

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108671

基于点云与图像融合的 BGA 锡球检测方法研究*

汪 威¹ 吕 斌¹ 杨轶睿¹ 胡新宇¹ 黄玉春²

(1. 湖北工业大学机械工程学院 武汉 430068; 2. 武汉大学遥感信息工程学院 武汉 430072)

摘要:为实现球栅阵列封装芯片视觉检测中焊球质量和共面度在线检测,提出一种点云与图像数据相结合的检测方法。首先对彩色相机进行标定,再分别获取芯片彩色图像和点云数据,利用随机采样一致性算法获取点云主平面向量,根据法向量提供的倾角信息,进行倾斜度校正。然后,将倾斜度校正后的点云利用彩色相机内外参数投影成像得到点云灰度图,将其与彩色图像进行点模式匹配,获取点云数据与彩色图像间的平移量和偏转角,完成点云数据与图像数据配准。从配准后的数据提取焊球进行焊球大小、破损、变形、桥连等缺陷检测和高度测量,完成焊球共面度测量。该方法与迭代最近点法进行了对比实验。二者测量结果总体一致,但本文方法在耗时上减少了62.8%。该方法在先进制造业中具有广阔的应用前景。

关键词:球栅阵列;点云校准;点云灰度图;点模式匹配

中图分类号: TP391.9 TN407 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Research on BGA solder ball detection method based on point cloud and image fusion

Wang Wei¹ Lyu Bin¹ Yang Yirui¹ Hu Xinyu¹ Huang Yuchun²

(1. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: To realize online detection of solder ball quality and coplanarity in Ball Grid Array chip visual inspection, a detection method combining point cloud and image data is proposed. First, the color camera has been calibrated, the chips color image and point cloud data were acquired, and the unit normal vector of the main plane in the workpiece is achieved by Random sample consensus. The point cloud is rotated to fulfill the tilt of the point cloud alignment. Then, the rotating point cloud is projected and imaged by the color camera's internal and external parameters, to produce the point cloud grayscale image, which is matched with the color image in point mode, and the translation amount and deflection angle between the point cloud data and the color image are obtained to complete the point cloud. In this way, the point cloud data is registered with the color image data. The solder ball is extracted from the registered data to determine its size, breakage, deformation, bridge, and other faults, as well as to measure its height and complete the solder ball's coplanarity measurement. To perform comparison trials, this method was compared with the ICP algorithm. Two measurement results show that the proposed method can save 62.8% of the time, which also has consistent detection results. The proposed method for 3D point cloud has a wide application prospect in advanced manufacturing.

Keywords: BGA; point cloud alignment; point cloud grayscale image; point pattern matching

0 引 言

在电子领域中,对元器件焊接质量提出较高要求的场合越来越多。其中,球栅阵列封装(ball grid array, BGA)是目前电子产品中使用比较多的一种封装器件,在 BGA 封装

行业,BGA 焊接后焊点的质量直接影响其工艺和工作性能。目前,在大批量生产时,BGA 焊点质量检测仍以传统的人工抽检为主,然而由于工艺原因,BGA 焊点不合格率较高,抽检方式容易造成不合格品流入下道工序,难以适应大批量全数检验的要求^[1]。因此设计一种能适应自动化生

收稿日期:2021-12-24

* 基金项目:国家自然科学基金(61976083)项目资助

产线的 BGA 焊点质量在线测量方法具有重要意义。

正常情况下, BGA 焊球半径基本一致, 且具有规定的直径, 排列整齐。在 BGA 焊球贴装生产中, 由于机械震动、静电、污染等原因, 容易引起各种植球缺陷。采用 BGA 封装的器件安装到印制电路板 (printed circuit board, PCB) 板上后, 其引脚焊点隐藏在芯片的底部, 很难再通过直接观察等方式对焊点的质量进行检测, 当存在质量问题时, 将会造成生产效率降低、产品成品率下降、影响其工作性能, 例如器件的焊球引脚共面度超标, 安装时个别焊球与 PCB 板接触不良, 会导致漏接、虚接^[2]。因此, 在表面组装前, 需要对基板上的 BGA 焊球进行质量检测, 使有缺陷的产品不再流入下道工序, 从而有效地降低封装的成本, 控制 BGA 器件的质量。检查指标除了焊球高度、共面度以外, 还需要检测焊球是否缺失、焊球直径大小以及焊球的位置是否正确。

