

文章编号 1004-924X(2009)10-2425-06

基于光栅的贴片机对准系统的精度标定

刘文超^{1,2}, 钟毓宁², 王选择², 谢铁邦¹

(1. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074 ;

2. 湖北工业大学 湖北省现代制造质量工程重点实验室, 湖北 武汉 430068)

摘要: 贴片机对准系统的精度标定是视觉定位的关键环节, 直接影响贴片精度与贴片质量。为提高对准系统标定精度, 提出了基于光栅的精度标定方法。将光栅图像灰度值之和形成一组周期固定的准正弦信号, 通过像元平移把图像条纹灰度值变为李萨如图。对李萨如图及其数据进行分析与处理, 直接计算出光学系统的分辨率, 从而实现光学系统的精度标定。采用上述方法得到了与理论计算比较吻合的贴片机对准系统精度标定结果, 并且利用标准大刻尺进行了标定验证实验。获取了标准大刻尺的图像, 通过图像处理计算出刻线间的像素坐标差, 将像素坐标差值与成像系统分辨率相乘计算出代表实测的刻线间距。对实验数据的误差分析表明, 这种标定方法精度高, 偏差 $<0.2 \mu\text{m}$, 满足贴片机的对准精度要求。

关键词: 贴片机; 对准系统; 精度标定; 光栅; 李萨如图

中图分类号: TH703; TP391 **文献标识码:** A

Accuracy calibration of alignment system of chip mounter based on grating

LIU Wen-chao^{1,2}, ZHONG Yu-ning², WANG Xuan-ze², XIE Tie-bang¹

(1. *School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*; 2. *Hubei Province Key Laboratory of Modern Manufacture Quality Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China*)

Abstract: Accuracy calibration is a key of the vision alignment system of a high-precision chip mounter, which affects the precision and quality of the chip mounting greatly. For improving the calibration accuracy of the alignment system, this paper presents a new calibration method based on a grating. With proposed method, a group of data similar to quasi-sinusoid signals is obtained by calculating the sum of gray-value of pixels in each column. Then, these calculated data are elaborately converted into a Lissajous figure by pixel translation. The size mapping coefficient between the grating groove and their image pixels of the optical alignment system is calculated to realize the accurate calibration, obtained calibration results indicate that it is coincident with the theoretical calculation results well. A big standard ruler is used to verify the calibration experiment, the error analysis on the experimental data shows that the accuracy error by proposed method is less than $0.2 \mu\text{m}$, which can meet the precision needs of vision alignment systems of automatic chip mounter.

Key words: chip mounter; alignment system; accuracy calibration; grating; Lissajous figure

收稿日期: 2008-10-14; 修订日期: 2008-12-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 50605018); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(No. NCET-07-0262); 武汉市科技攻关计划资助项目(No. 20041001012)

1 引言

高精度自动贴片机是一种典型的集机、光、电、液、气等为一体的高科技产品,在 MCM、MEMS、MOEMS 以及三维封装等精度要求高、工艺复杂的场合有着广泛的应用。自动对准系统是自动贴片机的关键部件之一,精度要求很高,一般达到微米甚至亚微米级,因此通常采用机器视觉的方法进行对准。为确定相机在参考坐标系中的空间位置和取向,以及光学系统本身的参数,必须首先对系统进行标定。国内外学者提出了一些标定技术,如长方形、四边形标定法^[1-2],弹性的相机标定技术^[3],灭影线标定技术^[4],以及用最小二乘回归方法进行相机标定^[5]等,但这些方法在确定相机坐标系、世界坐标系和图像坐标系之间的关系时往往需要大量的矩阵计算和分析^[6]。为了提高对准系统标定精度,减少计算量,本文提出了基于光栅的成像精度标定方法,该方法不需要计算相机的内外参数即可实现光学系统的精度标定。

2 贴片机自动对准系统的结构与工作原理

自动对准系统由光源、光学成像系统、摄像器件、图像采集卡、计算机及图像处理软件、运动及控制单元等组成,其结构示意图如图 1 所示^[7]。其中,贴装头可在 Z 方向上下运动,主工作台可在 X、Y 方向移动并可绕 Z 轴转动,对准系统工作台在 X、Y、Z 方向移动。

