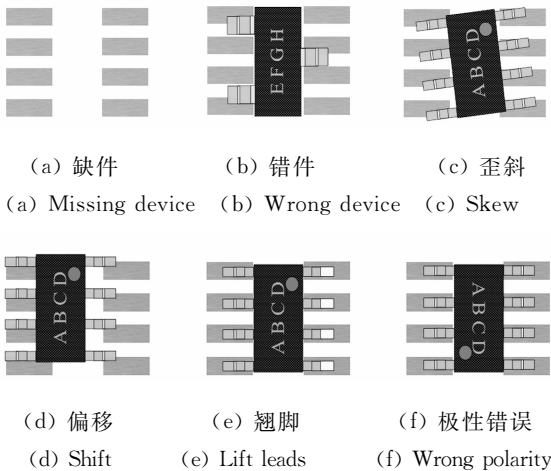


图2 缺陷器件模型

Fig. 2 Models of defect devices

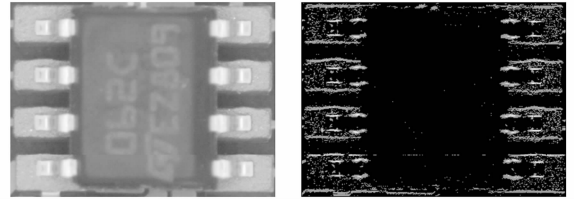
3 器件引脚定位和检测

引脚边缘是引脚一个重要的特征,但是常规的边缘提取算法需要预先设置好合理的边缘阈值,否则,当引脚较密时,提取的引脚边缘容易受

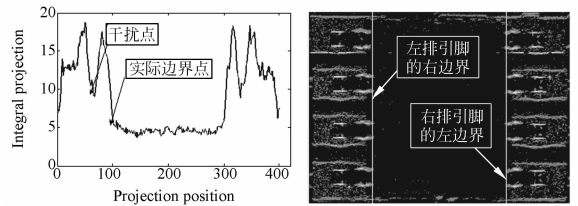
到相距较近的锡膏边缘的干扰。为了解决这个问题,本文先用 Sobel 算子提取水平和垂直边缘,然后对边缘分别作积分投影,根据投影值的特征定位引脚。

3.1 引脚水平方向定位

对图3(a)所示的器件 ROI 图像,先将真彩图转化为灰度图,设灰度图像中 ROI 的大小为



(a) Image of good devices (b) Horizontal edges



(c) Vertical integral projection (d) Horizontal location of horizontal edges

图3 良品器件引脚水平定位

Fig. 3 Horizontal location of good leads

$M \times N$,对 ROI 图像作水平方向差分运算

$$g_h(i,j) = \left| [f(i-1,j-1) + 2f(i-1,j) + f(i-1,j+1)] - [f(i+1,j-1) + 2f(i+1,j) + f(i+1,j+1)] \right|, \quad (1)$$
 式中, $f(i,j)$ 为点 (i,j) 处的灰度值, $i=1,2,\dots,M,j=1,2,\dots,N$,得到的水平边缘图像如图3(b)所示。对边缘作垂直积分投影,即

$$P_v = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M g_h(i,j), \quad (2)$$

式中, P_v 为 $1 \times N$ 的数组。为了消除图像中噪声的干扰,可采用加权算术平滑法平滑投影值^[14]。设 P_j 表示图像中 j 列的原始投影值, P_j' 表示图像中 j 列平滑后的投影值,则平滑后数组的构成为

$$P_j' = \alpha P_j + (1-\alpha)P_{j-1}', \quad (3)$$

式中, $P_0' = P_1$, $\alpha = 0.3$, 平滑后的投影如图 3(c) 所示。

由图 3(c) 可以看出, 有引脚的位置, 投影值较大; 没有引脚的位置, 例如主体区域中, 投影值较小且变化平缓, 因此在引脚与器件主体交界处, 投影值梯度变化最大。利用这个性质, 可以确定器件水平边界。以求取左排引脚的右边界为例, 从左至右对投影序列 P_V 中的任意一点 x 求其邻域的梯度

$$\text{Grad}(x) = \left| \sum_{q=-p}^1 P_V(x+q) - \sum_{q=1}^p P_V(x+q) \right|, \quad (4)$$

