DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)08-0040-05

玻璃纤维绝缘材料涂胶智能控制系统的研究

曹海欧

(江苏联合职业技术学院 南通分院,江苏 南通 226011)

摘　要:设计玻璃纤维绝缘材料涂胶智能控制系统。采用2个垂直轴伺服系统实现涂胶刮刀左右侧垂直控制、2个水平轴伺服系统实现涂胶刮刀左右侧水平控制;通过三菱FX5U PLC及伺服系统内置的绝对位置编码器,实现4轴协同控制涂胶刮刀数字化精准定位。采用视觉相机及内置嵌入式系统实时采集1帧图像,内置嵌入式算法通过对图像二值化处理及图像有效像素统计,实现对玻璃纤维基材机打接缝的智能视觉识别,从而通过PLC控制涂胶刮刀机构自动抬刀、涂胶刮刀机构自动定位。触摸屏与PLC通信交互信息,通过触摸屏设置涂层厚度、抬刀高度等工作参数,触摸屏显示涂胶刮刀示意图及数字化精准位置。实验测试涂胶刮刀重复定位精度小于10 μm,符合高品质产品精度要求;玻璃纤维基材机打接缝的智能视觉识别,实现玻璃纤维绝缘材料涂胶生产自动化连续性工作,涂胶生产效率从原来的75%提高到85%。

关键词:绝缘材料涂胶;智能控制;定位控制;PLC控制;伺服系统;玻璃纤维

中图分类号:TP273;TM215.7　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1003-7241(2026)08-0040-05

Research on intelligent control system for fiberglass insulation material coating

Cao Haiou

(Nantong Branch of Jiangsu Union Technical Institute, Nantong 226011, Jiangsu, China)

Abstract: This paper designs intelligent control system for fiberglass insulation material coating. This design employs two vertical-axis servo systems for vertical control of the left and right sides of the glue coating scraper, and two horizontal-axis servo systems for horizontal control of the same scraper. Using the Mitsubishi FX5U PLC and the absolute position encoders integrated into the servo system, 4-axis coordinated control is implemented to achieve digital, high-precision positioning of the glue coating scraper. A vision camera and a built-in embedded system are used to capture a single frame of image in real time. The built-in embedded software performs binarization processing on the image and counts its effective pixels, thereby enabling intelligent visual recognition of machine-printed seams on the glass fiber substrate. Based on this recognition, the PLC controls the glue coating scraper mechanism to automatically lift the scraper and return to its home position. The touch screen communicates with the PLC for data exchange. Operating parameters—including coating thickness and scraper lifting height—can be set via the touch screen, which also displays a schematic of the glue coating scraper and its digital, high-precision position. Tests indicate that the repeated positioning accuracy of the glue coating scraper is less than 10 μm, meeting the precision requirements for high-quality products. Additionally, the intelligent visual recognition of machine-printed seams on the glass fiber substrate enables automatic continuous operation of the glue coating process for glass fiber insulation materials, increasing production efficiency from 75% to 85%.

Keywords: insulation materials coating; intelligent control; positioning control; PLC control; servo system; fiberglass

玻璃纤维在绝缘材料行业中是重要的原材料,主要因为是玻璃纤维具有良好的绝缘性能[1]。在玻璃纤维绝缘材料生产加工中,需要在玻璃纤维基材表面涂胶黏性绝缘材料。玻璃纤维基材每卷300 m左右,幅宽为1.8~2.0 m,加工速度为20 m/min,涂胶黏性绝缘材料的涂胶厚度设定范围为0.5~1.5 mm,涂胶厚度的均匀性,直接影响绝缘材料的绝缘特性[2-3]。伴随着对绝缘材料的绝缘性能要求越来越高,国内学者重视对绝缘材料涂胶技术研究与应用[4-6]。采用PLC及液压阀实现定位控制装置[7-9];采用PLC及伺服系统,脉冲数及频率决定了定位速度及定位位置[10-12];采用PLC及多伺服系统实现多轴同步控制的机器人设备[13-15];采用PLC及多伺服系统实现多轴同步控制的机器臂设备[16-18];采用视觉识别技术,实现产品分拣装置[19-21];采用视觉识别及多伺服系统实现生产线的自动控制[22-25]。

