

基于SFS原理的SMT焊点表面三维重构技术研究

赵辉煌¹ 周德俭^{2,3} 黄春跃³ 张少华³

(西安电子科技大学机电工程学院 西安 710071)¹ (广西工学院机械工程系 柳州 545006)²

(桂林电子科技大学机电工程学院 桂林 541004)³

摘要 基于明暗重构形状原理重构表面组装焊点的表面三维形状过程是:先通过图像采集设备,采集到SMT焊点图像,使用相关的图像处理技术,对SMT焊点图像进行处理;根据一个确定的反射模型建立物体表面形状与图像亮度之间的约束关系和物体表面形状的先验知识建立物体表面形状参数的约束关系,然后对这些约束关系联立求解,可得到物体表面的三维形状。同时针对不可接受SMT焊点图像重构出的三维图像不够理想的缺点进行了改进。在阐述其基本思想和原理的基础上,结合实例介绍了该技术的实现方法与步骤,对其中焊点图像的获取与处理、焊点三维重构技术算法等主要内容与关键技术进行了研究和探讨,并对结果进行了分析验证。

关键词 SMT焊点,三维重构,图像处理,明暗重构形状

中图分类号 TG404 文献标识码 A

SMT Solder Joint 3D Reconstruction Technology Based on Shape from Shading

ZHAO Hui-huang¹ ZHOU De-jian^{2,3} HUANG Chun-yue³ ZHANG Shao-hua³

(School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)¹

(Department of Mechanical Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)²

(School of Mechanical and Electronical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)³

Abstract The principles of the surface mount solder 3D reconstruction technology based on Shape from Shading could be described as following: the practical solder joint image was obtained by image acquisition, and deal with the solder joint image by using some image processing arithmetic. According to a definitive reflection model, the constraint relation between the surface shape and image lightness was built. Another constraint relation for the parameters of the objects surface shape is based on the prior knowledge of the object surface shape. Then finding solutions by those constraint relations can obtain the 3D shape of the objects surface. Furthermore, aiming at the defects of unfavorable result for the unaccepted solder joint 3D reconstruction, we improved 3D reconstruction algorithm. Based on expatiation of the principles of the surface mount solder 3D reconstruction technology, its implementation method and steps were introduced with practical examples. Some key technologies, including image acquisition and processing, solder joints three-dimensional and algorithms were also discussed. Some results were given as examples to verify feasibility of this technology.

Keywords Surface mount technology solder joint, Three-dimensional reconstruction, Image processing, SFS

由表面组装技术(SMT)形成的电路模块产品(以下简称SMT产品),其表面组装焊点(以下简称SMT焊点)具有既要保障电气性能畅通又要保障机械连接可靠的特征,它的组装质量与可靠性是SMT产品的生命。对SMT焊点进行应力应变使用寿命,以及采用相关技术对2D图像3D重构分析研究,有利于指导、改善SMT焊点质量及其焊接工艺,提高SMT焊点质量自动检测能力,同时推动智能鉴别技术的发展^[1]。

根据单幅灰度图像重构物体的三维表面形状是计算机视觉中的一个基本问题,相当于完成一个从二维空间到三维空间的映射,因此是病态的。解决这类问题的一个重要方法是

明暗重构形状(Shaping from Shade 简称SFS),即根据一个确定的反射模型建立物体表面形状与图像亮度之间的约束关系,并根据对物体表面形状的先验知识建立物体表面形状参数的约束关系,然后对这些约束关系联立求解,可得到物体表面的三维形状。近年来,国内外的很多学者利用该方法实现了根据单幅图像的三维重构,并将其应用到工业检测与测量、模式识别、逆向工程及自然景物模拟等领域^[2-4]。

1 SMT焊点表面三维重构技术基本原理

SMT焊点表面三维重构方法是:通过CCD(Charge Coupled Device, CCD)采集元器件焊点2D图像,得到彩色的焊点

到稿日期:2008-08-27 返修日期:2009-04-23 本文受军事预研项目资助。

赵辉煌(1982-),男,博士研究生,研究方向为制造自动化, E-mail: zhaohuihuang278@163.com; 周德俭(1954-),男,教授,博士生导师,研究方向为制造自动化、微电子制造; 黄春跃(1971-),男,博士,副教授,研究方向为制造自动化; 张少华(1983-),男,硕士研究生,研究方向为机电一体化。

