

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.12.020

基于双目视觉的机械零件位姿检测系统研究^{*}

王才东¹, 董祥升¹, 陈志宏², 陈响元², 刘 洁¹, 刘 超¹

(1. 郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州科慧科技股份有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要:针对机械零件搬运过程中需要精确测量零件位姿的实际问题, 基于 VS220 双目立体视觉测量系统平台, 设计了一种机械零件位姿检测系统。采用改进的 Canny 边缘检测算法, 对零件边缘进行了轮廓识别, 利用尺度不变特征转换方法进行了零件特征点的提取与立体匹配; 利用立体视觉三维重建方法, 建立了位姿检测系统数学模型, 通过求解坐标系之间的转换关系, 计算出了零件在传送带上放置的位置和方向等信息; 通过 VC++ 语言编写了位姿识别算法程序, 实现了零件形状与位姿的识别; 搭建了位姿测试系统实验平台, 进行了测试实验。实验结果表明: 系统能快速有效地对零件进行位姿检测, 为实现零件的自动上下料提供了技术支撑。

关键词: 双目视觉; 位姿检测; 图像处理; 坐标变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2019)12-1337-05

Position detection system for mechanical components by binocular vision

WANG Cai-dong¹, DONG Xiang-sheng¹, CHEN Zhi-hong²,
CHEN Xiang-yuan², LIU Jie¹, LIU Chao¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhengzhou Kehui Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Aiming at the practical problem of accurately measuring the position of the parts in the process of mechanical parts handling, a mechanical part pose detection system was designed by the binocular stereo vision measurement system platform (VS220). The improved Canny edge detection algorithm was used to identify the edge contour of the components. The feature extraction and stereo matching of the components feature points were performed by the scale-invariant feature transform method. The mathematical model of pose detection system was established by stereoscopic three-dimensional reconstruction method. By solving the conversion relationship between the coordinate systems, the position and direction of the components placed on the conveyor belt were calculated. The pose recognition algorithm program was written by VC++ to realize the shape and pose recognition of the components. A test platform for the pose test system was built and a test experiment was carried out. The experimental results show that the detection system can quickly and effectively detect the position of the components, and provide technical support for automatic loading and unloading of the components.

Key words: binocular vision; pose detection; image processing; coordinate transformation

0 引 言

在柔性自动化生产线上, 需要机器人完成对机械

零件的搬运、传送、运输。机器人要抓取零件, 首先需要对零件的位姿进行测量^[1]。通过视觉系统对被测零件进行成像, 从而确定零件的放置方式、位置和姿

收稿日期: 2019-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51705473); 河南省高等学校重点科研项目计划资助项目(17A460029); 河南省高等学校青年骨干教师培养计划资助项目(2016GGJS-089)

作者简介: 王才东(1983-), 男, 河南登封人, 博士, 副教授, 主要从事机器人技术、机器视觉方面的研究。E-mail: vwangcaidong@163.com

态,是实现零件自动化上下料的技术关键^[2-3]。

机器视觉是利用机器代替人眼做各种测量和判断的技术^[4]。近些年,机器视觉技术与机器人技术相结合,在工业检测中获得了广泛应用。李湘伟等人^[5]将机器视觉运用在工业四轴串联机器人搬运系统中,研制了小型机器人自动分拣搬运系统,实现了对不同颜色的同种工件进行识别分拣和搬运;陈志伟等人^[6]设计了一种基于视觉筛选的并联机器人平面抓取系统,通过机器视觉和并联机器人的结合,实现了对工件进行精确的识别、抓取和放置;王堃,刘艳雄等人^[7-8]将机器视觉技术应用于精冲零件断面缺陷检测,提出了一种基于机器视觉的零件断面检测系统方案,并开发了高效的套料处理模块算法;王国虎^[9]等人研究了码垛机器人视觉图像处理易受车间光照不足、噪声干扰等因素的影响,提出了一种改进的 Canny 算法,提高了视觉检测的去噪效果和边缘定位精度。