式中, p 表示 P_V 中与 x 点前后相邻点的个数。理想情况下, 邻域梯度值最大的点即为边界点, 但在实际情况中, 投影图中可能有较大的“毛刺”, 对应的梯度比较大, 容易造成误定位, 由于两个边界点之间的部分是器件主体, 其投影值比较小, 因此, 对梯度增加一个约束条件: 令参考器件主体的宽度为 C_w , 设投影序列中梯度值较大的点(即候选边界点)的集合为 X , 对 X 中任意一点 x_p , 计算 x_p 为起点, $x_p + C_w$ 区间内投影值的和, 和最小的极大值点即为真正的边界点 x_m

$$x_m = \min_{x_p} \sum_{p=x_p}^{x_p+C_w} P_V(p), \quad x_p \in X. \quad (5)$$

同理, 可以定位右边界点, 定位后的引脚左右边界点如图 3(d) 所示。

3.2 引脚垂直方向定位

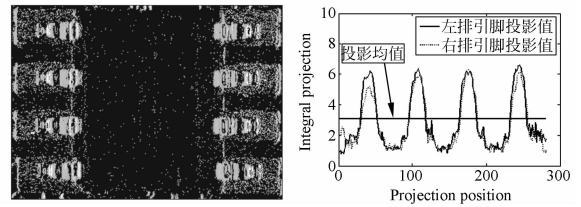
获得引脚的左右边界后, 再利用图像的垂直边缘梯度来定位引脚的上下边界。对图像作垂直差分

$$g_v(i, j) = |[f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)] - [f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1)]|, \quad (6)$$

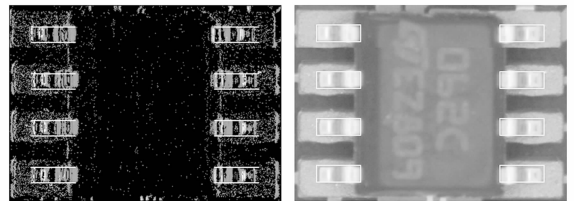
得到如图 4(a) 所示的垂直边缘。设引脚的长度为 L , 令上一步中获得的左排引脚的右边界为 Lead_{LR} , 则其左边界为 $\text{Lead}_{\text{LR}} - L$, 右排引脚的左边界为 Lead_{RL} , 则其右边界为 $\text{Lead}_{\text{RL}} + L$, 对两排引脚分别作水平积分投影

$$P_{\text{LH}} = \sum_i^M \sum_{j=\text{Lead}_{\text{LR}}-L}^{\text{Lead}_{\text{LR}}} g_v(i, j), P_{\text{RH}} = \sum_i^M \sum_{j=\text{Lead}_{\text{RL}}}^{\text{Lead}_{\text{RL}}+L} g_v(i, j), \quad (7)$$

式中, P_{LH} 和 P_{RH} 都是 $1 \times M$ 的数组, 分别对应左、右排引脚的垂直边缘梯度水平积分投影值, 图 4(b) 是用式(3)平滑处理后的结果。



(a) 垂直边缘 (b) 垂直边缘水平积分投影
(a) Vertical edges (b) Horizontal integral projection of vertical edges



(c) 垂直方向定位 (d) 引脚定位结果
(c) Vertical location (d) Location results of leads

图 4 良品器件引脚垂直定位

Fig. 4 Vertical location of good leads

从图 4(b) 中可以看出, 引脚的垂直边缘投影值对应图像中的峰值, 峰的个数对应每排引脚的个数, 对每一个单峰, 可以根据其梯度的最大值来定位引脚的上下边界, 但由于单个峰的位置受噪声和引脚歪斜程度的影响较大, 用此方法定位引脚并不可靠。由引脚特征可知, 其宽度和间隔都是一个定值, 基于此, 设计了一种“滑动定位窗”算法, 以投影序列 P_{LH} 为例, 算法步骤如下:

(1) 在 P_{LH} 中从第 1 个点开始任取一点 y , 设其为第 1 个引脚的上边界点, 引脚的宽为 W , 则第 1 个引脚下边界的位置为 $y+W$, 设引脚间间隔为 D , 则第 2 个引脚的上边界位置应该为 $y+D$, 下边界为 $y+D+W$, 同理可以确定第 3, 4, ..., n 个引脚的上下边界点分别为 $y+(n-1) \times D$, $y+(n-1) \times D+W$ 。为避免最后一个边界点超出图像范围, 需要限制 y 的取值, 令 $y \in [1, y_E]$, 则 $y_E = M - W - (n-1) \times D$ 。

(2) 由于引脚所在位置对应投影的峰值, 因此在每个 y 点计算由它确定的 n 个引脚所在区域

的投影值的和

$$\text{Sum}(y) = \sum_{p=y}^{y+W} P_{\text{LH}}(p) + \sum_{p=y+D}^{y+D+W} P_{\text{LH}}(p) + \dots + \sum_{p=y+(r-1) \times D}^{y+(r-1) \times D+W} P_{\text{LH}}(p). \quad (8)$$

(3) 以1为步长,滑动 y 的值,在 $y \in [1, y_E]$ 内,存在一个点 y_m 使得 $\text{Sum}(y)$ 的值最大

$$y_m = \max_y(\text{Sum}(y)), \quad y \in [1, y_E]. \quad (9)$$

该点就是整体意义上最佳的第一个引脚的上边界点,以此点为基准,可以求得所有引脚的上,下边界点。由于考虑了引脚的整体特征,本算法有以下优点:(1)可以避免单个引脚因受到干扰而产生的错误定位;(2)有效地减少了局部光照不均匀的产生的影响;(3)对器件位置歪斜不敏感,避免了对歪斜器件作旋转处理而带来的图像失真。

同理,可以求取右排引脚的上下边界点,提取出的引脚上下边界点如图4(c)所示。结合上面的求得左右边界和器件引脚的长度,可以确定引脚的准确位置,如图4(d)所示。

3.3 引脚检测

首先检测器件是否缺失,考虑到引脚的对称性,只需要计算任意一排引脚的个数,本文取左排引脚投影 P_{LH} 作分析,对引脚的水平投影序列 P_{LH} 计算其平均值

$$P_m = \frac{1}{M} \sum_{p=1}^M P_{\text{LH}}(p), \quad (10)$$

式中, P_m 是投影均值,比较其与参考器件投影平均值的大小,如果两者相差过大,可判断为缺件。

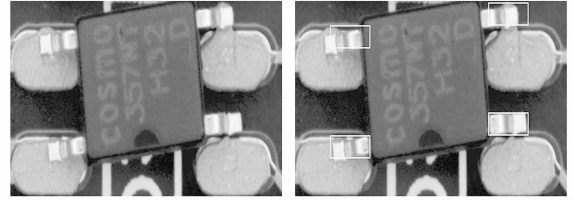
如果器件存在,则计算引脚个数,由于引脚的投影值大于投影均值,因此对 P_{LH} 中的点 i , 计算其值大于平均值的连续区(即引脚所在的位置),连续区定义如下:

$$P_{\text{LH}}(i) > P_m \text{ and } P_{\text{LH}}(i+l) > P_m, \quad l=1, 2, \dots, P_w, \quad (11)$$

式中, P_w 为连续区的宽度,大小为引脚宽度的 $2/3$ 。通过比较连续区的数量和连续区之间的距离是否符合参考器件引脚数量和引脚距离来判断器件是否为错件。

对于偏移器件的检测,可以比较定位后引脚的中心与锡膏印刷位置的中心之间的距离来实现,如果中心距离大于一个阈值,则判定为器件偏移。对于歪斜的器件检测,可以通过比较相对的引脚间的中心距离来判断,从图4(d)可以看出,