图像。图像采集过程中,由于元器件和焊点上下不平整或者有很多的污点、光源上面有瑕疵等一系列原因,都会使采集到的图像产生噪点。通过数字图像处理技术,对 SMT 焊点图像进行处理,再利用三维重构技术,对单幅 SMT 焊点图像重构 SMT 焊点的三维形态,基本原理如图 1 所示(实线框部分)。对 SMT 焊点图像进行三维重构后,提取出能反映焊点质量的、可以与理想焊点形态进行比较的相关形态参数或轮廓特征,从而为焊点的进一步比较和分析创造基本条件。

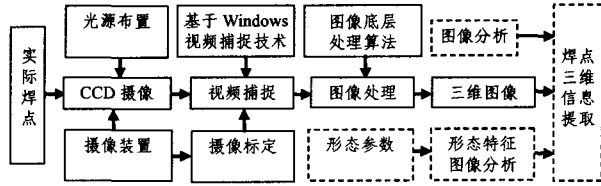


图 1 SMT 焊点三维恢复过程基本原理

本文研究的 SMT 焊点表面三维重构方法的优点是:①检测速度快,只需拍摄一幅 SMT 焊点图像即可;②得到了焊点三维形态与传统的二维形态相比更多的焊点信息,可用于对焊点做更多的研究。实现 SMT 焊点表面三维重构过程的关键技术,有焊点三维重构技术、实际焊点形态图像快速获取及处理技术等。

2 基于 SFS 原理的 SMT 焊点三维重构算法及流程

2.1 SFS 原理介绍

目前已经发展了各种各样的三维重构技术。一个重要方法是 SFS 方法,此方法的特点就是只需要单幅灰度,并且三维重构速度比较快,这一特点在焊点检测与控制中尤为重要。在理想的成像下,图像的灰度满足反射图函数^[5]:

$$E(x, y) = R(p, q)(x, y) = \frac{n * n_0}{||n * n_0||} = \frac{(p p_0 + q q_0 + 1)}{\sqrt{p_0^2 + q_0^2 + 1} \sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (1)$$

其中, (p, q) 为表面方向, $n_0 = (p_0, q_0, -1)$ 为光源入射方向, $E(x, y)$ 表示图像灰度。SFS 方法就是从图像灰度计算出物体的表面方向 (p, q) 。

光的漫反射模型中,假设光源的入射强度为 I , 物体表面反射率为常量 ρ , 在三维坐标轴中,光源矢量与物体表面法向量的夹角为倾角 α ,光源矢量与 X 轴方向向量的夹角为偏角 β (曲面高度方向为 Z 轴方向),则沿法向的反射强度 $E = I \rho \cos \alpha$ 。图像中任意 i 点的反射强度为 $E_i = I \rho \cos \alpha_i$; 当 $\alpha = 0$ 时, $E_{\max} = I \rho$, 此点的亮度必然最大。图像中最亮点的表面法向量与光源矢量方向相同,则图像中最亮点的表面法向量也随即确定。以光源方向为 Z 轴建立坐标系统, i 点与光源方向的夹角 α_i 的值为

$$\alpha_i = \arccos \frac{E_i}{E_{\max}} \quad (2)$$

经过相应的数学计算,可得到偏角 β 值。

求得图像中某一点的倾角 α_i 和偏角 β_i 以后,根据数学计算,得到该点的表面法向量。通过相应的转换和求解,即可计算出每个点的表面法向量。根据表面法向量可以绘出焊点表面三维图像。

从上述 SFS 原理可以看出,通过 SFS 原理重构出的图像中,点最亮,灰度值最大,则此点相对高度最高。但对于一些

不可接受焊点,如焊料过少或是焊点焊接错误等图像,由于金属焊盘暴露出来,这些点反射的亮度相比被覆有焊料的点要高,重构后的点高度相对要高。而焊点表面的高度却比较低,重构出的图像效果并不令人满意^[6],这也是 SMT 焊点三维重构算法所要解决的问题。

2.2 SMT 焊点三维重构算法及流程

笔者在研究过程中,先对国内外的一些 SFS 方法(如最小值化方法、演化方法、局部方法、线性方法等^[7,8])进行了充分的调研和分析,并通过实验进行重构效果和速度的比较。参考局部分析方法的设计思路,汲取其它的重构算法思想^[9],结合 SMT 焊点检测的特点,设计了基于 SFS 原理改进的单幅图像进行三维重构的算法。下面介绍本文中采用的 SMT 焊点三维重构算法。