目前开发的视觉检测系统,主要是对工件位置检测,而对工件姿态检测方法研究较少。

针对机械零件搬运过程中测量零件位姿的实际需求,本文将基于 VS220 双目立体视觉测量系统平台,设计一套机械零件位姿检测系统,实现对工件形状与位姿的识别。

1 零件位姿检测系统方案

机械零件位姿测量系统主要由图像采集、图像分析处理、尺寸测量、结果输出 4 个模块组成,其工作基本流程如图 1 所示。

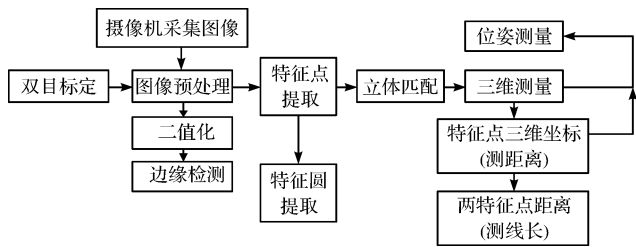


图 1 位姿检测系统工作流程图

图 1 中,位姿检测系统通过标定板对系统进行双目标定,并将摄像机采集的图像进行二值化和边缘检测,然后对左、右相机图像进行基于圆形的特征点提取,图形提取完成后对左右图像通过同一物理点进行匹配,并生成同名点,最后通过三维测量模块测出特征点坐标、零件外部尺寸以及零件位姿信息。

2 图像预处理

由于双目视觉系统的图像采集过程中,不可避免

受到光照、镜头等外部环境和内在客观参数的影响,导致图像中会存在干扰。如光照的角度会使工件表面产生来自环境的光遮蔽,或反光导致的高亮,或工件所在的平台出现不平整的迹象。由于摄像机的图像捕捉能力较强,这些来自外部的影响会被摄像机捕捉到,并呈现在图像中,易造成图像误判,因此,需要对图像进行预处理。图像预处理主要有 3 个步骤:图像二值化、边缘轮廓提取、团块处理(连通域)。

2.1 图像二值化

由于黑白图像的数据原理简单可靠,容易被计算机识别。笔者采用二值化的方法对图像处理,将图像的所有灰度信息转换成 0 和 255 二值的形式。双目视觉系统可以最大程度地减少来自物体颜色性质的干扰。

本文采用最大类间方差法(Otsu)对图像进行二值化处理。Otsu 算法的思路是将图像分为背景和目标,背景和目标之间的类间方差越大,说明两部分的差别越大。因此,使类间方差最大意味着错分概率最小。

对于图像 $I(x,y)$,目标和背景的分割阈值记作 T ,则有:

$$\begin{cases} \omega_0 = \frac{N_0}{M} \times N \\ \omega_1 = \frac{N_1}{M} \times N \\ N_0 + N_1 = M \times N \\ \omega_0 + \omega_1 = 1 \\ \mu = \omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 \\ g = \omega_0(\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu)^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: ω_0 —目标像素点数占整幅图像的比例; μ_0 —平均灰度; ω_1 —背景像素点数占整幅图像的比例; μ_1 —平均灰度; μ —图像的总平均灰度; g —类间方差; $M \times N$ —图像背景较暗情况下图像的大小; N_0 —像素的灰度值小于阈值 T 的像素个数; N_1 —像素灰度大于阈值 T 的像素个数。

对式(1)进行化简,可以得到:

$$g = \omega_0\omega_1(\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (2)$$

采用遍历的方法,得到使类间方差最大时的阈值 T 。本文采用 Otsu 算法求出的最佳阈值为 177。

2.2 零件边缘轮廓的提取

零件边缘体现了零件的结构特点,所以在对图像进行识别之前,对图像进行边缘检测,有效减少计算机对待测零件的误判。

本文采用改进的 Canny 边缘检测算法对零件边缘进行检测,通过改变梯度幅值计算方法对其进行改进。

其基本流程为:

对图像进行 Gauss 去噪;对邻域内的所有像素沿梯度方向进行梯度幅值的插值,计算梯度方向和幅值,检测幅度的极大值点,进而得到边缘点;然后对该值进行非极大值抑制,进而通过双阈值算法连接边缘,防止虚假边缘在轮廓图中出现,提高零件边缘计算效率。

2.3 图像团块处理

图像团块处理即对图像的连通域进行处理,零件位姿测量系统通过设定面积、周长域值,依次经过周长去噪、面积去噪、圆形体去噪等过程去掉小于域值的连通域,消除系统的干扰点。

团块处理是去除图像中不需要的连通域,例如在二值化图像下,工件表面不平整部分因为受到光照角度影响被呈现在二值化图像上。

2.4 图像预处理实验

系统通过标定板标定后,放入待测工件(使工件位于相机画面正中间)。本研究采用“Otsu 二值化”方法对零件图像进行预处理。

通过 Canny 边缘检测算法进行零件边缘检测,高斯滤波标准方差(sigma)的设置值为 0.4,边缘检测效果如图 2 所示。

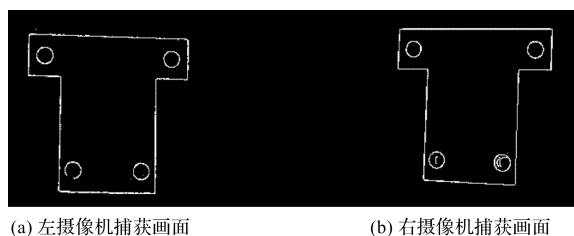


图 2 边缘检测图像

3 立体匹配与零件位姿检测

为实现双目立体视觉系统对工件位姿的检测,需要进行特征点的检测和匹配。立体匹配是寻找采集的左右两幅图像中的共轭像点,确定出左、右两幅图像中目标点的对应关系。

3.1 特征点的提取与立体匹配

该系统利用基于特征点尺度不变特征转换方法(scale invariant feature transform, SIFT)进行立体匹配^[10]。SIFT 是目前应用比较广泛的特征点检测和描述算法^[11]。SIFT 特征匹配的关键是进行特征点提取。特征点的提取流程为:尺度空间极值检测,确定正确的特征点和特征点主方向,生成 SIFT 特征向量;然后根据关键点距离比值与设定阈值的关系,进行匹配。

3.2 位姿检测系统建模

零件位姿检测实质上是求解两个坐标系的位置关系。描述两个坐标系的位姿变换有两组参数:欧拉角和平移量。首先在待测零件上建立一个工件坐标系,原点可以设置在零件上或者零件附近的空间位置,该坐标系记为 O_M ,世界坐标系记为 O_w 。将 O_M 坐标系绕 Z_M 轴旋转,当 X_M 轴(Y_M 轴)与 O_w 的 X_w 轴(Y_w 轴)平行时停止旋转,记录下旋转的角度 γ 。假定平行的轴为 X_M 和 X_w ,此时将 O_M 坐标系绕 X_M 轴旋转,直到第二次坐标轴平行;假定第二次平行的轴为 Y_M 和 Y_w ,记录下旋转的角度 β ;最后一次旋转,使 O_M 与 O_w 三轴平行,此时记录下旋转的角度 α 。

坐标系 O_M 沿着 X 、 Y 、 Z 这 3 个方向平移,最终与 O_w 完全重合,平移的位移量即是 O_M 坐标系原点在 O_w 中的三维坐标 X_T, Y_T, Z_T 。零件的位姿实际上就是两个坐标系的变换关系。

零件位姿的测量步骤如下:

(1)构建参考坐标系与摄像机坐标系的关系。在零件坐标平面上选取特征点,对特征点进行测量,利用平面拟合方法求取坐标系各轴的空间向量,用 3 个坐标轴在摄像机坐标系下的空间向量值,构建参考坐标系与摄像机坐标系的关系;

(2)实时获取工件坐标系与摄像机坐标系的位置关系。识别零件上的特征点,获取各点在工件坐标系中的三维坐标值,通过对特征点的测量求取各特征点在摄像机坐标系下的坐标值,同理可求得运动坐标系与摄像机坐标系的位置关系;

