

基于机器视觉的阀芯自动装配系统

杨正华,朱健

(靖江市亚泰物流装备有限公司,江苏 靖江 214500)

摘要:针对球阀阀芯自动装配过程中存在装配柔性低、时常无法精确定位的问题,基于机器视觉技术,构建了一套在线机器视觉系统。采用 NI Vision Assistant 模块对系统及图像进行快速、准确的标定,并在其中对零件图像进行预处理、模式匹配以及边缘检测等修正处理。在 LabVIEW 中调用 Vision Assistant 节点,得出零件的位置和角度信息,经以太网与下位机实现通信,动态改变机器人装配动作,并在所搭建的硬件实验台上进行了在线验证。实验表明,该系统采用的方法可行且稳定,能够满足阀芯装配快速、准确的要求。

关键词: 阀芯;自动装配;机器视觉;Vision Assistant;LabVIEW

中图分类号:TP391.41 文献标识码:B 文章编号:1671-5276(2021)01-0231-04

Valve Spool Automatic Assembling System Based on Machine Vision

YANG Zhenghua, ZHU Jian

(Jingjiang Asian-Pacific Logistics Equipment Co., Ltd., Jingjiang 214500, China)

Abstract: In order to solve inflexible assembling and inaccurate locating in ball valvespool's automatic assembly, a set of on-line machine vision system based on machine vision was established. The module of NI Vision Assistant was used to make quick and accurate calibration to the system and image, by which the image of parts was preprocessed, pattern matched and edge detected. The node of Vision Assistant in LabVIEW was callouted to define the position and acquire the angle information of the parts, with which communication with the next-bit machine via Ethernet was carried out, and robotic assembly changed dynamically. The experimental method was authenticated on line on hardware experiment platform. The result shows that the method adopted by the system is feasible, stable and meets the requirements of valve spool's assembling with rapidity and accuracy.

Keywords: valve spool; automatically; machine vision; Vision Assistant; LabVIEW

0 引言

球阀是生产、生活中不可或缺的一种零件(图1),其应用广、需求大,在国民经济中占有举足轻重的地位。阀芯装配是球阀生产的后置工序,在球阀生产中占据重要的地位^[1]。而目前国内制造业仍然以传统的人工方式目视方法进行装配,效率和精度低下,劳动强度大,无法满足现代化智能制造的发展要求。为此研究高精度自动机器视觉装配技术尤其必要。文献[2]中基于 Halcon 系统标定构建了一套在线机器视觉的机器人本体装配系统;文献[3]中提出一种基于机器视觉的增强现实盲区装配方法,并采用 unity3D 和 C/C++实现了其开发过程;文献[4]基于轻量化网络,开发了酒瓶异物检测算法。以上构建的机器视觉系统要么需要进行复杂的系统标定,要么需要进行繁重的文本格式代码编写;还需要开发者在多种开发平台之间来回转换,因此如何提高机器视觉系统的开发效率,缩短开发周期成为现行装配视觉系统开发者必须关注问题。

本文以 LabVIEW 和 Vision Assistant 为软件平台开发一套基于机器视觉的阀芯自动装配系统,该系统通过 CCD 相机获取零件图像,使用 Vision Assistant 对带有畸变

的图像加以修正,包括系统标定、采集图像的预处理和标定以及模式匹配、边缘检测等操作。在系统上位机程序中,以 LabVIEW 调用 Vision Assistant 节点,得出零件的实际位置和角度信息,将这些信息通过以太网实时反馈给下位机,动态地改变机器人的抓取操作,从而提高装配的柔性 and 效率。该系统结构简单、稳定可靠,识别速度快,同时对环境要求不高,具有很好的应用前景。



图1 球阀零件

1 问题分析及系统总体设计

球阀装配涉及阀体、阀盖、阀杆、阀芯以及密封圈等诸多零件,而其中阀芯零件装配最为耗时、费力。这是由阀

芯本身的结构特点所造成的,如果采用人工装配,在装配过程中工人注意力不够集中,就很难将阀芯槽与阀杆末端扁榫准确配对,势必会影响装配的效率;而采用传统装配机器人装配,如果阀芯零件出现稍微的位置偏移,不在预定位置上,机器人便不能准确抓取零件,同样无法装配成功。针对上述问题,本文提出一种基于视觉的自动装配系统,该系统基本结构设计如图2所示。整个系统可分为视觉系统、图像处理系统和装配系统3个主要部分。视觉系统通过固定在工作台上方以及机器人末端的 CCD 相机获得待装配零件的图像;图像处理系统负责对采集的图像进行处理、识别和定位,并将结果反馈给下位机;装配系统根据处理结果,动态调整机械手抓取零件,完成自动装配操作。其中图像处理系统需完成对阀芯图像的采集、处理、识别和定位等操作,是机器人完成柔性装配的核心部分,本文的重点工作就是针对此部分展开的。

