

复杂背景下 X 射线 BGA 焊点气泡检测

李 乐, 陈 忠, 张宪民

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广州 510640)

摘 要: 基于全局阈值分割的焊点气泡提取不准确,且当焊点被遮挡造成的气泡提取困难时,导致球栅阵列(ball grid array, BGA)焊点气泡检测困难. 针对这些复杂背景下 BGA 焊点气泡的 X 射线缺陷检测问题,采用阈值分割、焊点圆度、焊点面积等标准提取未被遮挡的焊点,并提出了一种交互式射线轮廓提取方法完成被遮挡焊点轮廓的提取. 针对焊点气泡的特点,提出基于灰度形态学、直方图拉伸、模糊增强、BLOB 分析综合处理的焊点气泡检测方法. 对比试验研究表明,该算法对复杂背景下 BGA 焊点气泡检测有较高准确率.

关键词: BGA 焊点; 射线轮廓提取方法; 气泡检测

中图分类号: TP 391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)03-0080-05

0 序 言

球栅阵列是近几年发展十分迅速的一种电子器件封装技术^[1],广泛应用于大规模集成电路的封装,但其焊点气泡会影响焊点的力学性能或电学性能. 工业生产中常利用焊点钎料与印刷电路板 PCB 材料对 X 射线吸收差异,对 BGA 封装器件焊点缺陷进行检测.

微焦点 X 射线检测是目前最常用的无损检测方法,其分辨率可达 1 μm ,大于 0.5 mm 的气泡容易检测,在检测气泡有实际的应用意义. 目前已有多种 X-Ray 系统 BGA 气泡的检测算法:文献[2]采用全局阈值分割实现了简单背景下的 BGA 焊点气泡检测;文献[3]通过焊点几何信息与迭代计算获取最优分割阈值完成焊点自动提取,并采用 LoG 轮廓提取算子实现气泡检测,能够实现一定复杂背景下的焊点气泡的检测;文献[4]提出了基于气泡亮度变化特征的新 BLOB 算法,能够实现简单背景下对比度较差、较小气泡的检测.

文中提出一种新的 BGA 焊点气泡检测算法,能够准确提取复杂背景下 BGA 焊点及检测对比度较差及大小不一的焊点气泡,文中分为以下 3 部分:第 1 部分重点提出焊点轮廓提取及焊点气泡检测方法;第 2 部分完成文中算法的试验结果,并与 Flw-3000 X-ray、Y. Cougar SMT 160. 15 X-ray 两台 X 射线检测设备的检测结果进行比较与分析;第 3 部分对

BGA 焊点气泡的 X-Ray 检测方法进行总结.

1 BGA 焊点气泡检测算法

图 1 为 X 射线复杂背景下 BGA 图像. PCB 组装产品的复杂性使得 BGA 图像背景比较复杂,表现在(1) PCB 板上其它元件的遮挡,如电阻、电容等,使得 BGA 气泡检测变得困难,如图 1 中标记 1,2,3 所示;(2) 部分区域接近于圆形,但不是 BGA 焊球,如图 1 中标记 4 所示;(3) 部分气泡检测成像对比度差,很难用人眼识别,如图 1 中标记 5 所示.

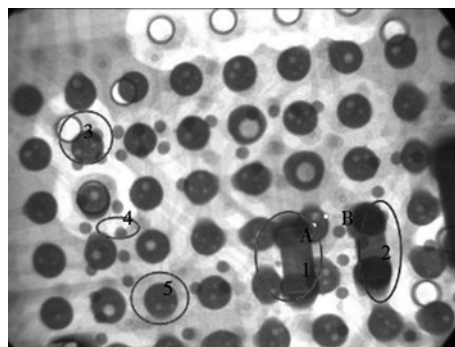


图 1 X 射线复杂背景下 BGA 图像

Fig. 1 X-Ray image of BGA under complex background

1.1 交互式射线轮廓提取方法

未被遮挡焊点轮廓提取如图 2 所示. 在图 1 所示的 2D X-ray 图像中,大部分焊点没有被遮挡,与背景差别明显,其灰度直方图(图 2a)具有明显双峰,代表不同的区域:灰度值较低的区域代表焊点区,灰

度值较高的区域代表背景区. 由于X射线得到的BGA图像亮度不均匀,固定阈值分割误差较大,因此文中采用Otsu^[6]全局阈值分割,得到二值图,如图2b所示. 根据该二值图,可以得到各区域 R_i 的外轮廓,并计算每个区域的周长 P_i 及面积 A_i . 在选择正确BGA焊点时,应符合以下几个标准.

