

基于 PLC 控制机械手臂取放料的系统设计

苗 琳¹, 施永刚²

(1. 杭州恒领科技有限公司, 浙江 杭州 310000;

2. 浙江娇阳生物医疗科技有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:随着工业自动化的不断深入,工业机器人已成为提升生产效率和降低成本的关键技术。尽管中大型机器人在工业生产中占据主导地位,但在精细化的生产流程中,小型机器人的应用需求日益凸显。为满足这一需求,该文设计了一种用于小型、多类型零部件抓取与投放的机器人系统。该系统集成了 CCD 检测单元,用于精确识别待放入物料的盒子状态;组件产品物料输送单元则实现了物料的自动、高效输送;系统中的 4 台机器人负责执行取料放料操作;系统通过触摸屏进行交互。整个系统通过 PLC 实现各部分的通信与控制,确保了信息传输的实时性和准确性。在实际应用中,该机器人系统展现出了稳定的运行性能、高精度的重复定位能力以及较低的成本投入。

关键词:机器人;PLC;视觉系统;控制方案;系统设计

中图分类号:TB937

文章编号:1000-0682(2025)01-0036-06

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.01.007

Base on design of a PLC controlled robotic arm feeding and discharging system

MIAO Lin¹, SHI Yonggang²

(1. Hangzhou Hengling Technology Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310000, China;

2. Zhejiang Jiaoyang Biomedical Technology Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310000, China)

Abstract: As industrial automation continues to advance, industrial robots have become a critical technology for enhancing production efficiency and reducing costs. Although medium to large-sized robots dominate industrial production, there is a growing demand for small robots in refined production processes. To meet this demand, this paper designs a robot system for the gripping and placing of small, multi-type components. The system integrates a CCD detection unit for accurately identifying the status of the boxes to be loaded with materials, a material conveying unit for the automatic and efficient transport of component products, and four robots responsible for executing the pick-and-place operations. Interaction with the system is achieved through a touchscreen. Communication and control among various parts of the system are realized through a PLC, ensuring real-time and accurate information transmission. In practical applications, this robot system has demonstrated stable operational performance, high-precision repeat positioning capability, and low-cost investment.

Keywords: robot; PLC; vision system; control plan; system design

0 引言

在国家部署全面推进《中国制造 2025》与工业

收稿日期:2024-04-26

第一作者:苗琳(1982—),女,学士,工程师,从事电气设备设计与管理、维护相关工作。

通信作者:施永刚(1983—),男,学士,工程师,主要从事电气设备技术研究与管理、维修工作。

4.0 的背景下,进一步降低生产成本、提升生产质量和效率,以实现从制造业大国向制造业强国的转变尤为重要。目前制造业的生产中,工业机器人因为其高易用性、高生产效率和安全性被广泛应用于工业生产过程中,机器取代手工操作已是大势所趋。但目前工业机器人多数为中大型机器人,主要服务于搬运、码垛、焊接等重型作业和宏观操作,这类机器人负荷大、机器人的本体也较大。而在精细化生

产过程中,小型机器人的应用仍相对有限。

鉴于上述现状,该文针对生产过程中需要进行的小体积、多类型零部件的取放操作,设计了一种基于 PLC 控制系统的小型机器人。该机器人能够一次性抓取多种类型、若干数量的零部件,并精准地将它们放入带有凹槽卡位的小型盒子中。^[1] 该文的研究能为小型机器人的设计研发及应用提供一定的借鉴和参考。

1 应用目的与系统组成

1.1 应用目的

在生产过程中,需要将 4 个组件产品放入已成型好的盒子里面以完成组装。如图 1 所示,4 个组件产品已经放入盒中。

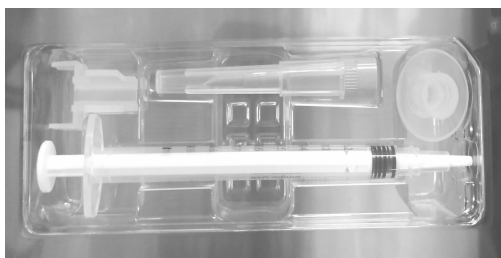


图 1 盒中四种组件图

1.2 系统组成

方案由 4 台机器人机构、4 种物料输送与物料存储机构、CCD 相机检测机构和 PLC 触摸屏控制机构组成。如图 2 所示。

上述机构所使用的电气自控元器件包括: CCD 相机与控制器,机器人本体与控制器,PLC 与触摸屏,电磁阀,气缸与卡爪,振动输送机,光电开关与接近开关,伺服与驱动器等。