在共面度检测方面, 按照联合电子设备工程委员会 (joint electron device engineering council, JEDEC)^[3] 的规定, 三点法用焊球高度值最大的三个焊球顶点组成的平面即为实际焊接面。回归法首先根据器件上所有焊球的高度值, 由最小二乘法拟合得到回归面 (regression plane); 然后将回归面偏移到的最高的焊球顶点上, 偏移后的平面即为焊接面。两种方法都需要准确知道每个焊球的高度值, 才能计算共面度。鉴于此, 文献[4-5]提出了一种利用平行光照射下的焊球阴影来进行焊球高度测量方法, 该类方法依赖于光源入射角度, 当环境光照变化时导致依靠阴影长度对高度测量结果并不稳定。

在焊球质量检测方面, 使用最广泛的检测方式是人工目视检测, 借助于共焦显微镜, 人工判断焊球的大小及高度的一致性。该方法依赖于工人自身判断力, 且易产生视觉疲劳, 效率低下, 不适合大批量生产。Nuanprasert 等^[6]运用霍夫元检测以及 Delaunay 三角剖分技术对焊点进行检测, 该方法对由于干扰引起的粘连具有较强的鲁棒性, 有着很好的焊球分割效果。Lall 等^[7]提出一种结合 X 射线计算机断层扫描和数字体相关技术无损测量焊点位移的新方法, 该方法不需要提取焊点横截面。Gao 等^[8]提出一种检测 BGA 器件缺陷的新方法。该方法适用于大多数具有不同球阵的 BGA, 对图像分割产生的干扰具有较强的鲁棒性, 且有较好的时间效率与检测精度。Jin 等^[9]针对表面贴装机组装印刷电路板 (PCB) 的生产过程中元件位置识别与故障监测问题, 引入一种自适应阈值和基于中值的大津法分别确定每个焊球的最佳分割阈值, 该方法在具有不同球网格的大范围 BGA 中具有较好的灵活性和鲁棒性。Bai 等^[10]针对 BGA 器件的在线定位及缺陷检测问题。结合粗、精定位, 提出一种精确、高效、鲁棒的通用定位算法。介绍了 BGA 元件中焊球对准的两种关键点。何志刚等^[11]分析了常见的 BGA 焊接缺陷, 提出基于 X 射线二维成像和三维断层扫描技术来检测 BGA 焊接质量的方法。罗明亮等^[12]通过改进点模式匹配算法, 解决了 BGA 芯片检测中

焊点缺失条件下位姿信息和焊点理论中心的计算。

上述方法存在检测精度与检测速度不能兼顾、检测成本高等缺点, 并且现有的算法大多数是针对于正视图像进行设计的, 并没有考虑到倾斜的情况, 也没有在处理前对于图像是否倾斜进行判断, 而在实际生产过程中, 图像普遍存在倾斜的现象, 因此需要考虑如何在图像存在倾斜时对其进行校正。另一方面, 二维图像在背景复杂或图像质量较差时, 利用基于阈值分割、模板匹配等传统方法检测时, 检测效果较差, 因此提出一种基于三维点云与二维图像数据进行融合的方法, 实现了点云与图像快速配准, 进而实现焊球质量的缺陷联合判断以及高度方向的测量, 实现 BGA 焊球质量的在线检测。

1 系统结构设计

由于 BGA 工件在皮带线上自由放置时, 三维激光测量仪坐标系与工业相机坐标系并不平行, 利用二者进行 BGA 焊球缺陷联合判断和高度测量时, 需要建立两坐标系刚体变换矩阵。同时为了方便待测区域点云与图像的直接对应提取, 需要将点云校准至与彩色图像一致的位姿。为此, 需要对点云进行预处理。点云与处理流程如图 1 所示。

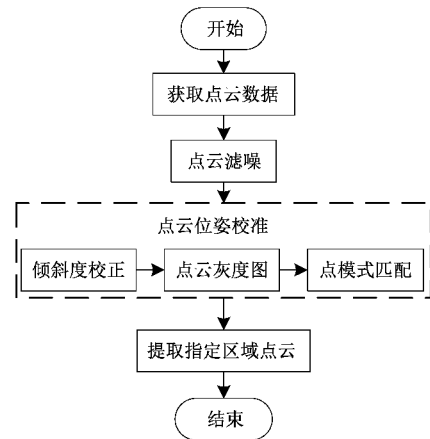


图 1 点云预处理流程图

系统主要由计算机、交换机、三维线激光轮廓扫描仪、工业相机、远心镜头、多角度环形光源、皮带线、光电传感器组成, 如图 2 所示。主要测量流程如下: 待检测 BGA 芯片在皮带线上随皮带一起向右移动, 当产品到达工位一时, 通过外触发三维线激光轮廓扫描仪开始工作, 采集芯片完整三维点云数据, 当工件移动到工位二时触发电传感器触发相机工作, 采集芯片彩色图像数据。对于采集到的数据, 随后经计算机算法判断芯片缺陷有无和缺陷类型。

