

基于机器视觉的工业机器人装配工作站架构设计

赵伟博, 李琳杰

(陕西工业职业技术学院 航空工程学院, 陕西 咸阳 712000)

摘要:针对传统制造业人工装配成本高、装配效率低等问题设计了一种基于机器视觉的工业机器人装配工作站架构。工作站主要包含可编程逻辑控制(programmable logic controller, PLC)主控系统、工业机器人、立体仓库、变位机模块、旋转料库、射频识别(radio frequency identification, RFID)模块、井式供料模块、快换装置以及工业相机等。给出了工作站装配流程以及主控系统与各功能模块的通信架构,其中,PLC与工业机器人采用Socket通信进行底层数据交互,为工业机器人间接控制变位机、旋转料库及立体仓库等模块提供数据接口。工作站架构经实际应用验证,能高效地完成工件的自动装配,实际运行效果良好。该工作站系统架构,对传统制造业进行产线改造升级具有较好的借鉴意义。

关键词:PLC;工业机器人;工业相机;机器视觉

中图分类号:TP242;TP391.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)05-0014-05

Architecture Design of Industrial Robot Assembly Workstation Based on Machine Vision

ZHAO Wei-bo, LI Lin-jie

(School of Aviation Engineering, Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000 China)

Abstract: Aiming at the problems of high cost and low efficiency of manual assembly in traditional manufacturing industry, an industrial robot assembly workstation based on machine vision is designed. The workstation mainly includes PLC main control system, industrial robot, stereoscopic warehouse, positioner module, rotary warehouse, RFID module, well feeding module, quick change device and industrial camera. The assembly process of the workstation and the communication architecture between the main control system and each functional module are given. Among them, PLC and industrial robot use Socket communication to exchange the underlying data, which provides data interfaces for the industrial robot to indirectly control the positioner, rotary warehouse, stereoscopic warehouse and other modules. The workstation is verified by practical application, which can efficiently complete the automatic assembly of workpieces, and the actual operation effect is good. The system architecture of the workstation has a good reference significance for the transformation and upgrading of the production line of the traditional manufacturing industry.

Keywords: programmable logic controller; industrial robot; industrial camera; machine vision

0 引言

为实现制造业的转型升级,强化制造业的国民经济主体地位,我国在《中国制造2025》战略规划中明确将机器人作为十大重点领域之一^[1-5]。机器人与机器视觉技术的广泛融合应用,将对我国制造业产业升级有着重要的促进作用。

张翔和韩建海等^[6]采用六维力传感器实现机器人轴孔的柔性装配;梁盈富和魏进等^[7]通过工业互联网技术提出了一种工业机器人智能装配工作站的网络通信架构及实现方法;苏建和李在娟^[8]采用PLC控制技术设计一个融合视觉和以太网技术的工业机器人分拣装配控制系统;文献[9-12]均通过RobotStudio仿真软件搭建工业机器

人装配工作站或生产线,并利用Smart组件实现产品装配工艺的仿真与调试。以上研究成果一方面仅是给出了工作站的仿真设计过程,并未进行实际验证,工作站实际运行状态有待验证;另一方面则是通过复杂控制算法实现具体的装配任务,控制系统复杂,功能拓展性差。

针对上述问题,本文以工业机器人关节模型为装配对象设计了工业机器人自动装配工作站基本架构,给出工作站基本构成、通信方式及控制方式,并对工业机器人装配过程、工件视觉识别及主控PLC控制流程进行分析研究。

1 工作站组成

工业机器人装备工作站主要由1台ABB工业机器人、快换装置、输送带、井式供料单元、立体库、变位机单元、HMI触摸屏、视觉模块、装配模块、RFID模块及离线

*基金项目:陕西省教育厅科学研究计划项目(22JK0267)