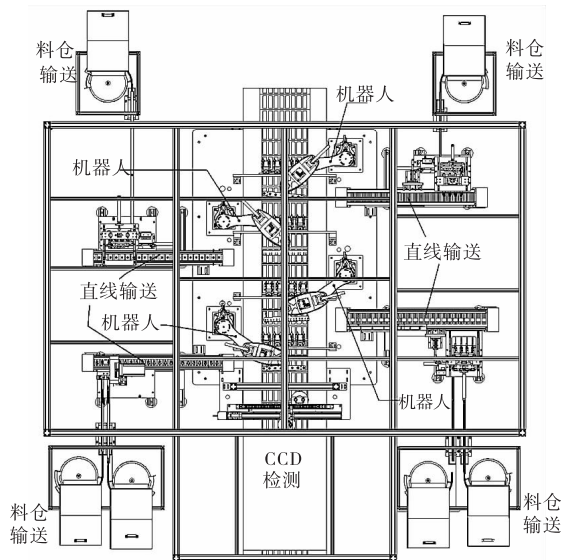


图 2 设备构造图

整体设备的控制系统由 CCD 检测系统、组件产品物料输送与存放系统、工业机器人控制系统、PLC 与触摸显示屏控制系统组成 5 个部分。如图 3 所示。

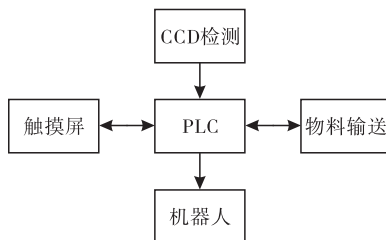


图 3 控制系统框架图

根据图 3 控制系统框架图,整个控制系统可以划分为 4 个单元:(1) CCD 检测单元,(2) 组件产品物料输送单元,(3) 触摸屏控制单元,(4) 机器人执行单元。各单元主要元器件清单如表 1^[2-3]。

表 1 各单元主要元器件表

单元部分	技术规格
CCD 检测	基恩士 CV、CV200
组件产品物料输送	旋转振动、直线振动输送
触摸屏控制	基恩士 KV、普洛菲斯 GP
机器人执行	雅马哈 YK 四轴机器人系列

2 系统控制方案

如图 3 所示,控制方案可以划分为 4 个单元,且每个单元均与 PLC 通信,由 PLC 获取 4 个部分的控制信息,用于驱动机器人取料放料。4 个单元具体内容如下:(1) 物料经过物料输送单元运送至机器人待取料区域;(2) CCD 检测单元检测盒子状态,状态良好与不良均会通知 PLC;(3) 如果盒子良好,机器人单元从取料位置抓取物料、然后放置到盒内,放好后机器人单元再回归至取料位置;(4) 操控人员通过触摸屏与机器进行交互。

2.1 CCD 检测单元

CCD 检测单元采用基恩士 CV 系列视觉系统、CA 系列相机、桶状光源。CCD 检测盒子外观确定盒子外观良好。如图 4 所示为没有放入物料的盒子(图 1 去除物料的空盒子图)经 CCD 拍摄处理后显示出来的盒子外观图。其中,大框是检测的区域,小框是检测出来的与样本设置相似的区域,检测图片与录入系统中的样本图片相似度的数值为 88.2 和 94.1。说明本次检测实物外观已经达到使用要求(检测实物外观相似度大于良品设定的使用要求,若是低于良品使用要求会被系统判定为不合格)。

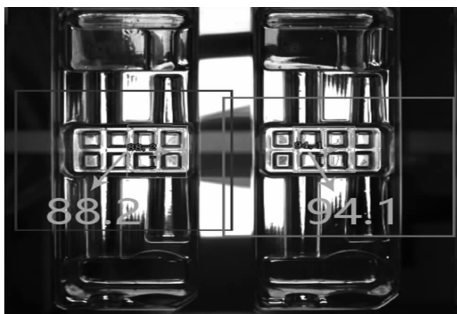


图 4 CCD 检测盒子图

CCD 检测的设定如下:(1)设定检测范围,拍摄的图像中选取需要检测图案出现的区域,只要在这个区域内出现该图案,那么就会自动检测;(2)选用位置偏移补正,因 CCD 每次拍摄盒子图像时,盒子位置会出现位置波动偏移,若是不采用位置偏移补正,会导致检测误差较大,良品被判定为不良品;(3)可采用较传统的轮廓检测有无、图形检测有无、黑白面积检测有无等方式设置检测盒子是否为良品;(4)CCD 接收与输出信号,当外部运行信号触发时,CCD 下方的轴向伺服开始运行,运行至设置位置后,触发 CCD 光源开启、CCD 拍摄图像。本次拍摄的图像与系统内录入的良品图像进行相似度对比,相似度高于设置值为良品,低于设定值为不良品。CCD 将检测结果输出给 PLC,供其做进一步的处理^[4-5]。

