

# 柔性生产线上双目视觉定位技术

熊晓松<sup>1</sup>, 段伟<sup>2</sup>, 周丽红<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 武汉科技大学城市学院; <sup>2</sup> 武汉科技大学

**摘要:** 在柔性生产制造过程中应用机器视觉对工作区零件进行位置定位, 零件高度会导致定位产生较大的绝对误差。提出双目视觉定位误差修正技术, 利用一个视觉对工作区的图像进行采集和处理, 甄别出零件的粗定位坐标, 利用另一个视觉对零件的高度进行检测; 根据检测的高度对零件坐标纠偏。通过实验验证了设计的实用性, 双目视觉坐标修正方法简单可行, 精度较高。

**关键词:** 双目视觉; 图像处理; 误差分析; 定位

中图分类号: TP242; TH65

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2021.11.023

## Binocular Visual Positioning Technology in Flexible Manufacture Line

Xiong Xiaosong, Duan Wei, Zhou Lihong

**Abstract:** The machine vision can detect the position of parts in the flexible manufacturing process, and the part height can lead to large absolute error in position. The technology of the binocular vision to correct position error is used, one camera collects and processes the images and then identifies the rough positioning coordinates of the parts, and the other camera detects the height of the parts and rectifies the coordinates according to the height of the target. The results of the experiment show that the method of binocular vision has high practicability, and the method of binocular vision coordinate correction is simple and accurate.

**Keywords:** binocular vision; image processing; error analysis; position

## 1 引言

为满足市场需求, 柔性生产需要在一个生产区完成多品种、小批量的零件生产, 因此越来越多的

操作要由机器人完成。在生产加工过程中, 机器人需要获知零件在工作区内较为精确的位置坐标, 以便机器手臂准确地抓取零件, 所以实时获得较为精确的零件中心位置是机器视觉研究的一项重要工作。视觉传感器利用光学元件和成像装置获取外部环境图像信息, 图像信息经过分析处理既可用于检验、计量、测量等, 也可广泛应用于在机器人引导、工业

基金项目: 湖北省自然科学基金(2019CFB82); 院级教研项目(2019CYYBJY015)

收稿日期: 2021年3月

了位移测量的功能、测量系统非线性误差的检测与分析的功能。该系统的成功搭建可为后续调节光路进行非线性误差的补偿提供基础与依据。

## 参考文献

- [1] Liu T, Liu Z, Zhang G Y, et al. A laser interferometric sub-nano-scale micro-displacement measurement system based on variable phase retardation[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(2): 377-382.
- [2] 段小艳, 任冬梅. 激光干涉法微位移测量技术综述[J]. 计测技术, 2012, 32(6): 1-5, 13.
- [3] Wang C Q, Huang Q X, Ding X M, et al. Compensation method for polarization mixing in the homodyne interferometer[J]. Applied Sciences Basel, 2020, 10(17): 6060.
- [4] 蔡学超. 基于 LabVIEW 的单频激光测量系统误差补偿技术的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.

[5] 武万多. 二维多自由度激光测量系统研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.

[6] Heydemann P L. Determination and correction of quadrature fringe measurement errors in interferometers[J]. Applied Optics, 1981, 20(19): 3382-3384.

[7] 王超群, 黄强先, 伍婷婷, 等. PBS 对零差激光干涉仪非线性误差的影响[J]. 光学精密工程, 2016, 24(10): 190-196.

第一作者: 丁雪萌, 硕士研究生, 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 230009 合肥市

First Author: Ding Xuemeng, Postgraduate, School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

通信作者: 黄强先, 教授, 合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 230009 合肥市

Corresponding Author: Huang Qiangxian, Professor, School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

