

# TO 焦距测试与自动激光焊接系统<sup>①</sup>

刘欢<sup>1</sup>, 罗勇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(武汉邮电科学研究院, 武汉 430074)

<sup>2</sup>(武汉光迅科技股份有限公司, 武汉 430025)

**摘要:** 在分析 BOSA 器件结构的基础上,提出一种基于图像分析的 TO 焦距测试与自动激光焊接方案. TO 由气缸驱动从初始点向上单步移动, 通过图像系统采集光斑图像, 并基于 OpenCV 分析, 通过比较分析结果, 得到期望的 TO 位置. 移动 TO 使焦点落在插芯与圆方管体的贴合面, 并在此处进行激光焊接. 实验表明, 该系统具有良好的准确性和实用性.

**关键词:** BOSA; 机器视觉; 激光焊接; OpenCV

## TO Focal Length Test and Automatic Laser Welding System

LIU Huan<sup>1</sup>, LUO Yong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Wuhan Research Institute of Post and Telecommunication, Wuhan 430074, China)

<sup>2</sup>(Accelink Technologies Co., Ltd, Wuhan 430025, China)

**Abstract:** An image analysis based TO focal length test and automatic laser welding method is proposed through BOSA device structure analysis. TO moves every single step up from an initial point driven by a stepper motor. An image acquisition system is utilized to collect spots images of TO focal point. The optimal position of TO focal point, which is located on the bonding surface of mortise and round square tube, is obtained through OpenCV based image analysis methodology. TO is then fixed by laser welding. Experiment results show that the system has high accuracy and good practicality.

**Key words:** BOSA; robot vision; laser welding; OpenCV

## 1 引言

目前光收发一体模块广泛采用 BOSA 结构的器件, BOSA 是一个单纤双向器件, 由激光器 TO, 带 WDM 滤光片的封焊套筒, 圆方管体及插针组件装配而成.

在 BOSA 制造过程中, 一般采取的是人工两次耦合焊接的方法. 首先是 TO 与圆方管体的耦合, 通过 XYZ 轴移动 TO 的位置测量得到光功率最大的点就是最佳的耦合点, 之后在最佳耦合点进行激光焊接得到耦合半成品. 然后再通过夹具将它移至另一个工位, 利用同样测量光功率的方法将半成品与插芯进行第二次耦合, 并在此耦合点激光焊接<sup>[1]</sup>.

但由于 TO 在制作过程中, 由于材料公差或装配误差, 导致 TO 的激光器汇聚焦点不在同一位置, 在后续与插芯的耦合时, 由于焊接质量的要求, 插芯必须

与圆方管体贴合, 如果不调整插芯在 Z 轴的位置, 又不能保证耦合效率最大. 因此筛选 TO 的焦距跟不同的插芯进行配套焊接是一种解决办法, 但这种方法需要准备不同物料, 给生产带来不方便. 本文提出了一种对 TO 焦距进行测量, 固定焦点位置, 调节 TO 的位置的方法, 实现的焦点测试与激光焊接自动化操作, 大大提高了这种器件的生产效率.

## 2 实现原理

由激光器 TO 发的光, 经过透镜, 隔离器汇聚后通过一个 45 度角的 WDM 滤光片, 滤光片的作用为正向全透, 逆向全反. 汇聚的光会形成在焦平面一个焦点, 焦平面处也是光功率最大值处<sup>[2]</sup>. 如图 1, 通过气缸驱动 TO 沿 Z 轴移动, 控制 TO 和圆方管体底部的间距 d,

① 收稿时间:2015-06-23;收到修改稿时间:2015-08-31

使  $Z$  和  $Z_0$  之间的距离  $d$  等于该  $TO$  的焦距, 此时  $TO$  的焦平面落在插针的进光面, 也就是插针与圆方管体的贴合面, 在此插针进光面得到最大光功率, 确定  $TO$  的激光焊接点。