2.2 物料输送单元

方案中 4 种物料输送方式比较相似,现举例其中一种物料的输送方式。设备系统如图 5 所示。

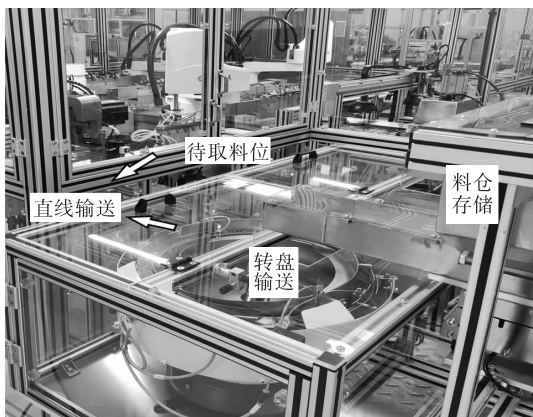


图 5 物料输送设备系统图

物料输送方式是自动输送,主要流程步骤为:人员把物料投入设备上方的储料仓,物料经过提升、转盘振动输送、直线振动输送至机器人待取料区域位置,等待机器人取料。

物料输送设备系统由以下几个部分组成:

(1)料仓存储:采用提升方式将料仓内的物料输送至转盘内。转盘内设有物料检测开关,当缺料时料仓提升启动,给转盘内送料。

(2)转盘输送:转盘内设有螺旋爬升槽,转盘顶部外圈设置有仿形槽、正位送料与反位送料吹气槽。振动器振动将物料由转盘底部输送至前方直线输送区域。当前方直线输送料满时报警,转盘停止运行。

(3)直线输送:位于转盘输送与机器人待取料位置之间,可使输送物料平稳快速到达待取料位置。在输送过程中设置有缺料检测,当物料缺少时报警停机,通知人员检查处理。

(4)待取料位:物料进入待取料位置前方的仿形槽内,当物料行进至待取料等待位置时,直线输送停止运行,给机器人信号,等待机器人取料。机器人将物料取走,反馈给 PLC,控制程序进行下一步处理。

物料输送系统上面使用的元器件有振动器、电磁阀、气缸、光电开关与转换器、卡爪、导轨等^[6]。

2.3 PLC 控制单元

该文选用基恩士 KV 系列 PLC 编程。

PLC 参与通信和控制可分为 4 个部分,分别如下:(1)PLC 与 CCD 控制单元通信;(2)PLC 与物料输送单元控制通信;(3)PLC 与机器人控制单元通信;(4)PLC 与触摸屏单元通信。各部分之间通信采用网络协议通信^[7],通信的具体内容如下。

2.3.1 PLC 与 CCD 控制

PLC 与 CCD 通信中,主要内容为:(1)CCD 检测盒子外观良好与否;(2)盒子输送时会产生微小位移变化,此位移变化需要 PLC 处理并且采取增设编码器方式补偿,否则会导致机器人放料位置不准确。PLC 处理 CCD 拍照的一段程序如下图 6 所示。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00001 000000	MR29000 ↓ 手动启动 切换开关								MR3000 (RES) 外观拍照 一周前	MR31000 (RES) MR31004
00002 000004	MR29000 ↑ 手动/自动 切换开关	MR3000 ↑ 外观拍照 一周前							@MR000 (RES) @MR115	@MR200 (RES) @MR215 拍照输出
00003 000009	MR29000 ↑ 手动/自动 切换开关	MR3000 ↑ 外观拍照 一周前								MR31000 (RES) MR31004
00004 000012	MR29008 ↑ 前料按钮	LR2000 (SET) 外观拍照 ON/OFF	LR000 (SET) 1#位移信号	LR200 (SET) 2#位移信号	LR400 (SET) 3#位移信号	LR600 (SET) 4#位移信号	LR3000 (SET) 5#位移信号	LR3200 (SET) 6#位移信号	LR3400 (SET) 7#位移信号	LR3600 (SET) 8#位移信号
00005 000029	CR2002 ↑ 常开N								MOV #30	DM2010