针对玻璃纤维绝缘材料涂胶控制的要求,设计涂胶刮刀4轴定位控制,设计视觉识别玻璃纤维基材机打接缝,实现涂胶刮刀机构自动控制。

1　涂胶智能控制系统结构

在玻璃纤维绝缘材料生产设备上,涂胶刮刀机构位于涂胶辊正上方,并在其左右侧分别安装有水平方向和垂直

收稿日期:2025-09-13;**录用日期**:2025-10-24

基金项目:江苏省自然科学基金青年项目(BK202330616);南通市教育科学"十四五"规划2025年度课题(QN2025012)

作者简介:曹海欧(1987—),女,讲师,研究方向为智能控制技术应用。

引用本文:曹海欧.玻璃纤维绝缘材料涂胶智能控制系统的研究[J].自动化技术与应用,2026,45(8):40-44.(Cao Haiou. Research on intelligent control system for fiberglass insulation material coating[J]. Techniques of Automation and Applications,2026,45(8):40-44.)

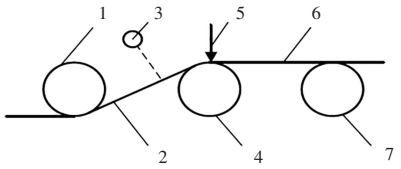
方向操作手柄。由于涂胶刮刀机构较长(略大于幅宽)。在遇及玻璃纤维基材机打接缝(机打接缝:为了保证生产的连续性,利用缝制设备,把前后卷玻璃纤维基材缝制连接,存在明显凸起接缝)时,需要人为停机,左右侧手动操作手柄抬起涂胶刮刀机构,待机打接缝通过后,再重新手动操作手柄定位。每次遇及机打接缝,平均停机约 5 min;每卷玻璃纤维基材涂胶工作约 15 min,生产效率约为 75%。频繁手动调节刮刀机构不仅制约了生产效率,还难以保证涂胶刮刀定位精度。

玻璃纤维绝缘材料生产加工,亟需解决问题:1)涂胶刮刀机构数字化精准定位;2)遇及玻璃纤维基材机打接缝,自动识别并自动抬刀,提高生产效率。

本系统采用 PLC 及 4 轴伺服系统实现涂胶刮刀数字化精准定位控制,采用视觉相机实现对玻璃纤维基材机打接缝的智能视觉识别,通过 PLC 控制涂胶刮刀机构自动控制。

1.1 玻璃纤维绝缘材料涂胶机构

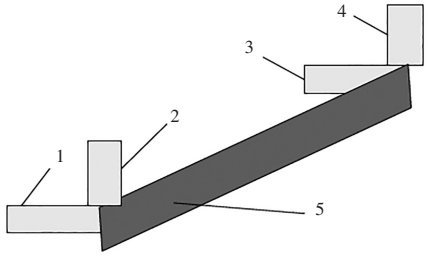
为了确保玻璃纤维绝缘材料绝缘性能的一致性,要求涂胶刮刀数字化精准定位(包括水平方向和垂直方向),如图 1、图 2 所示。



1—前导辊; 2—涂胶前基材; 3—视觉相机; 4—上胶辊;
5—涂胶刮刀机构; 6—基材涂胶后;7—后导辊

图 1 绝缘材料生产示意图

Fig. 1 Schematic diagram of insulation material production



1—水平轴 1; 2—垂直轴 1; 3—水平轴 2; 4—垂直轴 2;
5—涂胶刮刀

图 2 涂胶刮刀机构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of coating scraper mechanism

