

# 基于机器视觉的点胶系统的设计与研究

谢俊 朱广韬 王路路 吴荣荣

(江苏大学机械工程学院智能机器人研究所 镇江 212013)

**摘要:**传统的点胶设备通常是基于人工手动固定输入点胶位置及点胶路径来驱动点胶阀的半自动化设备,这样的设备不仅无法适应某些有一定尺寸公差的产品,而且生产效率也打不到理想水平。针对这种情况,该系统把视觉技术引入到点胶位置的测量过程中,设计了一种利用视觉技术抓取点胶位置的自动化点胶系统。基于 Visual C# 编程平台利用 eVision 图像处理软件对胶片的图像进行分析,利用图像预处理和形态学操作来实现点胶起始坐标的提取。实验表明:系统的点胶精度可达 0.014 mm,重复精度可以控制在 0.012 mm 以内,很大程度上解决了传统点胶技术稳定性差、点胶精度低的问题。

**关键词:**点胶系统;机器视觉;测量精度;系统标定

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

## Design and research of dispensing system based on machine vision

Xie Jun Zhu Guangtao Wang Lulu Wu Yongyong

(School of Mechanical Engineering, Research on Intelligent Robot, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** Conventional dispensing devices are typically semi-automation equipments, and the dispensing valve is driven by manually dispensing position and dispensing path, but the equipments are unable to adapt to some products which have certain dimensional tolerances, and the production efficiency can not reach the desired level. In order to compensate for the defects, the vision technology is applied to the measurement of dispensing position, and the automatic dispensing system which depends on the vision technology to obtain the dispensing position is designed. The program is edited by Visual C#, the images of the film are analyzed by eVision and the starting coordinate is obtained by Image preprocessing and morphological operation. Experimental results show that the dispensing accuracy of the system is up to 0.014 mm and the repeat accuracy is controlled within 0.012 mm, so the dispensing technology largely solves the problem of poor stability and low dispensing precision.

**Keywords:** dispensing systems; machine vision; measurement accuracy; system calibration

## 1 引言

点胶是微电子封装工序中非常重要的环节,被广泛用于机密机械、电子装置的条纹印制以及电子元件黏贴<sup>[1]</sup>。近年来,随着电子元件向微型化、高精度化方向发展,对点胶的精度、速度以及稳定性要求不断提高,需要对点胶的位置和流量有一个更精准的控制<sup>[2]</sup>。目前对点胶精度产生影响的主要因素有产品本身的尺寸公差、夹具的设计精度、点胶方式以及点胶的控制方式等。传统的点胶方式主要是通过人工固定输入点胶位置和点胶路径来完成点胶过程的,它的精度主要通过提高夹具的装夹精度来控制,不仅点胶精度低,生产效率亦处于低水平状态。针对这种情形,在点胶系统中我们引入了视觉测量技术。机器视觉以其检测精

度高、响应速度快、可连续工作等一系列优点,广泛应用于电子封装领域。该文研究的就是基于机器视觉的非接触式点胶系统,利用工业相机(CCD)代替人工视觉自动识别点胶位置,实现了高精度、高效率的自动化点胶。

## 2 点胶系统的建立

### 2.1 点胶系统的工作流程

机器视觉包含机器(机械、运动、控制)和视觉(硬件和软件)两部分。针对点胶的应用,主要由图像的采集与处理、点胶平台的运动与控制等部分构成<sup>[3]</sup>。主要流程为:把工件置于工作台,由夹具对其进行简单的固定,然后控制 CCD 移动到工作台固定的位置,对工件上的胶片进行拍照采集图像,每次采集完图像之后自动对图像进行处理拟合

出点胶区域的轮廓。最后,根据拟合出来的轮廓,提取点胶起始位置的坐标,并经由运动控制卡驱动胶头移动到正确的位置进行点胶加工,工作流程图如图1所示。

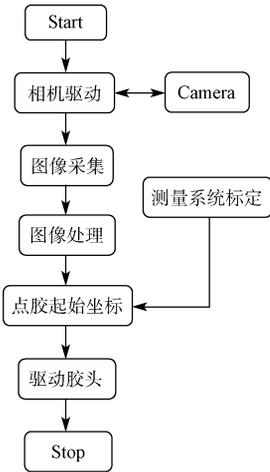


图1 点胶工作流程

### 2.2 测量系统的标定

在程序运行过程中经过图像处理、分析提取出来的点胶起始坐标是以图像坐标系为基准的像素坐标,无法直接用做驱动运动平台的物理坐标,必须要对视觉坐标系统进行一个标定<sup>[4]</sup>。把提取的像素坐标转换为运动平台可识别的物理坐标。对测量系统的标定主要需要完成以下几个方面。