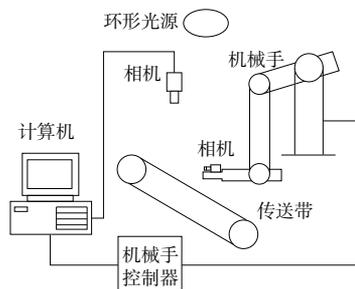


图2 系统原理图

2 阀芯图像的采集、处理与分析

2.1 阀芯视觉系统标定

机器视觉系统识别物体的位置和角度等信息,需要先确定空间位置与图像上像素的映射关系以及摄像机的内部和外部参数(即摄像机的标定)。传统的标定方法很多,如 Tsai 两步法、Weng 迭代法、张正友双平面法等,应用都比较广泛,但实际的标定过程比较繁琐,用标定的结果修正数据也不方便。而基于视觉开发模块 Vision Assistant 的标定方法可以用优化的算法将复杂的标定信息与图像信息结合,实现像素坐标到实际工件坐标的转换,并将标定的结果与模式识别模板、无损文字叠加等信息一起保存为 PNG 文件,方便地应用到后续处理中^[4]。

系统利用视觉模块 Vision Assistant 的图像处理功能来创建和编辑。运行相应的视觉算法,能方便快捷地对机器视觉系统进行标定。标定的过程可以分为几步:选取标定模板、标定模板的学习、标定信息的调用、坐标变换^[5]。

1) 本系统选取 LabVIEW 自带的均匀分布的黑色圆形点阵模板,该模板中黑色圆点的半径为 2 mm,相邻圆点圆心间的距离为 1 cm,如图3所示。

2) 在 Vision Assistant 模块中进行模板学习。为了实现精确测量,要充分考虑非线性径向畸变的影响,需选择 Distortion Model(Grid)模式,此模式在矫正非线性畸变的同时也对线性畸变进行矫正。学习的过程中,可以手动选定计算方法,包括带有 1 个畸变系数、3 个畸变系数加切

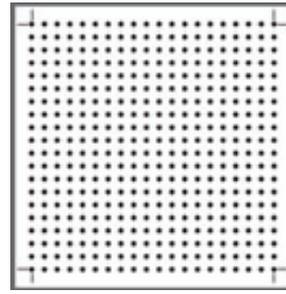


图3 黑色圆点标定模板

向畸变等。这些方法能快捷地将畸变的图像标定并且保存为 PNG 文件,无需经过大量的复杂数学计算,如图4所示。同时设定视场模板最右下角的黑色圆点为图像坐标系原点,向上为 x 轴,向左为 y 轴。最后将标定好的结果保存为 PNG 格式文件,以便后续调用。

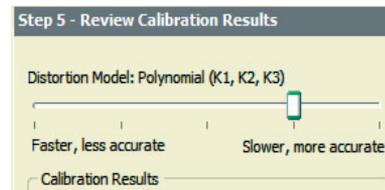


图4 Vision Assistant 标定算法选择

3) 标定信息包含在之前存储好的 PNG 格式文件中,用 LabVIEW 中的 Vision Assistant 节点可以进行调用。经过此节点后,零件图像显示并没有发生变化,但其标定工作已完成,之后的测量可直接得出实际结果,其单位为模板学习过程中所设置的 Unit。需要注意的是,标定时用的图像和用于测量的图像必须有相同的类型和分辨率,只要相机与工作平面的相对位置不变就不需要重复标定。

4) 为了便于装配工作简洁、高效地运行,将装配机器人工作的局部坐标系与步骤2)中标定的图像坐标系设为一致。即需将零件放置在此模板区域内,同时在此区域内完成装配动作。