1.2 伺服系统数字化精准定位

通过控制垂直轴 1、垂直轴 2 伺服系统,实现对涂胶刮刀左右侧的垂直方向数字化精准定位;通过控制水平轴 1、水平轴 2 伺服系统,实现对涂胶刮刀左右侧的水平方向数字化精准定位。4 个伺服系统内置绝对值旋转编码器,便于实现频繁操作及记忆性数字化精准定位。

定位零点,调节垂直轴 1、垂直轴 2 伺服系统,调节水平轴 1、水平轴 2 伺服系统,使左右两侧涂胶刮刀刚好在上胶辊的正上方基布上;设定该位置值为各轴伺服系统的定位零点。

设定厚度,按照涂胶黏性绝缘材料工艺厚度要求,向上调节垂直轴 1、垂直轴 2,以保证涂胶刮刀下端与玻璃纤维基材的间隙均匀及数字化。该工作位置值,即为涂胶加工设定厚度。

1.3 视觉相机识别机打接缝

图 1 所示,在玻璃纤维基材的左上方安装视觉相机,对每帧信息通过视觉识别算法,判断是否有机打接缝。

2 涂胶智能控制系统硬件设计

2.1 PLC 与触摸屏

依据控制系统功能需求,PLC 选用三菱公司的 FX5U_64MT[26],该 PLC 具有 4 路高速脉冲输出,能驱动 4 个轴的伺服系统[27-28](图 3),同时具有 32 路输入/32 路输出点。

触摸屏用于实时显示运行数据、参数设定及控制操作。

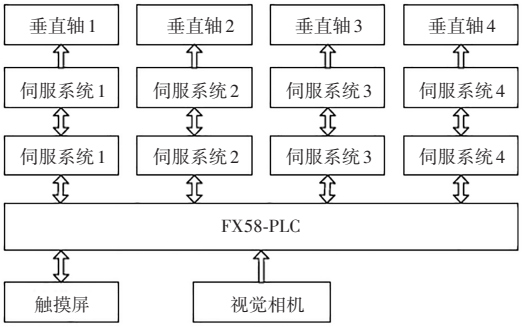


图 3 PLC 定位控制原理框图

Fig. 3 Schematic of principle of PLC positioning control

2.2 MR-J4-70A 伺服系统

依据传动负载的需求,选用 MR-J4-70A 伺服系统,用于 2 个垂直轴、2 个水平轴。

图 4 为 FX5U-PLC 与各伺服系统硬件连接原理图(图 5),图 5 中的轴 1 * 是指 MR-J4-70A-1 伺服系统的各信号,同理轴 2 *、轴 3 *、轴 4 * 分别指 MR-J4-70A-2、MR-J4-70A-3、MR-J4-70A-4 伺服系统的各信号。

2.3 视觉相机

在绝缘材料生产加工中,玻璃纤维基材前卷与后卷通过机打接缝进行连接、以便连续生产。玻璃纤维基材机打接缝一般高于玻璃纤维基材 3~6 mm 厚度且具有明显凸起的特征,选用海康视觉相机作为传感器的视觉识别,安装在前导辊与上胶辊之间,上胶前基材上方(图 1)。在绝缘材料生产加工进行中,视觉相机与 PLC 以 RS485 通讯方式传递信息,并实时识别机打接缝;PLC 控制伺服系统驱动刮刀机构抬刀,在基材机打接缝通过后,PLC 控制伺服系统驱动刮刀机构恢复到原来设定的涂胶工作绝对定位位置[29]。