1)相机的像素分辨率即一个像素代表的实际尺寸

取一把刻度定为10mm的卡尺将置于相机下方并采集一张图像<sup>[5]</sup>,对该图像运用eVision中的PointGauge功能对二值化后的图像进行处理得出10mm刻度的像素坐标差,再以此值计算出相机的像素分辨率。最左边与最右边抓取点的横坐标分别为145.5,845.5,那么10mm的实际长度对应着712个像素,即单位像素对应的实际长度约为0.014mm,如图2所示。

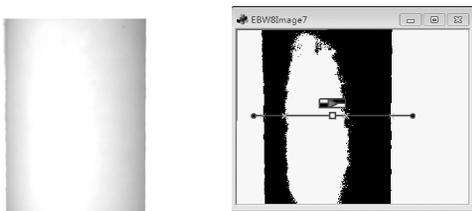


图2 相机分辨率标定

2)胶头与相机原点之间的位置关系

采用打点法来确定胶头与相机原点之间的位置关系。首先把胶头对准胶片上任意位置点下一滴胶,记录此时胶头在运动平台中的坐标 $(u_1, v_1)$ ,再将相机中心移动到此胶点,使其在图像上与相机原点相重合,记录此时的相机中心在运动平台中的坐标 $(u_2, v_2)$ 。由此可得出相机中心和

胶头的位置关系,如式(1)所示:

$$\begin{cases} u_x = u_2 - u_1 \\ v_y = v_2 - v_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $u_x, v_y$ 分别是胶头和相机中心在运动平台坐标系中X,Y方向上的偏移量。

3)运动平台的物理坐标系和图像坐标系之间的关系

如图3所示,由运动平台坐标系与像素图像坐标系之间的变换关系,可得捕捉点在运动平台坐标系中的物理坐标 $(X_m, Y_m)$ ,它们的关系如式(2)所示:

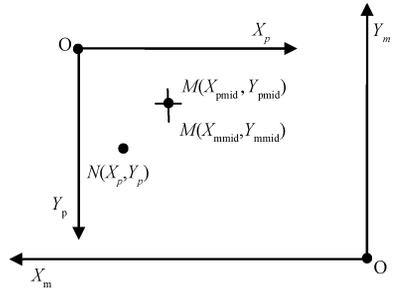


图3 运动平台的物理坐标系和图像坐标系之间的关系

$$\begin{cases} X_m = X_{mmid} - (X_p - X_{pmid}) \cdot ratio \\ Y_m = Y_{mmid} + (Y_p - Y_{pmid}) \cdot ratio \end{cases} \quad (2)$$

式中: $X_pOY_p, X_mOY_m$ 分别是图像坐标系和运动平台坐标系; $(X_{pmid}, Y_{pmid}), (X_{mmid}, Y_{mmid})$ 分别是相机原点M在图像坐标系和运动平台坐标系中的坐标; $(X_p, Y_p)$ 是相机抓取点的图像坐标; $ratio$ 是像素分辨率。

### 2.3 图像处理的算法

由于CCD采集的图像上存在少量噪声影响图像的后续处理,所以在得到的灰度图像上需要对其进行图像增强处理。图像增强<sup>[6]</sup>的方法主要分为两类:基于空间域和基于频率域的增强方法,其中频率域的增强法中的低通滤波法可以很好的减少图像中的噪声,避免噪声影响图像的处理。在后续的图像处理过程中因轮廓过渡的问题也会带来一定的抓取误差,所以需要增强之后的图像进行进一步的二值化<sup>[7-9]</sup>处理。通过对灰度图像阈值的调节获得轮廓度对比更加鲜明的二值图像,以此来调高图像处理的效率,增加系统的识别能力。由于二值化处理后的图像还不能完全排除一些细小区域对图像抓取的干扰,此时可以采用形态学<sup>[10]</sup>的处理方法。采用一定的结构单元对二值图像进行腐蚀操作剔除一些区域较小的部分,然后再通过膨胀操作恢复到原来识别区域的大小。这样就在不减少识别区域的同时剔除干扰轮廓拟合的微小区域,得到一个比较精确的坐标值。图像处理的算法流程,如图4所示。

### 2.4 误差分析

视觉测量系统的误差主要来源于由以下3个方面:

- 1)因相机镜头畸变产生的光学误差
- 因为相机摄像的光学系统无法遵循理想化的小孔成像

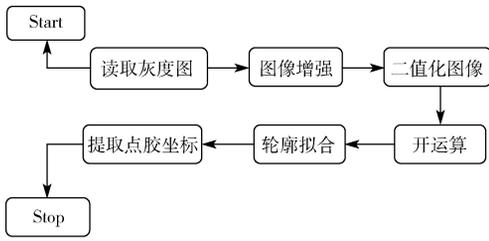


图 4 图像处理算法流程

原理,所以一直存在着透镜畸<sup>[11-13]</sup>,实际成像与理想成像之间存在有光学畸变误差,在离图像中心较远的边缘处会有相对较大的畸变引起了所测像点坐标的误差,如图 5 所示。

