

文章编号:1006-5911(2010)08-1714-06

# SMT 片式元件焊点 三维质量信息提取技术

赵辉煌<sup>1</sup>, 周德俭<sup>2,3</sup>, 黄春跃<sup>3</sup>

(1. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071;

2. 广西工学院 机械工程系, 广西 柳州 545006;

3. 桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要:**为实现对表面组装焊点三维质量信息的非接触式提取,提出了一种基于阴影恢复形状原理表面组装片式元件焊点三维质量信息提取方法。为提高重构精度,光照模型采用作者前期研究结果得到的一种改进模型;为解决由阴影恢复形状方法得到的物体三维形态不确定的问题,利用量块得到图像像素值与实际高度的比例关系,以此来确定表面组装焊点的三维形态;采用 APDL 语言,在 ANSYS 软件中二次开发建立焊点实体模型,并对相应的焊点体积、剖面面积、润湿角度等三维质量信息进行提取。结合实例介绍了该技术的实现方法与步骤。与采用传统光照模型相比,采用改进光照模型能较好地提高焊点体积信息提取的精度。

**关键词:**表面组装技术;焊点;三维质量信息;非接触式提取;阴影恢复形状;光照模型

**中图分类号:**TG404 **文献标志码:**A

## 3D quality information extraction technology for SMT solder joint of chip components

ZHAO Hui-huang<sup>1</sup>, ZHOU De-jian<sup>2,3</sup>, HUANG Chun-yue<sup>3</sup>

(1. School of Electronical & Mechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China;

3. School of Mechanical & Electronical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** A novel 3D quality information non-contact extraction approach for Surface Mount Technology(SMT)solder joint of chip components was proposed based on Shape From Shading(SFS). To improve the reconstruction accuracy, an improved illumination model, which was proposed before, was used in SFS. To solve the problem that the 3D shape reconstructed by SFS could not be determined, a gauge block was used to determine the ratio of pixels to height of a point in the solder joint image. And the ratio was used to determine the 3D shape of SMT solder joint. As a result, 3D quality information of volume, section area, wetting angle was obtained after constructing 3D entity model via ANSYS. The implementation method and steps were introduced with practical examples. Results illustrated that the improved illumination model could obtain a better extraction accuracy comparing to the conventional models.

**Key words:** surface mount technology; solder joint; three-dimensional quality information; non-contact extraction; shape from shading; illumination model

## 0 引言

由表面组装技术(Surface Mount Technology, SMT)形成的电路模块产品(简称 SMT 产品),其表

面组装焊点(简称 SMT 焊点)具有既保障电气性能畅通、又保障机械连接可靠的特征,其组装质量与可靠性是 SMT 产品的生命。分析与研究 SMT 焊点的质量信息提取技术,并生成可以与合理形态比较

收稿日期:2009-10-28;修订日期:2010-01-21。Received 28 Oct. 2009;accepted 21 Jan. 2010.

的数据与质量信息参数,为焊点质量分析评价提供实际焊点质量参数,对指导改善 SMT 焊点质量及其焊接工艺有重要的意义<sup>[1-2]</sup>。由于 SMT 产品的高密度和微型化特点,通过直接测量(如激光测量)实现 SMT 焊点三维质量信息的获取有一定的难度。本研究提出了一种离线、非接触的 SMT 片式元件焊点三维质量信息获取方法。

在三维测量技术中,阴影恢复形状(Shaping From Shading, SFS)方法是一种重要的非接触曲面测量手段,只需单幅物体图像就可得到物体表面的三维形状。近年来,国内外很多学者将该方法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<sup>[3,5]</sup>。在采用 SFS 方法得到 SMT 焊点三维实体形态的方法中,仍存在重构精度较低和三维形态不确定两个难题<sup>[6-7]</sup>。光照模型是 SFS 重构技术的基础,用来客观地描述光照反射现象,其精度直接影响物体表面重构的精度<sup>[8-9]</sup>。为提高三维质量信息提取的精度,作者前期研究得到一种较好的提高重构精度的改进光照模型<sup>[10]</sup>;为解决由 SFS 方法得到的物体三维形态不确定的问题,利用量块(标定块),在相同条件和环境下,得到像素值与实际高度的比例关系,以此确定表面组装焊点实际三维形态。