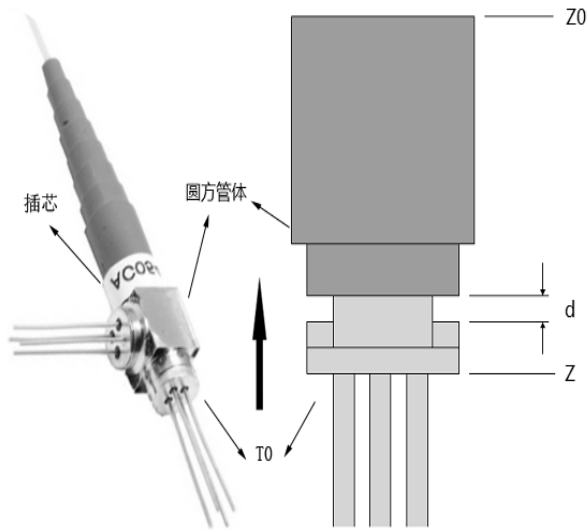


图 1 BOSA 结构原理图

实验中利用气缸控制  $TO$  从初始位置自下而上以  $5\mu\text{m}$  的步距单步运动, 初始位置的确定可以由产线上耦合好的产品测量  $d$  的平均值来获得。运动中在每个单步位置利用 CCD 相机拍照, 可以得出, 图像中从无光斑到光斑越来越明显, 再慢慢消失, 采集到光斑图片的光斑能量分布如图 2 所示<sup>[3]</sup>, 其中  $XY$  轴为光斑在图像中的坐标,  $Z$  轴为光斑的亮度值。

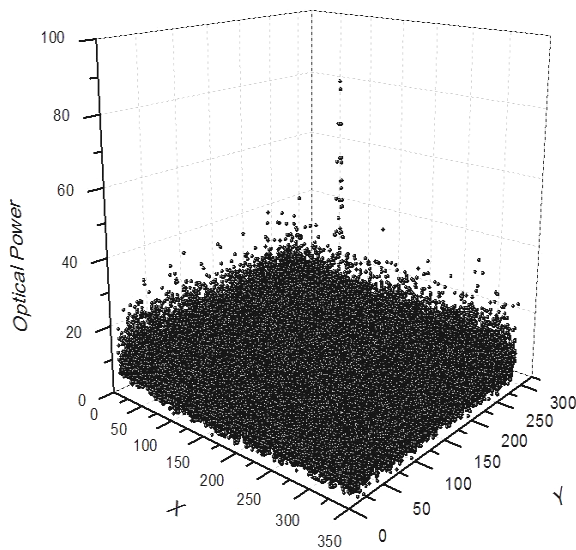


图 2 光斑能量分布图

### 3 系统简介

整个系统分为 4 部分: 激光焊接系统、运动控制系统、图像采集系统和软件系统, 主要结构如图 3 所示。  $TO$  和其他器件在中心, 呈垂直方向放置, 图像采集系统安装在  $TO$  的正上方采集光斑图像,  $TO$  和圆方管体都有一组气缸控制其上下运动, 且  $TO$  在水平面上的初始位置的调整也由气缸完成, 激光焊接系统在  $TO$  的外围, 通过调节机构, 激光焊接系统中的三个焊枪对准  $TO$  和圆方管体的焊接面。软件系统主要完成指令发送、图像分析和人机交互的功能。

#### 3.1 激光焊接系统

激光焊接是利用高能量密度的激光束作为热源的一种高效精密焊接方法, 在  $TO$  与套筒的焊接, 管体与插针的焊接中都用到激光焊接。激光焊接适用于铝合金, 不锈钢的焊接, 作为标准的焊接设备使用, 不锈钢的焊接深度最大可以达到  $1.5\text{mm}$ 。如图 3, 实验系统中采用联赢激光焊机, 三组激光焊枪围绕  $TO$  呈  $120$  度分布, 当  $TO$  焦距位置找到后, 激光焊接机接收到软件发出的指令开始自动焊接。