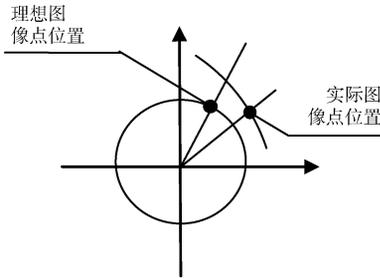


图 5 镜头畸变误差

在镜头畸变下图像点的理论坐标与实际坐标之间有如下式关系:

$$\begin{cases} X_u = X_d + \delta_x(X_d, Y_d) \\ Y_u = Y_d + \delta_y(X_d, Y_d) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $(X_u, Y_u)$  为像点的理论坐标;  $(X_d, Y_d)$  为像点的实际坐标;  $\delta_x, \delta_y$  是畸变修正系数,它与实际图像点的坐标有关。

2) 相机与点胶加工平台之间的垂直度误差

由于在相机的安装过程中,相机与点胶加工平台不能保持绝对的垂直<sup>[14]</sup>,所以点胶平台的物理坐标系与图像坐标系之间不能保持平行,它们之间存在一个角度的偏差。这个角度会对点胶精度产生影响,所以需要对其进行计算并加以补偿。偏差角度可以通过以下方法来计算:首先在加工平台上打一滴胶,然后移动相机使此胶滴出现在相机的视野范围内采集一次图像,然后继续沿 X 轴移动相机当此胶滴快要移出相机的视野范围时再采集一次图像。分别

记录 2 张图像中胶滴的像素坐标为  $(X_1, Y_1)$  和  $(X_2, Y_2)$ ,那么偏差角度  $\theta$  便可以由下式来计算:

$$\tan\theta = (Y_2 - Y_1)/(X_2 - X_1) \quad (4)$$

把这个角度考虑在内计算计算实际的偏移量如下式所示:

$$\begin{cases} Dx = dx\cos\theta + dysin\theta \\ Dy = dy\cos\theta - dxsin\theta \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $Dx, Dy$  是实际 X, Y 轴方向上的偏差;  $dx, dy$  是理想 X, Y 轴方向上的偏差。

3) 图像采集处理过程中的重复性误差

重复性误差是由图像处理的算法以及整个机台的稳定性引起的,这个误差可以通过优化图像处理算法,优化机台的稳定性并不断地进行试验来减少。

3 点胶系统的实现

视觉点胶系统的点胶对象类似方形凸台的胶片的两侧,如图 6 所示。

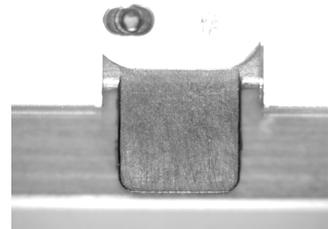


图 6 胶片的点胶区域

具体的操作过程如下:首先采集图像分析图像,通过抓取拟合出来的两条直线的交点来确定点胶区域的起始点,进而驱动胶头运动到此位置按一定的轨迹进行点胶。

3.1 点胶系统的选型

基于视觉的点胶系统主要是通过工业相机采集胶片的图像,运用 eVision 和 Visual C# 混合编程开发的专用测量函数对图像进行分析处理得出测得的图像坐标,并通过标定模块将像素坐标转换为平台可识别的物理坐标。系统主要由图像采集、测得图像的分析与处理、测量系统标定组成。其中图像采集模块主要包括工业相机、工业镜头、条形光、同轴光等;图像分析处理模块以及测量系统标定模块主要是由 eVision 和 Visual C# 混合开发编程的软件组成,包括图像的采集、图像的处理、相机的标定以及测量结果显示等等。系统的具体选型如表 1 所示。

表 1 点胶系统的选型

序号	名称	型号	性能指标	数量
1	工业相机	FL3-GE-13S2M-C	分辨率 1288×964; (3.5×3.5)μm	1
2	工业镜头	M3514-MP2	焦距 35 mm;相面尺寸 2/3 in	1
3	接圈	Vanch-PET5.0	5 mm 的接圈	1
4	条形光	VL70D-W	颜色:白;亮度可调	1
5	同轴光	VanchVC50-W	颜色:白;亮度可调	1
6	光源控制器	VP-24S	100~240 V 的输入电压;24 V 输出	2
7	机器视觉软件	eVision6.7	视觉测量系统的核心算法函数	1
8	系统开发环境	Visual C#	视觉测量系统的集成开发与界面设计	1

