

基于机器视觉的自动分拣码放系统研究

杜恩明, 张仁朝

(广州铁路职业技术学院, 广州 510430)

摘要: **目的** 为实现包装码垛自动生产线上不同型号工件的分类码放, 有效提高生产效率, 降低生产成本。**方法** 在工件识别应用中, 提出一种基于机器视觉、PLC 控制技术、HMI 人机界面的分拣码放系统。在完成工业机器人相应的硬件及关键算法设计的基础上, 利用以太网构建 PLC 网络控制系统, 并与上位机管理系统实现交互。**结果** 经实验测试, 该自动分拣码放系统对工件的识别精度较高, 均在 99% 以上, 处理时间较短, 均在 0.2 s 以下, 能够满足生产要求。**结论** 生产实践表明, 该系统提高了工件分拣效率, 减小了工人劳动强度, 降低了生产成本, 具有很高的推广应用价值。

关键词: 机器视觉; 工业机器人; PLC 网络; 分拣

中图分类号: TB486; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0194-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.030

Automatic Sorting and Stacking System Based on Machine Vision

DU En-ming, ZHANG Ren-chao

(Guangzhou Institute of Railway Technology, Guangzhou 510430, China)

ABSTRACT: The work aims to realize the classification and stacking of different types of workpiece on automatic production line of packaging and stacking, and improve production efficiency and reduce production cost effectively. During the application of workpiece identification, a kind of sorting system based on machine vision, PLC control technology and HMI man-machine interface was proposed. Based on the design of the corresponding hardware and key algorithms of the industrial robot, the PLC network control system was built with Ethernet and the interaction with the upper management system was realized. According to the experimental test, the automatic sorting and stacking system had a high recognition accuracy of over 99% of the workpieces. The processing time was short, below 0.2 s, which could meet the production requirements. Production practice shows that the system has improved the sorting efficiency of workpiece, reduced labor intensity of workers and production costs, and it has very high application value.

KEY WORDS: machine vision; industrial robot; PLC network; sorting

工业机器人在工业生产中的应用越来越广泛, 例如在工件的分拣、码垛、零件的焊接、工件的装配等行业逐渐由工业机器人代替人工进行各种作业^[1]。PLC 因具有非常好的数据处理分析能力和较高的稳定性, 使工业机器人在工业生产智能化和自动化水平有了很大的提高^[2-3]。图像处理技术的发展, 使得机器视觉越来越多的用于产品的缺陷检测、物体判断和尺寸测量等方面^[4-5], 将机器视觉与自动化生产线中的工件分拣系统相结合, 用工业智能相机代替各种繁杂的传感器, 可大大简化在软件方面的开发难度、提高对工件或其他物品的识别速度和精度, 具有非常广

阔的应用前景^[6-8]。

文中提出一种基于机器视觉的工件分拣系统, 以 PC 机和 PLC 为控制核心构建通讯网络拓扑结构, 完成系统软硬件设计, 并将该系统应用于分拣生产流水线, 实现工件的自动分拣。

1 系统总体方案

1.1 方案设计

文中研究的码垛自动分拣系统是在工件运输到分拣流水线之后的系统, 整体的组成见图 1。主要由码

收稿日期: 2017-09-22

作者简介: 杜恩明 (1979—), 男, 硕士, 广州铁路职业技术学院实验师, 主要研究方向为机电一体化技术、实训教学与管理。

垛机器人 Robot2、工件分拣流水线、视觉系统、编程计算机、传感器信号采集系统和以 PLC 为主控制器的电气系统组成。视觉识别系统由工业智能相机、光源以及拍摄镜头等几个硬件组成。其中,工业智能相机可识别多种类型的工件,每当托盘传到固定工件位置并且符合拍照条件时,输入一个触发拍摄的信号到光源控制器,触发相机拍摄,然后视觉处理系统输出一个控制信号传送给控制器。