(1) 对处于图像边缘的部分焊点,由于其形状不完整,无法计算气泡百分比,应予以去除.

(2) 因焊点的轮廓接近于圆,所以采用圆度特征进行提取,圆度表征为

$$F_1 = \frac{P_1^2}{4\pi A_1} \quad (1)$$

式中: F_1 表示区域 R_i 的圆度,其值越接近1, R_i 轮廓越接近于圆; F_1 值越大, R_i 轮廓则越接近非圆. 根据 $F_1 < F_{\max 1}$ 可以选择符合圆度要求的BGA焊点,其中, $F_{\max 1}$ 表示焊点圆度的最大值.

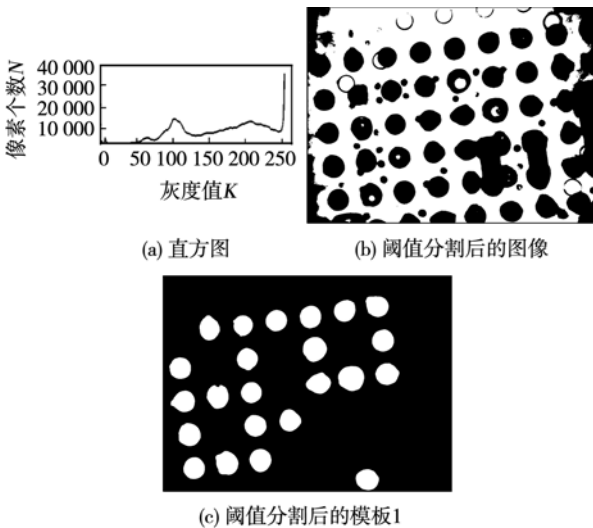


图2 未被遮挡焊点轮廓的提取

Fig. 2 Extraction process of unobstructed solder joints

(3) 部分区域圆度能够满足要求,但面积太小或太大,都不能判定为焊点. 因此采用面积 A_i 作为另一个特征,根据关系式 $A_{\min} < A_i < A_{\max}$,选出正确的焊点. 其中 A_{\min}, A_{\max} 分别表示焊点的最大、最小面积.

创建与原图 $f(x, y)$ 大小的相等的黑色图像,在该图像上画出根据以上标准所得的BGA焊点轮廓,并将其内部填充为白色,从而生成模板1,如图2c所示.

剩余的焊点(如图1中标记1,2,3所示),很难通过阈值分割提取,故采用一种交互式射线轮廓提取方法,提取其轮廓射线轮廓提取法原理如图3所示,其中 i 表示射线轮廓提取法中直线的条数.

(1) 在原始二维图像 $f(x, y)$ 中选取没有被识别

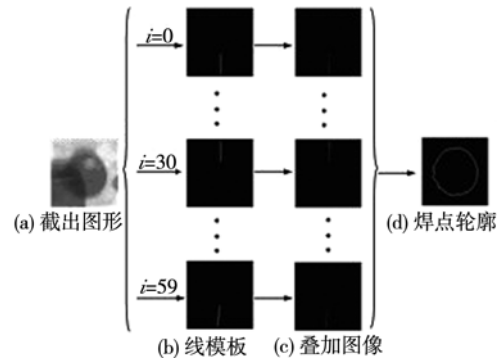


图3 射线轮廓提取方法过程

Fig. 3 Process of ray contour extraction method

BGA焊点的大致圆心 $A(x_0, y_0)$ 、边缘点 $B(x_1, y_1)$,如图1所示 A, B 两点. 设定中心为 $A(x_0, y_0)$ 、边长为 $3 \times l_{AB}$ 的正方形AOI区域,其中 l_{AB} 表示 $A(x_0, y_0)$ 与 $B(x_1, y_1)$ 的距离. 对该AOI区域图像进行中值滤波,得到图像 $f^*(x, y)$,如图3a所示.

(2) 创建与图像 $f^*(x, y)$ 大小相等的黑色图像 $f_a(x, y)$. 建立射线生成函数关系式,即

$$\begin{cases} y - 1.5l_{AB} = (x - 1.5l_{AB}) \tan 6i \\ x^2 + y^2 \geq 0.5l_{AB} \\ x^2 + y^2 \leq 1.4l_{AB} \\ x \geq 1.5l_{AB} & 0 < 6i < 90, 270 < 6i < 360 \\ x < 1.5l_{AB} & 90 < 6i < 270 \end{cases} \quad (2)$$

根据式(2)、按8连通在图像 $f_a(x, y)$ 内画出第 i 条白色射线,得到模板 $f_a^*(x, y)$,如图3b所示,通过边缘提取得到该直线上点集 $C_i(x, y)$. 其中, $i = 0, \dots, 59$,表示射线轮廓提取法中直线的数目.

(3) 令 $f_b(x, y) = f_a^*(x, y) \times f^*(x, y)$,见图3c. BGA焊点的边缘模型是斜坡模型,因此灰度差最大的点可以定义边缘点. 灰度差公式为

$$k[i][j] = |f(C_{i,(j+2)}(x, y)) + f(C_{i,(j+1)}(x, y)) - f(C_{i,(j-1)}(x, y)) - f(C_{i,(j-2)}(x, y))| \quad j = 2, \dots, m - 3 \quad (3)$$

式中: $C_{i,j}(x, y)$ 为点集 $C_i(x, y)$ 第 j 点; $f(C_{i,j}(x, y))$ 表示 $f_b(x, y)$ 中 $C_{i,j}(x, y)$ 点的灰度值; $k[i][j]$ 表示 $C_{i,j}(x, y)$ 点的灰度差; m 表示 $C_i(x, y)$ 中点的总数.

根据式(3)得到数组 $k[i][m]$ 并比较数组中各值,最大值所对应的点 $C_{i,j}(x, y)$ 为 $C_i(x, y)$ 边缘点即第 i 条直线的边缘点.

(4) 重复步骤(2)、步骤(3),直至 $i = 59$,得到所有的边缘点. 为了保证轮廓的平滑性,剔除边缘点中与 $A(x_0, y_0)$ 最近及最远的5个点,依次连接剩余各点,即可得到BGA焊点的轮廓,如图3d所示.

用射线轮廓提取法依次提取剩余焊点轮廓,将

这些轮廓画在模板1中并在内部填充白色,生成模板2,如图4a所示.将模板2与原图 $f(x,y)$ 进行乘操作,得到只有BGA焊点的图像(图4b),以焊点轮廓的外接矩形设定AOI区域,截取出屏蔽背景的单个BGA焊点.焊点提取算法流程如图5所示.