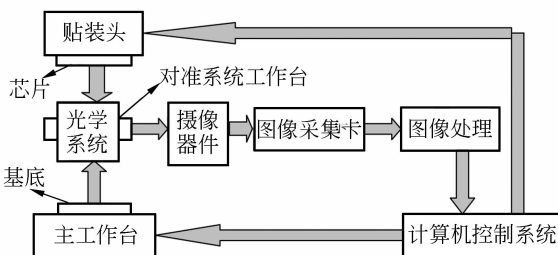


图 1 贴片机自动对准系统结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of automatic alignment system of chip mounter

自动贴片机基于机器视觉原理,通过对获取的芯片和基底图像进行图像滤波、边缘提取、点模式匹配等方式确定芯片与基底特征标记中心坐标的像素差,再根据实际几何尺寸与图像像素之间的映射系数,即标定关系换算出芯片和基底的位置偏差 X、Y,并将结果输入到主控计算机,控制工作台和贴装头的运动和贴装,实现芯片和基底的高精度自动对准,其工作流程如图 2 所示。因此,对准系统的精度标定对贴片精度有着重要影响。

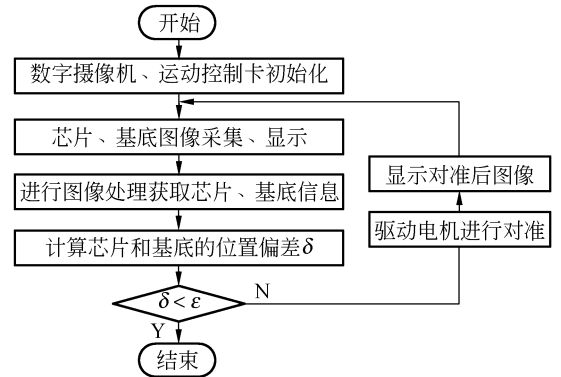


图 2 贴片机自动对准系统的工作流程

Fig. 2 Flow of automatic alignment system of chip mounter

3 贴片机自动对准系统精度的标定

3.1 标定方法与步骤

基于光栅的标定方法与步骤如下:

(1)根据图像熵判断图像清晰度的方法,在保持照明系统、像距、焦距等不变的情况下,利用光学系统采集最清晰的光栅刻线图像。

(2)设整幅图像像素为 $M \times N$,以图像左上角为原点建立坐标系,设图像中某一点的像素坐标为 (i, j) , G_{ij} 为 (i, j) 点的灰度值,令:

$$I_j = \sum_{i=0}^M G_{ij}, \quad (1)$$

I_j 表示第 j 列所有 M 个像素点的灰度值之和,绘制 $j-I_j$ 曲线。

(3)绘制光栅刻线图像灰度值的李萨如图。

令:

$$\begin{cases} X_j = I_j \\ Y_j = I_{j+d} \end{cases}, 0 \leq j \leq N-d, d \in [0, N], \quad (2)$$

设光栅尺的一个刻线间距在图像中所占的像素数为 k , 可以认为 X_j, Y_j 是两个以像素数 k 为周期变化的信号源, 以 X_j-Y_j 为坐标系, 利用式(1)绘制光栅刻线图像灰度值的李萨如图。

(4) 计算光栅刻线间距在图像中所占的像素数 k 。研究表明, 随着 d 值的不同, 李萨如图是一个形状不断变化的椭圆。当 d 值合适时, 椭圆将趋近于一条直线。此时 d 约为 k 的整数倍, 定义这个倍率为 n 。通过对图形的比较分析, 选择一个最接近直线时的 d 值及对应的 n 计算出 k :

$$k = \frac{d}{n} \tag{3}$$

(5) 计算光栅刻线实际尺寸与图像像素之间的映射系数 R , 也称为光学系统的分辨率。设光栅刻线间距为 x , 取最接近真实值的 k , 则有:

$$R = \frac{x}{k} \tag{4}$$

3.2 标定过程

在标定过程中, 成像系统采用 4 倍的物镜, 选用像素为 1 024 pixel × 1 280 pixel 的 CMOS 相机, 图像传感器感光芯片的像素大小为 5.2 μm × 5.2 μm, 折射到物面尺寸, 可以计算出系统的分辨率为:

$$R = \frac{5.2}{4} = 1.3 \text{ (}\mu\text{m/pixel)}$$

即本光学系统中, 图像中一个像素对应于实际物面 1.3 μm。

系统选用 50 pl/mm 的光栅尺, 其刻线间距 x 为 20 μm。放置光栅尺于显微物镜工作距离处, 通过不断的调整物距, 获取最清晰即分辨率最高时的光栅刻线图像, 如图 3 所示。根据式(1), 对图 3 所示的光栅刻线图像上每一列所有高度处的像素点的灰度值累加, 绘制的 $j-I_j$ 曲线如图 4 所示, 它类似正弦曲线呈周期性变化。