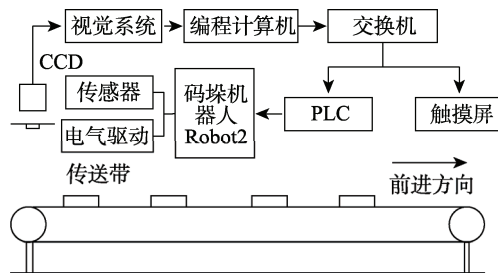


图 1 系统整体构成

Fig.1 Overall composition of the system

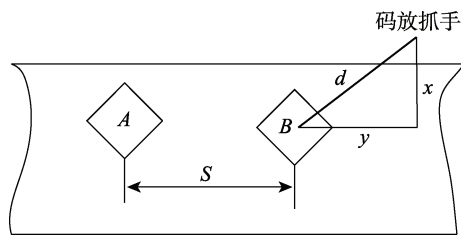


图 2 相机拍摄俯视图

Fig.2 Top view shot by camera

工业机器人开始分拣工件时,工业智能相机采集位置 A 处的工件的图像,然后在机器视觉软件上分析处理图像,提取工件的边缘轮廓信息,得出该工件的特征点 A 和围绕这个点转动的角度 α ,即工件的当前位置和姿态;当工件继续前进经过 Δt 的延迟后,工业机器人的末端夹持装置运动到位置 B 处抓取工件,并放置到指定位置。

1.2 分拣生产线工艺流程

码垛机器人 Robot1 从生产流水线上取出待分拣的工件放在托盘上,通过自动控制送至运输小车 A,运输小车 A 将其输送到分拣流水线,此时视觉系统会利用流水线工件的种类、形状进行视觉处理,码垛机器人 Robot2 进行分拣并将工件放置在与分拣流水线相距一定工作范围的 3 个剐型中进行分类摆放,再经运输小车 B 运送至指定包装流水线进行包装。整个系统以 Modbus-TCP 协议为核心,由主控 PLC 协调码垛机器人、视觉处理系统、监控界面、运输小车 A 和 B 以及工件分拣生产线自动运行,实现自动分拣,文中重点研究码垛机器人 Robot2 的码垛分拣过程,具体的工艺流程见图 3。

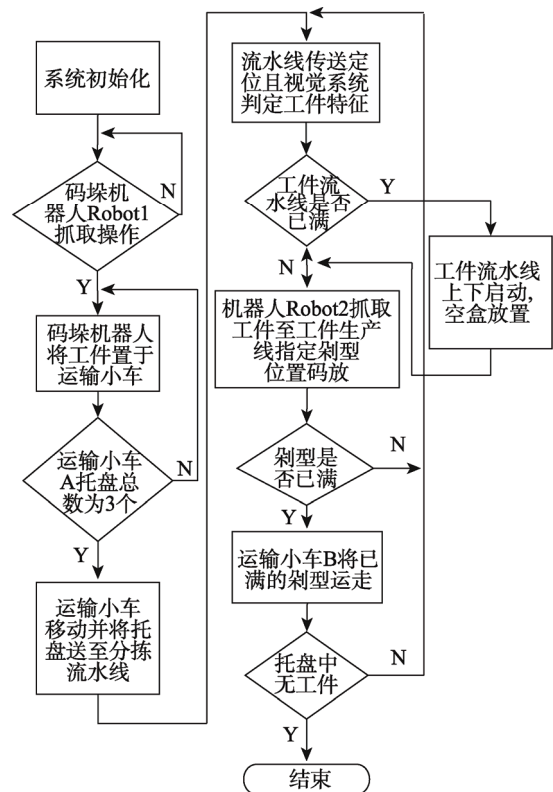


图 3 详细工艺流程

Fig.3 Detailed process

2 系统关键技术分析

2.1 图像处理算法

工件识别算法分为 2 部分:第 1 部分是机器示教部分,通过标准模板 CCD 成像,建立待分拣物的模板并存储在计算机硬盘中;第 2 部分是待测物的识别部分,通过 CCD 成像后与标准模板进行比较,此时图像暂时存放在计算机中以备后续使用。其中,用相似度来判断是否为同类零件,如果是,则分拣至指定通道;否则,则继续进行循环判断。具体的工件识别流程见图 4。

视觉处理器对来源于工业智能相机^[9]的图像的模拟量信号进行形状或者颜色的算术转换,由于事先设定好了容差极限,此时可以根据它来给出计算之后的微分结果^[10]。视觉信息的处理主要包括图像增强、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、图像识别与理解等几个方面^[11],经过算法处理后 PLC 主控制器可得到工件的位置和姿态信息,将结果与图像数据库信息比较,若相似度的值较高则执行抓取。