收稿日期:2023-12-05

编程系统等多个模块组成。系统具体组成如图1所示。

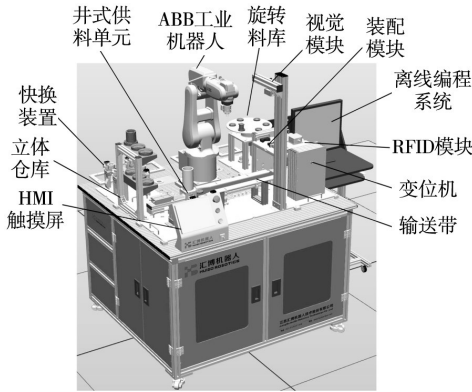


图1 工作站组成

如图2所示,关节装配所需要用到的工件包括:关节底座、电机、减速器、输出法兰。输出法兰装配时必须满足一定的角度关系,才可以顺利装配到关节底座中。

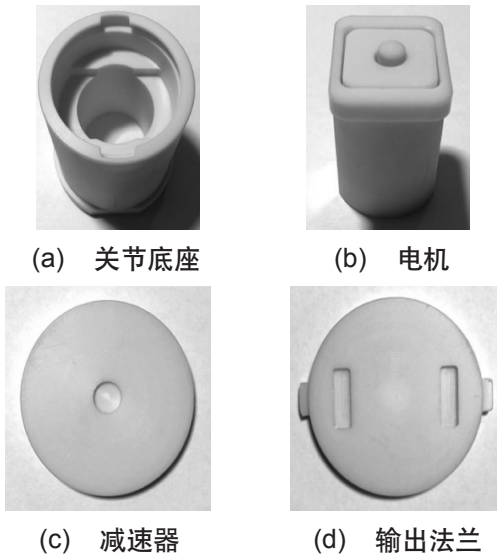


图2 关节装配工件

工作站快换装置主要由弧口爪、直口手爪、吸盘工具及相应检测传感器组成,如图3所示。弧口爪工具可抓取底座和关节产品,直口爪工具可抓取电机工件,吸盘工具可抓取减速器和法兰工件。

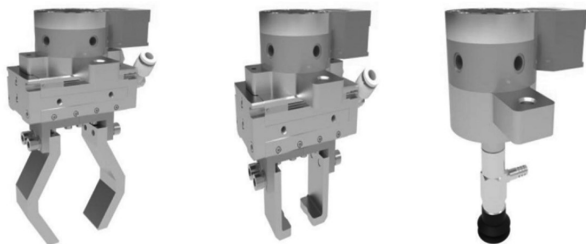


图3 快换工具

工作站装配流程如图4所示,首先机器人吸取弧口爪工具从立体仓库抓取关节底座搬运至相机下方拍照记录

颜色,拍照完成后再将底座放置于变位机上的装配模块;然后机器人自动更换直口爪工具从旋转料库抓取电机至相机下方拍照,若电机颜色与底座颜色一致搬运至底座内装配,若颜色不一致,机器人将电机放回并控制旋转料库继续旋转,抓取下一个电机;电机装配完成之后,机器人控制井式供料单元推料至输送带,输送带启动将工件输送至末端进行拍照,若工件颜色与底座颜色不一致,机器人将工件放回料筒继续推料,若工件颜色与底座颜色一致,且工件类型为减速器,机器人将减速器搬至底座内装配;减速器装配完成后,最后机器人将法兰工件搬至底座内进行装配并顺时针锁紧。