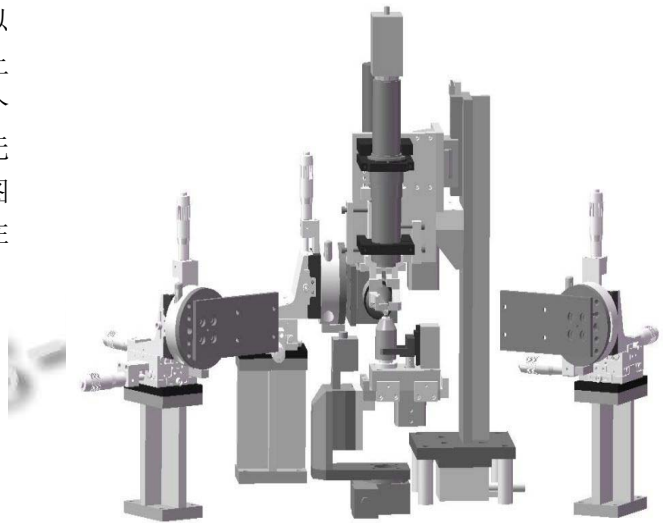


图 3 焦距测试与自动焊接系统结构图

#### 3.2 运动控制系统

单轴的上下运动是采用气缸驱动方式。气缸驱动适合于作往复直线运动, 尤其适合于工件直线搬运的场合, 精度很高。而随着技术的发展, 步进电机能够达到的精度也越来越高, 现在的产品能达到  $50\text{nm}$  级, 特别适合于光器件的生产工艺, 但是价格比较高。

本系统选用 SMC 的气缸, 首先利用气缸驱动  $TO$

回初始位置,然后从初始位置以单步 5um 的步距向上运动到最高点,最后通过图像分析的结果移动到焦点位置进行激光焊接.

### 3.3 图像采集系统

在实验中的图像采集是通过图像采集卡的方式完成的.该系统还包括 CCD 相机,光源等,CCD 相机采用 30 万像素的 1/3" SONY EFFIO,700TVL,0.001LUX,由于 BOSA 器件为圆柱型,同样采用环形 LED 灯可以达到不错的光照效果.图像采集卡采用 ADlink 的 PCI-RTV24,它提供 4 个可即时摄取的通道,摄取速度最高达 30fps,产生主流的色彩格式和图片格式,并提供 SDK 以协助软件开发.

### 3.4 软件系统

整体软件系统基于 LabVIEW 开发,LabVIEW 在测试测量,控制仿真等方面十分突出.在 VS2010 平台上基于 OpenCV 将图像分析模块封装成动态链接库 dll,供 LabVIEW 调用,且圆方管体的位置 Z 与 TO 的位置 Z0 可以在软件中用配置文件进行设置.软件界面如图 4.

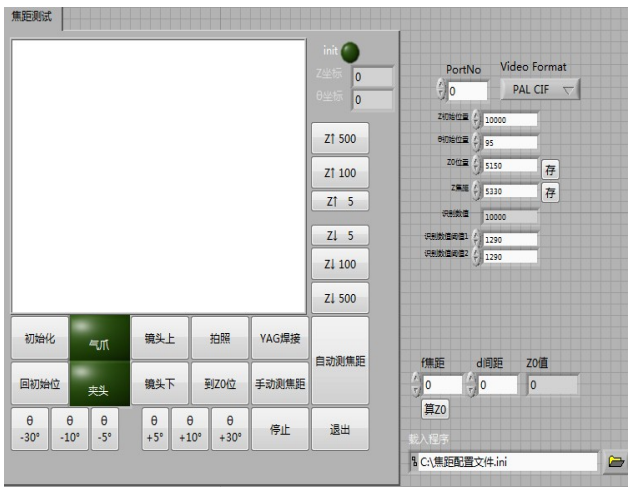


图 4 软件系统界面

## 4 图像分析

常规分析光斑一般采用轮廓直径法<sup>[4]</sup>.但从图 2 可以看出,光斑能量分布相对于图片背景非常小,并且在人眼实际观察分析光斑组图时,在接近焦点位置,光斑直径无明显变化,采取图像分析直径的方法并不适用.