本文以片式元件焊点为对象,根据 SFS 原理,得到 SMT 片式元件焊点三维表面高度点阵,利用 ANSYS 软件构建出 SMT 片式元件焊点实体模型,然后提取相应的焊点体积、剖面面积、润湿角度等三维质量信息,通过与采用传统光照模型的结果对比表明,采用改进光照模型提取出焊点体积的精度有明显的提高。

## 1 SMT 片式元件焊点三维质量信息提取的基本原理

SMT 片式元件焊点三维质量信息提取的具体方法是:通过电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)采集元器件焊点二维图像,得到彩色的焊点图像,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,必须采用合适的图像处理技术对 SMT 片式元件焊点图像进行处理;然后采用一种比较理想的光照模型,利用 SFS 三维重构方法,对单幅焊点图像进行重构,通过在不同条件下获得量块的像素值来确定焊点三维形态,

通过对焊点三维形态实体化,得到焊点三维实体模型;再对三维实体模型进行分析,提取出焊点的体积、剖面信息、润湿角等三维质量信息。基本原理如图 1 所示。

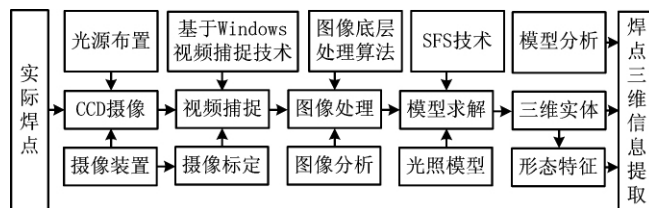


图1 基于SFS原理SMT片式元件焊点三维质量信息提取基本原理

对 SMT 片式元件焊点图像进行三维重构后,提取能反映焊点三维质量的信息,能够为改善 SMT 焊点质量及其焊接工艺提供依据。实现采用 SFS 方法对 SMT 片式元件焊点三维质量信息提取的关键技术有:光照模型选择及光照模型求解、焊点表面三维重构、实际焊点图像获取及处理技术、焊点三维模型实体化技术等。

## 2 改进光照模型及求解结果

在笔者前期的研究中,采用 Oren 和 Nayar 提出的漫反射模型和 Torrance-Sparrow 提出的镜面反射模型,得到了一种改进的光照模型<sup>[11-12]</sup>,根据实际情况,对物体表面的漫反射分量进行了改进,同时考虑了物体表面镜面反射分量对表面重构所产生的影响,把漫反射分量和镜面反射分量线性叠加,达到提高重构精度目的。通过实例验证,在重构物体三维形态中,采用改进光照模型能较好地提高重构精度。改进光照模型公式为

$$I = L_d + L_s = L_i K_d \frac{\rho}{\pi} (A \cos(\theta) + B \sin^2(\theta)) + L_i K_s \frac{\rho}{\pi} G_s e^{-(\varphi/\sigma)^2} \quad (1)$$

式中:  $A = 1 - 0.5 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.33}$ ,  $B = 1 - 0.45 \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + 0.99}$ ;  $L_s$  为镜面反射光照强度;  $L_d$  为漫反射光照强度;  $\theta$  为光源方向;  $K_d$  为漫反射系数;  $K_s$  为镜面反射系数;  $\rho$  为入射光亮度;  $G_s$  为几何衰减因子,一般  $G_s \in [0.8, 1]$ ;  $\varphi$  为表面微平面法线方向与表面平均法向的夹角;  $\sigma$  为高斯分布的标准方差;  $K_d$  为漫反射系数;  $K_s$  为镜面反射系数;  $K_d$  和  $K_s$  由实际物体表面的粗糙度和表面反射率确定,  $K_d + K_s = 1$ 。

采用线性化方法对改进的光照模型进行求解,得到每个点的高度迭代约束公式:

$$Z^n(i, j) = Z^{n-1}(i, j) + \frac{-f[Z^{n-1}(i, j)]}{\frac{d}{dZ(i, j)}f[Z^{n-1}(i, j)]} \quad (2)$$

式中:

$$\frac{d}{dZ(x, y)}f[Z^{n-1}(i, j)] = -1 \cdot \{[A - 2B \cos(\theta)] \cdot L_i K_d D_d + L_i K_s \frac{\rho}{\pi} G_s \frac{2\varphi}{\sigma^2} e^{-(\varphi/\sigma)^2} D_s\}, \quad (3)$$

$$D_d = \frac{p_0 + q_0}{\sqrt{p_0^2 + q_0^2 + 1} \sqrt{p^2 + q^2 + 1}} - \frac{(p + q)(pp_0 + qq_0 + 1)}{\sqrt{p_0^2 + q_0^2 + 1} \sqrt{(p^2 + q^2 + 1)^3}}, \quad (4)$$

