

# 基于 2D 投影的 BGA 焊点 X 射线检测 缺陷图像处理方法

刘 伟, 韩震宇

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

**摘 要:** 讨论了 BGA 封装器件焊接的特点, 并对 BGA 封装器件焊点检测方法进行了阐述。采用 X 射线检测法, 通过图像处理技术检测每个焊点的面积、质心和圆度, 以此来判断焊点是否有漏焊、焊锡球、桥连、焊球过大或过小、偏移以及焊球变形等缺陷。试验证明, 所用系统可以快速、准确地检测出 BGA 封装器件中常见的焊点缺陷, 为 BGA 封装器件焊点的质量提供保障。

**关键词:** X 射线实时成像; BGA 焊点; 图像处理

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)06-0456-04

## BGA Solder Joint Defects Image Processing Method Based on 2D Imaging by Radiographic Real Time Testing

LIU Wei, Han Zhen-Yu

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The soldering characteristics of BGA package components were discussed and the inspection methods used in the BGA package components were summarized. The X-ray detection was used, then the area, centroid coordinate and roundness of each solder ball could be accurately estimated by using of the image processing technology. Hence, the defects of BGA solder joint, such as missing ball, extra ball, ball bridging, oversize or undersize, offset and deformation could be detected. The experiment proved that the system could fast and accurately detect the familiar defects of the BGA package components and guarantee the quality.

**Keywords:** Radiographic real time imaging; BGA solder joint; Image processing

BGA 是近几年发展起来的一种电子器件封装技术, 非常适用于大规模集成电路的封装, 其发展十分迅速, 已经成为了 IC 封装业的主流封装形式。与其它类型的封装形式相比, BGA 封装具有安装方便、工作可靠、封装密度高、易于装配和体积小等优点。但是, 由于 BGA 的焊点隐藏在芯片的底部, 传统的 SMT 焊点检测方法已经满足不了 BGA 焊点的检测要求。采用光学方法也只能检查 BGA 器件四周边缘的焊点情况, 而电性能测试只能检测焊点连接的通断情况, 即只能检测开路和短路, 不能有效地区别焊点缺陷<sup>[1]</sup>。一般情况下, 制造者都是采用

目视方法, 观察最外面一圈焊点的塌陷是否一致, 再将芯片对着光线观察, 如果每一排每一列都能透过光, 那么可以初步断定没有桥连, 有时尺寸大一点的焊锡球也能看见<sup>[2]</sup>。但是用这种方法判断焊点是否存在缺陷很难令人满意, 检测速度也难以满足在线检测要求。因此, 越来越多的基于 X 射线的机器视觉系统被应用于在线检测系统中。

一般来讲, 好的机器视觉系统具有高识别率和快速的识别时间<sup>[3]</sup>。笔者提出了针对 BGA 焊点的 2D 图像机器视觉的检测算法, 检测项目包括: 漏焊、桥连、焊锡球、焊球过大或过小、焊球偏移以及焊球变形。试验证明, 该方法可以快速、准确地检测出 BGA 封装器件中常见的焊点缺陷, 为 BGA 封装器件焊点的质量提供保障。

收稿日期: 2008-08-22

作者简介: 刘 伟(1983—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为动态检测及信息处理。

## 1 检测系统硬件

X 射线实时成像是一项较新的无损检测技术, 现已进入工业产品检测的实际应用领域。它是基于计算机图像处理技术, 实现检测图像的数字化和实时化, 具有检测速度快、检测成本低等优点<sup>[4]</sup>。X 射线实时成像系统使用 X 射线机或加速器等作为射线源, 整个过程可以用两个“转换”来概述: X 射线穿透被检测工件后被置于下方的图像采集器接收, 图像采集器把不可见的 X 射线检测信号转换为光学图像, 称为“光电转换”; 图像采集器(对于不具备数字图像采集功能的图像增强器而言, 用高清晰度电视摄像机摄取光学图像, 输入计算机进行 A/D 转换)将采集到的数字信号转换为数字图像, 经计算机处理后, 还原在显示器屏幕上, 可显示出被检测工件内部缺陷性质、大小和位置等信息, 再按照有关标准对检测结果进行缺陷等级评定, 从而达到无损检测的目的<sup>[5]</sup>。

为取得良好的检测效果, 选择合适的 X 射线检测系统非常关键, 而构成 X 射线检测系统的核心器件之一就是 X 射线管, 另一重要器件就是 X 射线接收转换装置, 其作用是将不可见的 X 光转换为可见光, 可以是图像增强器、成像面板或者线性扫描器等射线敏感器件。笔者所用系统中的 X 射线管为闭管, 焦点尺寸为  $10\ \mu\text{m}$ , 管电压为 80 kV(可调), 管电流为  $100\ \mu\text{A}$ (可调); 采用的图像增强器为高分辨率双制式增强器, 空间分辨率为 20 Lp/mm。