生产现场等自动化生产领域<sup>[1-5]</sup>。在柔性生产线上,随着加工产品种类、形状、尺寸的多样化,视觉技术发挥着重要的检测作用。

## 2 视觉系统

具有视觉的机器人控制系统主要由图像视觉输入设备、光源、上位机、下位机、机器人本体等组成(见图1)。

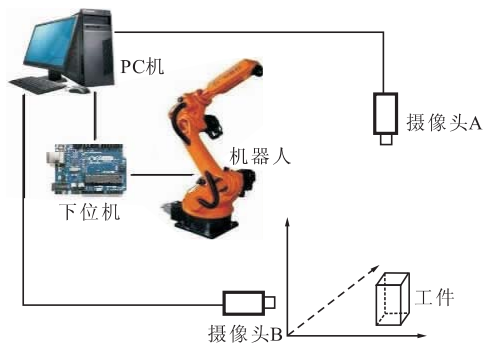


图1 具有视觉的机器人控制系统

模拟人眼的部件为图像视觉输入设备,例如摄像头。根据所使用摄像头设备数目的不同,机器人视觉系统可分为单目、双目以及多目视觉系统。单目视觉大多将摄像头A安装在工作区平面正中央上方,其轴心垂直于工作平面。

选择工作区环境和光源时需把工件和背景区分开来,同时减弱非工件区域或噪声的干扰,确保光源本身不会带来额外的干扰。在图2所示的视觉系统实验中,工件与背景色彩分量值存在明显差异。



图2 视觉系统采集的工作区零件图像

上位机控制端使用高性能PC机,上位机与摄像头相连,处理摄像头采集的图像,主要完成图像的二值化、去噪、轮廓提取以及零件中心点的生成等。下位机用来控制机器人手臂完成工件的操作。

## 3 图像采集与处理

视觉系统开发软件可以完成图像采集抓取、边缘检测、颗粒分析、几何与模式匹配等功能。

### (1) 图像采集

对零件进行识别需先用摄像头拍摄工作区内的零件,通过USB传输通道接口将图像传输到上位机PC中去。

### (2) 图像处理

图像处理与分析主要包括图像预处理、特征提取和基于这些特征的识别。特征提取是指对图像的像素进行处理,并从这些像素以及像素集合提取一组度量,这些度量可以表示这张图像或其某些组成的特点。特征识别是根据已知物体的度量对未知物体进行分类。

图像处理部分主要实现了图像的灰度化和二值化、提取图像轮廓、生成中心点的等功能。实现了图像的二值化后,就可以对图像进行检测边缘、提取轮廓以及提取图像轮廓中心点等分析运算(见图3)。

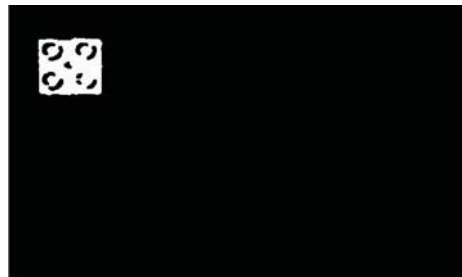


图3 经过二值化、去噪、腐蚀处理的工件图像

## 4 确定零件坐标

### 4.1 零件粗定位

图像由像素点组成,像素坐标是像素点在图像中的位置。像素坐标系的原点位于图像左上角,横向方向坐标轴为X轴,竖直方向坐标轴为Y轴。根据摄像机的成像原理,镜头的焦点始终位于图像的中心点位置O点。零件在图像坐标系中正确的像素点信息非常重要,凭借它与零件实际位置的映射关系,由像素坐标通过换算可以得到工件的位置坐标、尺寸长度、角度等数据<sup>[6]</sup>。

摄像机A采集得到的是一张二维平面图(见图2)。实验中所采用的摄像机分辨率为 $640 \times 480$ ,视场范围与摄像机摆放的高度成正比。实验监控区域为 $280\text{mm} \times 210\text{mm}$ 的矩形,摄像头距离工作平面 $330\text{mm}$ ,每 $10\text{mm}$ 对应约23个像素点。图像中心点像素点坐标为 $(320, 240)$ 。

实验中利用摄像头A采集工作区图像,通过上位机处理图像(见图3)。工作区内零件高 $57\text{mm}$ ,图像经上位机计算可得到零件中心图像坐标为 $(81, 90)$ ,但是零件实际的图像坐标为 $(122, 118)$ ,检测的

绝对误差 X 向为 18mm, Y 向为 13mm。数据见表 1。

表 1 零件坐标对比

类别	检测坐标	实际坐标	绝对误差(mm)
X 轴	81	122	18
Y 轴	90	118	13

从数据可以看出,在工作区里通过单目视觉 A 检测零件的坐标有一定误差。误差产生的主要原因是工件高度变化时,顶点中心在工作区平面的投影可能随之变化,但工件的实际位置并没有变化<sup>[7]</sup>,零件高度越大,误差越大。双目视觉技术可解决这一问题,即添加另一视觉—摄像头 B 检测零件高度,修正投影误差。