对于焊点表面上的点,假设焊点的任意局部形状为球形,如图 2 所示。

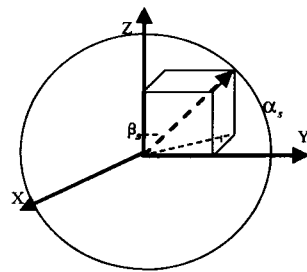


图 2 曲面任意一点的球面逼近

由式(2),根据数学计算可得光源方向的倾角和偏角 α_i, β_i 之间的关系:

$$E_i = \cos(\beta_i - \beta) \sin \alpha_i \sin \alpha + \cos \alpha_i \cos \alpha \quad (3)$$

推广可得:

$$E = \cos(\beta - \beta) \sin \alpha \sin \alpha + \cos \alpha \cos \alpha \quad (4)$$

分别将反射强度、倾角、偏角均视为 X 轴的函数和 Y 轴的函数,则根据复合求导法则和数学计算,可得:

$$\frac{dE}{dx} = (\cos(\beta_i - \beta) \sin \alpha_i \cos \alpha - \cos \alpha_i \sin \alpha) \frac{d\alpha}{dx} + \sin(\beta_i - \beta) \sin \alpha_i \sin \alpha \frac{d\beta}{dx} \quad (5)$$

$$\frac{dE}{dy} = (\cos(\beta_i - \beta) \sin \alpha_i \cos \alpha - \cos \alpha_i \sin \alpha) \frac{d\alpha}{dy} + \sin(\beta_i - \beta) \sin \alpha_i \sin \alpha \frac{d\beta}{dy} \quad (6)$$

将式(3),式(5),式(6)联立、计算、化简,可得到偏角 β 的计算公式:

$$\beta = \arctan \frac{E_y \cos \beta_i - E_x \sin \beta_i}{E_x \cos \alpha_i \cos \beta_i + E_y \cos \alpha_i \sin \beta_i} \quad (7)$$

其中, E_x, E_y 分别为表面法向量沿 x, y 方向的导数, α_i, β_i 分别为光源方向的倾角和偏角。求得图像中某一点的倾角 α_i 和偏角 β_i 以后,根据数学计算,得到该点的表面法向量。通过相应的转换和求解,即可计算出每个点的表面法向量。根据表面法向量转换后可以得到每一点的相对高度值。

针对上述不可接受焊点三维重构的结果不理想的缺陷,可以通过先判断焊点的相对位置来解决,SMT 焊点表面三维重构流程如图 3 所示。

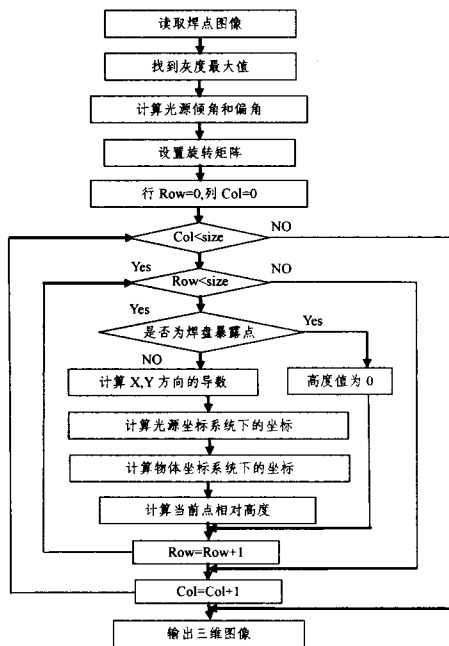


图3 SMT焊点图像三维恢复算法流程图

3 焊点图像快速获取及处理技术

3.1 计算机视觉系统的构成

在SMT焊点表面三维重构系统中,对于焊点图像快速获取及处理技术,在速度、复杂性和非确定性等方面的要求都比较高,一般需借助计算机视觉信息处理技术来完成。SMT焊点图像获取与处理计算机视觉系统组成结构如图4所示。其工作过程可描述为:用光学传感器(电荷耦合装置(Charge Coupled Device, CCD)、摄像机等)将检测目标转换为视频信号并输送到图像采集系统(图像采集卡);图像采集系统对视频信号进行解析和数字化后输送给专用的计算机图像处理系统;图像处理系统对图像信号施加各种运算来提取检测目标的特征,并按规定的格式把相应的数据记录到数据库中,用于下一步的分析;控制系统按需要提供执行机构的动作指令,同时控制整个系统的操作程序。

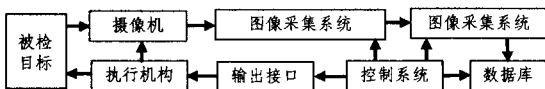


图4 计算机视觉系统结构图

3.2 图像底层处理^[10]

