

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.06.004

基于视觉的机器人抓取系统应用研究综述*

夏群峰, 彭勇刚*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对生产线上工业机器人的柔性和智能水平不高的问题,将日益发展的计算机视觉技术引入原有的搬运工业机器人领域,利用机器人视觉技术获取工件及其周围环境的信息,识别出了所要操作的目标工件,并能通过做出决策来引导工业机器人完成对工件的抓取和放置等操作。针对生产线上的工业机器人抓取系统中摄像机的标定、目标工件的识别匹配、机器人对目标工件的定位抓取这3个主要步骤在现阶段的研究成果进行了综述,对计算机视觉定位中涉及到的相关图像预处理方法进行了分析与归纳,并对该技术的实际应用研究和未来发展进行了讨论。研究表明,视觉抓取系统技术成熟,能够满足工业应用中的实时性要求,各部分算法的研究和改进对工业的发展和相关研究具有一定的参考价值。

关键词: 计算机视觉; 机器人抓取; 标定; 匹配; 视觉定位

中图分类号: TH39; TP242 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)06-0697-06

Review on application research of robots scraping system based on visual

XIA Qun-feng, PENG Yong-gang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problem that the level of intelligence and flexibility of industrial robots in production line is not high, computer vision technology which is advancing rapidly were introduced to the original field of industrial transfer robot. Machine vision technology was used to obtain information on the workpiece and its surroundings and target artifact to be operated was identified. Decisions were made by using of this technology to guide industrial robot to complete some operations on artifact, such as picking and placing. Three aspects of the research result at present stage were reviewed, which was aiming at industrial robot scraping system in production line, such as camera calibration, identification and matching of target artifact, positioning and scraping to artifact by robot. The image preprocessing methods which were involved in computer vision were analyzed and summarized. The practical application and future development of the technique were discussed. The results indicate that this scraping system has strong technology supported, and it can satisfy the real-time requirement of industrial application. Each part of the research and improvement of the algorithm have a certain reference value for industrial development and related studies.

Key words: computer vision; robot scraping; calibration; matching; vision positioning

0 引 言

计算机视觉是指用摄像机对目标物体进行图像采样,并将所得图像在电脑上进行相应处理,使所得

图片能够满足仪器检测需求及相关应用的一门科学。机器人视觉伺服^[1]是利用机器视觉的原理,通过图像反馈的信息,快速进行图像处理,在尽量短的时间内对机器人作相应的自适应调整,构成机器人的闭环控制^[2]。当前,我国各类制造业正步入以信息化带

收稿日期: 2014-01-02

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资助项目(2013QNA4021); 浙江省钱江人才计划资助项目(2013R10047); 杭州市重大科技资助项目(20132111A04)

作者简介: 夏群峰(1991-),男,安徽宣城人,主要从事图像处理和智能控制方面的研究. E-mail: xiaqunfeng123@126.com

通信联系人: 彭勇刚,男,博士,副教授,硕士生导师. E-mail: pengyg@zju.edu.cn

直放置,且相对位置固定,手爪在两个相机之间活动,这种安装方式适合在固定操作的流水线上作业。相机和物体的安装位置关系如图3所示。

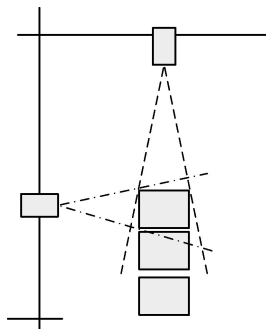


图3 相机—机器人—砖堆位置关系图

2.3 手眼视觉摄像机标定

手眼标定中摄像机安装在末端执行器上,机器人手眼标定系统模型如图4所示,标定的主要任务就是求解末端执行器和摄像机坐标系之间的变换矩阵。

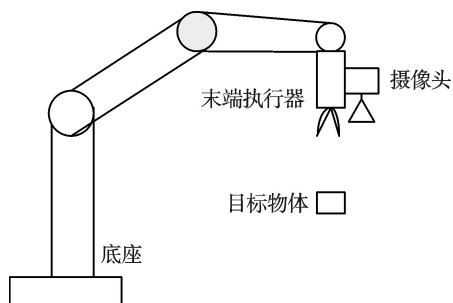


图4 机器人手眼标定系统模型

在手眼标定中,研究者用摄像机从多个不同的方位对目标物体进行拍摄,并记录机器人在这些位置的姿态参数,利用机器人姿态参数以及这些图像信息可以推导出关于旋转矩阵 R 和平移向量 t 的若干个关系方程,求解 R, t 关系方程组的过程就是机器人手眼标定。经典的标定方法主要分两种:先后求解 R, t ^[12],同时求解 R, t ^[13]。这两种方法通过使对观测噪声较为敏感的代数误差最小化来求解其值,因此鲁棒性不够理想。北航机器人研究所提出了一种基于最大似然估计的非线性最优手眼标定法^[14],通过测量值估计真值来减少观测噪声;在隐士马尔科夫模型下,研究者从滤波的角度提出了一种基于卡尔曼滤波的标定法^[15],对参数的状态进行递归贝叶斯估计和实时可视化处理,具有较好的精度和稳定性。

3 目标识别和匹配

3.1 边缘轮廓的提取

边缘有一个特性,就是在目标图像轮廓交界处像素变化较为平滑,而在垂直于边缘点切线的方向上

像素变化梯度较大。边缘提取的算法主要有经典算法、改进的算法以及基于特定工具的算法。经典的算子在检测边缘时往往会带入噪声,而这些算法一般抗噪声性能较弱,所以不太适合复杂背景下边缘的提取^[16]。Sobel边缘检测法可以定义任意核的大小,可以很好控制噪声的影响,而且算法相对简单,处理速度快,但加权滤波的使用使所得边缘较宽,因此间断点较多。Robert边缘检测是一种交叉差分法,利用局部差分检测比较陡峭的边缘并进行梯度估计,定位精度较高,但其对噪声较敏感,在检测时会出现孤立点。Canny边缘检测先求 x 和 y 方向上的一阶导数,进而组合成4个方向的导数,由局部最大值确定边缘候选点,再通过阈值法得到物体边缘的最优检测,所得的边缘较为平滑且定位精度高。此外,有人提出了基于形态学多结构元边缘提取算子^[17],该算子很好地解决了噪声抑制和保持图像边缘细节之间的矛盾,具有良好的边缘提取特性。还有一些在经典算子上改进的算法,如改进的Roberts算子边缘提取算法,该算法由原有的2个模板增加到4个,使得目标物体的边缘提取完整连续,效果较好,同时提高了机械手的定位精度;基于蚁群的提取算法^[18]以及基于分形理论边缘提取算法^[19]等新兴算法,都取得了不错的效果。

3.2 图像匹配算法

图像匹配算法有很多种,分类方法层出不穷。按照所选的匹配基元可分为基于灰度和基于特征的匹配算法^[20],一个是把图像看成二维信号,根据像素灰度统计相关函数寻找匹配关系,一个是利用图像点、线、面的特征进行匹配。根据匹配特征选取方法和提取特征层次的不同又可分为原始图像像素值匹配法、图像物理性状特征匹配法和高级特征匹配法。基于灰度相关匹配、基于特征匹配、基于模型匹配、基于变换域匹配^[21]是目前最主要的图像匹配划分方法,是根据原理方法以及适用性的不同而划分的。

基于灰度相关的匹配算法要将图像所有像素与领域像素进行相似性度量,这类方法计算量大,不能满足实时性的要求,要想在实际中取得应用就要在速度上加以改进,如FFT相关算法、基于分层搜索的序列判断算法等。基于特征的匹配方法通过建立两幅图像间特征的匹配关系进行匹配,该方法受光线影响较小,且计算速度快、鲁棒性好,特征点方面经典的有Moravec算法^[22]、Harris算法^[23]、Sift算法、Surf算法等以及相应的改进算法;Jane提出的小波变换分层匹配算法^[24]用并行策略在分解后的每一层图像中提取特征点,大大提高的速度;郑^[25]提出的SIFT和旋转不变LBP相结合的方法,将关键点的LBP特征作为描述,利

用最邻近距离比的关系实现特征点的匹配。在特征匹配法中由于只考虑局部的约束信息,需要辅以计算较为复杂的插值过程才能得到稠密的视差场。模板匹配方法最常用的一种是计算模板与源图像对应区域的误差平方和,如基于图像紧密性特征的模板匹配方法^[26],该算法不能快速适应目标的旋转和尺度变换,计算量大;基于总像素点快速模板匹配法在特征点提取过程中对图像的平移和旋转都有较好的适应性,但只能对给定的目标物体进行识别匹配;基于Hu不变矩理论的多目标物体识别法^[27]是一种以图像分布的各阶矩函数来描述灰度的统计特性方法,对于形状不特别复杂的物体匹配率高。基于变换域的匹配利用频域匹配技术对噪声的容忍程度高,常用于处理图像的尺度变化以及旋转特性,主要有傅立叶变化、Cabor变换、小波变换等。

4 定位和抓取的实现

4.1 目标的定位

单目摄像机的定位方法有很多种,有利用时间序列图像来分析目标运动参数的方法,如基于特征匹配法和基于光流法^[28]。傅立叶描述子等方法是通过计算序列图像的统计特征来求取目标的运动参数。文献^[29]中将单目视觉的定位分为单帧图像定位和多帧图像定位,单帧主要是基于点、直线、曲线的特征定位,需要在特定环境下设置一个大小及在世界坐标系中位置方向参数已知的人工图标,利用几何关系解出摄像机和图标的位姿关系;多帧是利用摄像机在不同时刻拍摄同一场景图像,由像素间位置的偏差关系完成目标定位,重点在于元素的匹配。对于双目立体视觉系统,可以事先应用基于透视模型的线性标定方法对其进行标定,得到左、右摄像机的投影矩阵,由坐标系之间的转化关系可以得到目标的世界坐标,即目标在空间中的实际位置。

要实现机器人精确抓取目标,获取目标在三维空间中的精确位姿是关键。找一个与摄像机相对位置确定且适合操作的平面,将目标物体放置在该平面内,由标定原理可以得到它的空间位置。在工件中心定位上Tsnner^[30]等利用外形结构特点并通过形态学处理提取特征点来求取中心,吴^[31]通过设置点目标来测量目标位姿。文献^[32]中阐述了基于区域和基于边缘的中心定位方法,对于形状规则的目标物体,在其二值图像中,目标的中心与其质心重合,且其质心与形心重合。求取质心的方法有很多种,如不变矩法、极值法以及零阶矩法等。如不变矩法充分利用了图

像信息的全局特性^[33],在计算质心坐标时精度较高,计算公式如下:

$$x_0 = \iint xf(x,y)dxdy / \iint f(x,y)dxdy = m_{10}/m_{00} \quad (1)$$

$$y_0 = \iint yf(x,y)dxdy / \iint f(x,y)dxdy = m_{01}/m_{00} \quad (2)$$

式中: $f(x,y)$ —图像灰度; m_{10} , m_{01} —图像关于 X 轴和 Y 轴的灰度矩。

极值法简单且执行速度快,但在极值点个数不多的情况下计算精度不高,公式如下:

$$\begin{cases} x_0 = (x_1 + x_2)/2 \\ y_0 = (y_1 + y_2)/2 \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_1 —像素值为零的最小的横坐标; y_1 —像素值为零的最小的纵坐标; x_2 —像素值为零的最大的横坐标; y_2 —像素值为零的最大的纵坐标。

4.2 旋转角度的计算

确定工件中心点的位置的方法主要是图像的一阶矩及零阶矩法,根据标定后的参数并利用以上求得形心坐标进行定位计算,即可得到工件的实际中心位置。

形心坐标 (x_g, y_g) 为:

$$x_g = m_{10}/m_{00}, y_g = m_{01}/m_{00} \quad (4)$$

图像的中心矩为:

$$M_{pq} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (i - X_g)^p (j - Y_g)^q f(i,j) \quad (5)$$

目标物体的主轴是其中心与最远点的连线,目标物体的旋转角度是主轴与 U 轴的夹角,设 (X_o, Y_o) 为中心点, (X_m, Y_m) 为最远点,则工件的旋转角度计算公式如下:

$$\vartheta = \text{artg} \left(\frac{y_m - y_0}{x_m - x_0} \right) \quad (6)$$

基于坐标变换求解欧拉角度参数^[34]也是求解工件位姿及旋转角度比较好的方法。此外,本研究还可以利用矩的不变量原理来求解,旋转角度用二阶矩来表示:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right] \quad (7)$$

通过以上一些计算,配合视觉伺服系统,就可以实现工件的精确抓取。目标物体的深度也是在抓取时需要考虑的问题,目前应用较多的是超声波深度测量法^[35],以及线结构光的辅助测量^[11],两种方法的测量精度都比较理想,以及机器人在装配视觉定位上的应用^[36-37],测量原理及过程详见相关参考文献。

5 结束语

近年来随着理论算法的深入发展以及图像硬件设备方面分辨率和处理速度的不断提高,为计算机视觉

在机器人领域及其在工业上的广泛应用提供了基础,并取得了十分显著的成就。本研究系统地介绍了机器人抓取的每一个部分需要用到的方法及其发展现状,并对一些主要方法的优、缺点进行了简要的评价。从目前计算机的发展情况来看,研究可以在大多数情况适用的通用型计算机视觉系统是接下来一个阶段的发展目标。由于图像处理程序和信量较大,可以考虑将部分通用算法硬件集成化,可编程器件是一个不错的选择。算法方面应考虑根据实际检测环境如何从图像处理角度上自动选用合适的算法,并在考虑机器人运动的同时深入研究整个视觉伺服系统的动态性能。

参考文献(References):

- [1] HILL J, PARK W T. Real time control of a robot with a mobile camera[C]//Proc. 9th Int. Sympo. on Industrial Robots: Washington, USA: [s.n.], 1979: 233-246.
- [2] 林 靖, 陈辉堂, 王月娟, 等. 机器人视觉伺服系统的研究[J]. 控制理论与应用, 2000, 17(4): 476-479.
- [3] ELMASRY G, CUBERO S, MOLTÓ E. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system[J]. **Journal of Food Engineering**, 2012, 7(112): 60-68.
- [4] 李金义, 杨 成, 王 京. 基于视觉定位的机器人搬运系统[J]. 制造业自动化, 2011, 33(2): 40-42.
- [5] TSAI R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision [C]//Pro CVPR. 1988: 364-374.
- [6] MARTINS H A, BRIK J R, KELLEY R B. Camera models based no data from two calibration planes [J]. **Computer Graphics and Imaging Processing**, 1981(17): 173-180.
- [7] ZHANG Zheng-you. A flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations [J]. **ICCV**. kerkyal: [s. n.], 1999: 666-673.
- [8] MOONS T, VAN GOOL L, PROESMANS M. Affine reconstruction from perspective image pairs with a relative object-camera translation in between [J]. **IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 1996, 18(1): 77-83.
- [9] TRIGGS B. Auto-calibration and absolute quadric [C]//Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, 1997: 604-614.
- [10] 吴福朝, 李 华, 胡占义. 基于主动视觉系统的摄像机自标定方法研究 [J]. 自动化学报, 2001, 27(6): 752-760.
- [11] LI Qing-bin. The Research and Software Development of Kiln Brick Restacking Robot Vision Recognition Technology [D]. 2011.
- [12] PARK F C, MARTIN B J. Robot sensor calibration: solving $A X=X B$ on the Euclidean group [J]. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 1994, 10(5): 717-721.
- [13] WANG Ying, DONG Zai-li, SUN Mao-xiang, et al. A new approach for robot hand-eye calibration based on linear prototype [J]. **Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, 2005, 18(4): 491-495.
- [14] 王君臣, 王田苗, 杨 艳, 等. 非线性最优机器人手眼标定 [J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(9): 15-20.
- [15] WANG Jun-chen, WANG Tiao-miao. Robot Hand-Eye Calibration using Unscented Kalman Filtering [J]. **ROBOT**, 2011, 33(5): 621-627.
- [16] 李彩华, 王 昕, 王学影. 边缘检测技术在工件中心位置识别中的应用 [J]. 传感器技术, 2005, 24(4): 73-75.
- [17] 赵金英. 基于三维视觉的西红柿采摘机器人技术研究 [D]. 中国农业大学工学院, 2006.
- [18] TIAN Jing, YU Wei-yu, XIE Sheng-li. An Ant Colony Optimization Algorithm For Image Edge Detection [C]//2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Trondheim: [s.n.], 2009: 751-756.
- [19] 罗 强, 任庆利, 杨万海. 基于分形理论的图像边缘提取方法 [J]. 通信学报. 2001, 22(11): 104-109.
- [20] REDSLONE ARSENAL, ALABAMA. Hybrid Correlation Algorithm-A bridge between feature matching and image correlation [M]. Santa Monica: Rand, 1979.
- [21] 王红梅, 张 科, 李言俊. 图像匹配研究进展 [J]. 计算机工程与应用, 2004(19): 18-21.
- [22] MORAVEC H P. Towards Automatic Visual obstacle Avoidance [C]//Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Cambridge: [s.n.], 1977.
- [23] HARRIS C, STEPHENS M. A Combined corner and edge detector [C]//Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. Manchester: [s.n.], 1988.
- [24] YOU J. BHATTACHARYA P A. Wavelet-based coarse-to-fine image matching scheme in a parallel virtual machine environment [J]. **IEEE Trans on Image Processing**. 2000; 9(9): 1547-1559.
- [25] ZHENG Yong - bin, HUANG Xin - sheng. An image matching algorithm based on combination of SIFT and the rotation invariant LBP [J]. **Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics**. 2010, 22(2): 286-291.
- [26] 黄 琛. 基于距离模块匹配的行人检测算法与研究 [D]. 北京: 清华大学自动化系, 2006.
- [27] 李德广, 李科杰, 高丽丽. 基于多尺度多方向相位匹配的立体视觉方法 [J]. 仪器仪表学报, 2005(4): 600-602.
- [28] 曾详进. 基于开放式软件平台的机器人视觉伺服研究 [D]. 武汉: 华中科技大学控制科学与工程系, 2006.
- [29] 李荣明, 芦利斌. 单目视觉定位方法研究综述 [J]. 现代计算机. 2011(6): 9-11.

本文引用格式:

夏群峰, 彭勇刚. 基于视觉的机器人抓取系统应用研究综述 [J]. 机电工程, 2014, 31(6): 697-701, 710.

XIA Qun-feng, PENG Yong-gang. Review on application research of robots scrapping system based on visual [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(6): 697-701, 710. *《机电工程》杂志*: <http://www.meem.com.cn>

(下转第 710 页)

起钢丝绳金属截面损失(LMA)、金属局部缺陷(LF)与钢丝绳剩余强度之间关系的数学模型,那么就可以准确地掌握钢丝绳的强度损失。

随着科学技术的迅速发展,钢丝绳无损检测技术正在向着高精度、智能化、多功能、操作简单、微控制器辅助检测方向发展,由仪器逐步代替人,即研制出能同时定量检测 LMA 和 LF 的一体化智能检测装置。

参考文献(References):

- [1] 朱玉堂,田志勇,戴一平,等. 钢丝绳断丝损伤定量检测技术[J]. 机电工程,2008,25(8):44-46.
- [2] 钟小勇,张小红. 便携式钢丝绳在线检测仪研究[J]. 仪表技术与传感器,2012(3):10.
- [3] 陈琳. 电梯钢丝绳无损检测技术应用研究[J]. 机电信息,2011(33):93.
- [4] 毕可仁,杨旭,刘峰. 钢丝绳在线自动监测系统研究[J]. 建井技术,2008,29(1):8.
- [5] 康宜华,武新军,杨叔子,等. 磁性无损检测技术的分类[J]. 无损检测,1999,21(2):58-60.
- [6] 谭明光,宋海兰. 运行中钢丝绳的检测技术[J]. 无损检测,1994,16(3):69-70.
- [7] Health and Safety Executive. Wire Rope Non-Destructive Testing Survey of Instrument Manufacturers [R]. Health and safety Executive, 2000.
- [8] 曹印妮,张东来,徐殿国,等. 钢丝绳定量无损检测现状[J]. 无损检测,2005,27(2):91-95.
- [9] 傅常海,周召发,张晋,等. 基于 MSP430 的钢丝绳检测装置设计[J]. 可编程控制器与工厂自动化,2004(9):121-124.
- [10] 张锦锦,华钢,陆延红,等. 钢丝绳损伤检测信号工频干扰滤波方法[J]. 煤炭科学技术,2010,38(4):94-96.
- [11] 钟小勇,张小红. 矿用钢丝绳探伤传感器的优化设计[J]. 煤矿机械,2012,33(8):7-9.
- [12] 田志勇,张耀,谭继文,等. 基于 BP 神经网络的钢丝绳断丝定量检测[J]. 煤炭学报,2006,31(2):245-249.
- [13] 肖汉斌,周永华,陶德馨,等. 基于钢丝绳弱磁在线检测技术的研究[J]. 起重运输机械,2009(3):16-83.
- [14] 赵强. 基于弱磁矢量合成的钢丝绳在线检测系统[J]. 煤矿机电,2010(4):26-27.
- [15] 陈厚桂,江政,武新军,等. 基于有限缺陷集的钢丝绳电磁探伤仪的断丝检测灵敏度预测方法[J]. 应用基础与工程科学学报,2009(11):166-170.
- [16] 陆延红,华钢,陈凤军,等. 基于最小二乘法的钢丝绳断丝定量检测技术研究[J]. 矿山机械,2010(1):55-59.
- [17] 毕可仁,杨旭,刘峰,等. 钢丝绳在线自动检测系统研究[J]. 建井技术,2008,29(1):18-20.
- [18] CASEY N F, TAYLOR J L. The evaluation of wire ropes by acoustic emission techniques[J]. **British Journal of NDT**, 1985,27(6):351-356.
- [19] 邵永波,于大安,王师,等. 钢丝绳断丝声发射定量检测方法研究[J]. 东北大学学报,1999,20(2):130-133.
- [20] 邵永波,朱祖铭. 声发射技术在钢丝绳失效测试中的应用[J]. 无损探伤,1998(3):4-7.
- [21] 王勇. 声-超声材料检测技术研究[D]. 北京:清华大学材料科学与工程学院,2000:2-4.
- [22] KWON O Y, KIM T H, LEE K J, et al. Monitoring of Fatigue Damage in Adhesively Bonded Composite-Metal Joints by Acoustic Methods [C]//15th Word Conference on Non-Destructive Testing. Rome: [s.n.], 2000.
- [23] FINLAYSON R D. Health Monitoring of Aerospace Structures with Acoustic Emission and Ultrasonics [C]//15th Word Conference on Non-Destructive Testing. Rome: [s.n.], 2000.
- [24] 李家伟,陈积懋. 无损检测手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[编辑:张翔]

本文引用格式:

牟帅,陈志平,金嘉蕾,等. 钢丝绳无损检测技术研究进展[J]. 机电工程,2014,31(6):707-710.

MOU Shuai, CHEN Zhi-ping, JIN Jia-lei, et al. Progress on nondestructive testing technology of wire ropes[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(6): 707-710.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 701 页)

- [30] TSNNER E, GRANADE, WHITEHEAD C A. Antonomous Rendezvous and Docking Sensor Suite [J]. **SPIE**. 2003: 5086.
- [31] WU Q X, LL 5, HAO Y M, et al. A Model-based Monocular Vision System for Station Keeping of an Underwater Vehicle [C]//Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Hongkong: [s.n.], 2005: 450-454.
- [32] 赵月. 单目位姿测量目标中心定位算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学信息与通信工程学院,2011.
- [33] LUH J Y, KLAASEN J A. A three dimensional vision by offshelf system with multi cameras [J]. **IEEE Trans PA-MI**, 1985,7(1):35-45.
- [34] 解邦福. 基于单目视觉的刚体位姿测量系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学仪器科学与技术学院,2009.
- [35] 熊春山,黄心汉,王敏,等. 融合图像处理与超声测距的工件精确抓取[J]. 机器人,2000,22(3):183-187.
- [36] 黄博才,刘少君,黄道平. 数控玻璃雕刻机上 Mark 点视觉定位系统的设计与实现[J]. 轻工机械,2012,30(4):61-64.
- [37] 张建忠,何永义,李军. 机器人装配视觉定位应用[J]. 机电工程,2011,28(8):934-937.

[编辑:罗向阳]