图像的预处理主要是为了提高采集的图像数据中的信噪比,进行背景噪声的抑制,以减轻后续图像处理压力^[12]。文中采用加权平均滤波方法来取出图像数据的噪声,以此提高图像数据的信噪比。

加权平均滤波算法的优点是可以保留图像边缘细节的局部平滑,它能够根据领域的大小、形状和方向

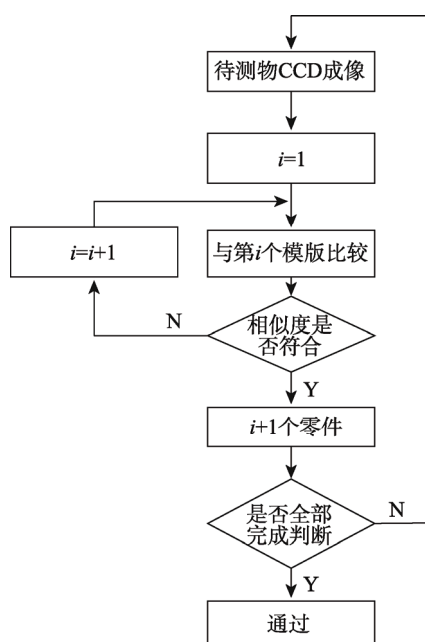


图4 工件识别流程

Fig.4 Workpiece identification process

的选择,各点权值系数的选取等更好地提高图像的信噪比,因此采用该算法进行图像去噪。

位于选取的领域中心待处理的像素点 $O(x,y)$ 称为中心像素点。选取权值的原则如下所述。

1) 中心像素点 $O(x,y)$ 赋予较大的权值,其他像素点的权值均较小。

2) 根据与中心像素点 $O(x,y)$ 的距离确定权值。距离较近的像素点则赋予比较大的权值。

3) 根据与中心像素点 $O(x,y)$ 的灰度值接近的程度大小来确定需要赋予的权值。根据灰度值越接近的像素点,赋予的权值较大的原则来进行赋予权值。

加权平均算法是利用灰度梯度的倒数作为权值的一种改进的算法。在 3×3 滤波窗口领域内的灰度矩阵为:

$$D_j = \begin{bmatrix} f(i-1,j-1) & f(i-1,j) & f(i-1,j+1) \\ f(i,j-1) & f(i,j) & f(i,j+1) \\ f(i+1,j-1) & f(i+1,j) & f(i+1,j+1) \end{bmatrix}$$

相应的灰度梯度的倒数作为权值的矩阵为:

$$W_{f(i,j)} = \begin{bmatrix} w(i-1,j-1) & w(i-1,j) & w(i-1,j+1) \\ w(i,j-1) & w(i,j) & w(i,j+1) \\ w(i+1,j-1) & w(i+1,j) & w(i+1,j+1) \end{bmatrix}$$

其中:

$$w(i,j) = \frac{1}{2}$$

$$w(i+k,j+l) = \frac{d(i+k,j+l)}{2 \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 d(i+k,j+l)}, (k \neq 0, l \neq 0)$$

$$d(i+k,j+l) = \frac{1}{|f(i+k,j+l) - f(i,j)| + 1}, (k \neq 0, l \neq 0)$$

式中: k, l 不能同时为 0。加权平均输出为:

$$F(i,j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 [f(i+k,j+l) \cdot w(i+k,j+l)]$$

2.2 自动分拣码放算法

由图像处理算法生成的工件形心位置,为机器人抓手的抓取提供了坐标点。PLC 控制系统与自动分拣系统进行信息通讯,通过输出的控制信号来控制进行自动分拣码放。其中,分拣过程的识别抓取算法:首先程序启动时读入事先存储好的工件模版,在相机拍摄得到工件的图像后,视觉处理器根据工件轮廓外形对工件进行位置确定,得到工件当前的中心点和需要旋转方向,并对获得的图像进行矫正。对矫正后的图像进行处理得到抓取工件时抓手需要旋转的方向,并在传送带速度和码垛机器人运动速度的对比下计算抓取工件所需要的脉冲数,然后抓取工件并进行码放。