2.2 阀芯图像采集

在阀芯视觉自动装配系统中,确定阀芯和阀芯槽的位置是整个装配过程中最为关键的环节,为此须在实验工作台上安装一台 CCD 相机来确定阀芯在标定坐标系中的坐标,同时在机器人末端安装一台同样的相机,以识别、定位阀芯槽的位置。图5所示为相机采集图像整个流程图。

2.3 阀芯图像预处理

一般情况下,成像系统获取的图像(即原始图像)由于受到各种条件限制和随机干扰,往往不能在视觉系统中直接使用,必须在视觉的早期阶段对原始图像进行噪声过滤、增强等图像预处理^[6]。

1) 噪声过滤。在进行图像采集过程中,不可避免地受到各种干扰而混入随机噪声。为了减少识别误差,需对图像进行滤波处理。中值滤波是一种非线性滤波算法,能够在滤除随机噪声的同时,很好地保持图像的边缘信息,

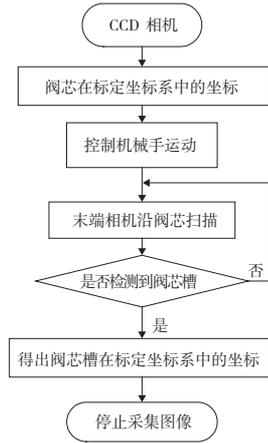


图5 相机采集图像整个流程图

适应性强^[7]。对于二维中值滤波,滤波窗口可以定义为

$$y_{ij} = \frac{\text{media} - \{x_{ij}\}}{A} = \frac{\text{media}}{(r,s \in C A)} \{x_{(i+r)(j+s)}\} \in I^2 \quad (1)$$

式中 $\{x_{ij}(i,j) \in I^2\}$ 表示图像各点的灰度值。

2) 图像增强是将图像中感兴趣的特征有选择地突出,而不必逼近原图像,在时域内主要方法为直方图均衡^[8]。若一幅数字图像灰度等级为 M ,各像素灰度值为 $r_k(k=0,1,2,\dots,M-1)$,灰度值的概率估计 $p_r(k)$ 为

$$p_r(k) = n_k/n \quad (k=0,1,\dots,M-1) \quad (2)$$

式中: n_k 为灰度值的像素点数; n 为像素点总数。

直方图均衡就要使其线性化,使含有像素多的几个灰度级间隔被拉大,压缩像素少的几个灰度级,从而增大视觉接受的信息量,使图像变得清晰。在 Vision Assistant 中通过调用 Filters,Lookup Table 等命令来对黑白图像进行滤波、增强处理^[9],处理结果如图6所示。



图6 滤波、增强后图像

2.4 阀芯的识别、定位处理

1) 阀芯的初次定位

在试验台上方的摄像头采集阀芯图像过程中,系统利用 Vision Assistant 中的模式匹配来粗略定位阀芯的位置。模板匹配是指在检测前定义一幅较小的标准模板图像,然后将此模板与待检图像进行比较,由此可以确定在待检图像中是否存在与该模板相同或相似的区域,若该区域存在,还可确定其位置并提取该区域^[10]。模板匹配原理如图7所示,定义1个模板 $w(x,y)$ ($K \times L$ 像素),被检测图像 $f(x,y)$ ($M \times N$ 像素),其中 $K \leq M, L \leq N$,模板 $w(x,y)$ 在被检测图像 $f(x,y)$ 上移动,采用绝对差值法来衡量 $w(x,y)$ 和 $f(x,y)$ 在点 (i,j) 之间的误差,其计算式为

$$C(i,j) = \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} w(x,y)f(x+i,y+j) \quad (3)$$

式中: $i=0,1,\dots,M-1; j=0,1,\dots,N-1$ 。

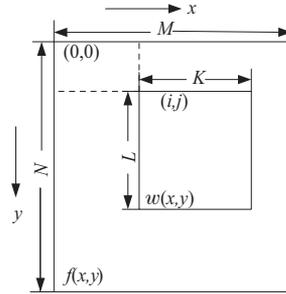


图7 模板匹配原理图

2) 阀芯的二次定位

在阀芯的初次定位基本上给出了机械手所需的移动坐标,但对现场装配工艺要求来说,其精度还不够,因此需要二次定位,以求出机械手移动坐标的精确值。为此可在阀芯的粗略位置设定 ROI 区域,继而以 Vision Assistant 的 FinDGe 来检测阀芯口,并设定参数^[11]。可以得到阀芯口中心在标定坐标系中的精确坐标值 $F(x_f,y_f,z)$,其中 z 为阀芯高的一半,为定值,处理后效果图如图8所示。