良品器件左右两边的引脚位置是对称的,即在竖直方向上中心值相等;而对于图5(a)所示的歪斜器件,从图5(b)的定位结果可以看出,相对的左右两排引脚位置在垂直方向相差较大,因此判断为歪斜器件(如果器件是竖直贴装的,则比较相对的引脚在水平方向上的中心位置值)。



(a) 歪斜器件图像

(b) 引脚定位结果

(a) Image of skew devices (b) Location results of leads

图5 歪斜器件引脚定位

Fig. 5 Location of skew device

4 颜色特征提取和检测

前面已经分析,引脚区域内主要包含红色和蓝色像素值,因此对引脚区域提取红色和蓝色特征值;而极性区域由于对三种颜色的光的反射比较均衡,因此对极性区域提取红,绿,蓝三种颜色特征值。

4.1 颜色统计特征提取

由于RGB模型空间中两点间的欧氏距离与颜色距离不成线性比例,受光照影响变化很大,因此本文采用色度、饱和度和亮度(HSI)模型, H 表示不同颜色; S 表示颜色的深浅; I 表示颜色的明暗程度^[15]。在 HSI 空间中,逐点计算色彩距离作颜色分类,速度较慢,因此考虑以颜色的统计特征作为检测的依据,为减少光源变化的影响,只取色度值和饱和度值做分析。以求引脚区域红色分量统计特征为例,在引脚的前端,末端区域取 n 个样本点 p_1, p_2, \dots, p_n , 分别计算 H 和 S 的均值和方差:

$$H_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{\text{hsi}}(:, :, 1), S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{\text{hsi}}(:, :, 2), \quad (12)$$

$$H_\sigma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{\text{hsi}}(:, :, 1) - H_m)^2, \quad (13)$$

$$S_\sigma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{\text{hsi}}(:, :, 2) - S_m)^2, \quad (14)$$

式中, $f_{hsi}(:, :, 1)$ 为第 i 个像素 H 分量的值, $f_{hsi}(:, :, 2)$ 为第 i 个像素 S 分量的值, H_m, S_m 分别为 H 分量和 S 分量的均值, H_σ, S_σ 为对应的方差, 设定一个方差系数 λ , 则红色分量的区间阈值为:

$$[H_m - \lambda H_\sigma, H_m + \lambda H_\sigma], [S_m - \lambda S_\sigma, S_m + \lambda S_\sigma], \quad (15)$$

记作 $[R_{H1}, R_{H2}]$ 和 $[R_{S1}, R_{S2}]$; 同理, 分析引脚台肩区域内的像素可以求取蓝色分量的区间阈值 $[B_{H1}, B_{H2}]$ 和 $[B_{S1}, B_{S2}]$ 。至此, 可以获取引脚的颜色统计特征。类似地, 可以获得器件极性区域的红, 绿, 蓝三种颜色的统计特征。

4.2 颜色特征检测

依据颜色统计特征值, 提取引脚和极性区域内满足区间阈值要求的像素点, 计算区域的面积(像素点之和)与参考值的比:

$$R_A = A_{Acqu} / A_{ref}, \quad (16)$$

式中, A_{Acqu} 为待检测的区域面积, A_{ref} 为参考器件内相应区域的面积。检测极性区域时, 直接给定一个阈值 T_p , 如果 R_A 小于 T_p , 则极性有误。

检测引脚区域时, 定义一个评价函数:

$$Fun_A = \omega R_{A0} + \frac{(1-\omega)}{n} R_{A1} + \frac{(1-\omega)}{n} R_{A2} + \dots + \frac{(1-\omega)}{n} R_{An}, \quad (17)$$