码垛机器人在码放过程中,由于一个机器人需要管理 3 个码垛剝型,因此在码放时可能会出现中间剝型工件多,两侧剝型工件少的码放障碍问题。正常情况下,图像处理器采集图像信息后进行处理,识别出工件的类型信息,将该信息传送给 PLC 控制器。PLC 根据图像处理器处理后的数据判断出工件的类型,然后根据事先设定的工件码放剝型进行码放。当障碍检测传感器检测到中间剝型有障碍时就执行越障动作。具体码放过程的算法见图 5。

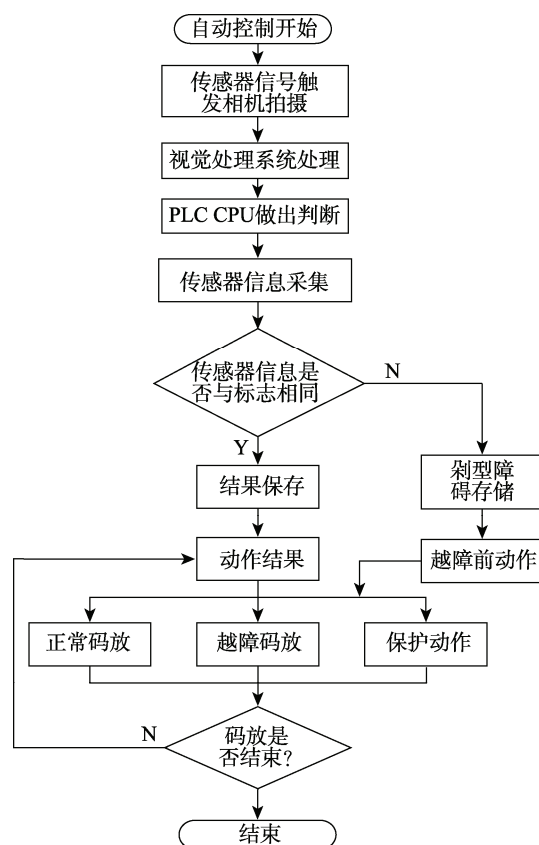


图5 码放算法

Fig.5 Stacking algorithm

3 控制系统设计

自动分拣流水线的控制系统采用分级递阶的管理结构，由管理级、控制级和现场级组成^[13]。

1) 管理级。管理级由全程监控 PC 机和服务器组成。管理级负责整个流水线控制系统的监控、管理、修正参数等行为。

2) 控制级。PLC 作为主控制器，利用 PLC 与机器人的通讯^[14]来接收执行级的信息并向执行级发送处理后的相应的指令。

3) 执行级。主要构成部分是光电传感器、驱动电机、拍摄摄像头、电磁阀、抓手等，主要接收控制级传来的指令，并将信息反馈给控制级。具体的电气原理见图 6。

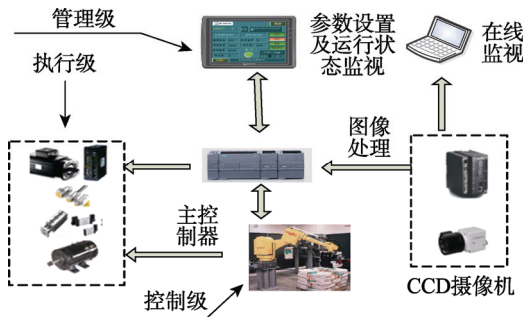


图 6 电气原理
Fig.6 Electrical principle

自动分拣码垛系统通过工业以太网把整个系统连接起来，包括主控 PLC 和流水线控制 PLC 与码垛机器人、监控触摸屏、视觉处理系统、变频器、伺服驱动器、光电传感器以及编程计算机等，彼此分工合作实现工件的分拣码放^[15]。以 PLC 为控制核心的系统通讯拓扑网络见图 7。