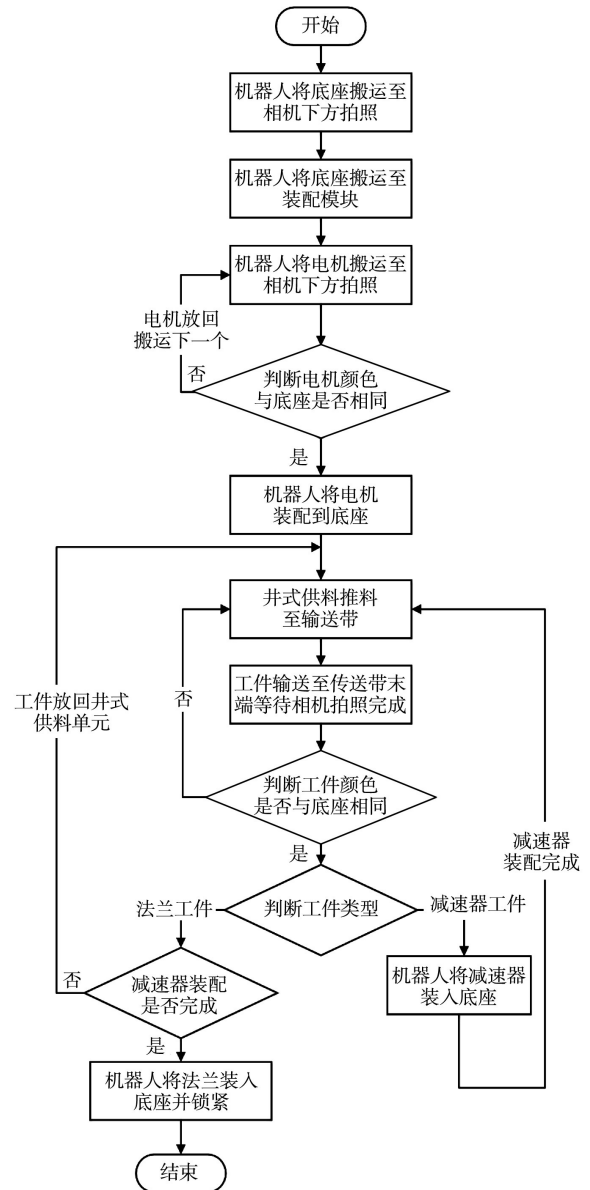


图4 工作站装配流程

2 主控系统组成

2.1 通信架构

工作站网络架构如图5所示,控制系统采用西门子PLC,机器人、PLC、触摸屏、工业相机以及立体仓库之间通过以太网交换机实现连接,设备IP地址处于同一网段。其中,机器人与PLC之间采用Socket通信进行数据的实时交互;PLC与变位机采用MODBUS-RTU通信实现运动控制;PLC与RFID模块通过RS422串口实现数据交互。

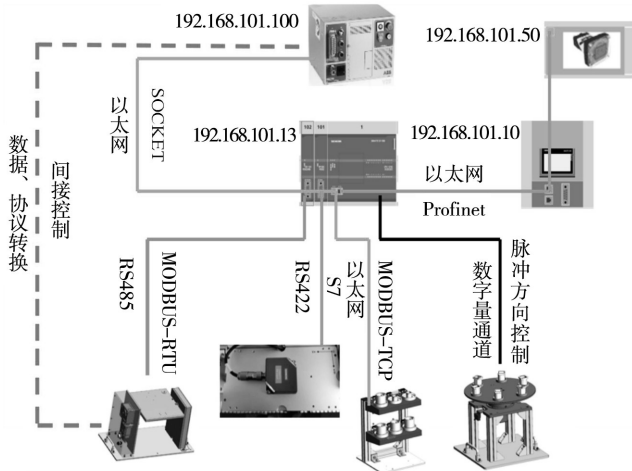


图5 工作站网络架构

机器人与PLC采用Socket通信建立底层数据接口进而间接控制变位机和旋转料库的运动、RFID模块读写操作、立体仓库状态反馈以及工业相机自动拍照。在Socket通信中,机器人端在发送数据前需要自定义相关数据类型,比如控制变位机旋转需要同时发送变位机控制字、变位机位置及变位机速度给PLC,因此,机器人端需要自定义数据类型,该数据类型包含3个num型数据。同理,控制旋转料库、RFID读写等都需要定义相应的数据类型。PLC端同样需要建立相应的数据块来接收和发送数据。需要注意的是,机器人端通过Socket程序打包和解包数据的顺序和长度需要与PLC端建立的数据块数据顺序和长度保持一致。机器人与PLC的Socket通信通过机器人

端建立多任务的模式在后台自动运行^[13-14]。

2.2 PLC 主控系统

主控PLC需要建立相应的通信程序、运动控制程序、相机控制程序及数据解析程序来实现工作站各模块有序完成工件的正确装配。其中,数据解析程序的功能主要是解决机器人与PLC采用Socket通信收发数据时,数据存储格式不一致的问题。