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 - (\text{Unit } \mathbf{N} \text{ Unit } \mathbf{H})^2}} \cdot \frac{(p_h + q_h)(1 + p^2 + q^2) - (p + q)(1 + p_0 p + q_0 q)}{\sqrt{1 + p_h^2 + q_h^2} \sqrt{(p^2 + q^2 + 1)^3}} \quad (5)$$

式中  $\mathbf{N}, \mathbf{H}$  分别为  $\mathbf{N}(-p, -q, 1), \mathbf{H}(-p_h, -q_h, 1); (-p_0, -q_0, 1)$  为光源方向向量, 且

$$\text{Unit } \mathbf{N} \text{ Unit } \mathbf{H} = \frac{1 + p_h p + q_h q}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{p_h^2 + q_h^2 + 1}} \quad (6)$$

### 3 SMT 片式元件焊点三维重构

根据上述 SMT 焊点三维重构基本原理和方法, 并利用 SFS 方法对改进光照模型的求解结果, 设计出 SMT 焊点表面三维重构流程, 如图 2 所示。

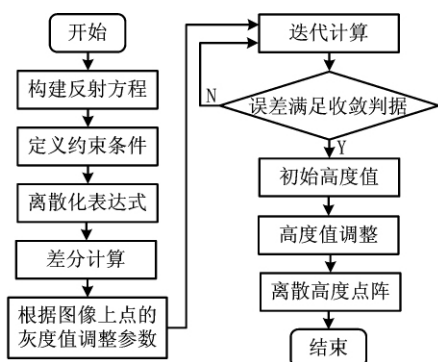


图2 基于改进光照模型的SMT焊点图像三维重构算法流程

图 2 中的离散化表达式为利用 SFS 方法对改进光照模型的求解结果表达式, 同时可结合相关经验, 根据图像上点的不同灰度值来调整改进光照模型中的参数。为得到确定的、唯一的 SMT 焊点三维形态, 选取一个已知高度的量块, 重构得到相应的高值, 得到一组像素与高度之间的比例值, 并以此来确定 SMT 焊点三维重构结果各点的高度值。为保证此方

法的可行性和有效性, 采用以下三种方法: ①选取量块的材料与焊点材料相同; ②采用平行光, 并在相同的条件和方法下获取图像; ③取量块图像的平均灰度值作为比例对象。用此比值来确定由 SFS 方法得到的焊点各点的高度, 得到唯一的焊点离散高度点阵。

### 4 SMT 片式元件焊点图像处理

在 SMT 焊点图像采集过程中, 由于元器件和焊点上下不平整或有很多的污点, 或者光源上面有瑕疵, 会使采集到的图像产生噪点。图像处理的主要目的是在保留图像原有重要且有效信息的前提下降低或消除噪声, 获得高质量的图像。在由 SFS 方法重构 SMT 焊点三维形状的技术中, 图像处理算法的好坏将对重构结果产生直接影响。由于彩色图像不能达到三维重构算法的要求, 必须先将彩色图像转化为灰度图像, 灰度化以后的图像并不能消除 SMT 焊点图像上的噪点, 而必须采用相应的图像处理算法, 对焊点图进行去噪处理, 包括低通滤波和中值滤波。本文选取的三维质量信息提取对象为 0805 片式元件, 通过 CCD 图像采集设备采集到焊点及电阻图像 (如图 3), 分割出右边焊点, 如图 4 所示 (图像大小为  $64 \times 64$ )。图像处理结果如图 5 所示。



图3 SMT片式元件及焊点图像

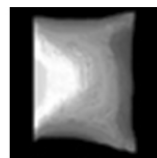


图4 分割后的SMT片式元件焊点图像

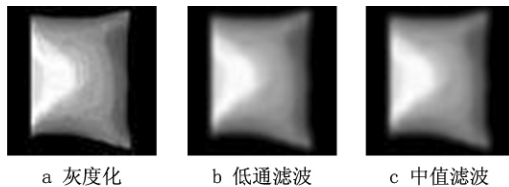


图5 SMT片式元件焊点图像处理结果

### 5 SMT 片式元件焊点三维重构结果实体化

由 SFS 方法重构得到的只是焊点三维形态的

离散高度点阵,为实现对焊点三维质量信息的提取,直观地观察焊点的实际形态,实现焊点三维质量信息提取,一个重要步骤是焊点三维形态实体化。SMT 焊点实体化是依照点、线、面、体原则,采用三角形面片表示法,先定义关键点,然后用点来表示面,最后把所有面合并,得到 SMT 片式元件焊点三维实体模型。SMT 焊点实体化过程如图 6 所示。

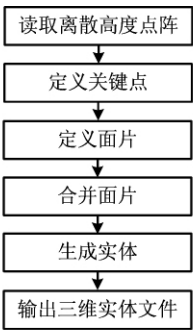


图6 SMT片式元件焊点三维形状实体化过程

本文采用 ANSYS 参数化设计语言(ANSYS Parametric Design Language, APDL)的 ANSYS 二次开发,自动实现焊点实体化<sup>[13]</sup>。在 ANSYS 软件中,通过读取片式元件焊点离散高度点阵,最终得到片式元件焊点三维实体模型,采用改进光照模型的结果如图 7 所示。

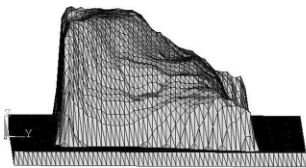


图7 基于改进光照模型SMT焊点的三维重构结果

分别采用 Lambert 光照模型和 Oren-Nayar 光照模型对图 5c 进行三维重构,构建出 SMT 片式元件焊点实体模型,其结果如图 8 和图 9 所示。通过图 7~图 9 的比较可以看出,基于改进的光照模型得到的 SMT 片式元件焊点模型表面高度变化更为连续,重构形状更为理想,从而保证了 SMT 片式元件焊点体积提取精度的提高。

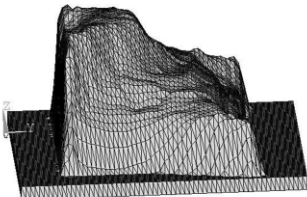


图8 基于Lambert模型SMT焊点的三维重构结果

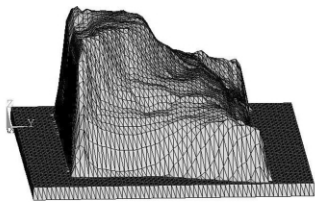


图9 基于Oren-Nayar模型SMT焊点的三维重构结果

6 SMT 片式元件焊点的三维质量信息提取与比较

SMT 片式元件焊点三维质量信息的提取主要包括焊点体积、焊点剖面的信息、润湿角度等焊点三维质量信息参数<sup>[14-15]</sup>。选取高度为 0.5 mm 量块为例,量块材料与焊点材料相同,在相同的条件和方法下,得到的量块高度的平均灰度值为 250.5。用此像素值确定由 SFS 方法得到的焊点各点的高度,得到唯一的焊点三维重构实体。同时,采用瑞士梅特勒·托利多(Mettler·Toledo)电子天平设备(精度为 0.000 01 g)得到焊点的实际重量为 0.003 25 g。

(1)焊点体积

把测量得到的 SMT 片式元件焊点的质量通过密度转换,得到焊点的实际体积为 0.385 99 mm<sup>3</sup>。分别计算出由不同的光照模型得到的 SMT 片式元件焊点实体体积,结果如表 1 所示。

表 1 基于不同光照模型重构 SMT 片式元件焊点体积精度比较

光照模型	重构实体体积 /mm <sup>3</sup>	实际测量焊点体积 /mm <sup>3</sup>	精度 /%
改进的光照模型	0.341 4	0.385 99	88.45
Lambert 光照模型	0.310 4	0.385 99	80.42
Oren-Nayar 光照	0.316 1	0.385 99	81.89

由表 1 比较可得,基于改进的光照模型得到的 SMT 片式元件焊点体积精度,明显高于由 Lambert 光照模型和 Oren-Nayar 光照得到的结果。

为比较采用改进的光照模型与 Lambert 光照模型和 Oren-Nayar 光照模型在 SMT 片式元件焊点体积提取的精度,分别任选 5 个片式元件的 10 个焊点进行重构,采用改进的光照模型能较好地提高 SMT 片式元件焊点体积信息提取精度,与采用传统模型相比,实验结果表明,平均每个焊点的体积提取精度要高出 6% 以上。