### 4.2 零件高度检测

#### (1) 标定

在柔性生产线中,零件的高度值是变量。视觉系统通过另一摄像头 B 实时检测工件高度,即通过机器视觉识别零件的高度(长度)。假定工作区域为矩形,摄像头 A 放置在区域中心的正上方,轴心垂直正对工作区;摄像头 B 安装在侧面,轴心正对工作区,摄像头 A、摄像头 B 的位置见图 4。

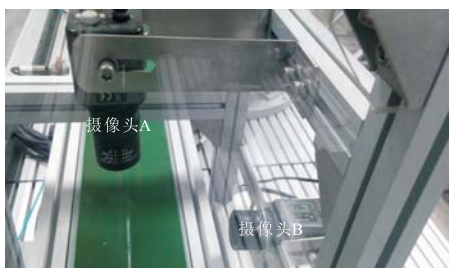


图 4 双目位置

要得到较准确的工件高度尺寸,需要零件所在位置标定单位长度包含的像素点个数。零件平面与摄像头 B 的轴心垂直,命名  $\gamma$ 。标定就是确定平面  $\gamma$  内单位长度中像素点个数为

$$i = N/L \quad (1)$$

式中,  $i$  为 1mm 内像素点个数;  $N$  为物体长度(高度)内像素点个数;  $L$  为物体长度(mm)。

标定实验选定的标准模块为边长 35mm 的正方体,将正方体放置在工作区不同位置处,利用摄像头 B 采集图像后,统计工件高度对应的像素点个数,利用式(1)计算  $i$  值。记录多个标定后  $i$  值,实验数据见表 2。  $f$  为图 3 中零件的初测 Y 轴坐标值。相应的  $i-f$  关系如图 5 所示。

表 2 工作区内  $i$  值对应表

图像坐标系 $f$ 值	442	374	311	244	180	113	48
像素点值 $i(1\text{mm})$	5.571	4.857	4.285	3.886	3.343	3.085	2.914

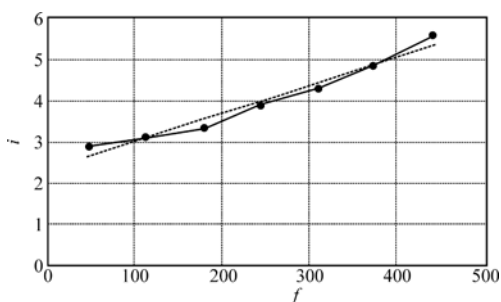


图 5  $i-f$  关系

如图 5 所示,  $i-f$  关系近似为直线,利用最小二乘法拟合的直线方程为

$$i = 0.0068f + 2.3314 \quad (2)$$

#### (2) 验证方程式

对拟合直线方程式(2)进行实验验证,不同高度的工件放置于工作区不同位置,利用摄像头 B 采集图像,检测工件高度  $h$  为

$$h = N/i \quad (3)$$

式中,  $h$  为零件高度;  $N$  为零件高度占用的像素点个数。

将检测的工件高度与工件实际高度进行验证,对比数据见表 3。

表 3 工件检测高度与实际高度对比

图像坐标系 $f$ 值	式(2)、式(3)计算高度(mm)	实际高度(mm)
135	75.70628424	76
157	55.31038541	57
226	35.93402616	38
377	76.60878447	76

通过比较,检测高度与实际高度数据相差较小,本次视觉系统实验拟合的曲线方程在两个摄像头位置不变时可用,得到工作区域任意位置对应的高度单位像素点拟合直线方程。

#### (3) 坐标修正

通过摄像头 B 可以检测得到工件的高度  $h$ ,设定系统搭建时摄像头 A 距离工作区的高度为  $H$ (见图 6)。

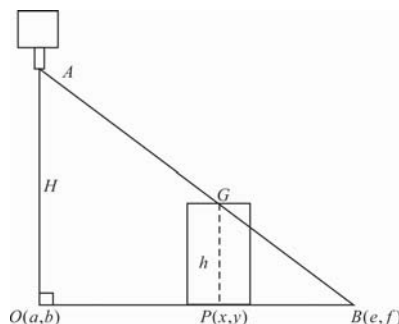


图 6 零件的坐标关系

图6中G点为工件上表面中心点,检测图像所得坐标是点 $B(e, f)$ ,B是G点沿AG方向在工作区的投影,工件实际位置为P点。 $\triangle BGP$ 与 $\triangle BAO$ 为相似三角形,可得到工件中心的位置坐标 $(x, y)$ 修正公式为