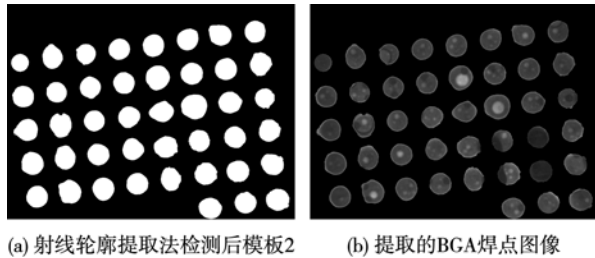


图4 全部焊点轮廓的提取

Fig. 4 Extraction process of all BGA solder joints

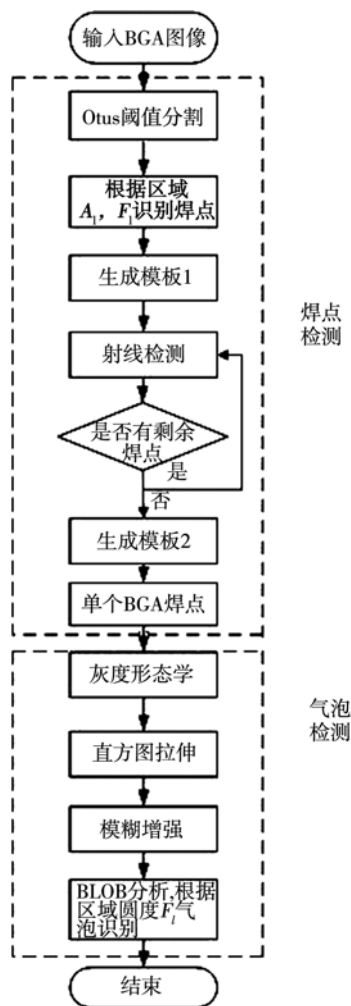


图5 焊点提取算法流程

Fig. 5 Algorithm flowchart

1.2 基于灰度形态学的气泡检测

分析所得单个BGA焊点图像可以发现:(1)气

泡的灰度值较高,与背景有一定的灰度差,呈现“亮点”特征;(2)气泡的形状接近于圆形.传统的图像分割方法主要有边缘检测、阈值分割、基于区域三种,而X射线采集的图像模糊、噪声较大,且气泡与背景对比度不明显,因此直接采用阈值分割、边缘检测不能满足要求.

根据气泡的特征,文中提出基于灰度形态学屏蔽背景,采用直方图拉伸、模糊增强进行图像增强,并对图像进行Otsu阈值分割和BLOB分析,根据气泡的圆度特征提取出气泡轮廓,算法流程如图5所示.

(1) 按照检测气泡大小,构建结构元,用此结构元对图像进行灰度形态学滤波^[7],得到背景均匀的图像 $f^*(x,y)$.

(2) $f^*(x,y)$ 直方图集中在灰度值较低的区域,采用直方图拉伸^[8]使得图像的直方图变得均衡.

(3) 采用一种改进的模糊增强算法^[9],对高灰度区域像素进行灰度增强运算,对低灰度区域像素则进行灰度衰减运算.

(4) 依据Otsu阈值分割算法,采用 3×3 的形态学开运算平滑二值图像轮廓.运用BLOB分析算法^[10],8连通内核扫描图像,对目标区域进行连通域分析并标记连通域.计算每个连通域面积 A_1 、周长 P_1 、中心坐标等特征,并将得到连通域的轮廓.由式(1)得到各连通域的圆度 F_1 ,根据关系式: $F_1 < F_{\max 2}$,可以选择出气泡轮廓.其中, $F_{\max 2}$ 表示气泡圆度的最大值.

2 试验结果与分析

目前国内外有多种X-Ray检测设备,最典型的是国内某公司的FLW-3000 X-Ray检查设备(以下简称FLW-3000)与德国Yxlon公司的Y. Cougar SMT 160.15 X-ray检测设备(以下简称SMT 160.15).FLW-3000采用手动阈值分割进行BGA焊点气泡检测,受人工影响较大;SMT 160.15能够自动进行BGA焊点气泡检测,较FLW-3000先进.

文中图像来源于FLW-3000采集的X-ray图像,其电压电流设置为80 kV,50 mA,图像大小为 1392×1040 .FLW-3000算法采用OpenCV + VC2005实现;SMT 160.15算法采用Halcon实现.所有试验在双核、主频2.2 GHz CPU、2 GB内存、Microsoft Windows 7电脑上运行.图6a表示对原图的局部放大;图6b表示采用FLW-3000的处理结果,手动阈值设定为128;图6c表示SMT 160.15的处理结果,焊点检测设置为自动检测,气泡检测设置为3;图6d表示

文中算法处理后的结果,参数设置为 $F_{\max 1} = 1.5$, $F_{\max 2} = 2$, $A_{\min} = 800$, $A_{\max} = 50\ 000$.

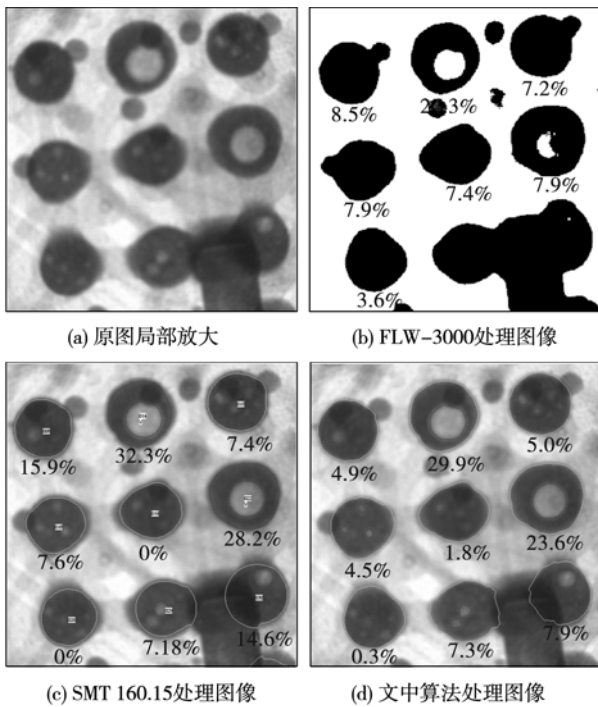


图6 BGA焊点气泡检测结果

Fig. 6 Results of void detection in BGA solder joints

表1 BGA焊点气泡检测统计结果

Table 1 Statistical results of void detection in BGA solder joints

检测方法	正确焊点总数 N_R	焊点总数 N	错误焊点 N_N	正确气泡总数 B_R	气泡总数 B	焊点检测正确率 $P_R(\%)$	焊点误判率 $P_N(\%)$	气泡正确率 $P_B(\%)$
FLW-3000	297	657	51	24	231	45.2	7.8	10.4
SMT 160.15	648	657	184	112	231	98.6	28.0	48.5
文中算法	655	657	1	205	231	99.7	0.2	88.7

(4) 在气泡率方面,图6b中左侧三个焊点没有气泡但是焊点的气泡率不为零,表明FLW-3000算法存在误报;从图6c与图6d中看出,SMT 160.15比文中算法得到气泡率要大.原因是SMT 160.15检测气泡轮廓比实际气泡轮廓偏大,如图6c左上角、右下角焊点.同时焊点轮廓较实际焊点轮廓偏小,使得气泡率计算变大.文中算法气泡轮廓、焊点轮廓都与实际相接近.因此文中算法气泡率检测更准确.

(5) 综上所述,文中算法优于FLW-3000和SMT 160.15的BGA焊点气泡检测方法.

3 结 论

(1) 文中提出的BGA焊点气泡检测算法能够准确地完成BGA焊点气泡检测.

(2) 提出的射线检测算法,在复杂背景下BGA

表1表示分别用FLW-3000,SMT 160.15,文中算法分别处理22张BGA图像所得结果.表1中的错误焊点表示算法在提取焊点过程中,会将部分非焊点的区域识别为焊点,产生误判.误判率表示错误焊点占焊点总数的百分比.

根据图6及表1,可以得到以下分析结果.

(1) 算法、FLW-3000和SMT 160.15均能完成对部分BGA焊点进行气泡检测.

(2) 在焊点提取方面,FLW-3000不能完成被其他元件遮挡的BGA焊点提取,正确率很低(不足50%),且误判率高;SMT 160.15能够完成绝大部分检测,正确率高达98.6%,但是在检测过程中误判率较高;文中算法能够完成几乎所有焊点的气泡检测,正确率高达99.7%,误判率基本为0.因此在焊点提取方面,文中算法准确率最好.

(3) 在气泡检测方面,FLW-3000只能检测出很明显的气泡,大部分气泡不能被检测出来,正确率很低;SMT 160.15能够提取比较明显的气泡,部分气泡检测不出来,气泡正确率不足50%;文中算法能够检测出大部分的气泡,气泡正确率高达88.7%.因此,在气泡检测方面,文中算法优于FLW-3000、SMT 160.15检测算法.