照明方案的目的是均匀的照亮每一个焊球, 使得在摄像机上采集的图像中焊球突出而背景黯淡, 尽可能的增强 BGA 焊球和定位标识边缘的对比度, 并且能够反应出焊球高度信息。因此本文选择 OPT-RIA263-RGB 光源, 多色多角度照射, 能准确反映物体表面沿高度方向变换信息, 同时

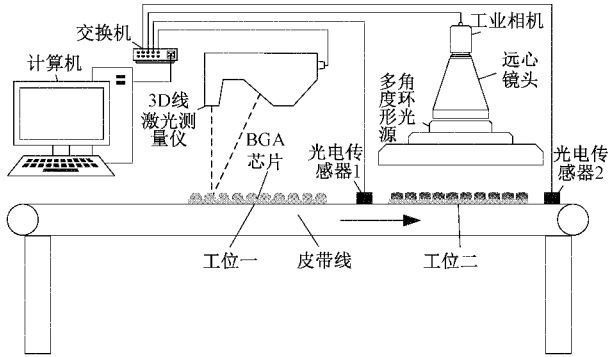


图 2 系统工作原理图

该光源能够有效减少反射,减少由于光照而给采集到的图像带来的额外噪声,减小成像的失真度。

2 方 法

为有效利用代数形式进行本文描述,先对本文涉及的坐标系进行定义。3D 线激光轮廓扫描仪坐标系(three dimension sensor coordinate system, 3DSCS)的 z_s 轴垂直于测量仪向下, y_s 轴沿工件移动方向。世界坐标系(world coordinate system, WCS)为工位二标定时标定板中心位置,此位置确保彩色相机能够采集到 BGA 芯片的完整图像,沿工件移动方向为 y_w 轴,垂直工作平面向上为 z_w ,建立右手坐标系。相机坐标系(camera coordinate system, CCS)的 z_c 轴与光轴重合且指向像平面, x_c 、 y_c 轴分别与像平面的矩形边平行。图像坐标系(image coordinate system, ICS)原点 o_i 位于图像像平面左上角, u_i 、 v_i 轴分别与图像像平面的横向和纵向平行。

2.1 彩色相机标定

针孔模型的镜头,会不可避免的产生透视投影误差,从而影响到测量精度,和传统镜头相比,远心镜头无透视误差、接近于零失真、大景深等特点很好的解决了这个问题。由于远心镜头成像是平行投影关系,图像坐标系在成像过程中会缺失 Z 轴上的信息,因此需要结合三维点云数据获取焊球高度信息,从而检测 BGA 引脚共面度。

因本研究镜头采用远心镜头,畸变较小,相机成像模型可近似采用线性模型表示。确定相机内外参数属于相机标定算法领域范围,该领域的研究比较成熟,采用文献[13]进行标定求解相机内外参矩阵。已知点 P 的世界坐标 $[X_w \ Y_w \ Z_w \ 1]^T$,其像素坐标可通过式(1)表示:

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = {}^iM_c {}^cM_w \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, ${}^iM_c = \begin{bmatrix} \beta/dx & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \beta/dy & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$, ${}^cM_w =$

$$\begin{bmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} & t_x \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} & t_y \\ r_{zx} & r_{zy} & r_{zz} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

分别为相机内、外参数矩阵, β 为放大

倍率, dx 与 dy 分别为像元的长度和宽度。

2.2 点云倾斜度校正

在实际的工程应用中并不能保证每一组采集的点云都是正视的,因此需要对点云倾斜进行校正,或者,由于工程需要,而特地采集了倾斜的 BGA 焊点的点云数据,但后续图像处理算法由于点云的倾斜导致处理效果较差。针对以上问题,提出一种具有平面特征的工件点云数据倾斜度校正算法。目前,拟合平面最常见且最简单的方法是最小二乘拟合,但最小二乘拟合的精度易受噪点影响。而随机采样一致性算法(random sample consensus, RANSAC)[14]则通过迭代拟合的方法可以排除噪点的影响,拟合精度大大提高。因此本文选用随机抽样一致性算法进行主平面提取。

步骤 1)首先,从点数为 N 的点云 sP 中随机抽取不共线 3 点,然后根据平面方程(2)对平面模型 Γ 参数 A 、 B 、 C 、 D 进行计算。

$$\Gamma: Ax + By + Cz + D = 0 \quad (2)$$

式中: (x, y, z) 为点云空间坐标, (A, B, C) 为平面单位法向量, D 为坐标原点到平面的距离。

步骤 2)用余下的点 $(x_i, y_i, z_i), i \in (1, 2, \dots, N - 1)$ 检验式(2)的平面模型参数,计算结果误差 ϵ_i :

$$\epsilon_i = \frac{|Ax_i + By_i + Cz_i + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (3)$$