主控程序的编写采用“总一分”的模块化方式来实现。在PLC控制程序的主程序块中,主要对各个功能模块程序进行调用。同时,工作站还设有人机交互系统,由人机界面(human machine interface, HMI)触摸屏实现工作站各模块信息实时显示及运动控制。HMI触摸屏主界面如图6所示,主要由仓储及物料信息、运动控制测试以及RFID测试等界面组成。

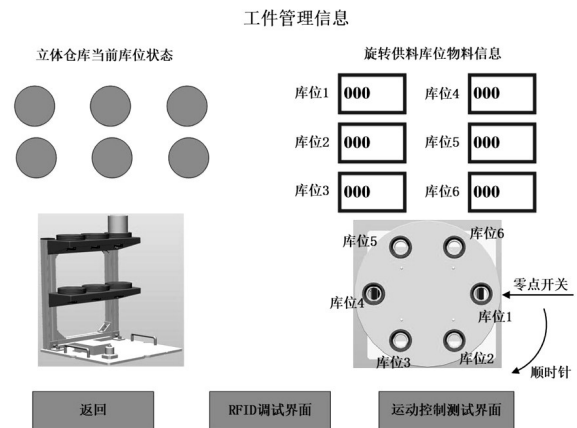


图6 人机交互系统界面

3 视觉系统

工作站进行装配时,需要识别工件颜色和工件类型,因此可选用康耐视彩色智能相机实现上述功能要求^[15-16]。主控PLC通过安装相机GSD文件实现相机的设备组态,



图7 相机学习

相机作为I/O设备与PLC采用PROFINET通信实现信息交互。由图4工作流程可得,相机需要学习工件颜色和工件类型,并将法兰的角度信息发送给机器人。

如图7所示,通过相机软件In-Sight Explorer学习工件的颜色和类型,并将数据发送给主控PLC,PLC通过设备组态对应的输入地址接收相机数据,且相机输出数据的顺序和格式与PLC端须保持一致。

4 机器人程序架构

工业机器人按照图4工作流程进行工件的抓取和装配。每个流程框图对应一个机器人子程序,如表1所示。其中,子程序1~2为快换工具取放子程序;子程序3~12为机器人各个工件装配子程序,机器人主程序依次调用相应功能子程序实现工件的顺序装配;机器人调用工件装配子程序时,机器人通过自定义数据将相机拍照命令发送给PLC,由PLC拍照记录工件颜色和类型,并将工件信息反馈给机器人。

表1 机器人子程序

序号	名称	功能
1	PickTool	取工具程序
2	PutTool	放工具程序
3	PickBase	取电机基座程序
4	PutBase	放电机基座程序
5	RotateTo0	旋转料库回零
6	RotateStart	旋转供料单元启动
7	PickMoto	取电机程序
8	AssembleMoto	安装电机程序
9	Feeding	井式供料单元推料程序
10	Conveyor	启动传送带程序
11	PickFl	取法兰程序
12	AssembleFl	安装法兰程序
13	PickJSQ	取减速器程序
14	AssembleJSQ	安装减速器程序

5 应用实验情况

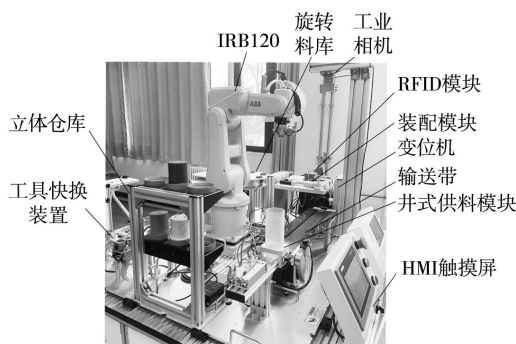


图8 工业机器人装配工作站

根据前文提出的工作站布局、工作站通信组成及主控系统架构搭建真实的工业机器装配工作站。如图8所

示,工作站采用模块化设计,装配模块与RFID模块安装于变位机固定板上,随变位机同步转动。

工作站主控系统选用西门子PLC1200,根据图5所示网络架构,完成各模块的通信连接,通过博途V15软件编程实现模块间的信息交互。其中,相机与HMI触摸屏通过软件组态实现通信控制。