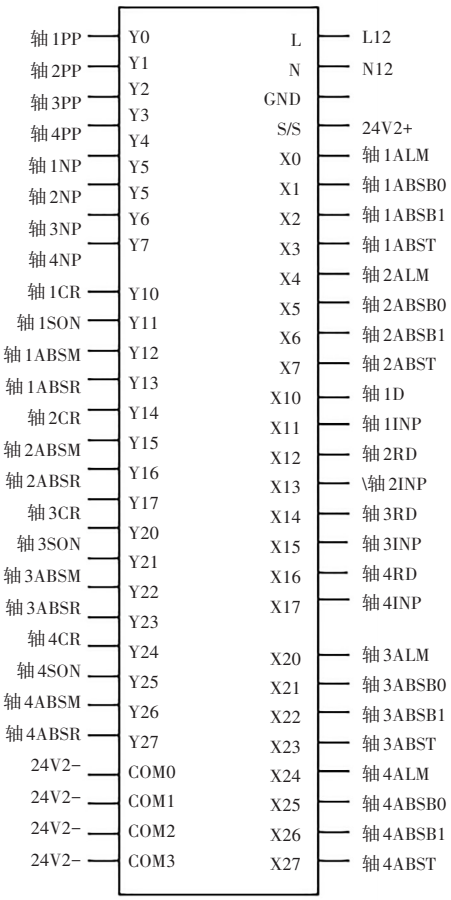


图4 FX5U-PLC及连接信号

Fig. 4 FX5U-PLC and connect signal

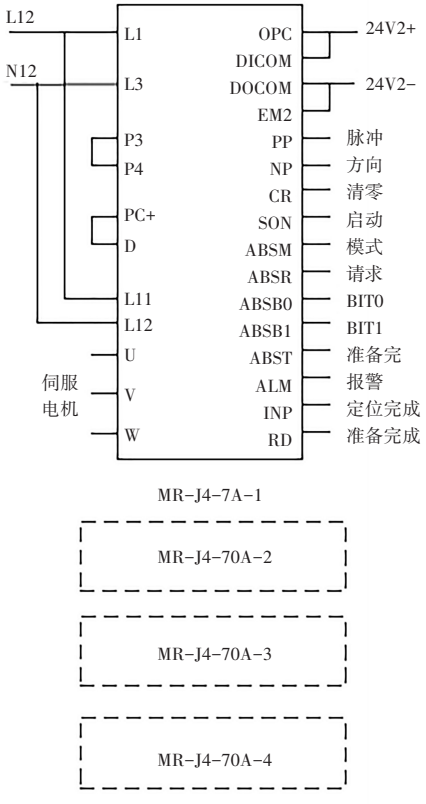


图5 伺服系统及连接信号

Fig. 5 Servo system and connect signal

3 涂胶智能控制系统软件设计

3.1 智能控制系统软件框图

智能控制系统软件框图(图6),主要分手动和自动,自动部分视觉摄像头每0.5 s采集1帧图像,经识别算法判断是否有机打接缝。

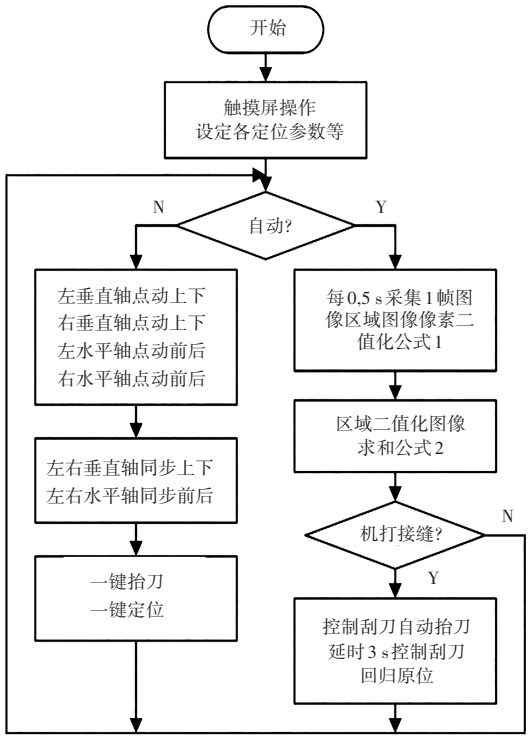


图6 智能控制系统软件框图

Fig. 6 Software block diagram of intelligent control system

3.2 单轴定位控制

1)绝对定位控制实现,所选MR-J4-70 A伺服系统,内置绝对编码器,在伺服系统上配备电池,即具有记忆绝对位置及实现定位控制功能。在断电通电后,各轴所在物理位置不变,且PLC-触摸屏能延续显示断电前的位置值。