将误差 ϵ_i 与设定的误差阈值 δ 进行比较:

$$\begin{cases} \epsilon_i \leq \delta, (x_i, y_i, z_i) \in \Gamma \\ \epsilon_i > \delta, (x_i, y_i, z_i) \notin \Gamma \end{cases} \quad (4)$$

统计符合该参数模型 Γ 的内点个数并记录。

步骤 3)重复步骤 2)、3),选取分割出内点数最多的点集,从而确定平面模型最优参数;

步骤 4)重复步骤 1)~3),不断迭代,直到达到迭代阈值,找到内点个数最多的模型参数,最后用内点再次对模型参数进行估计,从而得到最终的模型参数。具体流程如图 3 所示。

通过 RANSAC 算法确定 BGA 芯片主平面单位法向量 $\hat{V} = [V_x \ V_y \ V_z]^T$, 设世界坐标系单位法向量为 \hat{V}_{std} , $\hat{V}_{std} = [0 \ 0 \ 1]^T$, 则 \hat{V} 与 \hat{V}_{std} 的夹角 θ 可由式(5)确定:

$$\cos\theta = \hat{V} \cdot \hat{V}_{std} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = V_z \quad (5)$$

再根据式(6)实现倾斜度校正:

$${}^wP = {}^wR_s {}^sP \quad (6)$$

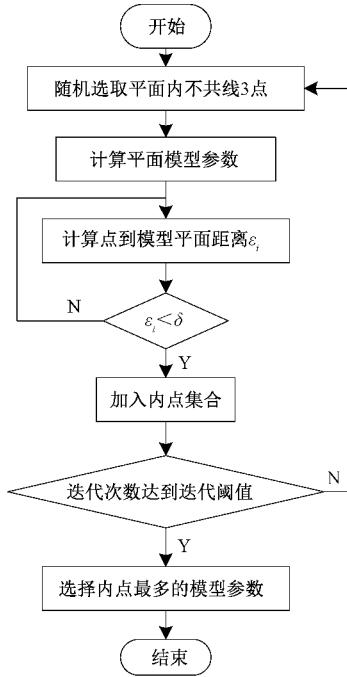


图 3 RANSAC 拟合平面流程图

$$\text{其中, } {}^w\mathbf{R}_s = \begin{bmatrix} V_Y^2 \text{vers}\theta & -V_Y V_X \text{vers}\theta & -V_X \sin\theta \\ -V_Y V_X \text{vers}\theta & V_X^2 \text{vers}\theta + \cos\theta & -V_Y \sin\theta \\ V_X \sin\theta & V_Y \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

式中: $\text{vers}\theta = 1 - \cos\theta$ 。

2.3 基准面内的位置与方向校正

1) 点云灰度图与模板灰度图

将经倾斜度校正后的点云 wP 利用与 2.1 节深度相机外参数相同的虚拟相机按式 (7) 转换至相机坐标系下:

$${}^cP = {}^cM_w {}^wP \quad (7)$$

再将相机坐标系下点云 cP 的点 ${}^cP(X)_{ccs}$ 利用与 2.1 节内参相同的虚拟相机转换至图像坐标系下为点 H_{ICS} , 设 ${}^cP(X)_{ccs} = [X_c \ Y_c \ Z_c \ 1]^T$, $H_{ICS} = [m \ n \ 1]^T$, 则 ${}^cP(X)_{ccs}$ 和 H_{ICS} 间转换公式 (8) 为:

$$\begin{cases} H_{ICS} = \begin{bmatrix} m \\ n \\ 1 \end{bmatrix} = s^I M_c {}^cP = s^I M_c \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \\ gray(m, n) = \text{round} \left[255 \times \frac{{}^cP_z - \min({}^cP_z)}{\max({}^cP_z) - \min({}^cP_z)} \right] \\ m = \frac{{}^cP_x}{s_u} \\ n = \frac{{}^cP_y}{s_v} \end{cases} \quad (8)$$

式中: s 为比例因子; cP_x 、 cP_y 、 cP_z 分别为 cP 中点在彩色相机坐标系内的坐标分量; s_u 、 s_v 分别为云灰度图在宽度方

向 u 和高度方向 v 上的量化因子, 单位为 mm/pixel , (m, n) 为点云 cP 中的点投影成点云灰度图对应的像素坐标; $gray(m, n)$ 为点云灰度图中像素 (m, n) 的灰度值。