根据式(2)绘制光栅刻线图像灰度值的李萨如图 5 所示。由图 5 可知, 当 $d=31$ 时, 李萨如图近似一条斜率大于零的直线; 当 $d=33$ 时变为一个椭圆; 当 $d=37$ 时仍为椭圆, 其长短轴与 $d=33$ 时的椭圆的长短轴近似垂直; 当 $d=39$ 时, 图形又变为一条直线, 与 $d=31$ 时所成的直线近似

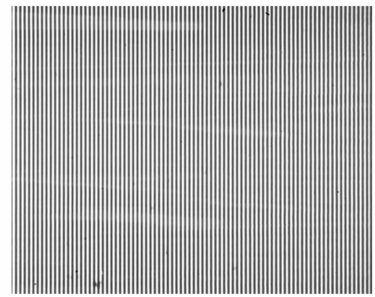


图 3 光栅刻线图像

Fig. 3 Image of grating reticle

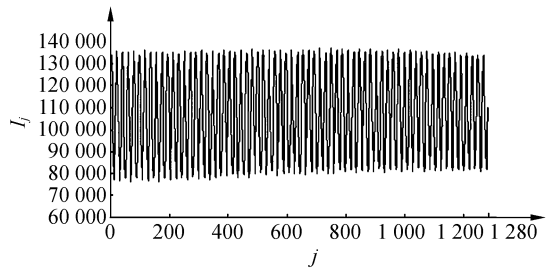


图 4 $j-I_j$ 曲线

Fig. 4 Curve of $j-I_j$

垂直。当 d 继续增大, 在 $[0, 1\ 280]$ 之间变化时, 李萨如图呈周期性交替变换。

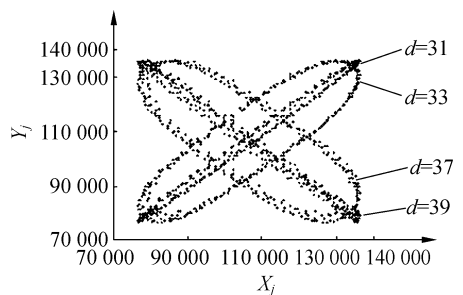


图 5 光栅刻线图像灰度值的李萨如图

Fig. 5 Lissajous figure of grating reticle gray-values

通过对不同 d 值光栅刻线灰度值的李萨如图的数据进行分析, 确定李萨如图的周期大小。受篇幅限制, 本文中只给出了部分整周期与半周期, 即李萨如图最接近直线时所取的 d 值及相应的周期数 n , 由式(3)求出 k 值, 如表 1 所示。

表 1 不同情况 d 值光栅刻线灰度值的数据分析

Tab. 1 Data analysis of grating reticle gray-values

周期数 n	d	$k=(d-1)/n$	$k=d/n$	$k=(d+1)/n$
0.5	8	14	16	18
1	15	14	15	16
23	353	15.304 35	15.347 83	15.391 3
23.5	361	15.319 15	15.361 7	15.404 26
24	369	15.333 33	15.375	15.416 67
24.5	377	15.346 94	15.387 76	15.428 57
25	384	15.32	15.36	15.4
28.5	438	15.333 33	15.368 42	15.403 51
29	446	15.344 83	15.379 31	15.413 79
29.5	453	15.322 03	15.355 93	15.389 83
30	461	15.333 33	15.366 67	15.4

由表 1 可以看出,当椭圆变化到半周期 $n=24.5$ 处时,李萨如图形在像素数 $d \in [376, 377]$ 区间比 $d \in [377, 378]$ 区间趋近于直线更快一些,由式(3)可得:

$$\frac{376}{24.5} \leq k \leq \frac{377}{24.5} \Rightarrow 15.346 94 \leq k \leq 15.387 76. \quad (5)$$