图8 二次定位处理后效果图

3) 阀芯抓取位置的确定

在确定了阀芯在标定坐标系中的位置之后,将信息传输至机器人,控制机器人末端运动至图9所示 $A(x_a,y_a,z,rx,ry,rz)$ 点位置,其中 x_a,y_a 由 x_f,y_f 加上一段固定的距离所得, rx,ry,rz 由机械手事先示教所得。此时开启机械手末端摄像头,并绕着阀芯的轴向方向连续采集图像。通过 Vision Assistant 的 Pattern Matching 来寻找阀芯槽的位置,当检测到阀芯槽的位置后停止末端相机的采集工作,同时通过试验台上方的相机确定此时机械手末端在标定坐标系中的位置 $B(x_b,y_b,z,rx,ry,rz+\theta)$,其中 θ 为 A,B 点之间绕 z 轴的旋转角度。为了满足阀芯的装配工艺要求,必须使机械手末端先移动至 $C(x_c,y_c,z,rx,ry,rz+\theta+90^\circ)$ 点处,再缓慢移至 D 点处抓取阀芯零件^[12]。由图可知, C 点的坐标可由以下关系式求出:

$$\begin{cases} (y_c - y_f)(y_b - y_f) = (x_f - x_c)(x_b - x_f) \\ (y_c - y_f)^2 + (x_c - x_f)^2 = (y_b - y_f)^2 + (x_b - x_c)^2 \end{cases} \quad (4)$$

进而 D 点的坐标可由以下关系式得出:

$$\begin{cases} x_d = \frac{x_f + \lambda x_c}{1 + \lambda} \\ y_d = \frac{y_f + \lambda y_c}{1 + \lambda} \end{cases} \quad (5)$$

其中 $\lambda = \frac{FD}{DC}$ 。

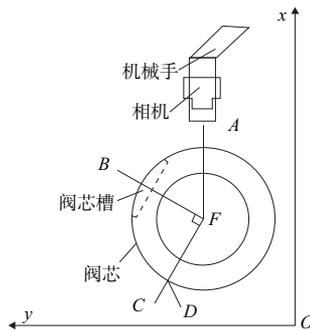


图9 阀芯抓取位置定位

3 系统上位机程序实现

通过 Vision Assistant 对图像进行一系列处理之后,可以方便、快速地得出阀芯和阀芯槽的坐标和角度信息^[13]。在系统上位机中,基于 NI 的 Max 和 DAQmx devices 技术,图像采集程序可以方便地在 LabVIEW 中调用 IMAQ Grab Acquire. vi 等子 VI 的方法实现;图像处理程序包括图像的标定、滤波、定位等可以以直接调用 Vision Assistant 节点的方式实现,其部分程序如图 10 所示;系统通信功能的实现,可以藉由 LabVIEW 中丰富的通信函数来实现,本系统即主要基于 TCP 连接函数实现与下位机的通信目的。

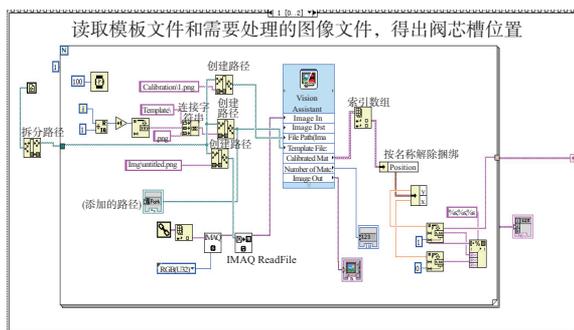


图10 阀芯槽定位处理程序

4 机器人抓取实验

在工作台上进行机器人装配实验,如图 11 所示。下位机使用 STAUBLI 工业机器人 CS8C 控制器;光源使用 LED 环形光源,采用低角度照明方式;图像采集设备采用分辨率可达 $1\ 280 \times 960$ 且带有 Gige 接口的 Prosilica GC1290 黑白相机以及 Computar M1614-Mp2 镜头,可以直接通过网线与上位机连接通信。系统以一台 PC 机为上位机,负责图像的采集、处理和识别定位,并将处理结果通过以太网 TCP/IP 反馈给下位机 CS8C 控制器,进而动态控制机器人的抓取动作。同时机器人工作采用自动循环方式,以接收完零件图像处理数据为触发条件,即接受完数据后,机械手臂自动上电动作,运行结束后将手臂断电,等待下一次数据的输入,部分实验参数如表 1 所示。

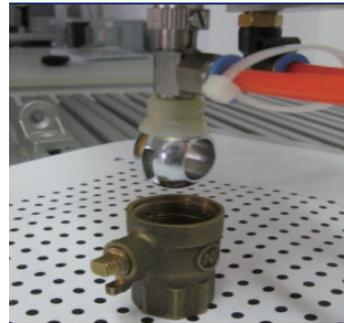


图11 抓取实验

表1 抓取实验参数

实验次数	坐标 F 偏移			坐标 D 偏移		
	x 方向/ pixel	y 方向/ pixel	偏移角/ (°)	x 方向/ pixel	y 方向/ pixel	偏移角/ (°)
1	147	72	0.5	127	48	0.4
2	152	70	0.4	132	53	0.3
3	135	68	0.6	135	47	0.5
4	143	71	0.4	143	43	0.3
5	156	64	0.5	128	56	0.5
6	149	69	0.3	129	49	0.4
7	150	71	0.5	131	51	0.5
8	152	70	0.4	130	59	0.7
9	148	68	0.6	131	49	0.4
10	136	64	0.5	133	50	0.6

5 结语

本文综合运用 NI 视觉技术和机器人技术,构建了一套相对完善的零件自动装配系统。该系统经过试验验证,结果证明:具有较好的装配精度,可以满足一般生产装配需求。基于 Vision Assistant 的相机标定方法可以快速有效地对相机进行标定,减小图像畸变,其快速简洁的特性是传统方法所不能比拟的,提高了相机标定效率,而且在 Vision Assistant 中只需对采集的图像进行预处理、标定以及模式匹配和边缘检测、设置相关参数即可,无需经过繁琐的计算和复杂的程序编写。基于机器视觉的阀芯自动装配系统能快速、高效地完成装配工作,可以大大提高生产效率,节约人力成本,提高自动化程度。

参考文献:

- [1] 李瑞琴,杜平泽. 孔柱型装配机器人的关键技术探讨[J]. 华北工学院学报, 1997, 18(2): 145-149.
- [2] 刘家丰. 基于机器视觉的机器人本体装配研究与应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
- [3] 王增磊,晏玉祥,韩德川,等. 基于机器视觉的增强现实盲区装配方法[J]. 西北工业大学学报, 2019, 37(3): 496-502.
- [4] 王俊强. 酒瓶中异物检测技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [5] 秦益霖,孔峰. 基于 LabVIEW 的单目视觉灌装桶口自动检测与定位[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(2): 204-207.
- [6] 贾云德. 计算机视觉[M]. 北京: 北京理工大学, 2002.

(下转第 236 页)

侧,其检测装置为 CCD 摄像头。通过 CCD 摄像头测量遮光边到底边的距离以确定纱桶的放置方向,以判断是否需要进行翻转。纱桶需要翻转时,通过升降平台将需要进行翻转的纱桶提升至进行翻转的工位,夹持机构对纱桶进行夹紧,从动轮的转动带动驱动气缸的转动,从而带动固定板的转动,实现翻转动作。纱桶翻转装置结构图如图 3、图 4 所示。

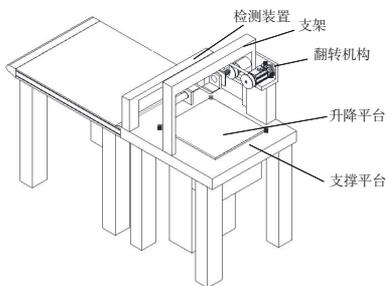


图 3 纱桶翻转装置结构图

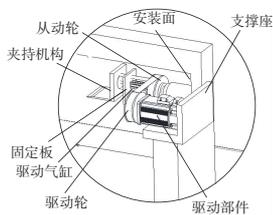


图 4 翻转机构的结构图

4 纱桶装袋装置

纱桶装袋装置包括撑袋口机构、纱桶装袋机构和缝纫机构。撑袋口机构用于将纱桶包装撑开,纱桶装袋机构用于将纱桶放入纱桶包装袋,缝纫机构用于将纱桶包装袋进行封口^[2]。实现撑袋动作由 5 组气缸来实现,分别为涨袋伸出缸、涨袋缸、成形下压缸、成形上托缸和阻挡缸。套袋光电开关安装在接近阻挡缸动作的位置,通过检测到位的延时来判定是否到位,减少了袋边变形的误检测。通过涨袋缸将袋口整理平整后,下压和上托缸将袋口送至缝纫机入口的高度位置,此时涨袋缸缩回,直至缝纫机工作完毕再恢复初始状态。

5 纱桶称重贴标装置

称重和贴标装置采用第三方集成设备,自动运行时需要通过交互信号触发进行工作。自动运行时的流程为:自动运行;皮带线运转—光电开关检测包装袋到位;皮带线停止—给出称重启动信号—延时后给出贴标启动信号—再延时后皮带线继续运转;直至输送完毕。打包机接收到启动信号时,自带的输送电机运转,再通过设置的 3 个光电开关触发 3 次打包动作,通过调整 3 个光电开关的安装位置实现打包姿态的调整。

6 人机交互

系统配置人机交互界面,使用者可以直观查看每区域所处的运行状态^[3]。设备上电后,进入操作页面,如图 5 所示。人机交互界面显示整机的运行状态,设备分为 5 个控制区域,每个区域可以在触摸屏上进行独立的自动运行或手动操作,便于调试和维护操作。

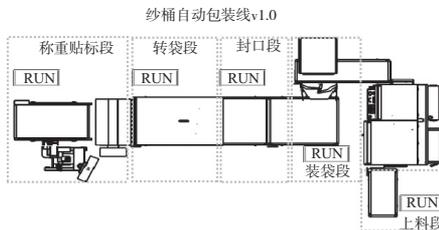


图 5 人机交互页面

该纱桶自动包装系统基于生产任务需求,改变纺纱生产线末端的生产现状,推进纺纱生产设备自动化进程。与人工包装相比较,减轻了工人劳动强度,具有较好的应用前景^[4]。

参考文献:

[1] 祝孝裕,胡旭东,张少民,等. 筒纱包装自动化生产线控制系统设计[J]. 轻工机械,2019,37(2):56-61.
 [2] 周鹏飞. 筒子纱自动包装与码垛系统设计与开发[J]. 纺织器材,2016,3:49-52.
 [3] 颜雪娟,李晓雪. PLC 和触摸屏控制系统应用于气液压实验[J]. 机械设计与制造,2006(9):8:7-8.
 [4] 冯徐鑫,邓成钢,载曦,等. 自动筒纱包装机控制系统的设计[J]. 浙江水利水电学院学报,2020,32(5):69-72.

收稿日期:2020-12-10

(上接第 234 页)

[7] 查英,刘铁根,杜东. 图像识别技术在零件装配自动识别中的应用[J]. 计算机工程,2006,32(10):178-179,185.
 [8] 徐金婧,徐熙平. 基于时空显著特征的运动目标检测方法研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2020,43(4):43-48.
 [9] WANG Xiaodong, CHENG Xinyu, XU Zheng, et al. Machine vision-based precise assembly for miniature parts[J]. Nanotechnology and Precision Engineering,2009,7(4):310-314.
 [10] YUE Xiaofeng, REN Yanwen, LEI Song, et al. Improving the piston assembly by machine vision recognition technology [J]. 2010 International Conference Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 2010(8):203-206.

[11] JIA Jiancheng. A machine vision application for assembly inspection[J]. 2009 Second International Conference on Machine Vision, 2009(12):172-176.
 [12] CHUNG Byeong Mook, YEO In Joo, SO Bum Sik, et al. Flexible assembly inspection for seat frame using machine vision[J]. Proceedings of the 11th IASTED International Conference on Control and Applications, 2009(7):155-160.
 [13] XU Zheng, WANG Xiaodong, CHENG Xinyu, et al. Control tactics and software architectures for based on machine vision [J]. Optics & Precision Engineering, 2009,17(4):819-824.

收稿日期:2020-05-11