2) 像素坐标系旋转平移量矫正

在 BGA 视觉定位过程中常使用点模式匹配估计芯片相对位置, 由图像中特征点集建立点匹配规则, 如文献[15]使用轮廓中线特征进行点匹配, 文献[16]使用角点特征进行点匹配。本文通过提取经倾斜度校正后的点云, 转换生成的点云灰度图中灰度值最高的点集, 即所有焊球的顶点为特征点建立点匹配规则。

设点云灰度图和彩色图像在像素坐标系下坐标分别为 $p = (x_p, y_p)^T$ 和 $q = (x_q, y_q)^T$ 满足式 (9):

$$q = \begin{bmatrix} x_q \\ y_q \\ 1 \end{bmatrix} = sGp = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & t_x \\ \sin\theta & \cos\theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中: s 是两幅图像的伸缩系数, θ 是偏转角度, t_x 、 t_y 分别是沿 x 轴和 y 轴的位移。求解矩阵 G 属于点模式匹配算法领域计算范围, 本文采文献[17]的点模式匹配算法求解。将点模式匹配算法应用于 BGA 检测时, 点集 p 是根据 BGA 芯片的基本信息建立的标准焊球中心坐标集, 而点集 q 则是由点分析获取到的 BGA 芯片的焊球坐标集。

对校正后的点云和彩色图像具有一一对应关系, 对于焊球大小是否符合质量要求, 可将各个焊球的直径与所有焊球的平均直径进行比较, 若偏差较大, 则表明该焊球过大或者过小。对于焊球位移的判别, 可首先根据各焊球的中心位置坐标, 计算出各行各列的平均坐标, 然后将各焊球的中心位置坐标与之比较, 以检测焊球是否偏移; 而对于焊球丢失的判别, 只需在各行各列的交叉点附近检查是否有焊球出现即可。对于焊球桥连缺陷, 检测出焊球半径为平均值两倍。

3 结 果

3.1 实验系统搭建

为了验证本文所提算法在 BGA 焊球的质量检测和共面度检测上的作用, 建立实验运行环境为 Intel Core i7-7700K、PCL1.8.1、OpenCV 的平台。大恒彩色相机型号 MER-2000-5GC, 远心镜头型号 OPT-KS022-220-111, 多角度环形光源型号 OPT-RIA263-RGB, 实现高质量图像采集。

选用 KEYENCE LJ-X8200 线激光轮廓扫描仪进行点云数据采集, 如图 4 所示, 该传感器在 X 轴采样间距为 $25 \mu\text{m}$, Y 轴采样间距为 $26 \mu\text{m}$, 采样速率为 1.25 m/s , 数值根据换算关系如式 (10):

$$z_{true} = (z_i - 32768) \times 4 \quad (10)$$

式中: z_{true} 表示 z 坐标真实值, z_i 表示存储值, 单位: mm 。

3.2 实验结果

标定结果: 镜头光轴的像素坐标为 $(2748 \text{ pixel}, 1836 \text{ pixel})$,

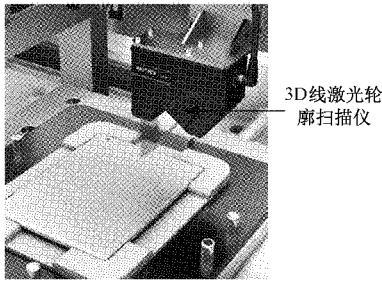


图 4 3D线激光轮廓扫描仪

像元大小: $dx = 2.4 \mu\text{m}$, $dy = 2.4 \mu\text{m}$, 放大倍率 $\beta = 0.185$, 可得到相机内参矩阵, 相机外参矩阵:

$${}^cM_w = \begin{bmatrix} 1.0 & -0.000\ 174\ 0 & 0.000\ 557\ 4 & -0.000\ 693\ 4 \\ 0.000\ 174\ 1 & 1.0 & 0.000\ 297\ 7 & 0.000\ 983\ 8 \\ -0.000\ 557\ 4 & 0.000\ 297\ 8 & 1.0 & 0.000\ 999\ 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

图 5 为 BGA 点云倾斜度校正过程, 其中图 5 (a) 为原始点云, 可以看出 BGA 存在倾斜; 图 5 (b) 为采用 RANSAC 算法提取的点云主平面, 设置阈值参数 $\delta = 0.08$, 图 5 (c) 为经式 (6) 倾斜度校正后的点云。