2)绝对定位作用,1次精准定位后,其工作期间无论断电、伺服系统频繁操作、涂胶刮刀抬刀避让基材机打接缝、涂胶刮刀更替、玻璃纤维基材更替等,都无需再次定位。

3)MR-J4系列伺服系统主要参数设置。

[Pr. PA06]=1,机械侧带轮齿数。

[Pr. PA07]=1,伺服电机侧带轮齿数。

[Pr. PA03]=1;绝对位置检测有效ON。

[Pr. PA15]=5 000,编码器输出脉冲数/每转。

[Pr. PA05]=5 000,每转对应机械机构位移5 000 μm。

本系统每个脉冲相对位移为1 μm;数字化设定最小单位为1 μm。

4)读取轴1实时绝对位置值(其他轴类同)。

a)轴1伺服控制器与PLC连接,表1所示。

b)软件读取轴1伺服驱动绝对位置值。如图7所示,读取伺服驱动轴绝对位置值指令DABS;M200驱动触点,使指令DABS有效;PLC输入端X1、X2、X3分别连接伺服

系统 ABSB0、ABSB1、ABST 信号；PLC 输出端 Y11、Y12、Y13 分别连接伺服系统 SON、ABSM、ABSR 信号；D100 保存伺服驱动轴绝对位置值的 PLC 内存单元编号。D100 单元值的单位为 1 μm。

表 1　轴 1 伺服控制器与 PLC 硬件连接

Tab. 1　Servo controller of Axis 1 and PLC connect signal

伺服控制器侧信号		PLC 侧信号
伺服引脚	功能说明	PLC 引脚
SON	启动	Y11
ABSM	ABS 模式	Y12
ABSR	ABS 请求	Y13
ABSB0	ABS 发送位 0	X1
ABSB1	ABS 发送位 1	X2
ABST	ABS 准备	X3

5）轴 1 定位控制（其他轴类同）。如图 8 所示，伺服驱动轴绝对定位指令，DDRVA；M300 驱动触点，使指令 DDRVA 有效；D0 单元，轴 1 绝对位置值；D2 单元，轴 1 速度；K1，表示轴 1；M12，轴 1 运动结束标志位。

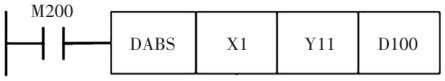


图 7　读取轴 1 绝对位置值

Fig. 7　Reading the absolute position value of Axis 1

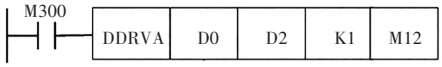


图 8　轴 1 定位控制

Fig. 8　Positioning control of Axis 1

3.3　左右垂直轴同步运动控制

1）垂直轴 1、垂直轴 2 伺服控制器与 PLC 硬件连接，如图 4、图 5 所示；左右水平轴同步运动控制与垂直轴类同。

2）读取左右垂直轴伺服控制器绝对位置。如图 9 所示，M200 驱动触点，使指令 DABS 有效；读取左右垂直轴绝对位置值。

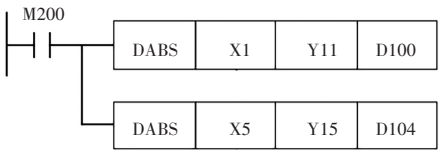


图 9　读取左右垂直轴绝对位置值

Fig. 9　Reading the absolute position value of left and right vertical Axis

3）左右垂直轴同步定位。如图 10 所示，M300 驱动触点，使指令 DDRVA 有效；左右垂直轴同时向目标位置运动。

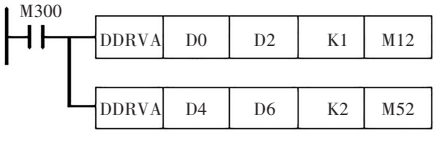


图 10　左右垂直轴同步定位控制

Fig. 10　Synchronization positioning control of left and right vertical Axis

3.4　视觉图像识别算法

玻璃纤维基材工作速度 20 m/min，视觉相机每 0.5 s 采集 1 帧图像像素并存入相机内置嵌入式系统，算法编程对从 $P_0(n_0,m_0)$ 到 $P_e(n_e,m_e)$ 设定的长方形区域图像进行机打接缝视觉识别。