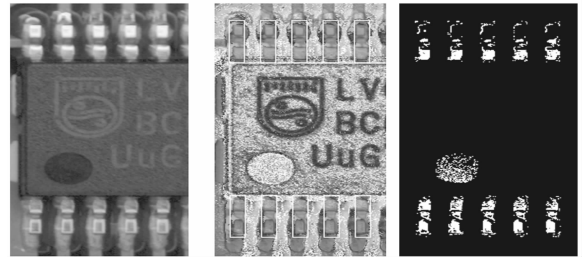
式中, n 为器件单排引脚的个数, R_{A0} 为引脚总面积(n 个引脚面积之和)与参考器件引脚总面积的比值, $R_{A1}, R_{A2}, \dots, R_{An}$ 分别为引脚 1, 2, \dots, n 的面积与参考值的比值, ω 为权重系数, 其经验取值为:

$$n=2, \omega=0.5; n=3, \omega=0.4; n \geq 4, \omega=0.2. \quad (18)$$

总面积的权重较大, 是为了减少因个别引脚的表面颜色受到污损对结果产生的影响。易知表达式中检测值越接近参考值, 评价函数值越大。利用评价函数, 可做如下判断: 如果 Fun_A 值小于阈值 T_L , 则存在翘脚缺陷。

图 6 是翘脚器件的检测过程。从图 6(a) 中看出, 器件上下两排引脚的外形轮廓完全一致, 唯一有区别的是引脚前端和引脚末端的颜色不同; 图 6(b) 是器件在 HSI 空间里的颜色特征; 在 HSI 空间里依据颜色统计特征提取引脚和极性区域内的像素的结果如图 6(c) 所示, 白色的像素代表提

取出来的满足颜色特征要求的像素点, 由图 6(c) 可知, 其极性区域的面积符合要求, 但是相对正常的下排引脚, 翘脚的上排引脚内面积明显较小, 从而判断其为引脚翘起。至此, 常见的一些缺陷项都已经检测完毕, 如果所有检测项目都无误, 则判断器件为良品。



(a) 翘脚器件 (b) HSI 颜色特征 (c) 颜色特征提取
(a) Lift leads (b) HSI color features (c) Color feature extraction

图 6 翘脚器件检测

Fig. 6 Inspection of lift leads

综合上述分析, 完整的检测算法流程如图 7 所示。

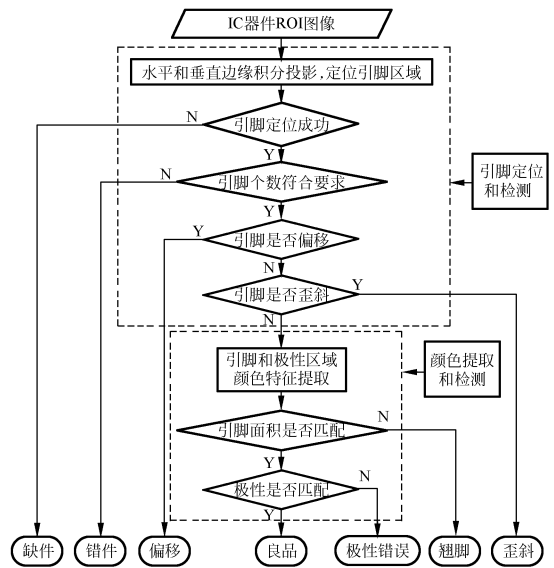


图 7 算法流程图

Fig. 7 Flowchart of proposed algorithm

5 实验结果与分析

为了评估本文算法的有效性, 将此算法嵌入实验室开发的 AOI 系统中, 硬件环境为 Pentium

(R)Dual CPU E2200,1 G 内存,开发平台为 VB.net。从两个方面评价检测算法的效果,一个是系统的检测性能,一个是检测时间。系统的检测性能可以通过下面几个指标进行评定^[1]:

- (1) 准确率:系统给出准确结果的比率;
- (2) 误报率:系统将合格器件判断为缺陷器件的比率;
- (3) 漏报率:系统将缺陷器件判断为合格器件的比率;
- (4) 误判率:系统将某种缺陷错误判断成其他缺陷的比率。

对东莞市某电子厂生产线上 1 700 张,每张含 21 个 IC 类器件的 PCB 的测试数据见表 1。从表 1 可知,算法对缺件,偏移,翘脚和极性错误的检测准确率高达 100%;对歪斜的准确率是 93.7%,对错件的准确率是 92.3%,两者都有一

