

微电子组装翼型引脚焊点三维重构算法研究

赵辉煌^{1,2}, 王耀南¹, 赵 磊¹

(1 衡阳师范学院 计算机科学系, 湖南 衡阳 421008; 2 湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 焊点表面三维重构是微电子组装质量检测与控制技术发展重点研究内容之一, 在基于 SFS 原理的微电子组装焊点表面三维重构方法中, 由于焊点表面同时存在镜面反射和漫反射, 使得重构结果不理想. 针对这一问题, 本研究以翼型引脚焊点的对象, 通过对其表面光照反射项进行分析, 针对焊点表面及焊点图像的特点, 提出一种改进的微电子组装翼型引脚焊点表面三维重构算法. 实验结果表明, 与基于其他传统光照模型的三维重构方法相比, 采用本研究提出的方法重构翼型引脚焊点三维形状结果更加理想.

关键词: 微电子组装; 翼型引脚焊点; 三维重构; SFS

中图分类号: TG404

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)10-0119-04

Research on Microelectronics Assembly Solder Joint of Wing Pin Three-Dimensional Reconstruction

ZHAO Hui-huang^{1,2}, WANG Yao-Nan¹, ZHAO Lei¹

(1 Department of Computer Science, Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China;

2 College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Solder joint three-dimensional (3D) reconstruction is one of the key research of microelectronic assembly quality detection and control technology development. During the Solder joint 3D reconstruction based on SFS theory, the reconstruction results are not ideal because of existing specular reflection and diffuse reflection on solder joint surface. In this study, our focus on wing pin solder joint. At first, the reflection items on solder joint surface are analysed. Then, according to the characteristics of joint surface and solder joint image, a improved 3d reconstruction algorithm is proposed for microelectronics assembly wing pin solder joint. At last, the experimental results have shown that the 3D shape based on the improved illumination model is more satisfactory in decreasing specular reflection influence than that of the traditional methods.

Key words: microelectronics assembly; wing pin solder joint; three-dimensional reconstruction; shape from shading

1 引言

微电子组装是采用微电子技术或混合微电子技术, 在电路基板上将芯片、微小型元器件等用微细焊接技术形成微电子组装模块的工艺技术. 微电子组装技术在航空、航天和船舶等平台的电子装备上得到了广泛的应用^[1]. 由微电子组装技术形成的电路模块的焊点, 一般是指元器件焊脚与印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)焊盘焊接结合处熔融

钎料. 微电子组装焊点类型很多, 常见的有翼型引脚焊点, 球栅阵列器件焊点, 无引脚陶瓷片式载体器件焊点和片式元器件焊点等. 由于焊点具有保障电气性能畅通和机械连接可靠的特征, 因此, 研究微电子组装焊点三维重构方法, 有利于指导改善微电子组装焊点质量及其焊接工艺, 提高焊点质量自动检测能力, 同时推动智能鉴别技术的发展^[2].

本研究针对微电子组装中的翼型引脚焊点表面三维重构算法进行研究, 与其他传统三维重构方法

收稿日期: 2012-11-02; 修回日期: 2013-02-21

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(12JJ4058); 湖南省"十二五"重点建设学科资助项目

相比,基于 SFS 原理的三维重构方法具有重构速度快、成本低和实时性高等特点^[3-4]。由于翼型引脚焊点一般裸露在元器件之外,利于其图像的采集,方便采用 SFS 方法对其进行三维重构。但在采用 SFS 方法进行微电子组装焊点三维重构过程中,由于焊点由合成金属材料融化而成,具有光滑表面和金属光泽,焊点表面会存在镜面反射,其图像中存在“高亮区”,采用传统的光照模型不能很好地解决由此带来的重构问题。针对这一问题,本研究提出一种改进的微电子组装翼型引脚焊点表面三维重构算法。

2 微电子组装翼型引脚焊点表面形状三维重构基本原理

本研究采用的微电子组装翼型引脚焊点表面三维重构具体方法是:通过布置光源和摄像装置,利用专业的焊点图像采集系统,采集元器件焊点二维彩色图像;然后,采用合适的图像处理技术对微电子组装翼型引脚焊点图像进行处理,包括图像灰度化、图像分割和图像去噪声等操作,完成焊点图像的预处理操作。由于直接采用传统的光照模型,使得微电子组装焊点三维重构精度很受影响。本研究通过对焊点表面光照反射项进行分析,针对焊点表面及焊点图像的特点,研究一种改进焊点表面光照模型,然后利用 SFS 算法对改进光照模型求解,得到焊点表面高度计算的表达式。最后,重构出微电子组装翼型引脚焊点表面三维形状。基本原理如图 1 所示。