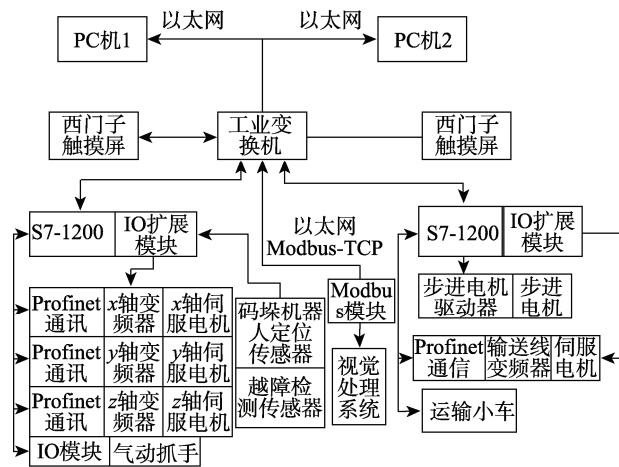


图 7 PLC 网络系统
Fig.7 PLC network system

S7-1200 PLC 具有以太网接口，通过 Modbus-TCP 协议，控制器之间或者控制器通过网络与其他设备通

信^[16]。为了进行通讯，Modbus 协议在数据传输开始之前建立各个设备间的逻辑上的关系，并在 Modbus 与 PLC 之间建立好对应地址关系，见表 1。

表 1 分类识别抓取结果
Tab.1 Grasping results of classification and identification

MB-地址	S7-1200	
	PLC 地址	数据区域
1-8192	A0.0-A1023.7	数字量输出
10001-18192	I0.0-I1023.7	数字量输入
30001-30512	IW0-IW1022	数字量输入
40001-49999	DBW0-DBW1999 8	保持存储器

4 实验与结果分析

4.1 图像识别处理算法验证

文中只针对比较规则的工件进行分拣码放实验。工作现场需要识别 2 个工件，一个是六边形件，另一是方形件，对其成像并建立模板，见图 8a。

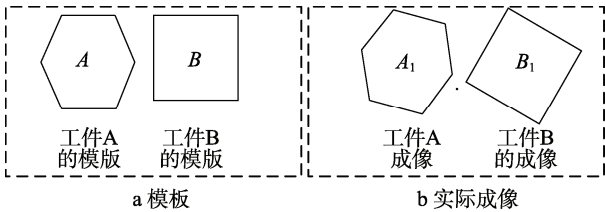


图 8 工件示意
Fig.8 Schematic diagram of workpiece

在码垛机器人 Robot2 工作的分拣流水线上，由于加工完后零件摆放位姿的随意性，实际成像会有所不同，对实际成像进行拍照，见图 8b。然后验证文中使用的图像处理算法。首先对待测的工件进行加权平均滤波算法，之后对工件的形心以及旋转角度利用该算法进行检测，实际结果见表 2。

表 2 工件和模版形心的角度
Tab.2 Angle between workpiece and template centroid

零件	形心	角度/(°)
模版 A	447.35, 621.51	-86.86
工件 A	796.67, 440.49	-56.84
模版 B	614.49, 523.41	-1.16
工件 B	1005.71, 478.37	-51.56

根据表 2 数据，计算工件的位置偏差和旋转角度，然后与标准模版进行比较。预先设备相似度阈值为 0.85，工件 A 与模版 A 的比较值为 0.97，与模版 B 的比较值为 0.23。工件 B 与模版 A 的比较值为 0.24，与 B 模版的比较值为 0.96，因此，该自动分拣系统可以根据相似度大小判断不同的工件，验证了图像出路算法的合理性。

4.2 分拣码放实验

对不同类型的工件 A 和 B 进行分拣码放实验, 具体结果见表 3, 由表 3 可知, 文中设计的自动分拣码放系统对工件的识别精度较高, 均在 99% 以上, 处理时间短, 均在 0.2 s 以下, 能够满足生产要求。此外, 当中间剝型出现障碍, 码放工件需要越障时, 码垛机器人总能控制机械末端抓手成功越障。

表 3 工件码放实验结果
Tab.3 Workpiece stacking experiment results

类 型	抓取 个数	越障 次数	越障成 功数	匹配成 功数	识别精 度/%	处理时 间/s
1	800	86	86	798	99.6	0.18
2	800	92	92	796	99.2	0.20
3	800	112	112	797	99.4	0.16
4	800	79	79	798	99.6	0.17

5 结语

以 S7-1200 PLC 为控制核心, 在结合机器视觉的基础上, 以 Modbus-TCP 协议构建网络拓扑结构, 设计了工件的自动分拣码放系统, 实现了工件的自动分拣码放, 具有自动化程度高、分拣精度高、运行稳定、工作效率高等优点, 具有广阔的市场应用前景。该分拣码放系统仅适用于比较规则工件的分拣码放, 后期会对不规则工件的分拣码放进行研究。