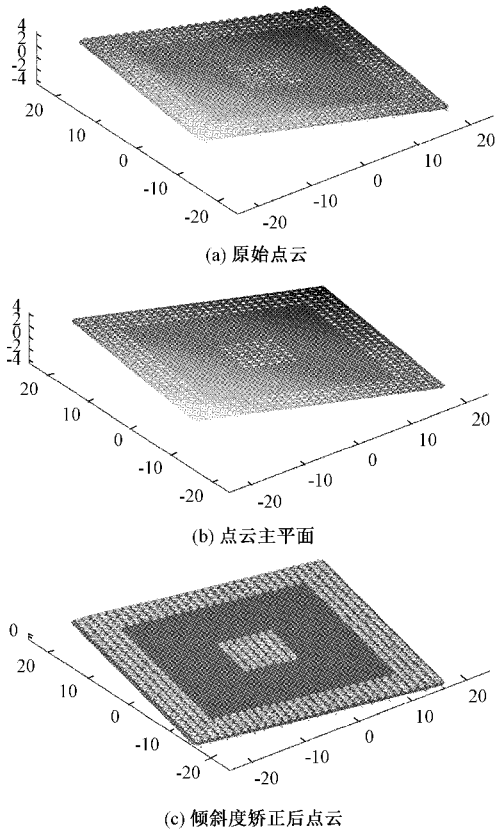


图 5 倾斜度校正过程

利用式 (8) 将图 5(c) 倾斜度校正后的点云转换为点云灰度图, 并利用式 (9) 进行点模式匹配, 求点云灰度图与彩色图像的相对位姿, 即平移量 t_x, t_y 与旋转角 θ , 如图 6 所示。

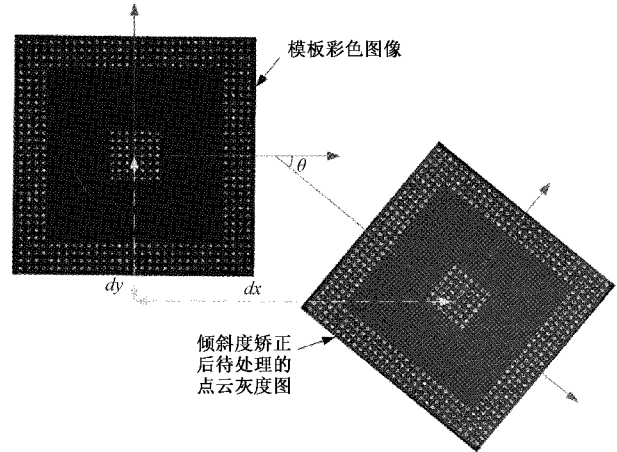


图 6 点云灰度图与彩色图像的点模式匹配

利用经倾斜度校正和点模式匹配后的点云与彩色图像进行 BGA 缺陷联合判断, 可以避免单一传感器由于噪声或光照条件等原因造成的缺陷误判。

由图 7 中左侧为判断有缺陷的彩色图像, 右侧为校准后的点云, 可以看到图 7 (a) 中对应位置 (矩形框内) 均表现为焊球破损, 由此可联合判定该焊球存在缺陷; 图 7 (b) 中可联合判定焊球出现变形缺陷; 图 7 (c) 中正方形框内焊球半径偏小; 长矩形框内同样标识出缺陷焊球, 在点云中由于扫描设备等原因造成点云数据缺失, 而对应位置的彩色图像焊球并不存在缺陷, 因此可以判定该处数据异常并不是焊球本身缺陷, 从而联合判定该处为伪缺陷; 图 7 (d) 中圆形框内标识出桥连缺陷, 矩形框判定焊球出现冗余缺陷。

为验证本文校准方法的准确度, 针对同一模板, 分别校准两块 BGA 芯片点云数据, 其中一块为标准无缺陷样本, 另一块为有缺陷样本, 通过本文算法校准后各焊点中心坐标偏差如图 8 所示, 利用该图可以快速判断出发生位置偏移的焊球。结合实验数据利用本文算法配准后的两 BGA 点云焊球中心坐标偏差平均值为 $\Delta \bar{X} = 0.055\ 6\ \text{mm}$, $\Delta \bar{Y} = -0.324\ 7\ \text{mm}$, 标准差 $\sigma_x = 1.114\ 6$, $\sigma_y = 0.532\ 3$ 。说明本文算法具有较高的准确度。

利用本文算法将校正及配准后的点云求取焊球半径, 结果如图 9 所示。其中方块图标线条表示标准样本, 即无焊球缺陷的样本, 圆点图标线条表示存在焊球缺陷的样本。通过分析可知, 标准样本的焊球半径大约 $0.41\ \text{mm}$, 而缺陷样本中由于存在焊球桥连缺陷, 利用传统二维图像处理方式获取的焊球半径约为标准半径的 2.2 倍, 与实际相符; 焊球变形、焊球冗余等缺陷均会不同程度导致焊球半径产生偏差。而对于这些缺陷仅利用二维图像容易产生缺陷误判, 结合三维点云可以准确判断缺陷。