于是我们可以考虑采取以下两种分析方法:

- 第一种: 数光斑亮点数的方法
- 第二种: 测光斑最大亮度值的方法

在实验中,我们采用基于 OpenCV 的图像处理.OpenCV 是一个开放源代码的图像和视频分析库,它提供的图像处理和视觉算法非常丰富,已经应用到很多领域.本实验是基于 VS2010 及 OpenCV 2.4.9 环境下完成的图像分析.

### 4.1 数光斑亮点数的方法

在越接近焦点的位置,采集到图片上高亮点的数量越多,根据这点,采用数光斑亮点数的方法,具体流程图如图 5 所示.



图 5 方法 1 算法流程图

1. 首先 CCD 采集光斑,OpenCV 载入图片到图像的帧序列.
2. 灰度化

为了分析光斑亮度值,我们需要对 RGB 彩色图片进行灰度化处理.灰度化在 OpenCV 里是一种颜色空间的转化,在 RGB 模型中,如果 R=G=B,则彩色表现处一种灰度颜色,范围为 0-255,一般采用平均值法对彩色图像进行灰度化.

$$f(i, j) = (R(i, j) + G(i, j) + B(i, j)) / 3$$

平均值法也是最简单的灰度方法.

3. 阈值分割

对灰度图进行分析,由于光斑的亮度比外界噪声亮度大,采用阈值分割低于阈值亮度的噪声变为灰度 0,高于阈值的变为灰度 255,以此显示出光斑形状.

光斑阈值分割方法有很多种<sup>[5,7]</sup>,常采用的方法有自适应阈值法如 OTSU(大津阈值法)和全局阈值法.自适应阈值法根据背景和目标之间的类间方差来自适应选择阈值,具有对环境鲁棒性.全局阈值法通过经验值或者实际情况手动设置一定的阈值,只保留阈值以上的光点.全局阈值处理算法简单,结果很大程度上依赖人对阈值的选择.

由于图片噪声较多,实验中光斑很小,采用自适应阈值处理光斑图后显示为全黑图像,不适合,并且由于对于每个 TO 设置同一个阈值得到的结果才方便比较,所以采取全局阈值法.通过分析一组 TO 的光斑能量分布图(如图 2),采用 g0=50 作为初始全局阈值,通过遍历图片每个像素点,计算图像的平均亮度值 f0=9.

对于每次 T0 测试:

$$g = g_0 + (f - f_0)$$

即选取  $g$  为该 T0 的全局阈值.

#### 4. 读取阈值分割后亮点个数.

通过分析从初始—焦面—终止以 5um 一步走 20 步的运动过程中, 重复四次采集到四组图片, 其中每个点图片采 5 张, 分析结果取平均值, 得到图 6 数据, 其中横坐标为照片编号, 纵坐标为亮点数.