(3)获取工件坐标系与参考坐标系位置关系。

根据步骤(2)求得的关系,以及参考坐标系与摄像机坐标系之间的变换关系,通过矩阵变换计算获得两者的位置变换关系矩阵;

(4)求解工件在参考坐标系中的俯仰角、偏航角以及滚转角。

工件坐标系和参考坐标系之间的关系决定了零件相对参考坐标系的偏角位置,即零件的空间姿态,它由描述这两个坐标系之间相对关系的 3 个角度来决定,即欧拉角,如图 3 所示。

图 3 中,俯仰角 α 表示 OY' 绕 OX_M 旋转至 OY_M 时的转角,即 OY_M 与平面 $OX_M Y'$ 之间的夹角。偏航角 β 表示 OX' 绕 OY' 旋转至 OX_M 时的转角,即 OX_M 与平面 $OZ_w X'$ 之间的夹角。滚转角 γ 表示参考坐标系 OX_w 轴绕 OZ_w 轴旋转到 OX' 时的转角,即 OX' 轴与平面 $OX_w Z_w$ 之间的夹角。夹角符号由右手法则确定。

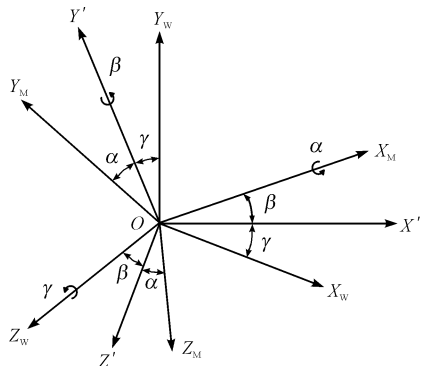


图3 参考坐标系与运动体坐标系的关系

4 零件位姿检测实验与误差分析

4.1 零件位姿检测实验

为验证零件位姿检测的效果,笔者搭建了零件位姿检测平台,如图4所示。

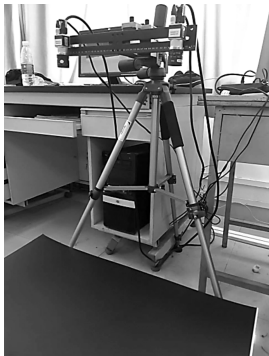


图4 MV-VS220 双目立体视觉测量系统平台

检测平台由2个工业级双目视觉摄像机 MV-EM 200M,摄像机导轨,数字云台,三脚架,高精度标定板 AFT-CT430 组成。平台包括:双目标定、双目检测、立体匹配、双目测量、位姿角度测量等模块。

经过实际测量与参数调试,标定板各点与左相机(坐标系原点与左摄像机光心重合)的距离约等于被测工件三维坐标的Z方向值。笔者以六孔工件为例进行位姿测量。选取工件的5个特征点进行测量,使用3个特征点建立一个工件坐标系,2个特征点用于精度校正。通过对六孔工件任意摆放6个位置,对其位姿进行检测。

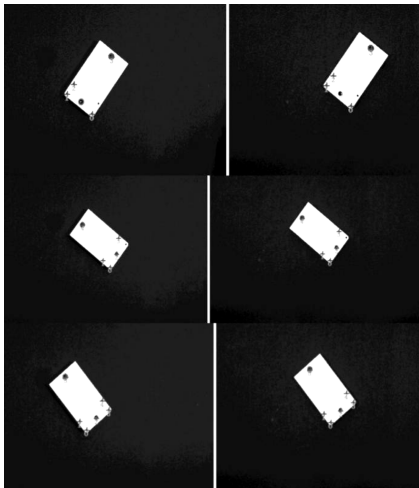
实验分成两组,第1组倾斜放置,第2组纵横方向放置,左右摄像机捕获的画面如图5所示。