表2 机器人部分I/O配置

序号	符号	信号类型	说明
1	STPB	DI	桌面绿色按钮信号-常开
2	SPPB	DI	桌面红色按钮信号-常闭
3	EMG1	DI	桌面急停按钮信号-常闭
4	STHL	DI	桌面绿色按钮指示灯
5	SPHL	DI	桌面红色按钮指示灯
6	EXDI2	DI	井式供料推头后限
7	EXDI3	DI	井式供料检测
8	EXDI4	DI	皮带运输机前限光电开关
9	EXDI5	DI	皮带运输机后限光电开关
10	EXDO2	DO	井式供料推头气缸电磁阀
11	EXDO7	DO	变位机装配模块气缸张开
12	EXDO8	DO	变位机装配模块气缸闭合
13	EXDO16	DO	皮带运输机启动
14	YV1	DO	快换工具气动系统电磁阀1
15	YV2	DO	快换工具气动系统电磁阀2
16	YV3	DO	快换工具气动系统电磁阀3
17	YV4	DO	快换工具气动系统电磁阀4
18	YV5	DO	快换工具气动系统电磁阀5

快换工具装置、立体仓库、变位机、旋转料库、工业相机、井式供料模块及输送带等模块采用航插接头进行连接,便于拆卸组装及功能拓展。表2给出了机器人与不同模块之间的信号交互。

表3 机器人自定义数据

机器人变量	数据类型	说明
rotatecon:= [0,0]	rotate	[系统命令,运行指令]
rotatestate:= [0,0]	rotate	[系统状态,指令执行情况]
turncon:= [0,0,0]	turn	[伺服命令,目标位置,目标速度]
turnstate:= [0,0,0]	turn	[伺服状态,当前位置,当前速度]
userdefinedatain	userdefine	自定义数据写入INT16个(1-16); REAL16个(17-32)
userdefinedataout	userdefine	自定义数据反馈INT16个(1-16); REAL16个(17-32)

机器人通过建立多任务程序实现与主控PLC的底层Socket通信,并通过表3所示的自定义数据类型及PLC端的数据解析程序实现旋转料库和变位机等模块的自动控制。

6 结束语

结合目前国内制造业向数字化、智能化转型升级的迫切需求,设计实现了基于机器视觉的工业机器人装配

工作站的总体框架。应用工业互联网技术,实现装配工作站各功能模块的网络连接,并在此基础上给出了主控系统、视觉系统及运动执行系统运行架构。工业机器人装配工作站还可增加MES系统,进一步实现生产过程的精确控制,并对生产数据进行实时追踪和修正,节省人力成本,能够较好地满足企业对传统生产模式升级的需求。

参考文献:

- [1] 周春. 工业机器人在智能制造生产线设计中的应用[J]. 集成电路应用, 2022, 39(8): 144-145.
- [2] 熊隽. 基于智能制造生产线的工业机器人应用[J]. 机床与液压, 2018, 46(21): 91-94.
- [3] 杨尹, 顾寄南. 上下料机器人与数控机床群无线通信设计[J]. 制造业自动化, 2012, 34(9): 9-10.
- [4] 季成丞, 王锴, 袁德成. 工业机器人故障诊断与健康预测方法研究[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(2): 1-9, 13.
- [5] 王哲禄. 基于PLC与工业机器人的抛光打磨工作站控制系统的设计与实现[J]. 制造业自动化, 2019, 41(7): 103-105.
- [6] 张翔, 韩建海等. 轴孔装配作业机器人力控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2019(12): 63-66, 70.
- [7] 梁盈富, 魏进, 等. 基于工业互联网的智能装配生产线软件

架构设计与研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(2): 42-45.