第一步，对长方形区域图像进行二值化：

$$P_{i,j}=\begin{cases}0, p_{i,j}<Q_e\\ 1, p_{i,j}\geqslant Q_e\end{cases} \tag{1}$$

式中，$p_{i,j}$ 为实际图像像素；$P_{i,j}$ 为对应 $p_{i,j}$ 图像点的二值化值，Q_e 为触摸屏可设置的二值化阈值。

第二步，对设定区域图像二值化后 $P_{i,j}$ 值求和：

$$S=\sum_{j=m_0}^{m_e}\left(\sum_{i=n_0}^{n_e}P_{i,j}\right) \tag{2}$$

式中，是对 $P_0(n_0,m_0)$ 到 $P_e(n_e,m_e)$ 的长方形区域 $P_{i,j}$ 值求和。$P_{i,j}$（= 0 或 1）为各点的二值化后的像素值，$S_{\min}$ 为触摸屏可设定的基材机打接缝图像二值化后 1 的个数值；当 $S > S_{\min}$ 时，表明视觉相机检测到基材机打接缝。

4　实验及数据分析

1）确定定位零点。玻璃纤维绝缘卷材涂胶加工过程如图 1、图 2 所示，通过触摸屏操作调节各定位轴，确定定位零点（定位基准）。

2）设定涂胶厚度。控制左右侧垂直轴抬起高度，实现加工厚度的数字化给定。

3）涂胶加工。玻璃纤维基材连续运动，在涂胶刮刀内侧持续提供黏稠绝缘材料，在涂胶刮刀控制作用下，实现在玻璃纤维绝缘基材上附着设定厚度均匀的黏稠绝缘材料，经后段烘干处理，形成具有绝缘性能的玻璃纤维绝缘卷材。

4）涂胶刮刀一键抬刀/一键定位。触摸屏一键抬刀操作，PLC 控制 2 个垂直轴向上运动抬刀，PLC 控制 2 个水平轴向前运动移刀。抬刀高度、移刀距离触摸屏可设定；触摸屏一键定位操作，PLC 控制 4 个轴回复到原先设定位置。

5）基材机打接缝自动抬刀。视觉相机与 PLC 以 RS485 通讯方式传递信息，当视觉相机检测到机打接缝时，通过内置嵌入式系统的视觉识别算法判断，PLC 控制 2 个垂直轴向上运动抬刀（抬刀高度触摸屏可设定）。基材机打接缝通过后，2 个垂直轴自动回到加工厚度设定位置。

6）实验数据。如表 2 所示。

表 2　实验数据

Tab. 2　Experimental data　　mm

设定厚度	最大误差	实际定位				
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
0.5	0.008	0.505	0.507	0.505	0.508	0.498
1.0	0.006	1.006	1.006	0.996	0.995	1.003
1.5	0.008	1.506	1.508	1.505	1.496	1.506

本系统定位最大误差小于 10 μm，符合高品质产品精

度要求。形成误差的主要原因,是伺服电机输出轴带动丝杆机构的传动间隙形成。选取螺距小的精密丝杆机构,可减小误差。

5 结论

经测试,在玻璃纤维绝缘材料涂胶生产加工中,采用 PLC 及伺服系统实现涂胶刮刀数字化精准定位控制,实现了玻璃纤维涂胶生产的均匀性,保证了玻璃纤维卷材绝缘性能的一致性。定位精度小于 10 μm,符合高品质产品精度要求。采用视觉相机实现对玻璃纤维基材机打接缝的智能视觉识别,通过 PLC 及伺服系统控制涂胶刮刀机构自动抬刀,实现玻璃纤维绝缘材料涂胶生产智能自动化连续性工作,生产效率从原来的 75% 提高到 85%。基于 PLC 实现对玻璃纤维绝缘材料涂胶智能控制,提高了玻璃纤维绝缘材料行业生产自动化水平和生产效率。