为验证基于本文校准方法的点云预处理对 BGA 芯片检测带来的优势, 设计了用 2 种不同方法对 5 个不同的 BGA 焊球进行半径和高度评定的对照实验。第 1 种方法为本文所提出的方法对扫描所得点云进行校准后, 提取指

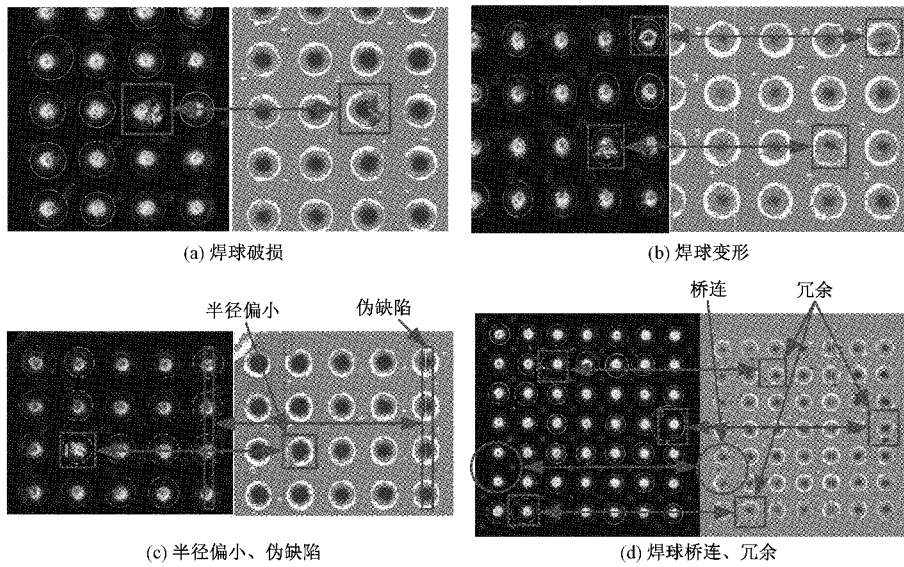


图 7 缺陷联合判断

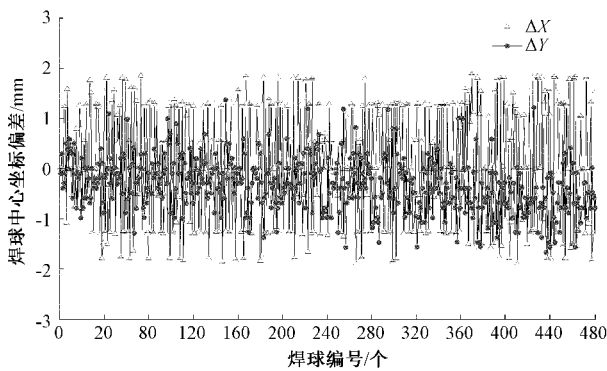


图 8 点模式匹配后标准样本与缺陷样本焊球中心坐标

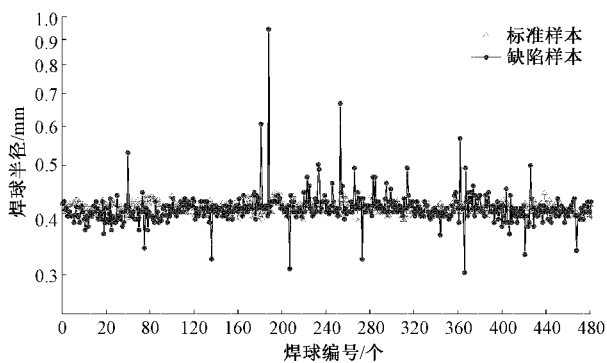


图 9 标准样本与缺陷样本的焊球半径

定区域的点云进行焊球缺陷判断。第 2 种方法为利用经典迭代最近点法 (iterative closest point, ICP)^[18] 对点云进行校准, 提取指定区域的点云进行焊球缺陷判断。利用上述 2 种方法测得的焊球半径及高度及耗时数据如表 1 所示。

3.3 结果分析

对照实验结果表明, 两种方法的评定结果总体一致。

表 1 2 种不同方法测得的焊球半径和高度与耗时

序号	Proposed			经典 ICP		
	半径/ mm	高度/ mm	耗时/ s	半径/ mm	高度/ mm	耗时/ s
1	0.408 4	0.581 5	0.898	0.407 4	0.580 5	2.408
2	0.506 3	0.613 6	0.901	0.508 3	0.617 6	2.427
3	0.519 0	0.632 5	0.922	0.529 0	0.630 5	2.443
4	0.361 5	0.481 0	0.893	0.361 5	0.475 2	2.438
5	0.409 6	0.596 2	0.897	0.419 6	0.597 2	2.423
最大值	0.519 0	0.632 5	0.922	0.529 0	0.630 5	2.443
最小值	0.361 5	0.481 0	0.893	0.361 5	0.475 2	2.408
极差	0.157 5	0.151 5	0.030	0.167 5	0.155 3	0.035
平均值	0.441 0	0.581 0	0.902	0.445 2	0.580 2	3.428
标准差	0.068 4	0.059 0	0.012	0.070 9	0.061 7	0.014