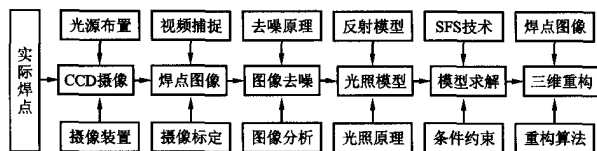


图1 微电子组装翼型引脚焊点表面三维重构基本原理

其中,焊点图像的采集与图像处理已经作者前期研究中已有介绍,在这里不做重述,本研究重构介绍焊点表面光照模型及基于改进光照模型的翼型引脚焊点表面形状三维重构。

3 改进的微电子组装翼型引脚焊点三维重构算法

3.1 微电子组装翼型引脚焊点表面光照分析

要得到适合基于 SFS 原理的微电子组装翼型引脚焊点三维重构算法,必需先对翼型引脚焊点表面光反射项进行分析。从光度学原理角度考虑,当光照照射在物体表面时,会产生以下情况:

①反射光,是由来自光源和周围环境入射光

线,经物体表面向外反射形成的;

②透射光,是由于对入射光会进入并穿透该物体,从而产生的;

③部分入射光将被物体吸收而转换成热能。

此外由于灰度无法反映光强衰减信息,在研究灰度重构形状的算法中,一般第③种情况并不是所要研究的问题。由光反射的一般原理可知,光在翼型引脚焊点表面的反射可分为三项:漫反射分量、镜面反射分量和环境光引起的反射量,如图 2 所示。

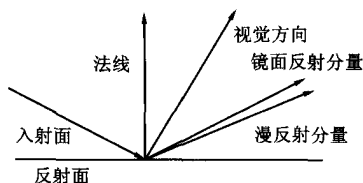


图2 翼型引脚焊点表面反射分量分布图

对焊点表面的反射进行线性叠加,即焊点上表面点 P 的光照强度为

$$I = k_d I_{pd} + k_s I_{ps} + k_e I_e \quad (1)$$

式中, $k_d I_{pd}$ 表示漫反射分量; $k_s I_{ps}$ 表示镜面反射分量, $k_e I_e$ 表示环境光引起的反射量; 且 $k_d + k_s + k_e = 1$ 。

通过对微电子组装翼型引脚焊点及其图像进行分析,发现其具有以下特点:

①焊点为合金材料,属于非透明体,产生透射光可以忽略不计;

②焊点具有微型化的特点,环境光对焊点图像的影响很小,且焊点图像的获取采用特制光源,可以忽略;

③在获取焊点图像过程中,光源方向与拍摄方向相同。

在式(1)中,翼型引脚焊点表面漫反射分量描述了反射光以相同大小的强度向四周散射的现象,对于焊点表面上任一点,在任何角度看到该点的光强大小相同。当物体表面粗糙较大时,镜面反射分量较小,可以忽略。但由于翼型引脚焊点为合金材料,表面相对比较光滑,镜面反射分量,不能忽略;这样,所推导的微电子组装翼型引脚焊点表面光照模型应该包含两个分量:即镜面反射分量和漫反射分量。

$$I = k_d I_{pd} + k_s I_{ps} \quad (2)$$

式中, $k_d + k_s = 1$ 。

3.2 微电子组装焊点表面改进光照模型

光照模型即根据光学物理有关定律,计算物体表面上任意一点投向观察者眼中的光亮度大小和色彩组成的数学公式,用来描述光照射到物体表面发

生的反射、折射和吸收等物理现象^[5-6]. 其中典型的漫反射光照模型有 Oren-Nayar 模型^[7], 其模型公式为

$$L_d(\theta_r, \theta_i, \psi_r - \psi_i, \sigma) = \rho L_i \cos \theta_i \{A + B[0, \cos(\psi_r - \psi_i)] \sin \alpha \tan \beta\} / \pi \quad (3)$$

式中, $A = 1 - 0.5\sigma^2 / (\sigma^2 + 0.33)$; $B = 1 - 0.45\sigma^2 / (\sigma^2 + 0.99)$; σ 为高斯分布的标准方差, 由物体表面粗糙度确定; ρ 为表面反射率; L_i 为入射光强度; $\alpha = \max[\theta_r, \theta_i]$; $\beta = \min[\theta_r, \theta_i]$; θ_i 为法线与入射光线的夹角, θ_r 为法线与视觉方向的夹角, ψ_r 为入射光线在平面上的投影与法平面的夹角, ψ_i 为视觉方向在平面上的投影与法平面的夹角.