## 2 图像处理

由于焊点中含有可以大量吸收 X 射线的铅, 因此焊点图像呈黑点, 具有良好的灰度, 故通过简单的图像分析算法可自动且可靠地获得被检焊点缺陷的类型。

图像处理系统包括两个部分: 训练和检测。在训练阶段, 选用没有缺陷的图像作为标准模板。通过图像处理方法将噪声去掉, 然后利用标签技术将每个焊球的位置标定出来, 在分割处理后计算每个焊球的特征参数。图 1 为图像处理系统流程。

在线检测流程中, 第一步和训练阶段一样, 图像中的焊球从底板被分割出来。然后, 系统计算待测图像和标准模板图像中的旋转角度。接着, 系统根据标准模板中的数据利用 Blob 分析算法, 将焊球分割出来。最后, 计算每个焊球的特征参数并与上下

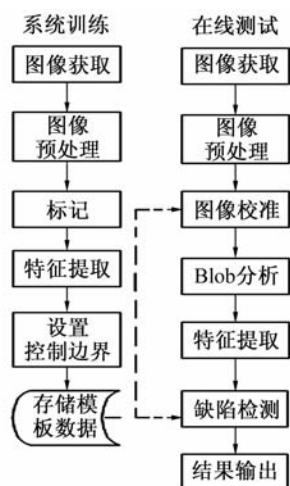


图 1 图像处理系统结构流程图

限作比较, 以获得检测结果。

### 2.1 图像预处理

多数情况下, 焊接生产中采集到的图像质量相对较差, 存在对比度低、边界模糊以及噪声干扰等现象, 直接影响到缺陷的特征提取和分类识别的准确性, 所以应在图像对比之前对图像进行预处理, 以提高和增强输出图像的灰度动态范围, 为提取 BGA 焊点轮廓打下基础。

#### 2.1.1 阈值处理

作为图像分割算法中的一种, 灰度的阈值变换可以将一幅灰度图像转换成黑白二值图像, 二值化可以加快图像处理时间。其操作过程是由用户指定一个阈值, 如果图像中某个像素的灰度值小于该阈值, 则将该像素的灰度值设置为 0, 否则灰度值将被设置为 255。这种方法是建立在图像灰度统计分布的基础上对灰度进行阈值的选择。

#### 2.1.2 形态学处理

由于灰尘和光线等影响, 转换后的二值图像可能会存在一些噪声, 在对图像进一步处理之前, 可利用形态学的处理方法, 即膨胀和腐蚀, 将这些噪声滤掉。图 2 为不同步骤的图像预处理效果。

### 2.2 图像定位

当使用 X 射线成像设备对印制电路板中的 BGA 成像时, 并不能保证电路板的位置, 所以得到的影像不可避免地伴有图像旋转和偏移。系统中采用 BGA 图像中所有焊点的质心和定位孔的圆心来估算标准模板与待测图像的偏移和旋转。在系统训练阶段, 三个点的位置信息被记录, 图 3 中标记的 A、B、C 分别代表 BGA 图像中所有焊点的质心、左上定位孔的圆心以及右上定位孔的圆心(此处定位

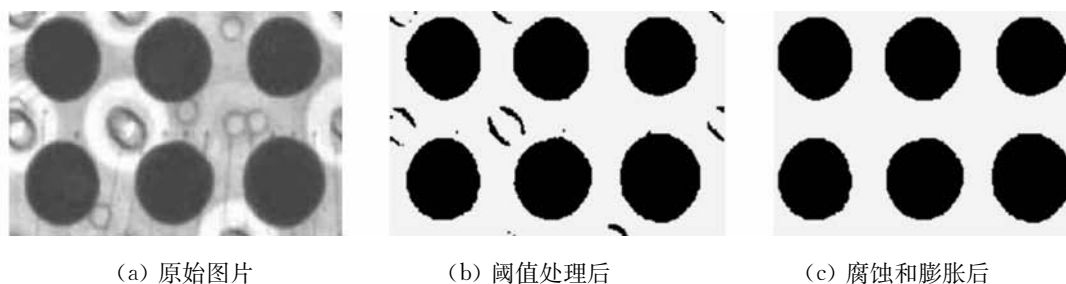


图 2 图像预处理

孔被称为 MARK 点)。实际检测中,在获取待测图像上首先计算 MARK 点的位置信息。如果图像显示 BGA 器件各焊点顺时针旋转,当从图像的顶部向下水平扫描时,最先找到的是左上定位孔;当图像显示 BGA 器件各焊点逆时针旋转,则最先找到的右上定位孔。获取到了定位孔的位置后,可计算 BGA 图像中所有焊点的质心。