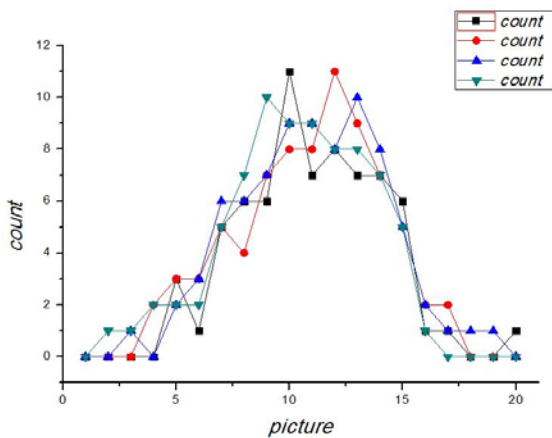


图 6 亮点个数统计图

可以看出, 最多点数与最少点数之差仅仅为 11 个像素点. 仔细观察光源斑图片, 由于外界环境因素的影响, 图片中存在着大量的噪声白点, 对统计点数影响较大, 这种方法得到的像素点不足以完全滤掉环境因素的影响. 且由于用于分割的阈值为经验选取, 对结果的判别也会造成影响. 根据人眼实际分析, 这四组图的焦平面位置都在图 12 处, 器件对焦点的敏感范围在  $\pm 5\text{um}$  之间, 第二、三、四组数据能得到正确的焦平面, 正确率 75%.

#### 4.2 测光斑最大亮度值的方法

越接近焦点的位置, 激光光斑的最大亮度值越大, 根据这点, 采用测光斑最大亮度值的方法, 具体的算法流程图如图 7.

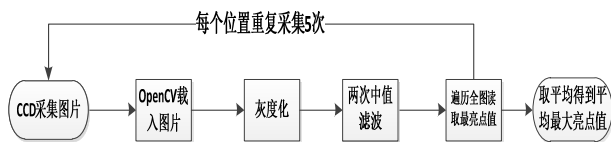


图 7 方法 2 算法流程图

1. 首先相机采集光斑, OpenCV 载入图片到图像的帧序列, 并灰度化

## 2. 滤波

常见的滤波方式有几种: 高斯滤波, 中值滤波, 均值滤波, 双边滤波, 本文采用中值滤波.

中值滤波是一种非线性平滑技术, 在概率论中, 中值将概率分布的高半部分与低半部分分开. 它将每一个像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内所有点灰度值的中值. 由于基于平均算法的均值滤波对噪声图像特别是有大的孤立点(有时候称为“镜头噪声”)的图像特别敏感, 即使有极少数点存在较大差异也会导致平均值有较大的波动, 因此中值滤波可以选择中间值而避免这类影响.

$$g(x, y) = med\{f(x - k, y - l)\}$$

其中,  $f(x, y)$   $g(x, y)$  分别为原始图像和处理后图像.  $k$  和  $l$  为二维模板系数, 通常为  $3*3, 5*5$  的区域.

基于实际工作条件下的噪声环境, 由于中值滤波能够相当好地消除冲击噪声. 从图 2 光斑能量分布图可以看出, 光斑的能量相比周围环境噪声能量, 高出了 9 到 10 倍. 从实验中选用中值滤波, 可以滤掉环境中偶然的突发高亮度散光, 并且保存了光斑亮度的能量分布, 实验中, 一次中值滤波后灰度降低约 25, 最亮点与周围有 10 个灰度值的区分度. 二次中值滤波灰度降低约 35, 最亮点与周围有 8 个灰度值的区分度. 继续进行滤波会导致灰度越来越低, 最亮点的区分度越来越差. 经过实验结果得出, 采用二次中值滤波能在保存光斑有用信息的基础上滤除冲击噪声, 达到比较好的去噪和图像分析效果.

#### 3. 遍历图片每个像素点的亮度, 找到最大亮度值.

如图 8, 其中横坐标为照片编号, 纵坐标为最大亮度.