(2)中间剖面特性的提取

通过相应转化得到焊点高度值为 0.511 mm, 焊点高度像素值为 19.668 像素。对重构后的焊点实体中间平面进行分割,分别得到的中间剖面形状如图 10~图 12 所示,计算得到相应的剖面面积如表 2 所示。

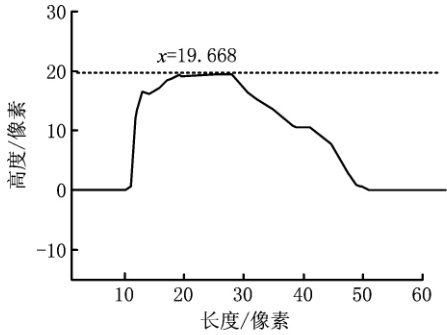


图10 基于改进光照模型SMT片式元件焊点中间剖面图

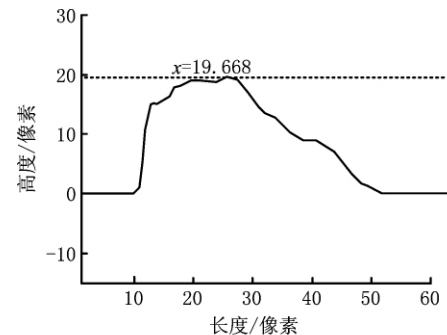


图11 基于Lambert模型SMT片式元件焊点中间剖面图

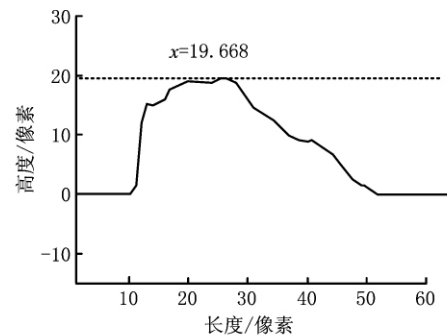


图12 基于Oren-Nayar模型SMT片式元件焊点中间剖面图

由图 10~图 12 比较可得,基于改进的光照模型得到的 SMT 片式元件焊点中间剖面曲线比由 Lambert 模型和 Oren-Nayar 模型得到的结果更加连续。

(3)润湿角的获取

根据以上得到的 SMT 片式元件焊点中间剖面 和焊点剖面上点的三维坐标,通过点的坐标计算 获取角度信息,基于不同光照模型的焊点剖面润湿角

如图 13~图 15 所示,角度值如表 2 所示。

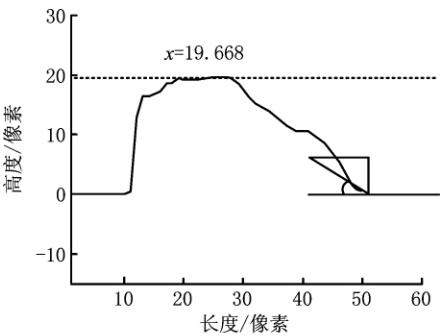


图13 基于改进光照模型SMT片式元件焊点润湿角

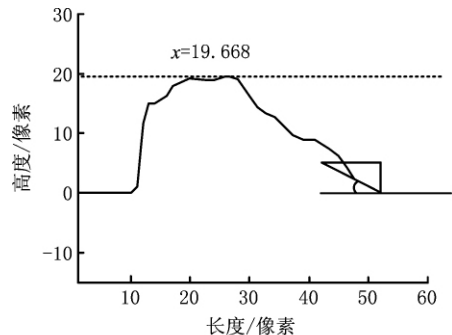


图14 基于Lambert模型SMT片式元件焊点润湿角

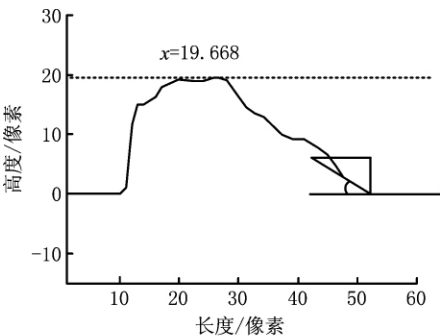


图15 基于Oren-Nayar模型SMT片式元件焊点润湿角

表 2 基于不同光照模型重构 SMT 片式元件焊点 实体中间剖面面积和润湿角比较

光照模型	剖面的面积/mm <sup>2</sup>	润湿角/(°)
改进的光照模型	536.156 9	31.72
Lambert 光照模型	503.944 3	27.16
Oren-Nayar 光照	508.591 4	31.63