经过以上分析, 焊点表面除了漫反射, 还可能存在镜面反射. Torrance-Sparrow 假设物体表面平面斜率的分布函数满足高斯分布, 从而推导出一个简单的镜面反射光照模型^[8], 其模型公式为

$$L_s = G_s L_i \rho e^{-(\varphi/\sigma)^2} / \pi \quad (4)$$

式中: G_s 为几何衰减因子, 取值范围为 $[0.8, 1]$; φ 为表面微平面的法线 N 方向与表面平均法向 H 的夹角, 即 $\varphi = \arccos(N \cdot H)$; 单位向量 H 可近似表达为 $H = 0.5(L + V)$, 其中 L 为光源方向; V 为视觉方向; L_i 为镜面反射光照强度常数.

在翼型引脚焊点图像拍摄过程中, 考虑到很多情况下, 拍摄方向和光源方向是同一个方向, 则 $\alpha = \beta = \theta_i = \theta$, 对 Oren-Nayar 模型进行改进, 化简为

$$L_d(\theta, \sigma) = \rho L_i (A \cos \theta + B \sin^2 \theta) / \pi \quad (5)$$

即得到改进的漫反射模型为

$$L_d = \rho L_i (A \cos \theta + B \sin^2 \theta) / \pi \quad (6)$$

由以上焊点表面光照分析, 依据式(2), 分别对式(4) 镜面反射模型和式(6) 漫反射模型进行线性叠加, 提出完整的改进光照强度模型, 即:

$$I = L_s + L_d = L_i K_s \rho e^{-(\varphi/\sigma)^2} / \pi + L_i K_d \rho (A \cos \theta + B \sin^2 \theta) / \pi \quad (7)$$

式中, K_d 为漫反射系数; K_s 为镜面反射系数, 可以根据实际物体表面的粗糙度和表面反射率确定, 需要满足条件 $K_d + K_s = 1$. 可以根据实际情况调整漫反射系数和镜面反射系数.

3.3 改进光照模型求解

光照模型 SFS 求解算法有最小化方法、局部分析法和线性化法等. 其中线性化方法具有求解简单和求解速度快的特点^[9]. 本研究采用线性化方法对改进光照模型求解, 设 $(-p, -q, 1)$ 为物体表面点的方向向量, $p = \frac{\partial z}{\partial x}$, $q = \frac{\partial z}{\partial y}$, $(-p_0, -q_0, 1)$ 为光源

方向向量, 以表面点坐标梯度为变量. 为了提高线性化函数中高度 Z 值的精度, 使用有限差分法离散 p , q , 再采用 Jacobi 迭代法求解, 得到任意点 (i, j) 的高度迭代约束公式为

$$Z^n(x, y) = Z^{n-1}(x, y) + \frac{-f[Z^{n-1}(x, y)]}{\frac{d}{dZ(x, y)} f[Z^{n-1}(x, y)]} \quad (8)$$

式中, $Z^{n-1}(x, y)$, $Z^n(x, y)$ 分别为第 $n-1$ 次和第 n 次迭代法结果; f 为改进光照模型式(7) 所对应的函数表达式.

$$\frac{d}{dZ(x, y)} f(Z^{n-1}(x, y)) = -1 * ((A - 2B \cos(\theta)) L_i K_d D_d + L_i K_s \frac{\rho}{\pi} G_s \frac{2\varphi}{\sigma^2} e^{-(\varphi/\sigma)^2} D_s) \quad (9)$$

$$D_d = \frac{p_0 + q_0}{\sqrt{p_0^2 + q_0^2 + 1} \sqrt{p^2 + q^2 + 1}} - \frac{(p + q)(pp_0 + qq_0 + 1)}{\sqrt{p_0^2 + q_0^2 + 1} \sqrt{(p^2 + q^2 + 1)^3}} \quad (10)$$