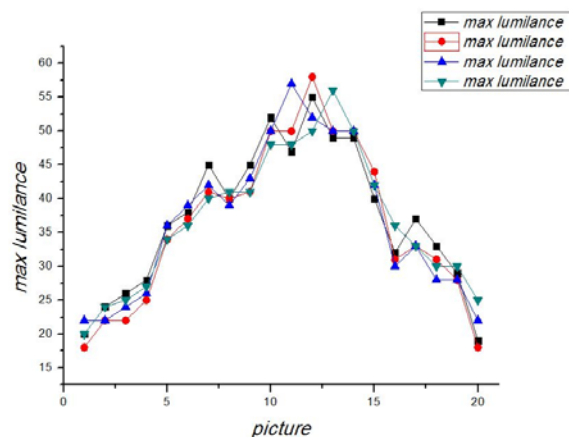


图 8 最大亮度统计图

可以看出,采用此方法可以一定程度上减少外界噪声对图像分析的影响,根据这次分析可以得出实验结果在预测的容差范围内。

## 5 实验结果与分析

利用以上两种分析方法分别对 20 个器件拍照分析,得出结果如图 9,其中横坐标为器件编号,纵坐标为分析正确率。

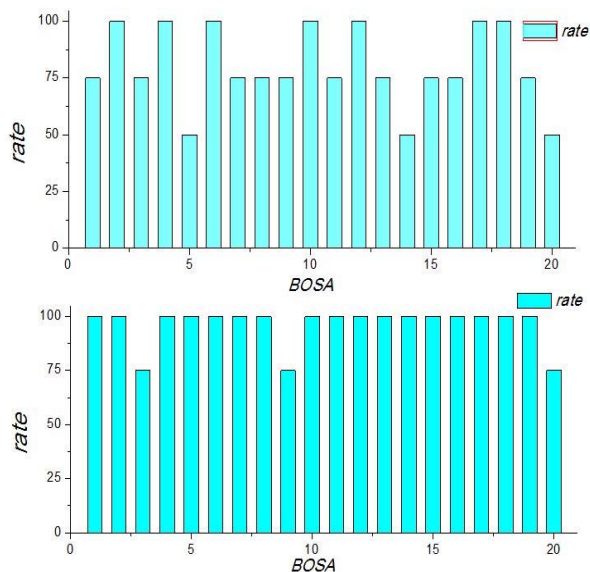


图9 方法1和2正确率对比图

可以计算出,方法1的识别准确率约为80%,方法2的识别准确率约为96.25%,满足生产需求,故采用找光斑最亮值的方法进行焦平面的测试。

## 6 结论

在实验和生产试验过程中,采用光斑识别测焦距

的方法,将原来约3分钟的耦合时间缩短到28秒,大大提高了生产效率,对以后的机器视觉在工业自动化生产提供参考<sup>[6]</sup>。由于OpenCV是一个很高效的库,图像处理十分便捷。

由于采用的是普通的CCD相机,实验中采集到的激光光斑非常小不利于图像的分析,后期改进可以考虑引入红外CCD相机捕捉激光光斑,提高识别的精度<sup>[8]</sup>。

### 参考文献

- 1 王一可,杜文涛,等.平面光波导自动耦合控制系统的实现及测试.光电工程,2014,41(10):68-74.
- 2 李维杰,刘成刚,徐春红,等.10G-EPON 光电器件的研制.光通信研究,2010,5(10):37-39.
- 3 Gray B, Adrian K.学习 OpenCV(中文版).刘瑞祯,于仕琪,译.北京:清华大学出版社,2009.
- 4 马新民,赵晓莉,时雷,等.基于 OpenCV 的图像处理系统的设计与实现.河南农业大学学报,2014(1):87-90.
- 5 韩亚荣,黄朝兵,等.一种基于图像的阈值分割和光斑中心坐标的计算方法.现代计算机,2011(22):13-16.
- 6 Sonka M, Hlavac V, Boyle R.图像处理、分析与机器视觉.艾海舟,苏延超,译.北京:清华大学出版社,2011.
- 7 Otsu. A threshold selection method from gray 2 level histogram. IEEE Trans on SMC-9, 1979: 62-66.
- 8 米本和也.CCD/CMOS 图像传感器基础及应用.北京:科学出版社,2006.
- 9 崔鹏.基于视频去噪算法移动机器人视觉定位研究.现代电子技术,2012,35(20):111-113.
- 10 Gonzalez RC, Woods RE. Digital Image Processing.阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2011.