本文方法和经典 ICP 法是对同一点云分别校准, 然后对指定区域的焊球点云利用最小二乘法进行球面拟合, 因此结果较为接近。但本文算法在耗时上比经典 ICP 法缩短了 62.8%。因此, 本文提出的方法更适合现场在线大批量检测场合。

4 结 论

本文首先针对具有平面特征的工件, 提出了一种基于三维点云倾斜度校正与图像点模式匹配算法的校准方法。通过随机采样一致性算法以及点云灰度图点模式匹配算法, 解决了点云特征参数的选取问题。

通过对校正后的点云与彩色图像联合分析, 判定对应区域的缺陷类型以及焊球高度信息, 并与经典 ICP 算法校准结果进行对比。实验结果表明本文算法在 BGA 芯片焊点缺陷检测的应用中, 取得了较满意的结果。

本文方法主要针对具有平面特征的工件,对于有较大的曲率的工件如圆柱面的校准还有待研究,后续将在已有基础上,通过提取点云的母线、曲率等组合特征,将本文方法扩展到其他可用简单数学表达式描述的特征,如具有圆柱面、球面等特征的对象,为三维点云在制造业中的现场实时运用提供广泛的空间。

参考文献

- [1] 刘劲松,高扬,邱进军. 基于机器视觉的 BGA 植球后缺陷检测技术的研究[J]. 现代制造工程, 2016(3): 115-118.
- [2] 薛晓洁,叶声华,孙长库. 栅状阵列器件激光视觉检测系统及共面性评价方法[J]. 机械工程学报, 2001(5): 78-80,89.
- [3] JEDEC D S. Design requirements for outlines of solid state and related products[S]. JEDEC Publication 95, Design Guide 4.17, BGA (Ball Grid Array) Package Measuring and Methodology, 2008.
- [4] WANG F, QIN J, HAN L, et al. Height measurement of micro-solder balls on metal pad by white light projection [J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2012, 2(9):1545-1549.
- [5] 覃经文. 基于机器视觉的 BGA 微焊球高度测量方法与系统研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [6] NUANPRASERT S, BABA S, SUZUKI T. An efficient method of occluded solder ball segmentation for automated BGA void defect inspection using X-ray images [C]. IECON 2015-Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2016: 003308-003313.
- [7] LAIL P, WEI J. X-ray micro-CT and digital-volume correlation based three-dimensional measurements of deformation and strain in operational electronics[C]. Electronic Components and Technology Conference, IEEE, 2015: 406-416.
- [8] GAO H J, JIN W X, YANG X Q, et al. A line-based-clustering approach for ball grid array component inspection in surface-mount technology[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, 64(8): 6310-6318.
- [9] JIN W X, LIN W Y, YANG X Q, et al. Reference-free path-walking method for ball grid array inspection in surface mounting machines[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2017, 64(8): 6310-6318.
- [10] BAI L, YANG X, GAO H. A novel coarse-fine method for ball grid array component positioning and defect inspection[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(6): 5023-5031.
- [11] 何志刚,梁堃,周庆波,等. 基于 X 射线成像的 BGA 焊接质量检测技术[J]. 电子工艺技术, 2016, 37(1): 32-34.
- [12] 罗明亮,曾祥进. BGA 芯片视觉定位方法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(7): 82-87.
- [13] 王洪益. 一种远心镜头的标定方法及精度研究[J]. 光学技术, 2018, 44(3): 359-364.
- [14] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.
- [15] 姜莺,刘亚东,方健,等. 基于轮廓特征的电力设备红外和可见光图像配准方法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(11): 252-260.
- [16] 周伟,巢渊,李龔,等. 基于改进 Harris 角点检测的芯片图像快速校正[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(10): 74-81.
- [17] 黄恢乐,胡跃明,袁鹏,等. 基于点模式匹配的 BGA 芯片视觉检测与定位算法及其实现[J]. 计算机测量与控制, 2006(2): 144-145,154.
- [18] BESL P J, MCKAY H D. A method for registration of 3D shapes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256.

作者简介

汪威,博士,硕士生导师,主要研究方向为机器视觉、机器人视觉引导、人工智能及其工业应用。
E-mail: wangw@hbut.edu.cn