焊点轮廓的提取中,准确率高、误判率低,但需要应用在交互式系统中.

(3) 灰度形态学+直方图拉伸+模糊增强+BLOB分析在灰度图像气泡检测方面,能够提取对比度较差、较小气泡,在气泡检测方面有着重要应用意义.

参考文献:

- [1] 薛明阳,卫国强,金亮,等.不同应变速率下BGA焊球剪切断裂试验与模拟分析[J].焊接学报,2014,35(3):45-48.
Xue Mingyang, Wei Guoqiang, Jin Liang, et al. Experimental and simulation analysis on the shear fracture for BGA solder ball under different strain rate[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(3): 45-48
- [2] Sa-nguannam A, Srinonchat J. Analysis ball grid array defects by

- using new image technique [C] // Signal Processing, 2008. ICSP 2008. 9th International Conference, Beijing, 2008: 785 - 788.
- [3] Said A F, Bennett B L, Karam L J, *et al.* Robust automatic void detection in solder balls [C] // Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference, Dallas, 2010: 1650 - 1653
- [4] Shao H P, Hyun D. BGA void detection in X-ray images based on a new blob [C] // Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress, Shanghai, 2011: 1847 - 1850.
- [5] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [6] 薛家祥, 张丽玲. MAG 焊熔池图像的灰度形态学分析 [J]. 焊接学报, 2006, 27(4): 13 - 16.
Xue Jiaxiang, Zhang Liling. Gray scale morphological analysis on molten pool image of metal active-gas [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2006, 27(4): 13 - 16.
- [7] 陈 忠, 张宪民. 不均匀背景下芯片焊接气泡的 X 射线检测 [J]. 焊接学报, 2010, 32(10): 65 - 68.
Chen Zhong, Zhang Xianmin. X-ray inspection of DIE welding voids in an uneven background [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2010, 32(10): 65 - 68.
- [8] Seul M, O'Gorman L, Sammon M J. Practical algorithms for image analysis: descriptions, examples, and code [M]. London: Cambridge University Press, 2008.
- [9] 刘习文, 蒋艳荣, 罗显光. 一种改进的图像模糊增强算法 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(4): 50 - 52.
Liu Xiwen, Jiang Yanrong, Luo Xianguang. Improved image fuzzy-enhancement algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(4): 50 - 52.
- [10] 石美红, 王文光. 基于 Blob 算法的织物疵点检测算法的研究 [J]. 现代电子技术, 2010, 24: 29 - 32.
Shi Meihong, Wang Wenguang. Fabric defect detection algorithm based on blob algorithm [J]. Modern Electronic Technology, 2010, 24: 29 - 32

作者简介: 李 乐, 男, 1988 年出生, 硕士研究生. 主要研究方向为机器视觉. 发表论文 1 篇. Email: 468060445@qq.com

通讯作者: 张宪民, 男, 教授. Email: zhangxm@scut.edu.cn

[上接第 79 页]

- [6] 唐德渝, 冯 标, 李春润, 等. 管道全位置自动封底焊技术研究 [J]. 石油工程建设, 2006, 32(1): 50 - 54.
Tang Deyu, Feng Biao, Li Chunrun, *et al.* Research on all position automatic back sealing welding technique [J]. Petroleum Engineering Construction, 2006, 32(1): 50 - 54.
- [7] Manabe Y, Wada H. Investigation on TIG welding using 2 filler wires with electromagnetically controlled molten pool process in horizontal position [J]. Quarterly Journal of the Japan Welding Society, 2000, 18(1): 40 - 50.
- [8] 于 勇. 现代连续铸钢实用手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- [9] 武传松. 焊接热过程与熔池形态 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

作者简介: 刘文吉, 男, 1981 出生, 博士研究生, 实验师. 主要研究方向为焊接过程数值计算、焊接过程自动控制技术. 发表论文 8 篇. Email: liuwenji1981@126.com