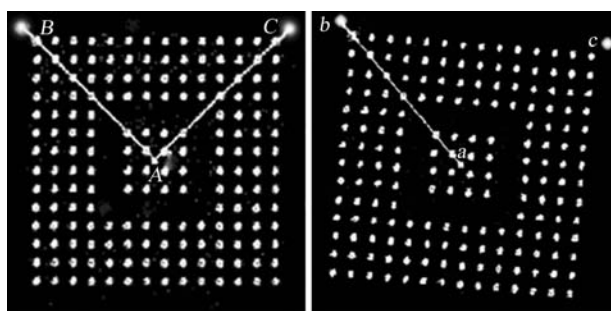


图 3 图像定位

图 3a 为标准模板,其中  $A(A_x, A_y)$  为所有焊点的质心,图 3b 为一幅顺时针方向旋转的待测图像,其中所有焊点的质心为  $a(a_x, a_y)$ 。所以,在  $x$  轴和  $y$  轴的偏移可以通过以下公式计算出来:

$$\begin{aligned}\Delta x &= a_x - A_x \\ \Delta y &= a_y - A_y\end{aligned}\quad (1)$$

首先将待测图像中所有焊点的质心与标准模板中的质心重合,然后通过  $AB$  和  $ab$  计算旋转角度。计算公式如下:

$$\cos(\theta) = \frac{AB + ab^2 - Bb^2}{2 \cdot AB \cdot ab} \quad (2)$$

### 2.3 Blob 分析

为了测量每个焊点的特征参数,采用 Blob 算法分割出每个焊球。由于在训练阶段已经获知每个焊球的具体位置,并且在图像定位阶段也计算出了标准模板与待测图像的偏移和旋转的角度。因此,首先将标准模板中每个焊球的质心作如下变化:假设  $(x_1, y_1)$  是标准模板某个焊球的质心,  $(x_2, y_2)$  是变

化后的质心,  $(x_c, y_c)$  是 BGA 的质心,根据图像定位中估算的角度  $\theta$  和偏移  $\Delta x, \Delta y$ , 可以通过如下公式计算  $(x_2, y_2)$ :

$$\begin{aligned}x_2 &= x_c + (x_1 - x_c) \cdot \cos\theta - (y_1 - y_c) \cdot \sin\theta + \Delta x \\ y_2 &= y_c + (y_1 - y_c) \cdot \sin\theta - (x_1 - x_c) \cdot \cos\theta + \Delta y\end{aligned}\quad (4)$$

经过变化后,假定  $(x_2, y_2)$  应该是在焊球范围里,利用计算出来的质心,取焊球直径的 70% 为宽,画个矩形框,用以焊球的粗定位,矩形的中心点与计算所得质心重合。然后向外部调整矩形框的边界,直到将整个焊球恰好框住。如果没有将焊球框住,则调整边界时向内部收缩。图 4 为 Blob 分析示意图。

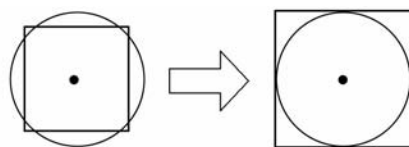


图 4 Blob 分析示意图

### 2.4 特征提取

在用 Blob 分析算法将焊球从整个图像分割出来后,即可以测量每个焊球的特征参数了。采用的三种特征参数分别为面积、质心和圆度。

(1) 面积 假定一个焊球含有  $N$  个像素,则焊球的面积为像素之和。

(2) 质心 系统中,质心代表了焊球的中心。假设图像  $S$  有  $N$  个像素,则  $S$  可表示为  $S \subset \{P_i(x, y) | i=1, 2, \dots, N\}$ , 质心  $(C_x, C_y)$  可表示为:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^N P_i(x)}{N} \quad C_y = \frac{\sum_{i=1}^N P_i(y)}{N} \quad (4)$$