对零件的6个位置进行测量,得到6组位姿数据,如表1所示。

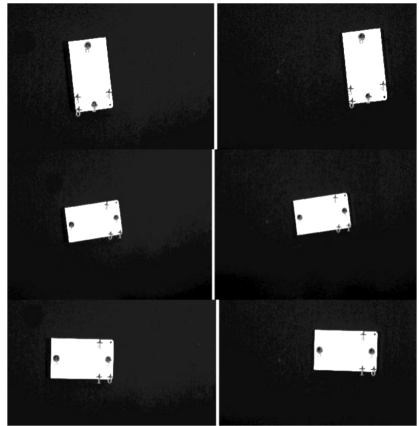
4.2 实验误差分析

为验证位姿测量系统的准确性,笔者对工件五号

位姿进行重复5次测量,结果如表2所示。



(a) 左摄像机画面 (b) 右摄像机画面



(c) 左摄像机画面 (d) 右摄像机画面

图5 六孔工件放置姿态

表1 六孔工件的位姿数据表

位置	俯仰角/(°)	偏航角/(°)	滚转角/(°)
1	19.81	177.26	-106.80
2	36.46	-16.42	-155.87
3	84.85	-78.45	-99.94
4	85.83	55.85	171.88
5	53.09	8.91	115.18
6	59.76	-32.18	-127.61

表2 工件五号位姿测试数据

次数	俯仰角/(°)	偏航角/(°)	滚转角/(°)
1	53.09	8.91	115.18
2	53.63	8.53	116.10
3	53.35	9.00	114.23
4	53.30	9.56	114.76
5	53.42	8.93	117.65

表 2 中,系统对工件绕 X 轴和 Y 轴方向旋转角度的测量波动微小,仅存在 $0 \sim 0.54^\circ$ 和 $0 \sim 1.03^\circ$ 的偏差;沿 Z 轴方向旋转的滚转角的测量偏差较大,最大 3.42° 。零件搬运一般采用吸附方式,对 X 、 Y 方向的精度要求较高,对 Z 轴方向偏差不敏感,因此,该系统能够满足零件的上、下料要求。

5 结束语

针对机械零件上、下料过程中位姿检测的实际需求,本文设计了一套机械零件位姿检测系统,运用双目视觉技术建立了位姿检测系统数学模型,通过求解坐标系之间的转换关系,计算出了零件在传送带上放置的位置和方向等信息;通过 VC++ 语言编写了位姿识别算法程序,实现了对零件的形状与位姿识别;以典型工件为例进行了测试实验。

实验结果表明:该系统可以对零件进行快速的定位与测量,满足机械零件上、下料搬运测试要求。

参考文献 (References):

[1] 王田苗,陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报,2014,50(9):1-13.

[2] 卞正岗. 机器视觉技术的发展[J]. 中国仪器仪表,2015(6):40-42,65.

[3] 秦豆豆,卢军,宋岳秦. 工件外观识别与视觉检测技术

的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018(9):84-87,91.

[4] 王忠飞,张朋涛. 基于机器人视觉的目标追踪算法研究[J]. 机电工程,2018,35(11):1237-1242.

[5] 李湘伟,吴翮卉,王锐鹏. 基于机器视觉识别的小型机器人分拣搬运系统的研制[J]. 机床与液压,2015,43(10):161-164.

[6] 陈志伟,徐世许,刘云鹏,等. 基于视觉筛选的并联机器人平面抓取系统设计[J]. 制造业自动化,2018,40(5):44-47.

[7] 王堃,唐厚君,韩斐. 基于机器视觉的冲床自动送料机系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018(8):93-96.

[8] 刘艳雄,张亮杰,毛华杰. 基于机器视觉的精冲零件断面缺陷检测系统研究[J]. 制造业自动化,2016,38(4):3-7.

[9] 王国虎,薛进学. 改进 Canny 算法在码垛机器人视觉图像处理中的应用研究[J]. 机电工程,2018,35(9):1011-1014.

[10] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, Kerkyra: IEEE, 1999.

[11] SEDAGHAT A, EBADI H. Remote sensing image matching based on adaptive binning SIFT descriptor[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(10):5283-5293.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式: