

基于 PLC 控制的多工位码垛系统设计与实现

陈锐鸿

(华南理工大学广州学院 机械工程学院, 花都 510800)

摘要: **目的** 为拓展工业机器人的有效工作范围。**方法** 采用三菱 Q 系列 PLC 和定位模块 QD75MH1 搭建一套完善的工业机器人移动底座系统, 用于机器人的位置调动, 有效扩展工作范围。**结果** 选用四工位码垛装箱工作站为应用案例, 系统工作稳定, 工业机器人的工作范围由原来的 2 个工位扩展到 4 个工位, 使用 1 台工业机器人即可完成 4 个工位的工作, 包装效率提升了 2 倍。**结论** 该系统在多工位的码垛、装箱、搬运等场合具有很好的参考价值。

关键词: 多工位码垛; 工业机器人系统; 可移动底座; PLC

中图分类号: TP242.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)17-0159-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.17.026

Design and Implementation of Multi-station Palletizing System Based on PLC Control

CHEN Rui-hong

(School of Mechanical Engineering, Guangzhou College of SCUT, Huadu 510800, China)

ABSTRACT: The work aims to expand the effective working scope of industrial robots. A set of complete movable chassis system for industrial robot was established with MITSUBISHI Q series PLC and location module QD75MH1 to mobilize the location of the robot and effectively expand the working scope. Taking four-station palletizing and packaging workstation as an example, the system worked stably, and the working scope of industrial robot was expanded to 4 stations from 2 stations. The work of 4 stations could be completed by 1 industrial robot and the packaging efficiency was increased by 2 times. The system has a good reference value in multi-station palletizing, packaging, handling and other occasions.

KEY WORDS: multi-station palletizing; industrial robot system; movable chassis; PLC

工业机器人在码垛、装配、搬运等工作中起到非常重要的作用。由于很多机器人作业需要跨越工位, 一般机器人的有效工作半径通常只有 1~3 m, 臂展大的机器人则价格昂贵。对于一些工位需要打包、换箱等工人作业时, 工业机器人将会被闲置, 因此通过增加工位来提高工业机器人的码垛效率, 而对于多工位、范围大的工作区间机器人无法在一个固定的位置上完成^[1]。由此可见, 将机器人装在可移动的底座上, 通过调度机器人的位置完成多工位的作业, 成为很多工业应用项目的选择。可移动的底座也有人称为工业机器人的“第 7 轴”^[2], 它与机器人的操作系统设计结合于一体, 通过 PLC 与机器人操作系统的配合,

对机器人的位置进行调度, 达到扩展机器人工作范围的目的^[3]。当一个工位在做码垛时, 其他工位可以进行封箱、更换空箱、搬运成品箱等作业, 系统可以选择最多 4 个工位的预约, 人员节省了至少 2 组的操作员, 生产的效益提升 1 倍。系统选用三菱 Q 系列 PLC 和定位模块 QD75MH1, 通过 CC-Link (Control & Communication Link) 远程 I/O 站扩展 I/O 点数, 通过机器人 CC-Link 板卡实现工业机器人与 PLC 的通讯^[4]。

1 系统组成与功能介绍

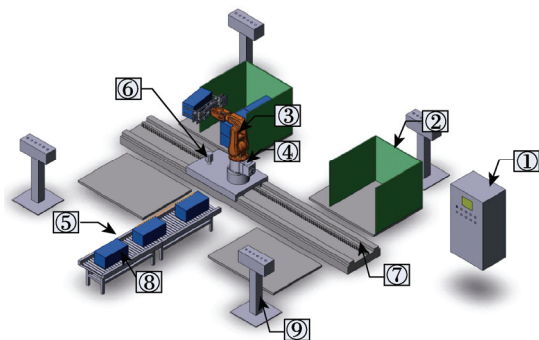
工业机器人可移动底座系统 (Mobile Base System for Robot, 简称 MBS) 由移动轴、伺服控制系统、

收稿日期: 2018-05-10

基金项目: 广东省本科高校高等教育教学改革项目 (JY170309)

作者简介: 陈锐鸿 (1983—), 男, 硕士, 华南理工大学广州学院实验师, 主要研究方向为工业自动化技术。

六轴码垛工业机器人、人机界面 HMI、PLC 控制单元组成。MBS 系统与码垛工作台配合,完成多工位的工件码垛作业。系统也可运用于其他需要工业机器人进行调度的工作场合^[5],例如不同工位机床的上下料、搬运等,应用范围较广。MBS 系统构成见图 1,移动底座采用齿轮齿条的传动结构,伺服电机带动齿轮,驱动机器人在底座上移动。移动底座两边分布 4 个码垛工作台,工作台上安装相应的传感器和限位夹具,每个工作台旁边配置 1 组操作盒。传送带将单个工件运送到传送带末端,工业机器人将工件码垛到预约工位上。



①电气控制柜 ②待包装箱 ③码垛工业机器人 ④工业机器人底座 ⑤工件输送带 ⑥伺服电机 ⑦齿条 ⑧待装箱的工件 ⑨工位启动盒

图 1 MBS 系统构成

Fig.1 Composition of MBS system

2 MBS 工作流程

工业机器人通过 CC-Link 智能设备板卡与 Q 系列 PLC 进行通讯,在 PLC 内预设好伺服的点位参数和不同工种的程序编号^[6]。各个工件按要求堆叠完成后,需要人工封箱,并且使用叉车搬运整箱,更换新的空箱。当空箱准备到位时,按下工位上启动盒的启动按钮后,PLC 发送当前工种的程序号给机器人,工业机器人确认程序正确后,启动工作。工业机器人根据程序的要求将需要的位置发送给 PLC,由 PLC 发出定位指令,伺服系统根据定位数据,把机器人移动到指定的位置。位置到达后,PLC 发送给机器人到位信号,工业机器人开始进行码垛工作。如果 1 个工位需要机器人在多个位置进行工作时,则当码垛一段工序后,工业机器人回到机械原点,再次发出第 2 个位置调用指令,PLC 接收到指令后,再次启动伺服定位,位置到位后,工业机器人重新启动码垛工作,多个位置的垛码可以实现多个位置调度。当工业机器人执行完整箱的码垛后,工业机器人回到机械原点,同时底座系统也回到原点,等待另一个工位的预约或者启动信号唤醒。系统工作流程见图 2。

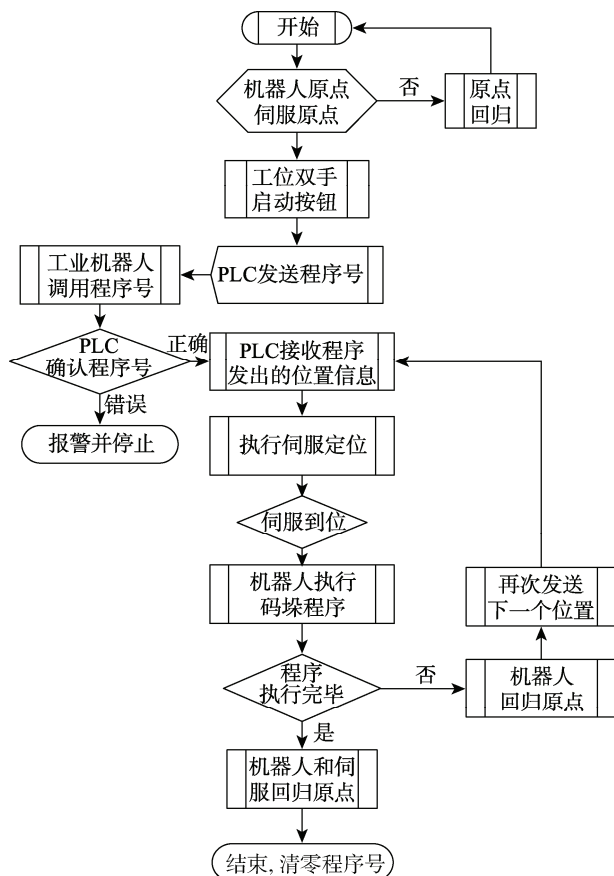


图 2 工作流程

Fig.2 Workflow

3 MBS 电气控制系统设计

3.1 MBS 控制系统的基本组成

根据包装生产线的需要,码垛工位有 4 个,轮流切换工作,因此输入输出点较多,MBS 采用 CC-Link 远程模块进行连接,远程输入模块选用三菱 AJ65S-BTB1-32D,远程输出模块选用 AJ65SBTB1-16T,与 CPU 连接的通讯模块选用 QJ61BT11N,根据工位需要,选择 2 个输入模块和 2 个输出模块。移动轴的定位模块选用 Q 系列的 QD75MH1,可以实现伺服电机的精确控制。伺服驱动器选用 MR-J4 系列,加装电池,用于绝对坐标控制。伺服电机根据机械的负载选用。CPU 则选用 Q00UCPU,触摸屏选用三菱 GS2110-WTBD。

3.2 控制系统的搭建

触摸屏与 CPU 的通讯采用 RS232 通讯线,伺服驱动器与 QD75MH1 的通讯采用 SSCNET III 电缆连接。CC-LINK 通讯模块与远程模块采用总线连接,见图 3。

触摸屏装在电控柜上,并安装电源切入、运行准备(带灯按钮)、手/自动切换、报警指示灯、紧急停止按

钮、报警复位、自动启动（带灯按钮）等，见图 4。

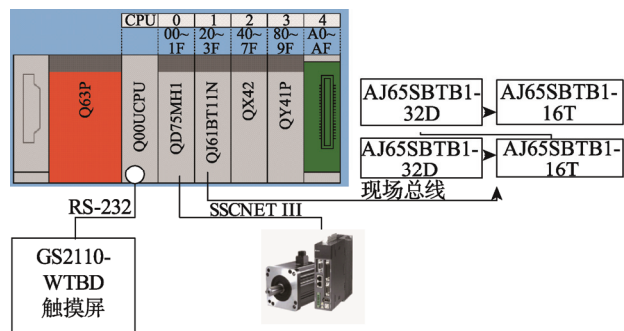


图 3 控制系统
Fig.3 Control system

装箱或者空闲时，PLC 将工位的机器人位置发送给伺服电机，第 7 轴启动，将工业机器人移动到工作台的指定位置，到位后，工业机器人开始码垛工作，工作完成后，工业机器人回归等待位置，等待另一工位的预约或启动。机器人的工作位置在系统手动模式下，进行示教，并保存各工位的机器人位置信息^[7]。

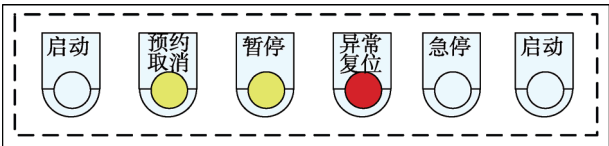


图 5 工位启动盒
Fig.5 Station startup box

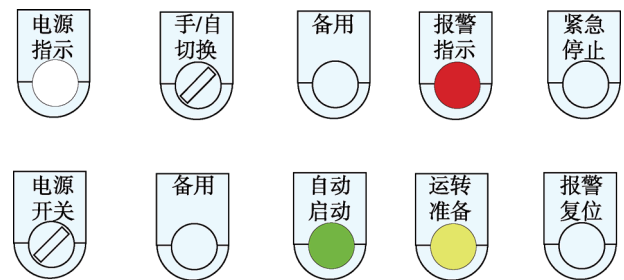


图 4 主电柜按钮分布
Fig.4 Button distribution on main control cabinet

4 个包装工作台，每个控制面板由双手启动按钮、预约取消（带灯按钮）、暂停（带灯按钮）、异常复位（带灯按钮）、急停，以及 5 个输入、3 个输出指示灯等组成。启动盒见图 5。

当工位上的待装箱子准备到位时，双手同时按下启动按钮，预约成功。当码垛机器人完成上一工位的

4 PLC 程序设计

4.1 PLC I/O 分配

Q 系列 PLC 是大型 PLC，它的 I/O 点数具有非常大的容量，通过远程输入输出模块可以扩展很多点^[8]。为了编写程序方便，系统将 PLC 的 QD75MH1 的输入分配为 X0—X1F，输出为 Y0—Y1F，CC-Link 通讯模块主站占用的输入输出为 20—3F。输入模块 QX42 占用的输入点为 X40—X7F，共 64 点。输出模块 QY41P 占用的输出点为 Y80—Y9F，为方便编程，在程序上将 Y100—Y11F 的编辑点传输给 Y80—Y9F，则 QY41P 的输出点为 Y100—Y11F。工业机器人 CC-Link 智能设备站设为 17 站，占用 4 站，共 256 点，输入地址分配为 X400—X47F，输出地址为 Y400—Y47F。机器人外部 I/O 分配见表 1。

表 1 工业机器人外部 I/O 分配
Tab.1 Industrial robot external I/O distribution

地址	注释	地址	注释	地址	注释
X400	OT[1]运转准备 ON	X410	OT[17]A1 工位作业中	Y400	IN[1]异常复位
X401	OT[2]系统 READY	X411	OT[18]B1 工位作业中	Y402	IN[3]外部全部停止
X402	OT[3]错误端口	X412	OT[19]A2 工位作业中	Y403	IN[4]外部启动
X403	OT[4]作业原位置	X413	OT[20]B2 工位作业中	Y404	IN[5]外部暂停
X404	OT[5]示教模式	X414	OT[21]作业完成	Y407	IN[8]夹具开关
X405	OT[6]再生模式(自动)	X432	OT[51]外部伺服目标位置 1	Y408	IN[9]程序号 1
X406	OT[7]起动中	X433	OT[52]外部伺服目标位置 2	Y409	IN[10]程序号 2
X407	OT[8]紧急停止中	X434	OT[53]外部伺服目标位置 3	Y40A	IN[11]程序号 4
X408	OT[9]程序号反馈 1	X435	OT[54]外部伺服目标位置 4	Y40B	IN[12]程序号 8
X409	OT[10]程序号反馈 2	X436	OT[55]外部伺服目标位置 5	Y40C	IN[13]程序号 16
X40A	OT[11]程序号反馈 4	X437	OT[56]外部伺服目标位置 6	Y40D	IN[14]程序号 32
X40B	OT[12]程序号反馈 8	X438	OT[57]外部伺服目标位置 7	Y40E	IN[15]程序号 64
X40C	OT[13]程序号反馈 16	X439	OT[58]外部伺服目标位置 8	Y40F	IN[16]程序号 128
X40D	OT[14]程序号反馈 32	X43A	OT[59]外部伺服目标位置 9	Y415	IN[22]定位完成信号
X40E	OT[15]程序号反馈 64	X43B	OT[60]外部伺服目标位置 10	Y418	IN[25]等待程序号反馈 OK
X40F	OT[16]程序号反馈 128				

4.2 伺服参数设置

机器人位置调动系统采用的绝对位置检测系统^[9], 系统断电后, 由于伺服驱动器有电池供电编码器, 位置仍然保持。伺服参数设置由两部分组成: QD75MH1 的参数设置; 伺服放大器的参数设置^[10]。

QD75MH1 的参数设置, 设置伺服电机的每转脉冲数、每转的转动量 (5000 μm), 速度限制在 2000 mm/min、原点回归方为数据设定型。

伺服驱动器的参数设置: 伺服系列为 MR-J3-B, 采用绝对位置检测系统。

4.3 伺服原点设置

伺服驱动器的原点回归方式可以设置为数据设定型、近点 dog 型、计数型等 3 种。数据设定型是指

将伺服驱动器移动到指定的位置, 然后伺服的参数归零显示的方法^[11]。这种方法对于原点需要经常变换的系统非常方便, 只需将电机转动到指定的位置, 点击原点设置按钮, 则系统的当前位置数据为零, 并以此位置为系统原点。在原点设置时, 需要非常谨慎, 原点改变, 其保存的定位机械位置也相应改变, 需要重新进行定位数据的设置保存。例如, 在三菱 Q 系列 PLC 中, ZP.PSTRT1 是定位启动的专用指令, 是向定位模块 U0 轴 1 发送的定位启动指令, 其中 D300, D302 是由 PLC 向 U0 发送的数据, D300 是首地址, 不用设置, D302 是定位数据编号, K9001 是机器 OPR (原点回归) 指令, 指令启动, 系统完成原点校正。需要注意的是, 伺服参数原点设定条件如果设置成开启电源后需要通过电机 Z 相, 则需要将电机手动转动 1 圈后, 才能进行原点校正^[12]。指令操作见图 6。

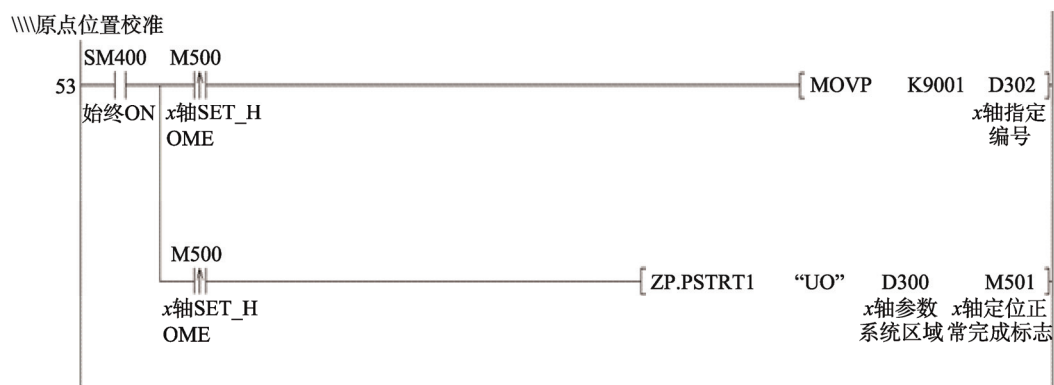


图 6 系统回原点程序

Fig.6 Program of home position return of the system

4.4 伺服控制的手动程序

伺服手动控制是对伺服的位置进行对点, 并将对好点的坐标位置输入 PLC 系统中。伺服控制的手动程序分为连续点动和寸动。连续点动是通过程序控制伺服电机正转和反转, 并将位置当前脉冲数 U0/G800 显示在触摸屏上, U0/G800 显示读出数是整数, 转换为浮点型后除以 1000, 保持 2 位小数点。正转与反转的速度需要将按比例转换后速度值写入 QD75MH1 中的 U0/G1518; 另一种手动程序是寸动, 寸动是指每次点击后伺服电机走动的距离是固定的, 寸动可以设置 0.01, 0.1, 0.5, 1 mm 等 4 种距离模式, 主要用于系统的精确微调位置。分别以正负数据存在定位数据的 K91 至 K98 存储单元。根据定位的需要, 每次调用定位数据, 定位方式为直线增量。

4.5 程序紧急停止功能

程序的紧急停止是保护设备和人员安全的重要条件, 当任何一个位置的紧急停止按下后。系统必须停止。为此, 系统采用硬件回路的方式, 将所有急停

按钮加装一个常闭触点块, 使它拥有 2 个常闭触点块, 一个接入到 PLC 的输入点, 所有急停的另一个常闭触点串联接回到主电柜, 接入中接继电器, 当运转准备按钮按下后, 中间继电器接通, 则系统可运行。否则, 检查系统的急停按钮是否按下, 排除急停按钮按下后, 方可再次启动。

当程序报警时, 同样也需要将相应的程序断开。此部分根据安全需要, 根据报警的重大与否在程序中设置报警功能。

4.6 伺服示教程序设计

Q 系列 PLC 可以设置数据寄存器的锁存地址, 系统将程序设置 D200—D12000 为锁存数据寄存器, 用于保存足够多的伺服位置数据。其中, D1000—D1999 为保存数据点的坐标位置 (单位为 mm, 数据类型为浮点型), 通过浮点计算乘以 1000, 指转换后的浮点型数据保存在 D4000—D4999, 再求整形后的数据保存在 D7000—D7999。由此, 系统可以保存 499 个点的位置数据。在手动状态中, 将机器人移到相应的位置点上, 确认该位置后, 将 x 轴的坐标值在触摸

屏上输入到相应的数据寄存器，则完成位置点的保存，D7000—D7999 数据寄存器为定位的位置数据，在自动定位启动前，PLC 读出相应点位置数据，执行定位。定位参数设置界面见图 7。



图 7 定位数据示教与保存界面
Fig.7 Positioning data teaching and saving interface

4.7 工件切换功能

包装生产线包装的箱子由于生产的产品不同，外形尺寸也不一样，因此机器人码垛的程序也不一样。当切换产品时，只需要在系统上设置程序，则可以控制系统，快速地切换工件的产品程序^[13]，并且调用机器人的位置信息。在触摸屏上和程序上设计工件切换功能。

4.8 工位预约功能程序设计

包装生产线有 4 个工位，当其中一工位在工作时，其他工位先实现预约指令，正在工作的工位完成后，回到原点后重新调出下一工位的程序。此时，需要使用到 PLC 的“先入先出”的功能指令 FIFW，预约取消使用删除指令 FDEL，读出预约的工位序号，使用“先入先出”读出 FIFR 指令^[14—15]。

5 效率分析

5.1 功能验证

MBS 系统设计完毕后，将工业机器人的示教程序按照表 2 的外部 I/O 分配表设置后，将程序号、位置代码等写入工业机器人的示教程序中。当按下 4 个工位中的任一个启动按钮后，如果工业机器人处在等待位置时则进行预约。当工位开始工作后，PLC 发出程序号，调出工业机器人的程序，同时启动该程序，程序发出位置调动指令，PLC 执行定位，能够准确移动到之前定位参数设置的点数上。经过一段时间的生产试用，系统能够较好地完成码垛、位置调动、预约与取消、急停、暂停等功能，提高了生产效益。

5.2 重复精度分析

影响到机器人移动精度的因素有：负载、传动系统^[16]。移动平台有支撑底座，负载对移动的齿轮齿条

机构的影响是由负载转换成摩擦力。由此，将移动系统作为位置的驱动，由于导轨润滑系统的存在，机器人的负载对移动的精度影响较小。另一个影响重复精度的是传动系统，采用齿轮齿条传动，精度可以达到 0.01 mm，在重复精度的验证上，通过同一位置不同工况下的调动，从采样回来的数据，测量位置与设定位置的偏差在 ± 0.5 mm 内。对于码垛机器人，该精度符合使用要求。

5.3 效率分析

码垛工作的生产节拍主要包括包装箱放置—码垛—整箱封装—搬运。在这期间，机器人码垛的时间只需 25 s，而其他的时间约 1 min，也直接导致机器人空闲 1 min，采用多工位码垛系统，可以充分利用机器人的使用时间。在码垛之外的时间，机器人调度给其他的工位进行码垛，调度时间在 3 s 内完成。既保证了生产线不间断进行，又提高了机器人的使用效率。

6 结语

多工位码垛系统可广泛应用于各行业的自动化包装，采用 Q 系列 PLC 和定位模块 QD75MH1，能够实现准确地定位机器人的位置。该系统所搭建的框架适用于机器人使用前后的装配准备，例如码垛装箱、焊接工件装配等工作场合。同时，也适用于长距离的机器人工作，例如焊接集装箱。通过主控柜 PLC 的调度，可以提高机器人的使用效率，拓展机器人的工作区域，减少机器人的投入成本。该系统经过在企业生产运行，实现了较好的经济效益，满足设计的节拍要求。

参考文献：

[1] 李营, 杨传民, 王东爱, 等. 码垛机器人多箱抓取末端执行器设计与实现[J]. 包装工程, 2017, 38(23): 152—156.
LI Ying, YANG Chuan-min, WANG Dong-ai, et al. Design and Implementation of Multi Box Grab End Effector for Palletizing Robot[J]. Packaging Engineering, 2017, 38 (23): 152—156.
[2] 侯鹏辉. 机器人加工系统刚度性能优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
HOU Peng-hui. Study on the Stiffness Performance Optimization for Robot Machining System[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
[3] 陈立新. 工业机器人在冲压自动化生产线的应用[J]. 机械设计与制造, 2010, 48(10): 94—96.
CHEN Li-xin. Application of Industrial Robot in the Automatic Stamping Production line[J]. Mechanical Design and Manufacture, 2010, 48(10): 94—96.

- [4] 王东明. 基于 CC-Link、SSCNET 总线的三维物料输送机器人[J]. 制造技术与机床, 2011(11): 90—94.
WANG Dong-ming. 3D Material Handling Robot Based on CC-link and SSCNET Bus[J]. Manufacturing Technology and Machine Tools, 2011(11): 90—94.
- [5] 谢存禧, 张铁. 机器人技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
XIE Cun-xi, ZHANG Tie. Robot Technology and its Application[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2015.
- [6] 王俊明, 苏记华, 薄昌盛, 等. 基于 PLC 和 CC-Link 总线的工业机器人控制的实现[J]. 自动化技术与应用, 2013, 32(7): 44—47.
WANG Jun-ming, SU Ji-hua, Bo Chang-sheng, et al. Realization of Industrial Robot Control Based on PLC and CC-link Bus[J]. Automation Technology and Application, 2013, 32(7): 44—47.
- [7] 赵彦斌, 蔺力, 柳贺. 机器人自动焊接系统的设计与应用[J]. 机器人技术与应用, 2010, 23(5): 17—19.
ZHAO Yan-bing, LIN Li, LIU He. Design and Application of Automatic Robot Welding System[J]. Robot Technology and Application, 2010, 23(5): 17—19.
- [8] 张建刚, 郑萍, 张皓亮, 等. 基于 Q 系列 PLC 的三维伺服控制系统设计[J]. 机床与液压, 2010, 38(22): 112—115.
ZHANG Jian-gang, ZHENG Ping, ZHANG Hao-liang, et al. Design of Three Dimensional Servo Control System Based on Q Series PLC [J]. Machine Tool and Hydraulic Pressure, 2010, 38 (22): 112—115.
- [9] 杨雷. 机器视觉及其伺服定位系统研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
YANG Lei. Machine Vision and Its Servo Positioning System[D]. Xi'an: Xi'an Electronic and Science University, 2012.
- [10] 曲盛坤, 王银成, 高东东, 等. 三菱 PLC 与伺服在弹簧锁片分拣机控制系统中的应用[J]. 汽车实用技术, 2012, 37(5): 86—88.
QU Sheng-kun, WANG Yin-cheng, GAO Dong-dong, et al. Application of MITSUBISHI PLC and Servo in Control System of Spring Lock Slice Sorting Machine [J]. Automotive Practical Technology, 2012, 37 (5): 86—88.
- [11] 杨健. 基于 PLC 控制的自动分拣系统的设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2016.
YANG Jian. Design and Implementation of Automatic Sorting System Based on PLC Control[D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [12] 钟顺金, 戴喜会, 李昂. 基于伺服控制的三维塑封系统[J]. 包装工程, 2017, 38(23): 41—44.
ZHONG Shun-jin, DAI Xi-hui, LI Ang. 3D Packaging System Based on Servo Control[J]. Packaging Engineering, 2017, 38 (23): 41—44.
- [13] 汪吉东. 焊接夹具在焊接机器人当中的应用[J]. 科技创新与应用, 2017, 7(29): 160—161.
WANG Ji-dong. Application of Welding Fixture in Welding Robot [J]. Technology Innovation and Application, 2017, 7 (29): 160—161.
- [14] 姜绍辉. 三菱 PLC 先入先出功能指令的应用[J]. 机床电器, 2010, 37(2): 36—37.
JIANG Shao-hui. MITSUBISHI PLC "First In First Out" Function Directive Application [J]. Machine Tool Electrical Appliances, 2010, 37 (2): 36—37.
- [15] 肖敏. MELSEC-Q 系列 QD75MH 定位模块在数控机床自动上下料控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(10): 99.
XIAO Min. Application of MELSEC-Q Series QD75MH Positioning Module in Automatic Loading and Unloading Control System of CNC Machine Tools [J]. Industrial Control Computer, 2009, 22(10): 99.
- [16] 牛康廷. 桁架机器人运动学建模、定位误差分析及实验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
NIU Kang-ting. Kinematics Modeling, Positioning Error Analysis and Experimental Research of Truss Robot[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.