3.2 算法的研究与试验

系统的开发平台为 Visual C#, 再结合 eVision 图像处理算法实现程序的编程, 首先通过合理的布置条形光与同轴光光源, 使胶片的反射亮度远远强于背景, 便于获得对比度良好的图像, 然后再对图像进行滤波处理得到一个增强后去噪图像, 如图 7(a)所示。由于胶片区域较之于背景较亮, 可以通过通过二值化处理得到一个目标区域鲜明的分割后的图像, 图像分割的阈值调整为 210, 以白色显示胶片轮廓的边缘, 以黑色显示一些无关的背景, 如图 7(b)所示。为了提高抓取结果更加准确性, 需要对二值化后的图像不断进行腐蚀操作去除一些影响抓取的小块区域, 当这些细微小块区域被腐蚀之后再对图像进行膨胀操作将图像恢复完整, 如图 7(c)所示。对处理后的图像就需要通过 LineGauge 功能函数对其进行图像边缘的抓取拟合出三条直线, 如图 7(d)所示, 同时这三条拟合直线的中心点与偏斜角度亦可得出, 如表 2 所示。

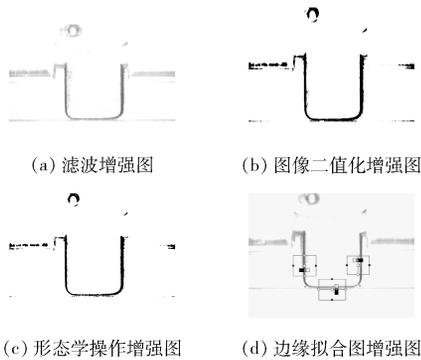


图 7 图像处理拟合图

表 2 拟合直线的参数

Line	CenterX/pixel	CenterY/pixel	Angle/(°)
Left	446.26	545.34	89.231
Right	864.14	532.56	-90.161
Down	598.13	724.81	0.124

3.3 重复性试验

通过 3 条直线的中心点与偏斜角度可以求出这 3 条直线的数学方程  $y = ax + b$ ; 然后通过数学方法求出这三条直线的左右两个交点, 即为胶片两侧点胶位置的两个起始坐标  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_2, Y_2)$ 。经过多次重复测量对其进行重复性试验如表 3 所示。

在进行多次重复测量数据之后, 按下式计算重复性标准差<sup>[15]</sup>。

$$\begin{cases} \bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \\ s(\bar{p}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 / n} \\ u(p) = s(\bar{p}) \end{cases} \quad (6)$$

表 3 起始坐标重复性试验 (单位: pixel)

	$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$
1	437.23	756.21	861.32	750.36
2	438.34	756.78	862.44	751.65
3	437.57	756.54	861.09	751.54
4	438.55	755.32	862.54	749.32
5	439.06	755.77	863.24	750.11
6	438.98	754.33	861.56	749.37
7	438.21	755.22	862.86	749.23
8	439.11	754.11	862.10	749.76
9	437.13	754.15	863.21	750.17
10	438.89	755.55	862.37	751.58

式中: 单位, pixel;  $p_i$  为第  $i$  次测量的数据;  $u(p)$  为重复性误差。

$$u(p)_{x1} = 0.72 \text{ pixel} = 0.011 \text{ mm}$$

$$u(p)_{y1} = 0.81 \text{ pixel} = 0.012 \text{ mm}$$

$$u(p)_{x2} = 0.77 \text{ pixel} = 0.010 \text{ mm}$$

$$u(p)_{y2} = 0.88 \text{ pixel} = 0.012 \text{ mm}$$

由以上结果可得出本系统的重复性精度可达到 0.012 mm。

4 结 论

本文研究了视觉点胶系统的设计与实现, 利用 CCD 相机对胶片进行实时采集图像, 并采用图像增强、图像分割、图像开运算等一系列预处理和形态学操作, 再运用视觉开发软件 eVision 中的 LineGauge 操作对其进行轮廓的抓取与拟合, 从而提取出所需要的点胶起始位置。同时也对系统的误差以及重复性进行了试验分析, 很大程度上解决了传统点胶方式重复性差、点胶精度低的问题。实验结果表明, 该点胶系统的点胶精度可精确到 0.014 mm, 在满足可靠性的同时也很好的满足了工业点胶机的计量测定要。

参考文献

- [1] 张胜奎. 智能点胶机关键技术研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [2] 洪彬, 王红美, 曹建军, 等. 定量点胶技术的研究进展[J]. 微型机与应用, 2009, 28(16): 1-2, 6.
- [3] 程方, 张曦, 张金松. 基于机器视觉的点胶机定位系统[J]. 机械设计与制造, 2013(3): 101-104.
- [4] 付生鹏, 赵吉宾, 夏仁波, 等. 基于平面镜的相机-显示器快速标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(12): 2770-2775.
- [5] 邓辉, 谢俊, 孟广月, 等. 基于机器视觉的重复定位精度测量技术[J]. 电子测量技术, 2014, 37(12): 45-48.
- [6] 刘红新. 基于图割理论的立体匹配算法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.

(下转第 88 页)