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 - (\text{Unit}\vec{N}, \text{Unit}\vec{H})^2}} \frac{((p_0 + q_0)(1 + p^2 + q^2) - (p + q)(1 + p_0 p + q_0 q))}{\sqrt{1 + p_0^2 + q_0^2} \sqrt{(p^2 + q^2 + 1)^3}} \quad (11)$$

式中, $\vec{N}, \vec{H}$ 分别为, $\vec{N}(-p, -q, 1)$, $\vec{H}(-p_0, -q_0, 1)$, 且

$$\text{Unit}\vec{N}, \text{Unit}\vec{H} = \frac{1 + p_h p + q_h q}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{(p_h^2 + q_h^2 + 1)}} \quad (12)$$

4 翼型引脚焊点三维重构结果及比较

通过 CCD 采集到翼型引脚焊点桥连焊点图像如图 3 所示, 由于焊点表面存在噪声, 先对其进行去噪处理. 采用文献[10]去噪算法, 得到的去噪声结果, 如图 4 所示.

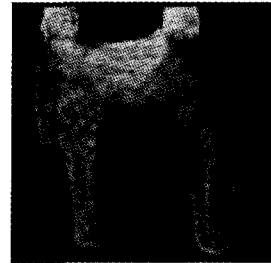


图 3 翼型引脚焊点图像

采用不同光照模型分别对图 3 焊点图像进行三



图4 翼型引脚焊点图像去噪结果

维重构, 重构结果如图5和图6所示, 依据以上介绍的改进的翼型引脚焊点三维重构算法, 编写相应的程序, 对于式(8), 取 $K_s=0.36$, $K_d=0.64$, 得到焊点表面三维重构结果如图7所示。

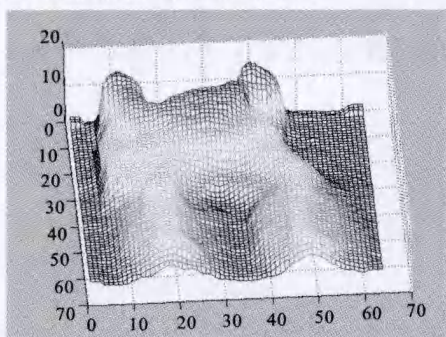


图5 基于 Lambert 光照模型三维重构结果

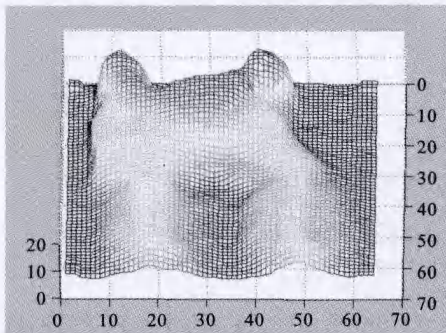


图6 基于 Oren-Nayar 光照模型三维重构结果

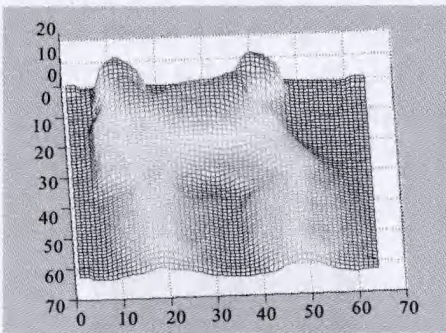


图7 基于本研究的算法三维重构结果

通过对以上基于不同光照模型的翼型引脚焊点表面三维形状重构结果比较, 可以发现, 由于没有对镜面反射光进行考虑, 基于 Oren-Nayar 光照模型和

基于 Lambert 光照模型的两个重构结果图中焊点表面高度变化过大; 对于本论文提出的改进的重构算法, 由于能较好地消除焊点表面镜面反射对重构结果的影响, 表面高度变化更加平缓, 重构结果更为理想。