$$\begin{cases} x = e + h(a - e) / H \\ y = f + h(b - f) / H \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中的 $f$ 值与式(2)中的 $f$ 为同一值。

由于O点在摄像头抓取图像的中心,所以 $a, b$ 的取值与摄像头分辨率相关,大小为分辨率的1/2。

因为首次检测到的工件坐标 $f$ 值为工件上表面中心G点的值,与工件实际坐标点P的坐标值有一定误差。为了减少 $h$ 误差,可采用二次迭加修订法确定工件高度,即先使用上表面G点值推算相关数据,然后使用计算后的坐标值二次修正零件高度 $h$ ,用二次修正后的高度再次计算P点坐标。

#### (4) 二次修正方法验证

通过以上方程,可得修正的零件中心在图像坐标系中的像素坐标。利用双目视觉系统在工作区内进行实验验证,数据见表4。

表4 验证数据

测试验证样本	检测的坐标	实际坐标	未修正检测绝对误差(mm)	检测的工件高度(mm)	二次修正后的坐标	修正后的绝对误差(mm)	
实验1	x轴	553	503	21.7	80.17	496.39	2.87
	y轴	59	95	15.65		102.97	3.47
实验2	x轴	455	434	9.13	59.22	430.77	1.4
	y轴	97	117	9.09		122.66	2.46
实验3	x轴	392	388	1.74	38.57	383.58	1.74
	y轴	180	186	2.61		187.01	0.44
实验4	x轴	126	174	20.87	80.91	173.57	0.19
	y轴	369	337	13.9		337.37	0.16
实验5	x轴	83	122	16.96	59.96	126.06	1.77
	y轴	92	114	9.56		118.89	2.13
实验6	x轴	416	391	10.87	80.13	392.69	0.73
	y轴	363	333	13.04		333.13	0.06
...	...	...	...	...	...	...	...

由表4可见,单目视觉检测的零件坐标绝对误差较大。利用双目视觉系统二次修正后的零件坐标绝对误差更小,定位精度得到较大的提升,计算简单,避免了复杂算法,实用价值高。

## 5 结语

传统的双目视觉立体标定技术需要经过旋转矩阵和平移矩阵等算法计算目标坐标,计算复杂,实时性较差。此处的双目视觉系统首先通过摄像头A对零件初次定位,摄像头B检测工作区内的零件高度。再利用零件高度纠偏消除坐标误差,改善零件的定位精度。双目视觉系统可采集更多数据,数据的融合处理减少了单目视觉系统中零件高度数据不足导致的绝对误差,能够准确地对物体进行定位识别,而且计算简单,数据处理少,实时性好,在柔性制造中可解决多种类产品生产的零件定位精度问题。

### 参考文献

- [1]肖志涛,张文寅,耿磊,等. 双目视觉系统测量精度分析[J]. 光电工程,2014,41(2):6-11.
- [2]郭静,罗华,张涛. 机器视觉与应用[J]. 电子科技,2014(7):185-188.
- [3]路清彦,王中任. 机器人视觉定位误差分析与试验研究[J]. 装备制造技术,2015(8):104-106.
- [4]GADELMAWLA E S. Computer vision algorithms for measurement and inspection of spur gears[J]. Measurement, 2011,40(9):1669-1678.
- [5]杜文华,李红钢,曾志强,等. 基于LabVIEW的小孔尺寸精确测量系统研究[J]. 测试技术学报,2013,27(4):300-303.
- [6]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.
- [7]朱留存,张慰兮. 机器人视觉系统及工件定位的坐标匹配方法[J]. 机械工业自动化,1995,17(2):27-30.

第一作者:熊晓松,副教授,武汉科技大学城市学院,430075 武汉市

First Author: Xiong Xiaosong, Associate Professor, City College, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, 430075 China