图 6 一段 CCD 拍照程序

CCD 相机由直线型伺服驱动器带动运行,按照使用设定了几个拍照点位,伺服带动 CCD 运行至拍照点位时停止,此时触发 CCD 开始拍照,点位接近开关被遮挡后,反馈到达点位信号给 PLC,待 CCD 到达最后一个拍照位置,CCD 已经运行一周。相应

传输内部逻辑继电器 MR 的相关数据。

当盒子位置发生偏移时,需要处理该偏移量,这时使用编码器计算盒子每次出现的偏差量。编码器位移处理程序如图 7 所示。

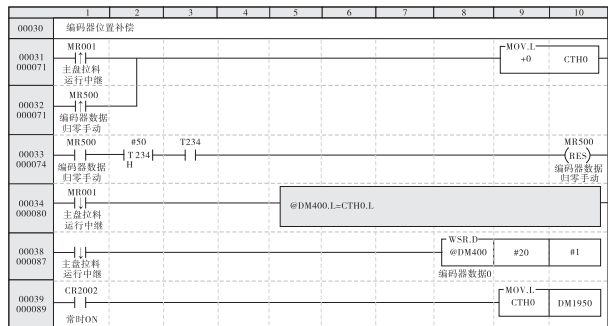


图 7 编码器位移程序图

编码器安装在成型盒子处,设置编码器转动一圈的数值,编码器发送脉冲信号,数值传送到 PLC 内部数据,经过补偿计算后,输出位移移动偏差数值给机器人,当出现位置偏差时,用来更新机器人放料点位置信息并准确放料。

2.3.2 PLC 与物料输送控制

物料输送应用执行电气元件较多,如:振动器、电磁阀、气缸、感应开关、单轴伺服等,其中一段控制程序如图 8 所示。

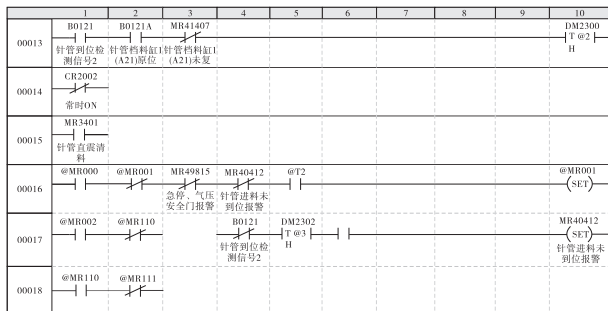


图 8 一段物料输送的程序图

应用设计时,根据物料的输送性质提前设定好振动器的频率和电压,使物料能够平稳快速的通过旋转段、直线段、仿形段。PLC 程序控制振动器与电磁阀吹气启停,当各段内的物料较少时启动输送,反之则停止输送。按照物料的形状设置的仿形槽体,配合使用电磁阀气吹,可使物料快速、安全的通过并且到达机器人待取料位置^[8-9]。

2.3.3 PLC 与机器人控制

PLC 与机器人控制分 2 部分,一部分是 PLC 通信机器人,另一部分是机器人通信 PLC。这 2 部分各自接收对方的通信信息,用于逻辑计算、执行等。PLC 端口通信如图 9 所示。

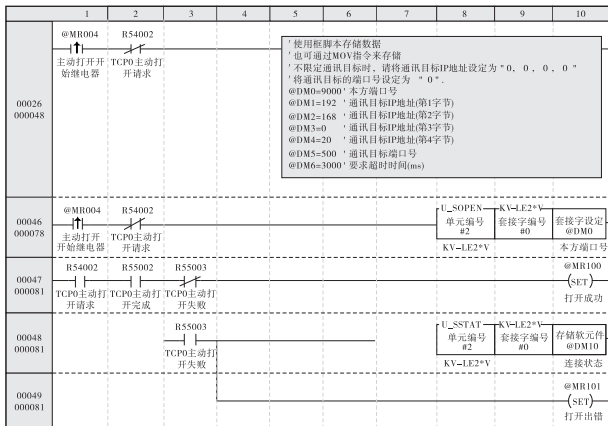


图 9 PLC 接收与发送机器人的通信程序图

方案中的通信形式采用网络通信方式,已经设定好 PLC 的 IP 地址和机器人的 IP 地址。因为有四种物料需要投放,所以对对应了 4 台机器人取料放料^[10-11]。因机器人应用基本相同,故该文中只以图 10 中地址为 192.168.0.20 的机器人为例进行论述。具体过程如下:

(1) PLC 接收和发送给该机器人的 IP 地址内的数据;(2) 当可以取料放料时,PLC 输出信号给机器人,通知机器人取放料;(3) 机器人收到 PLC 的信息后执行相关程序;(4) 机器人动作结束后,反馈信息给 PLC。

机器人端口接收 PLC 通信数据程序如图 10 所示。机器人接收程序后,按照机器人内部程序开始运行。

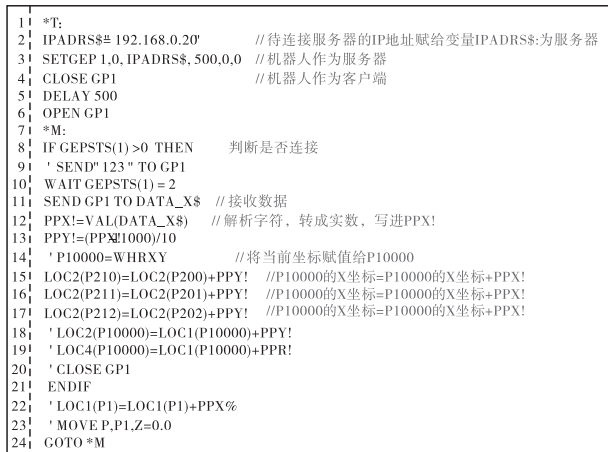


图 10 机器人接收 PLC 的通信程序图

2.3.4 PLC 与触摸屏控制

在触摸屏上设置相应的软元件,定义软元件在 PLC 内部的 MR 数据地址,当在触摸屏上点击相应按键时 PLC 执行相应程序。

2.4 机器人部分

该文根据待投放物料的重量、取放料的形式来

确定使用四轴机器人^[12]。该文选用了雅马哈 YK 系列四轴机器人。其优点是既节约成本,还能提高运行速度。选用的机器人基本规格如表 2 所示。

表 2 机器人规格表

旋转范围	X 轴 $\pm 134^\circ$	Y 轴 $\pm 152^\circ$	Z 轴 -	R 轴 $\pm 360^\circ$
重复定位精度	$\pm 0.01 \text{ mm}$	$\pm 0.01 \text{ mm}$	$\pm 0.01 \text{ mm}$	$\pm 0.01^\circ$
最高速度	8.6 m/s	8.6 m/s	2 m/s	2600 $^\circ/\text{s}$

方案中,机器人的 R 轴前端分别加装了气缸与卡爪抓取机构以及真空吸取机构。其分别用于抓取不同的 4 种物料。气缸卡爪与真空吸取结构上面按照物料的外观尺寸制作对应的夹爪与吸盘。物料被抓取后,在机器人抓取移动的过程中运行稳定、并且不易损伤物料^[13-14]。机器人取放料部分如图 11 所示。



图 11 4 台机器人取放料图

图 11 中可见 4 台机器人在其各自对应的物料待取位置等待物料到达。当物料到达,机器人移动至取料位置,其 R 轴前端卡爪或真空吸取机构把料抓住,物料输送带上检测物料已经取走,机器人行进至放料区域,对应放料。放料完成机器人运行至待取料区域等待再次取料,这就是机器人运行的一个循环过程^[15]。举例其中 1 台机器人的部分运行逻辑程序如下所示:

```
DO2(0) = 1' 机器人回原点完成
START < TEST >
* ST10' 主程序
WAIT DI2(0) = 1' 等传输允许取料
ASPEED 70
DO2(0) = 0
* ST11:
WAIT DI2(0) = 1' 等传输允许取料
GOTO * quliao' 取料位置
DELAY 100
```

```
GOTO * ST11
* quliao: 取料位
MOVE L, P100, S = 100, CONT
WAIT DI2(0) = 1' 等取料
MOVE L, P101, S = 30' 取料位 1
WAIT ARM' 等机器人到达位置
GOSUB * Pike
MOVE P, P100, S = 50
OUT DO2(1), 500' 取料完成并输出脉冲
GOTO * fangliao
* fangliao: 放料位
MOVE L, P21, S = 100, CONT' 点位保存至 P200
与 P210
WAIT DI2(1) = 1' Y 允许放料
MOVE L, P212, S = 30' 姿态位 1
MOVE L, P211, S = 10' 姿态位 2
WAIT ARM' 等机器人到达位置
GOSUB * Put
MOVE P, P210, S = 50, CONT
OUT DO2(2), 500' 放料完成并输出脉冲
GOTO * quliao
* Pick: 真空动作
DO2(3) = 1' 取料真空
DO2(4) = 0' 取料反吹
DELAY 200
WAIT DI2(2) = 1' 真空到达
RETURN
* Pick:
DO2(3) = 0' 取料真空
DO2(4) = 1' 取料反吹
DELAY 400
WAIT DI2(2) = 1' 真空到达
RETURN
以上是机器人的部分程序。
```