当椭圆变化到整周期 $n=29$ 处时,李萨如图形在像素数 $d \in [446, 447]$ 区间比 $d \in [445, 446]$ 区间趋近于直线更快一些,由式(3)可得:

$$\frac{446}{29} \leq k \leq \frac{447}{29} \Rightarrow 15.379 31 \leq k \leq 15.413 79. \quad (6)$$

为求得精确的 k 值,选取式(5)和式(6)的交集作为 k 的取值区间,有 $15.379 31 \leq k \leq 15.387 76$. 取上述区间的中值作为光栅刻线间距在图像中所占的像素数 k 的真实值,即 15.383 54 pixel. 根据式(4)求出光学系统的分辨率:

$$R = \frac{x}{k} = \frac{20}{15.383 54} = 1.300 09 (\mu\text{m} / \text{pixel}).$$

由此可见,标定结果与前面的理论计算非常吻合。

3.3 标定结果验证与误差分析

采用中南计量测试研究院提供的标准量尺验证标定结果的准确性。由于光源(如电源波动、温度波动、环境光的影响)的稳定性会直接影响测量结果,为此,标定中利用 PJ-1505-2CA 型电源来调节和控制光源的发光强度,同时采取建立恒温室、气浮隔振平台等措施对温度、振动和气流等环境因素进行控制,避免环境影响,尽可能得到稳定重复的测量结果。根据上述标定方法和图像清晰

度评价函数,获取的标准大刻尺(标称值为 1 mm)图像如图 6 所示。

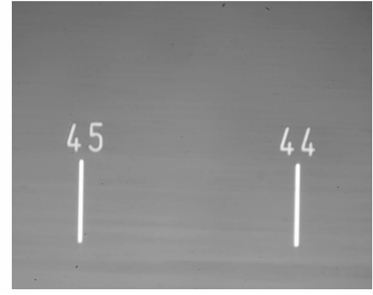


图 6 标准大刻尺图像

Fig. 6 Image of big standard ruler

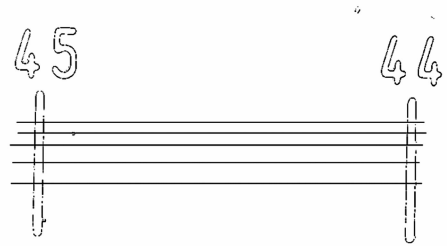


图 7 标准大刻尺图像处理效果图

Fig. 7 Image processing of big standard ruler

对图 6 进行滤波、增强、二值化等处理后^[8],获取的图像如图 7 所示。在图 7 中,随机选取不同部位的刻线(图中横线是选取刻线坐标点时的辅助线),通过亚像素图像处理算法,计算出刻线间的像素坐标差 Δx 。这一像素差值与成像系统分辨率 R 的乘积,即代表实测的刻线间距。实验所得的数据与偏差分析如表 2 所示。

表 2 实验数据与偏差分析表

Tab. 2 Analysis of calibration errors

像素点坐标 (x, y)	像素数差 Δx	测量值 $R \times \Delta x (\mu\text{m})$	偏差 $\delta_i (\mu\text{m})$
(238.025, 751.052)	769.000	999.77	-0.1
(1 007.025, 751.052)			
(239.705, 708.156)	769.115	999.85	-0.02
(1 008.820, 708.156)			
(240.550, 672.230)	769.255	1 000.03	0.16
(1 009.805, 672.230)			
(241.430, 625.437)	769.079	999.80	-0.07
(1 010.510, 625.437)			
(257.220, 708.510)	769.150	999.90	0.03
(1 026.370, 708.510)			

对实验结果进行了误差分析,由表 2 所得的数据可得测量平均值为 $999.87 \mu\text{m}$ 。

平均偏差为:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum |\delta_i|}{n} = \frac{0.1+0.02+0.16+0.07+0.03}{5} =$$

$$0.076 \mu\text{m},$$

标准偏差为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} =$$

$$\sqrt{\frac{0.1^2+0.02^2+0.16^2+0.07^2+0.03^2}{4}} = 0.102 \mu\text{m},$$

绝对误差为:

$$E_a = 999.87 - 1000 = -0.13 \mu\text{m},$$

相对误差为:

$$E_r = \frac{0.13}{1000} \times 100\% = 0.013\%.$$

因此,根据前面标定方法得到的贴片机对准

系统的精度达到亚微米级,满足实际贴片的要求。

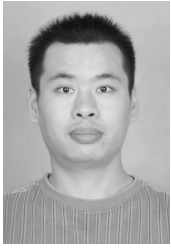
4 结 论

对准系统的精度标定是视觉定位的一个关键环节,将直接影响贴片精度与贴片质量。本文提出的基于光栅的精度标定方法,将光栅图像灰度值之和形成一组周期固定的准正弦信号,通过像元平移把图像条纹灰度值变为李萨如图。再通过李萨如图及相关数据进行分析与处理,计算出光学系统的分辨率,实现贴片机对准系统光学成像的精度标定,并且对标定结果进行了验证与误差分析。实验结果表明这种标定方法的精度高,偏差 $< 0.2 \mu\text{m}$,达到了贴片机系统的对准精度要求。

参考文献:

- [1] HARALICK R. Determining camera parameters from the perspective projection of a rectangle [J]. *Pattern Recognition*, 1989, 22(6): 225-230.
- [2] PENNA M A. Detecting camera parameters from the perspective projection of a quadrilateral [J]. *Pattern Recognition*, 1991, 24(6): 533-541.
- [3] ZHANG ZH Y. A flexible new technique for camera calibration [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [4] WANG L L, TSAI W H. Camera calibration by vanishing lines for 3D computer vision [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(4): 370-376.
- [5] 吴国栋, 韩冰, 何煦. 精密测角法的线阵 CCD 相机几何参数实验室标定方法 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(10): 1628-1731.
WU G D, HAN B, HE X. Calibration of geometric parameters of line-array CCD camera based on exact measuring angle in lab [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10): 1628-1631. (in Chinese)
- [6] 吴国栋, 宋丹. 测绘相机坐标系与立方镜转换矩阵的标定 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(11): 1727-1730.
WU G D, SONG D. Calibration of mapping camera and cubic prism coordinate system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(11): 1727-1730. (in Chinese)
- [7] 夏奇, 周明才, 汪宏昇, 等. 高精度自动贴片机视觉对准系统及其图像处理 [J]. *光学技术*, 2004, 30(2): 146-147.
XIA Q, ZHOU M C, WANG H SH, et al.. Vision alignment system in automatic high precision chip mounter and its image processing [J]. *Optical Technique*, 2004, 30(2): 146-147. (in Chinese)
- [8] ZHONG Y N, LÜ Q H, YANG L G, et al.. A sub-pixel edge detection algorithm for the high precision automatic alignment system [J]. *SPIE*, 2006, 6280: 62802T-1-62802T-6.

作者简介:



刘文超(1973—),男,湖北仙桃人,博士研究生,副教授,主要从事精密测量与精密仪器等方面的研究工作。E-mail: wenchao_liuhg@163.com 或 wenchao_liu@mail.hbut.edu.cn



王选择(1971—),男,湖北天门人,教授,博士,研究方向为精密测量及仪器。E-mail: wangxz@mail.hbut.edu.cn



钟毓宁(1965—),男,江西都昌人,教授,博士生导师,研究方向为可靠性与测试技术。E-mail: zhongyn@mail.hbut.edu.cn



导师简介:

谢铁邦(1944—),男,广东南海县人,教授,主要从事精密仪器、公差与标准化等方面的研究工作。E-mail: xietb@mail.hust.edu.cn

● 下期预告

基于多姿态变化相机的 CCD 焦面组件热设计

韩冬^{1,2}, 吴清文¹, 卢 镠¹, 陈立恒¹, 杨成禹³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 空间光学部, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022)

为了保证 CCD 器件处于较小的温度波动范围,针对具有多姿态变化特点的空间相机,进行了 CCD 焦面组件热控系统的设计。根据具有不同温度膨胀系数的材料遇热变形不同的原理,设计了该热控系统的关键部件—热开关。基于轨道分析计算所得到的地球阴影数据和太阳矢量方向变化的情况,考虑了相机本体的遮挡关系,并结合相机姿态变化的特点,提出了由热开关控制双辐射板散热的方案,对此热控系统进行了具体的热设计。利用 TMG 软件建立相机的热模型并进行了计算机仿真。结果显示:仅采用被动热控措施的 CCD 焦面组件温度波动 12.34 ℃,而同时采用主动、被动热控措施后减小为 1.73 ℃。满足热控指标的要求,热设计合理、有效。