定的误判,对器件歪斜的误判,主要是因为器件歪斜后,在水平方向上或者垂直方向上的重心也有一定的偏离,从而导致系统将歪斜误判为偏移;而当错误贴装的器件体积较大时,ROI 中只有器件主体,引脚没有显示出来,导致边缘积分投影图中没有明显的峰,使得投影均值较小,因此系统误判为缺件;对良品的准确率在 99.7%左右,将 79 个良品误报为翘脚,将 33 个良品误报为极性错误,其原因一方面可能是面积比的阈值过于严格($T_L=0.85$),另一方面是器件存在着制造误差,导致待检测器件的颜色跟参考器件的颜色有一定的出入。考虑到将缺陷器件认为合格的漏报错误的代价比误报代价要高,而误判率的高低对实际生产影响不大,因此适当的误报和误判是可以接受的。综合起来,检测算法的整体准确率为 97.9%,这说明,本文算法有较高的准确率。

表 1 检测结果

Tab.1 Results of inspection

贴装类型	器件数量	检测结果							准确率 /%	误报率 /%	漏报率 /%	误判率 /%	
		良品	缺件	错件	偏移	歪斜	翘脚	极性错误					
良品	35 617	35 495						79	33	99.7	0.03	0	0
缺件	5		5							100	0	0	0
错件	13		1	12						92.3	0	0	7.7
偏移	24				24					100	0	0	0
歪斜	16				1	15				93.7	0	0	6.3
翘脚	14							14		100	0	0	0
极性错误	11								11	100	0	0	0

检测时间方面,对于相同型号尺寸的 IC 类器件,其参考器件的特征信息在离线编程时已经设置好,在线检测时,仅仅是读取参考器件的特征信息,因此处理速度较快。表 2 为对图 3 中一个典型的 IC 类器件图像(大小为 281×401)的检测过程中所耗费的时间,总时间约为 27 ms。对于有些尺寸大一些的器件,边缘提取的时间会增加几个毫秒,大致说来,检测单个器件的时间约为 30 ms。由于文献[12],[9]和[5]中所提的算法对器件的检测并不全面,因此没有做检测性能方面的比较,只给出了在同等硬件条件下对图 3 中 IC 器件图像用其他不同算法所耗费时间的对比,如表 3 所示,可见,本文算法速度较快,而且检测项目更为全面。

表 2 算法执行时间表

Tab.2 Time cost

算法步骤	平均执行时间/ms
引脚边缘投影和定位	21
引脚检测	2
引脚和极性区域颜色特征提取	3
颜色特征评价和检测	1

表 3 不同算法检测时间

Tab.3 Time consuming of different algorithms

检测算法	检测项目	检测时间/ms
外形模板匹配	缺件,错件,偏移	55
贝叶斯估计	缺件,偏移,歪斜	80
神经网络	缺件,错件,偏移	90
本文方法	缺件,错件,偏移	27
	歪斜,翘脚,极性错误	

6 结 论

在线 AOI 系统对元器件检测的准确率和速度要求都很高,本文通过分析 SMT 中 IC 类器件在特定结构光源下的特征,设计了一种基于边缘积分投影和颜色统计特征的检测算法,可对缺件、

错件、偏移、歪斜、翘脚、极性错误等常见的 IC 类器件贴装缺陷进行检测。利用生产线上实际采集的贴装器件进行了实验,实验结果表明,该算法能有效地检测 IC 类器件常见缺陷,整体准确率为 97.9%,单个 IC 类器件的检测时间约为 30 ms。与已有的方法相比,本文算法速度更快,检测项目更全面,能满足实时检测的要求。

参考文献:

- [1] SANDRA L B, PAUL J B, CHARLES L C, *et al.*. Automatic solder joint inspection[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1988,10(1):31-43.
- [2] KIM J H, CHO H S, KIM S. Pattern classification of solder joint images using a correlation neural network [J]. *Eng. Applic. Intell.*, 1996,9(6):655-669.
- [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] 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.
- [5] ACCIANI G, BRUNETTI G, CHIARANTONI E, *et al.*. An automatic method to detect missing devices in manufactured products[C]. *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, 2005: 2324-2329.
- [6] 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.*. Pre-process algorithm of PCB line detecting [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 272-276. (in Chinese)
- [7] 刘建群,旷辉,丁少华. 基于视觉的表面贴装芯片引脚检测系统的研究[J]. *中国机械工程*, 2007, 18(16):1908-1912.
LIU J Q, KUANG H, DING SH H. Reseach on machine vision system for inspection of SMT chip pins[J]. *China Mechanical Engineering*, 2007, 18(16):1908-1912. (in Chinese)
- [8] WU H H, ZHANG X M, KUANG Y C, *et al.*. A real-time machine vision system for solder paste inspection[C]. *IEEE/-ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2008: 205-210.
- [9] MICHAEL E Z, STEFANOS K G, GEORGE A R. A Bayesian framework for multilead SMD post-placement quality inspection [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part B: Cybernetics*, 2004,34(1):440-453.
- [10] 鲜飞. 高密度封装技术推动测试技术发展[J]. *电子工业专用设备*, 2008,157:32-35.
XIAN F. Testing technology development promoted by HDI packaging technology [J]. *Equipment for Electronics Manufacturing*, 2008,157:32-35. (in Chinese)
- [11] NORRIS M J. Vectorial imaging: the new direction in automatic optical inspection [R/OL]. http://www.vitechnology.com/img-/data/Vectorial_Imaging.PDF.
- [12] ROBERT E B, JOSHUA S, STEPHEN M P, *et al.*. A statistical appearance model based on intensity quantile histograms [C]. *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, 2006: 422-425.
- [13] 卢盛林,张宪民. 无铅焊点检测光源的分析与优化设计[J]. *光学 精密工程*, 2008,16(8):1377-1383.
LU SH L, ZHAN X M. Analysis and optimal design of illuminator for leadless tin solder joint inspection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(8): 1377-1383. (in Chinese)
- [14] 王年,李婕. 多层次汽车牌照定位分割方法[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 1999, 23(2):57-62.
WANG N, LI J. Segmentation method of multi-level automobile license location [J]. *Journal of AnHui University (Natural Sciences)*, 1999, 23

(2):57-62. (in Chinese)

- [15] GONZALEZ R C, WOODS R E, 阮秋琦,等. 数字图像处理 [M]. 北京:电子工业出版社,2003:229-235.

GONZALEZ R C, WOODS R E, RUAN Q Y, *et al.*. *Digital Image Processing* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 229-235. (in Chinese)

作者简介:



吴晖辉(1981—),男,湖南衡阳人,博士研究生,2004年于湖南大学获得学士学位,主要从事机器视觉,精密检测方面的研究。E-mail:wuhuihui215@sohu.com.



洪始良(1985—),男,广东湛江人,硕士研究生,2007年于华南理工大学获得学士学位,现为华南理工大学机械与汽车工程学院在读研究生,主要从事机器视觉、精密检测方面的研究等方面的研究。E-mail:hong.shl@mail.scut.edu.com

导师简介:



张宪民(1964—),男,河北涿州人,教授,博士生导师,1993年于北京航空航天大学获得博士学位,现为华南理工大学机械与汽车工程学院副院长,主要从事柔顺机构,精密定位和精密电子装备与现代控制技术等方面的研究。E-mail:zhangxm@scut.edu.com.

● 下期预告

光纤磁流体电磁场传感新方法

胡涛¹,赵勇²,吕志伟¹,陈菁菁²

(1. 哈尔滨工业大学 自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001;

2. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

以磁流体纳米功能材料为腔内介质,提出一种新型的光纤F-P电磁场传感器,并给出了基于光纤光栅波长扫描的信号解调方法。对磁流体的可控折射率特性及其用于测量电磁场的原理进行了充分的分析,介绍了传感器系统的结构和原理。对所提出的方法以及影响测量结果的因素进行了初步的实验,结果表明,在磁流体薄膜厚度为 $12.7\ \mu\text{m}$ 时,测量特性具有较好的线性度,且得出温度和磁流体薄膜厚度都会对测量结果有影响的结论。