(3) 圆度 设  $A$  是面积,  $P$  是周长,得圆度  $R$  的计算公式为:

$$R = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (5)$$

如果一个物体的轮廓近似于圆,则它的圆度为 1。焊球的面积可以通过像素得到,而利用轮廓跟踪



方法可以得到焊球的周长。

## 2.5 缺陷识别

缺陷识别时主要考虑的是误差容限、缺陷定义和 BGA 缺陷分类算法。在训练阶段,误差容限可以通过标准模板获得。这里有三个误差容限:偏移、面积和圆度。偏移的公差为操作员设置,默认为半球的半径,而面积和圆度在系统的特征提取阶段已经得到。表 1 为各种缺陷的定义。

表 1 不同缺陷的定义

缺陷	定义规则
漏焊	利用 Bolb 分析时找不到该焊球
焊锡球	焊球在不正确的位置
桥连	面积大于正常焊球面积的两倍
过大	面积大于合格焊球面积的上限值
过小	面积小于合格焊球面积的下限值
偏移	焊球的偏移超出了容限
变形	圆度超出了圆度的上限值

图 5 为 BGA 各种缺陷的分类流程。漏焊是所有缺陷中最常见的缺陷,在经过 Blob 分析时将最先检测出来,接下来通过每个焊球的特征参数,按照各种缺陷的定义被逐步检测,最后通过标定技术将所有焊球从底板去除。标准模板里由于没有焊锡球的位置信息,所以如果底板还有物体,并且其特征像焊球,则认为其为焊锡球。

## 3 结语

对于所有的 X 射线检测系统,图像分析软件对速度、准确性以及结果的可重复性的影响比系统的

其它部分都大。文中所采用的是 2D 检验法,也称为透射 X 射线检验法,这种二维系统本身无需像医学 CT 那样使探头倾斜地从被检对象的各个方位投影后再重建焊点的影像,只需要垂直于被检电路板进行一次投影就可以建立起 X 射线的影像,对于单面板上的元件焊点可产生清晰的影像,提出的焊点检测算法也能够很好地满足在线检测要求。

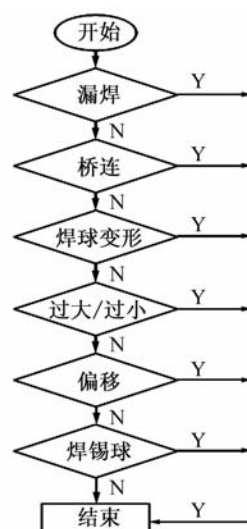


图 5 缺陷分类流程图

## 参考文献:

- [1] 禹胜林,王听岳,崔殿亭. 球栅阵列(BGA)封装器件与检测技术[J]. 电子工艺技术,2000,21(1):11.
- [2] 胡永芳,徐 玮,禹胜林,等. BGA 封装器件焊点缺陷 X 射线检测法[J]. 电子工艺技术,2005,26(6):340.
- [3] Wen-Yen Wu, Chih-Chung Chen. A system for automated BGA inspection[C]. Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. Singapore, [s. n], 2004.
- [4] 曾祥照. X 射线实时成像检测技术现场测评方法[J]. 无损探伤,2000,24(5):27.
- [5] 曾祥照,张正荣. X 射线数字化实时成像检测新技术[C]. 2006 年西南地区第九届 NDT 学术年会暨 2006 年全国射线检测新技术研讨会论文集. 重庆:[出版社不详],2006.

(上接第 447 页)

好的增强效果,提高了图像对比度和清晰度。同时,在其它散射媒介中,这项研究也有较好的实用价值,例如水下、雾或霾天气下的摄影。

## 参考文献:

- [1] 李保磊,魏东波,李俊江. 数字射线成像空间分辨率的增强[J]. 航空学报,2007,28(z1):158—161.
- [2] 王明泉,宋文爱,刘以农. 高分辨率便携式管道锈蚀检测[J]. 测试技术学报,2006,20(3):208—211.
- [3] 杨杰,过惠平. 一个模拟串扰的散射因素的实验[J]. 无损检测,2007,29(7):389—391.
- [4] Namer E, Schechner Y Y. Advanced visibility improvement based on polarization filtered images[J]. In

Proc SPIE,2005,5888:36—45.

- [5] Schechner Y Y, Narasimhan S G, Nayar S K. Polarization-based vision through haze[J]. App Opt,2003,42:511—525.
- [6] Sarel B, Irani M. Separating transparent layers through layer information exchange[J]. In Proc EC-CV,2004,(4):328—341.
- [7] Schechner Y Y, Shamir J, Kiryati N. Polarization and statistical analysis of scenes containing a semi-reflector[J]. J Opt Soc Amer A,2000,(17):276—284.
- [8] Simoncelli E P. Statistical models for images: Compression, restoration and synthesis[J]. In Proc IEEE Asilomar Conf Sig Sys and Computers,1997,(1):673—678.