在SMT焊点计算机视觉信息获取与处理系统中,焊点形态参数获取的快速性与准确性在很大程度上取决于图像底层处理算法的好坏。彩色图像经过下面的步骤来进行处理。

(1) 图像灰度化

由于彩色图像不能达到特定三维重构算法的要求,所以必须先将彩色图像转化为灰度图像。对于彩色图像的灰度化,可采用不同颜色表示方法之间的转化来实现。由于通常对图像颜色变换后的结果只关心它的灰度分量,并不关心它的彩色分量部分。根据 R, G, B 的值求出灰度值后,就能给出灰度图像表示,即彩色图像转换为灰度图像。

(2) 低通滤波

灰度化以后的图像并不能消除SMT焊点图像上的噪点。一般来说,图像的能量主要集中在其低频部分,噪声所在

的频段主要在高频段,同时所要提取的图像信息也主要集中在其低频部分。使用低通滤波算法去掉高频干扰又同时保持低频信息。

(3) 中值滤波

中值滤波是一种非线性信号处理技术,其在消除噪声的同时还能保持图像中的细节部分,防止边缘模糊。经典的中值滤波法是对窗口内所有像素点的灰度值进行排序,然后再取中间值作为窗口中心像素的灰度值。经过第一次低通滤波去噪,图像已经平滑,但是由于图像可能存在比较大的噪点,这些噪点经过单次或者数次叠加,低通滤波也是无法去掉的,这时只能通过中值滤波完成。

3.3 图像处理结果

本文研究选取的测试对象以3片0805片式电阻为例,通过CCD图像采集设备,采集到的相应SMT焊点及电阻图像如图5所示。



(a) 可接受的焊点 (b) 焊料不足的焊点 (c) 焊料过多的焊点

图5 SMT片式电阻及焊点图像

图5(a)右边的焊点为焊膏不足的焊点(IPC610C 12. 2. 2. 6)^[11],图5(c)左边的焊点为焊膏过量的焊点(IPC610C 12. 2. 2. 5),其余焊点为可接受条件(IPC610C 12. 2. 2. 3)下的良好焊点。通过利用上述的图像处理算法,利用Visual C++编程实现,得到的相关图像处理结果如图6所示。



图6 SMT片式电阻及焊点处理结果

4 基于SMT焊点三维重构实例验证

对图6所示的SMT片式元器件电阻图像进行分割,得到相应的焊点图像,如图7所示。然后根据本文描述的SMT焊点图像三维重构原理,和对应的算法编写程序,重构出对应的SMT焊点三维图像,结果如图8所示。



图7 分割得到的SMT焊点图像

通过分析图8中对应各类SMT焊点三维重构的图像信息,可得出以下几点:

(1) 根据单幅灰度图像重构物体的三维表面形状,是计算机视觉中的一个基本问题,相当于完成一个从二维空间到三维空间的映射,因此是病态的。所以重构出的物体的图像不够理想^[12],但仍然可以得到每一类焊点图像相应的三维信息特点,再对SMT焊点进行更多的分析研究。

(2) 与文献[6]相比,对于焊盘暴露的焊点,三维重构效果

要优于传统方法的结果。

(3)通常情况下,焊点的三维形态的差异也就是焊点质量的原始信息,焊点三维形态参数的提取是进行焊点质量检测、比较、分析和评价的前提。从焊点三维图像中获取焊点形态参数的过程,实质是一个图像测量的过程,主要涉及到图像的面积、长度、高度等基本内容的计算,一般可以通过对焊点三维重构中的计算公式计算获得。