5 结束语

焊点检测设备正向着非接触、三维、高精度和低成本的趋势发展, 焊点三维重构已是微电子组装质量检测与控制技术发展重点研究内容之一。焊点三维重构是焊点三维检测设备的软肋和研究热点。本研究针对翼型引脚焊点三维重构算法进行研究, 采用改进光照模型, 利用 SFS 方法重构得到的翼型引脚焊点三维形状, 与传统的三维重构方法相比, 本论文提出的算法具有更好的重构效果, 对指导其它类型的焊点表面三维重构具有重要的理论意义, 研究结果具有重要的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 张为民, 郑红宇, 严伟. 电子封装与微组装密封的特点及发展趋势[J]. 国防制造技术, 2010, 2(1): 60-62.
- [2] 周德俭, 黄春跃, 吴兆华, 等. SMT 焊点虚拟成形和 SMT 产品虚拟组装技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(8): 1267-1272.
- [3] Accian G, Fornarelli G, Giaquinto A. A fuzzy method for global quality index evaluation of solder joints in surface mount technology [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2011, 7(1): 115-124.
- [4] Chenyu Wu, Srinivasa G, Narasimhan, et al. A multi-image shape-from-shading framework for near-lighting perspective endoscopes [J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 86(2): 211-228.
- [5] Ruo Zhang, Ping-Sing Tsai, James Edwin Cryer, et al. Shape from shading: a survey [J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1999, 21(8): 119-131.
- [6] Said A F, Bennett, B L Karam L J, et al. Automated detection and classification of non-wet solder joints[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2011, 8(1): 67-80.
- [7] Oren M, Nayar S K. Generalization of Lambert's reflectance model[C]//Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York: IEEE, 1994: 239-246.

(下转第 126 页)

在更低的信噪比下达到更好的识别效果. 文献[5]中要做到相同的识别率需要 $\text{SNR} \geq 6$ dB. 与文献[6]相比, 使用了更少的特征参数得到了更好的识别率, 计算复杂度下降. 文献[6]使用了五个时频特征参数和两个高阶累积量参数, 在信噪比大于等于 5 dB 时, 可以达到 80% 的识别率, 算法复杂度主要集中在高阶累积量参数提取, 复杂度为 $O[n^9 + n^6 + n^3]$. 相较于文献[6], TNC-KNN 算法仅使用了两个时频特征参数和一个高阶累积量参数, 在信噪比大于等于 5dB 时能达到 96% 的识别率. 由于算法复杂度主要集中在高阶累积量的提取上, 该算法减少使用一个高阶累积量, 复杂度为 $O[n^9 + n^6]$, 复杂度有所下降. 和文献[4]相比, 在相同的信噪比下能识别更多的调制方式, TNC-KNN 算法可以识别 4ask, 这是文献[4]无法做到的.

4 结束语

文中提出的 TFC-KNN 算法能有效地识别 2ask、4ask、2fsk、4fsk、2psk、4psk 这 6 种数字调制信号. 理论和仿真表明, 该算法能简单有效地识别各种数字调制信号. 同时与其他算法比较, 该算法识别效率高, 算法复杂度低, 识别信号种类多, 说明该算法是一种有效识别算法.

参考文献:

- [1] Nnad A K, AZZouz E E. Algorithms of automatic modulation recognition of communication signals [J]. IEEE Transaction on Communication, 1998, 46(4): 431-436.
- [2] Swmi A, Sdaler B. Hierarchial digital modulation classification using cumulants[J]. IEEE Trans Commum, 2000, 48(3):416-429.
- [3] 吕正新, 魏平, 肖先赐. 利用高阶累积量实现数字调制信号的自动识别[J]. 电子对抗技术, 2004, 19(6):3-5.
- [4] Liu Ning, Guo Shuxia, Liu Bing, et al. Investigation on signal modulation recognition in the low snr[C]// International Conference on ueasuring Technology and Mecha-tronics Automation. Xian, China: IEEE, 2010:528-546.
- [5] 位小记, 谢红, 郭慧. 基于高阶累积量和星座图的调制识别算法[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2011, 27(4):609-613.
- [6] 姚旭清. 一种新的混合模式调制识别算法[D]. 太原: 太原理工大学, 2011.

作者简介:

蒋留兵 男, (1973-), 硕士, 高级工程师. 研究方向为智能信号处理.

柳政枝 女, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为智能信号处理.

(上接第 122 页)

- [8] Cook R L, Torrance K E. A reflectance model for computer graphics[J]. Computer Graphics, 1981, 15(3): 307-316.
- [9] Kong Fanhui, Wang Yongxin. Reconstruction of solder joint surface based on shape from shading [C]//IEEE Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007). Jinan: IEEE, 2007:58-62.

- [10] 赵辉煌, 周德俭, 吴兆华. 基于小波包变换与自适应阈值的 SMT 焊点图像混合噪声去除[J]. 焊接学报, 2011, 32(11):73-76.

作者简介:

赵辉煌 男, (1982-), 博士后. 研究方向为微电子组装、图像处理、计算机视觉.