7 结束语

本文提出了一种基于 SFS 原理结合量块的 SMT 片式元件焊点三维质量信息获取方法,解决了由 SFS 方法得到物体三维实体形态的方法中存在的重构精度较低和重构三维形态不确定两个难

题。通过实例,证明了本文所提方法的可行性和有效性。通过与其他光照模型重构结果对比可知,改进的光照模型能较好地提高焊点的体积提取精度。对SMT片式元件焊点三维质量信息提取技术进行的研究,对改善SMT焊点质量及其焊接工艺有重要意义。由于测量中还存在一定的误差,本文提出的方法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;同时SMT焊点类型多,焊点三维重构技术和焊点图像处理技术还有很多改进的空间。

### 参考文献:

- [1] WANG Guozhong. Prediction of three-dimensional shape of solder joint and its influence on solder joint reliability in SMT [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 1997 (in Chinese). [王国忠. SMT焊点三维形态的预测及其对焊点可靠性的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997.]
- [2] ZHOU Dejian, HUANG Chunyue, WU Zhaohua, et al. SMT solder joints quality assurance based on solder joints virtual evolving technology [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006, 12(8): 1267-1272 (in Chinese). [周德俭, 黄春跃, 吴兆华, 等. 基于焊点虚拟成形技术的SMT焊点质量保证技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(8): 1267-1272.]
- [3] GAO Yuefang, LUO Fei, GAO Jianzhong. A shape from shading algorithm and its application [C]//Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Control and Automation. Washington, D. C., USA: IEEE, 2007: 2133-2135.
- [4] SHAHEEN G, YUN Z. Shape from shading of SAR imagery in fourier space [C]//Proceedings of IGARSS 2007. Washington, D. C., USA: IEEE, 2007: 835-837.
- [5] ZHANG Li. Restoring warped document images using shape-from-shading and surface interpolation [C]//Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Washington, D. C., USA: IEEE, 2006: 20-24.
- [6] PRADOS E, FAUGERAS O. Shape form shading: a well posed problem? [C]//Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR05. Washington, D. C., USA: IEEE, 2005: 870-877.
- [7] COOK R L, TORRANCE K E. A reflectance model for computer graphics [J]. Computer Graphics, 1981, 15(3): 307-316.
- [8] ZHANG Ruo, TSAI P S, CRYER J E, et al. Shape from shading: a survey [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(8): 119-131.
- [9] KONG Fanhui, WANG Yongxin. Reconstruction of solder joint surface based on shape from shading [C]//Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Natural Computation (ICNC). Washington, D. C., USA: IEEE, 2007: 58-62.
- [10] ZHAO Huihuang, ZHOU Dejian, HUANG Chunyue. Improved illumination model of shape from shading and its realization [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 10(5): 1951-1955 (in Chinese). [赵辉煌, 周德俭, 黄春跃. 一种改进的灰度重构形状光照模型及其实现[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 10(5): 1951-1955.]
- [11] NAYAR S K, IKEUCHI K, KANADE T. Surface reflection: physical and geometrical perspectives [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1991, 13(7): 611-634.
- [12] AHMED A H, FARAG A A. A new formulation for shape from shading for non-lambertian surfaces [C]//Proceedings of 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, D. C., USA: IEEE, 2006: 1817-1824.
- [13] ZHOU Changcheng, HU Renxi, XIONG Wenbo. Ansys basis and typical example [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2007 (in Chinese). [周长城, 胡仁喜, 熊文波. Ansys基础与典型范例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.]
- [14] ZHOU Dejian, WU Zhaohua. SMT process technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002 (in Chinese). [周德俭, 吴兆华. 表面组装工艺技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.]
- [15] GUO Jianlin. Study on extraction methods of quality information of solder joint of chip components based on color image processing and 3D reconstruction [D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2006 (in Chinese). [郭建林. 基于图像处理和三维重建的片式元件焊点质量信息提取技术研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2006.]

### 作者简介:

赵辉煌(1982—),男,湖南衡阳人,博士研究生,研究方向:制造自动化、模式识别, E-mail: zhaohuihuang278@163.com;

周德俭(1954—),男,浙江金华人,广西工学院机械工程系教授,桂林电子科技大学机电工程学院教授,西安电子科技大学博士生导师,研究方向:制造自动化、微电子制造;

黄春跃(1971—),男,广西桂林人,教授,博士,研究方向:制造自动化、微电子制造。