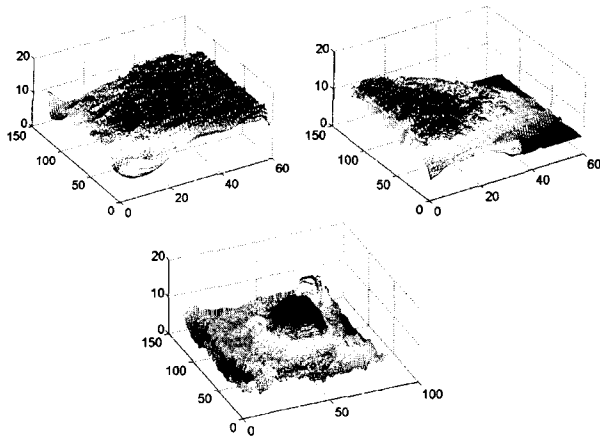


图8 SMT焊点图像三维恢复结果

结束语 比较全面地介绍了基于SFS原理的SMT焊点三维重构技术原理及其实现方法和步骤。同时应用该技术和方法对多种类型焊点进行了检测和分析实验,结果证明了其有效性。根据重构后的SMT焊点3D图像,可通过数学形态学的方法得到焊点的面积、周长和焊点边缘等一些信息,可以对SMT焊点做更多的研究。同时将重构后的图像引入3D测量技术,提取SMT焊点质量信息,对改善SMT焊点质量及其焊接工艺有一定的指导意义和参考价值。由于SMT产品组装过程中质量影响因素多、焊点类型多,要在上述理论和方法基础上形成实用系统,还有很多工作要做。焊点三维重构技术和焊点图像处理技术也还有很多改进的空间。

参考文献

(上接第251页)

- [5] 潘文鹤,王金龙,徐从富. 数据流频繁模式挖掘研究进展[J]. 自动化学报,2006,32(4):594-602
- [6] Hidber C. Online association rule mining[C]//Proc. of the 1999 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Philadelphia, Pennsylvania, 1999
- [7] Chang J H, Lee W S. Finding recently frequent itemsets adaptively over online transactional data streams[J]. Information Systems, 2006, 31(8): 849-869
- [8] Manku G S, Motwani R. Approximate frequency counts over data streams[C]// Proceedings of the 28th Int. Conf. on Very Large Data Bases(VLDB'02). Hong Kong, 2002
- [9] Giannella C, Han J, Pei J. Mining frequent patterns in data streams at multiple time granularities[M]//Kargupta H, Joshi A, Sivakumar K, eds. Next Generation Data Mining. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2003: 191-212
- [10] 张昕,李晓光,王大玲,等. 数据流中一种快速启发式频繁模式挖掘方法[J]. 软件学报,2005,16(12):2099-2105
- [11] Coenen F, Goulbourne G, Leng P. Tree Structures for Mining

- [1] 周德俊,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
- [2] Gao Yuefang, Luo Fei, Gao Jianzhong. A Shape from Shading Algorithm and Its Application[C]// 2007 IEEE International Conference on Control and Automation Guangzhou. June 2007: 2133-2135
- [3] Ghayourmanesh S, Zahng Y. Shape from shading of SAR imagery in fourier space[C]// IGARSS 2007. Barcelona, July 2007: 835-837
- [4] Zhang Li. Restoring warped document images using shape-from-shading and surface interpolation[C]// 2006 18th International Conference on Pattern Recognition. Sept. 2006: 20-24
- [5] Zhang Ruo, Tsai Ping-Sing, Cryer J E, et al. Shape from Shading: A Survey [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(8): 119-131
- [6] Kong Fanhui, Wang Yongxin. Reconstruction of Solder Joint Surface Based on Shape from Shading [C]// IEEE Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007). Aug. 2007: 58-62
- [7] Ivan Fanany M, Kumazawa I. Analysis of Shape from Shading Algorithms for Fast and Realistic 3D Face Reconstruction[C]// APCCAS2002. 2002: 181-185
- [8] 廖熠,赵荣椿. 从明暗恢复形状(SFS)的几类典型算法分析与评价[J]. 中图像图形学报, 2001, 6(10): 953-961
- [9] 赵颜利,郭成,吴王湛,等. 基于CB样条曲线的空间物体三维重建[J]. 计算机科学, 2006, 33(5): 247-249
- [10] 鲁瑞华,杨明. 一种基于中值滤波的非线性图像处理优化算法[J]. 计算机科学, 2004, 31(11): 224-226
- [11] IPC-A-610C印制板组装件验收条件. 2000
- [12] Prados E, Faugeras O. Shape form shading: a well posed problem[C]// International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR05. June 2005: 870-877

Association Rules[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2004, 8(1): 25-51

- [12] Mannila H, Toivonen H. On an algorithm for finding all interesting sentences[C]// Cybernetics and Systems, Volume 2, The 13th European Meeting on Cybernetics and Systems Research. Vienna, Austria, April 1996
- [13] Han J, Pei J, Yin Y. Mining frequent patterns without candidate generation[C]//Proc. of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM, 2000: 1-12
- [14] Thomas S, Bodagala S, Alsabti K, et al. An Efficient Algorithm for the Incremental Updation of Association Rules in Large Databases[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '97). New Port Beach, California, August 1997
- [15] IBM Almaden Research Center. Synthetic Data Generation Code for Associations and Sequential Patterns [EB/OL]. <http://www.almaden.ibm.com/software/quest/Resources/index.shtml> Intelligent Information Systems