参考文献:

- [1] 王田苗, 陶永. 我国工业机器人现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014, 50(9): 1—13.
WANG Tian-miao, TAO Yong. Present Situation and Industrialization Development Strategy of Industrial Robots in China[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(9): 1—13.
- [2] DUN C L. The Application of Intelligent Industrial Robotic Control System Based on PLC in Mechanical Automation[J]. Advanced Materials Research, 2013, 738: 272—275.
- [3] WEI D W, YU J F, TENG H, et al. Application of Economic CNC System Based on PLC and Touch Screen[J]. Advanced Materials Research, 2013, 816/817: 971—975.
- [4] SONKA M, HLAVAC V, BOYLER R. Image Processing Analysis and Machine Vision[M]. Toronto: CL Engineering, 2007.
- [5] 王璜, 李九灵, 代新, 等. 可重用的机器视觉检测算法库设计[J]. 湖北工业大学学报, 2013, 28(2): 49—52.
WANG Huang, LI Jiu-ling, DAI Xin, et al. Design of Reusable Machine Vision Detection Algorithm Library[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2013, 28(2): 49—52.
- [6] 晏祖根, 王立权, 孙智慧. 面向食品生产的高速自动分拣系统的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 16—18.
YAN Zu-gen, WANG Li-quan, SUN Zhi-hui. The Study of High Speed Automatic Sorting System for Food Production[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 16—18.
- [7] 许德群, 肖衡. 我国包装与食品机械发展现状及趋势[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(5): 47—50.
XU De-qun, XIAO Heng. Development Status and Trend of Packaging and Food Machinery in China[J]. Packaging and Food Machinery Pack Food Mach, 2011, 29(5): 47—50.
- [8] 李海山, 徐火生, 欧中红, 等. TMR 容错计算故障恢复技术研究[J]. 计算机科学, 2008, 35(7): 119—121.
LI Hai-shan, XU Huo-sheng, OU Zhong-hong, et al. Research on Fault Recovery Techniques for TMR Fault-computing[J]. Computer Science, 2008, 35(7): 119—121.
- [9] TIAN Y Y, TAN Q C. Study of CCD Laser Range Finder Based on Static Image[J]. Microcomputer Information, 2007(31): 98—99.
- [10] GONZALEZ R C, RUAN Q Q. Digital Image Processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [11] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
ZHANG Yu-jin. Image Processing and Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [12] 管经纬, 周虎, 杨慧斌. 基于机器视觉的工件自动分拣系统的研究[J]. 机械工程师, 2014(8): 18—20.
GUAN Jing-wei, ZHOU Hu, YANG Hui-bin, The Research of Automatic Sorting System Based on Machine Vision[J]. Mechanical Engineer, 2014(8): 18—20.
- [13] 毛吉贵, 白玉成, 肖清明, 等. 基于双总线构架的巡线机器人分布式控制系统[J]. 武汉大学学报(工学版), 2012, 45(3): 379—384.
MAO Ji-gui, BAI Yu-cheng, XIAO Qing-ming, et al. A Distributed Control System Based on Dual-bus Frame for Power-line-inspection Robot[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2012, 45(3): 379—384.
- [14] 王鸿博, 李建东. 基于工业机器人分拣生产线群控通信系统设计[J]. 制造技术与机床, 2016(3): 93—97.
WANG Hong-bo, LI Jian-dong. Design of Group Control Communication System Based on Industrial Robot Sorting Production Line[J]. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2016(3): 93—97.
- [15] 朱作付, 徐超, 葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 24—26.
ZHU Zuo-fu, XU Chao, GE Hong-mei. The Application of Machine Vision Technology in Packaging Field[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 24—26.
- [16] 李秀钟, 钟造胜. 基于 S7-1200 的弱磁性铁矿石磁选机控制系统设计[J]. 自动化技术应用, 2015, 34(7): 56—61.
LI Xiu-zhong, ZHONG Zao-sheng. Design of Weak Magnetic Iron Ore Magnetic Separator Control System Based on S7-1200 PLC[J]. Techniques of Automation and Applications, 2015, 34(7): 56—61.