3 设计中需要注意的事项

(1) 根据产品取放性质选择相应机器人。需要选择经济性与实用性好的机器人,避免出现大材小用的浪费现象。机器人 R 端加装了多个卡爪气缸与真空吸取装置,可以使机器人一次性取放多个产品,能够节省时间、提高产量。

(2) 根据产品的外观与输送的要求,设计固定仿形槽,仿形槽用于旋转振动轨道与直线振动轨道输送物料上面。输送过程中还需要配合使用气动电

磁阀辅助控制。如:满料气吹开启,阻止物料继续输送,并能停止振动输送机器。当物料输送方向为反向的时候,气动吹气阻止反向物料混入输送机构。将物料快速吹送到指定位置等。

(3)使用检测运行稳定、设置较为方便的 CCD 产品。该文所用 CCD 具有设置简单、操作便捷、可扩展性强的特征。便于设置轮廓检测和面积检测。

(4)选用中小型 PLC,具有扩展功能、通信功能较强、便于编辑的优势。

(5)要保证系统各部分之间通信稳定可靠,需选择具有网络协议通信功能的设备。

4 结束语

该文设计了 PLC 控制机械手臂取放料的控制方案,该方案充分考虑了所取放物料的物理形状与质量,并据此合理选取了机器人、CCD 视觉系统以及配套的电控元器件。经过实际测试验证,该机器人系统展现出了较高的重复运行精度和准确的取放料位置定位。该文对于需要实现类似功能的研发人员具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 范金玲,王育. 基于基恩士 PLC 的自动化装配系统设计[J]. 机械制造与自动化,2011,40(06):191-193.
- [2] 刘芬. 基于 PLC 的工业机器人轨迹跟踪自动化控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2021(07):84-88.
- [3] 卢凤禄,吴宏图,张晓昆,等. 基于 3D 视觉引导的民航行李机器人码垛系统设计[J]. 制造业自动化,2023,45(11):185-189+201.
- [4] 胡晓娟,金海军,陈慧娟,等. 一种用于装箱的四轴关节机器人运动控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2023(04):239-241+251.
- [5] 戴震班,张俊,张育嘉. 冲压原材堆垛分张自动化分析与应用[J]. 自动化应用,2020(04):35-38.
- [6] 白蕾,张小洁,侯伟. 基于工业机器人的智能生产线设计与开发[J]. 工业仪表与自动化装置,2018(03):69-72.
- [7] 刘卜文,徐世许,张江辰. 基于四轴机器人的冲压上下料控制系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2023(01):46-50+126.
- [8] 王大伟. 工业机器人应用基础[M]. 北京:化学工业出版社,2018.
- [9] 赵春东. 基于机器视觉和四轴机器人的晶圆缺陷检测系统设计与实现[D]. 天津:天津科技大学,2023.
- [10] 陈国栋. 工业机器人机械装调与电气控制[M]. 北京:电子工业出版社,2019.
- [11] 陈涛,杲春芳. 基于工业机器人的智能制造单元设计[J]. 自动化技术与应用,2019,38(10):29-32.
- [12] 马红卫. 基于机器视觉的工业机器人定位系统研究[J]. 制造业自动化,2020,42(03):58-62+97.
- [13] 关薇. 上下料机器人第七轴控制系统设计[J]. 自动化技术与应用,2020,39(05):21-24+29.
- [14] 施永刚. 工业机器人在自动化生产线上的改造应用[J]. 电气时代,2024(02):24-26.
- [15] 韩建海. 工业机器人(第 5 版)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2022.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年
地址:西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编:710075 电话:029-81871277
网址:<http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱:gyybbjb@126.com