- [8] 苏建, 李在娟. 融合视觉和以太网技术的工业机器人分拣装配控制系统设计[J]. 机床与液压, 2021, 49(24): 119-123.
- [9] 李琳杰, 赵伟博, 齐锴亮, 等. 基于RobotStudio的自动生产线工作站设计与仿真[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021(6): 26-29, 100.
- [10] 张华文, 张丽. 机器人装配工作站离线编程与虚拟仿真系统设计[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(6): 28-32.
- [11] 吴洪东. 基于VR技术的工业机器人碰撞自动检测技术[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(12): 131-135.
- [12] 冯凌云, 郭灿彬, 等. 基于快换夹具和视觉的机器人装配工作站仿真设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021(8): 126-130, 134.
- [13] 赵伟博, 李琳杰. 基于MES系统的智能制造切削加工系统架构设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2020(1): 42-45.
- [14] 赵伟博. 基于机器视觉的机器人协同装配工作站设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(6): 162-164, 168.
- [15] 胡盘峰, 刘光新, 岳东海. 基于工业机器人的步进电机智能装配系统设计[J]. 机床与液压, 2020, 48(3): 66-69, 27.
- [16] 杨彦超, 王红旗, 等. 基于力/位混合控制的工业机器人精密装配研究[J]. 制造业自动化, 2021, 43(3): 56-59.

作者简介: 赵伟博(1992-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 智能制造技术应用。

(上接第5页)

线如图7所示。

如图7, 高、低压转子转速的偏移量依然可以被控制在一定的偏移量内, 对大气湍流区内的气动参数干扰有着良好的抑制作用。

5 结束语

本文针对航空器在大气湍流环境下的航空发动机安全性控制问题, 通过北斗卫星导航系统收集并发送大气湍流区最大扰动信息至待进入湍流区航空器, 对报文信息及编码情况、发送区域进行设计。通过最大扰动信息进行自适应高增益鲁棒控制器设计, 并证明了该控制器的稳定性。仿真结果表明, 该控制器可以兼顾高、低压转子转速控制, 有效抑制了大气湍流引起的环境干扰。

参考文献:

- [1] 李萍, 胡家美, 曹正. 我国晴空颠簸特点及各种预报结果分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(3): 24-27, 32, 115-116.
- [2] 苏卉芳. 民航机多普勒气象雷达的湍流检测[J]. 电子技术, 1989(4): 9-11, 14.
- [3] 孙鉴泞. 大气湍流[M]. 北京: 气象出版社, 2021.
- [4] 文利燕. 多变量的自适应扰动抑制方法及飞行器的湍流补偿技术[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- [5] Kopasakis G. Modeling of Atmospheric Turbulence as Disturbances for Control Design and Evaluation of High Speed Propulsion Systems[J]. Journal of Dynamic Systems Measure-

ment and Control, 2012, 134(2): 9-21.

- [6] 刘云霄, 胡忠志, 王继强. 基于线性自抗扰的齿轮传动涡扇发动机控制[J]. 航空发动机, 2021, 47(5): 78-85.
- [7] 刘云霄. 齿轮传动涡扇发动机建模与抗扰控制研究和验证[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- [8] 郭雷. 多源干扰系统复合分层抗干扰控制理论: 综述与展望[C]. 中国自动化学会控制理论专业委员会D卷, 2011: 1631-1636.
- [9] 马云鹏, 武哲, 吕明云, 刘东旭. 高空气球综合/开放式设计系统[J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(1): 61-64, 70.
- [10] 张薇, 何宏伦, 王玮. 一种适用于北斗短报文通信的天线波束指向算法[J]. 电子与信息学报, 2021, 43(10): 2848-2853.
- [11] 北斗卫星导航系统. 系统介绍[EB/OL]. (2010-01-15) [2019-02-20].
- [12] 夏田奇. 基于北斗的通用航空器飞行冲突检测与预警[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
- [13] 吴腾云, 唐松松. 基于数字孪生的航空发动机工艺设计系统构建方法[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(6): 69-73.
- [14] 马宇申. 基于ADS-B的空中交通预警防撞技术研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2014.
- [15] J. Bai, S. Liu, W. Wang. Identification method for parameter uncertain model of aero-engine[J]. Journal of Aerospace Power, 2020, 35(1): 178-184.

作者简介: 侯平步(1997-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 航空发动机控制, 空管人为因素。

通信作者: 韩郑弘(1997-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 航空发动机控制, 航空器适航审定。