参考文献

[1]张向可,徐鹏飞,董保莹,等. 玻璃纤维增强环氧树脂复合材料性能研究[J]. 河南科技,2024,888(17):80-83.
[2]沈琪斌,王波,王海滨. 玻璃纤维增强环氧树脂复合材料的绝缘性能和力学性能研究[J]. 塑料科技,2023(7):18-22.
[3]陈飞飞,谢靖. 玻璃纤维增强 PA66 复合材料的制备和性能研究[J]. 塑料科技, 2024(7):93-96.
[4]张凯,赵志浩,张亚娟,等. 绝缘组件自动粘接技术及装置[J]. 机械制造,2025,63 (7):68-70.
[5]周俊,郭巍,贺小琼. 智能双组分精确定量涂胶系统研究[J]. 现代涂料与涂装, 2025,28(6):41-45.
[6]申淑丽,邹庆,梅雪川,等. 基于 PLC 控制的高精准柔性化涂胶压合线体研究[J]. 机电工程技术,2024,53(6):109-113.
[7]姚伟,周鹏,初建松,等. 基于 PLC 的液压缸高精度定位控制系统设计[J]. 工业控制计算机,2025,38(7):159-163.
[8]安四元,韩鹏程. 高精度定位控制缸及控制系统的研制[J]. 煤矿机械,2024,45 (10):59-61.
[9]李钰. 液压支架推移油缸定位控制分析[J]. 煤矿机电,2024,45(5):58-62.
[10]金洪吉,甘宇. 烫印机自动精准定位控制系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2025(3):51-54.
[11]俞泽成,许超,徐峰. 基于三菱 RD77MS4 定位模块的伺服控制系统设计[J]. 自动化应用,2025,66(9):35-37.
[12]郭汉宗. PLC 对伺服电机的精准定位控制研究[J]. 智能物联技术,2024,56 (1):136-140.
[13]陈德才,梁克科,解品喜. 基于伺服电机技术的机器人控制系统精准定位方法[J]. 机电工程技术,2025,54(13):194-199.
[14]罗卢洋,谈剑峰,黄海涛,等. 工业机器人焊接平台的精准定位与运动控制研究[J]. 锻压装备与制造技术,2024,59 (4):118-121.
[15]刘焕坤,李伟,廖灏飞,等. 桩腿位移同步控制程序及实验研究[J/OL]. 自动化技术与应用. (2025-09-02)[2025-09-12]. https://link.cnki.net/urlid/23.1474.TP.20250902.1059.006.
[16]葛树海,韩光成. 无人化起重机三轴联动防摇与精准定位控制研究[J]. 机械管理开发,2025 (6):178-181.
[17]陈晗彬. 基于双目视觉定位的机械臂智能抓取控制研究[J]. 机电工程技术,2023,52(12):115-119.
[18]张禹,张政,赵文川,等. 气动软体机械臂的视觉定位运动控制[J]. 液压与气动, 2025,49(7):116-122.
[19]张柱,南向瞳,刘海龙,等. 基于 PLC 和视觉识别的物料智能分拣系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2025(4):16-20.
[20]陈玉洁,黄龙亮,王海军,等. 基于机器视觉的生产线智能分拣系统设计[J]. 自动化应用,2024,65(3):36-38.
[21]安晓东,李阳,刘柳,等. 基于机器视觉的水果分拣算法综述[J/OL]. 自动化技术与应用. (2024-12-31)[2025-09-12]. https://link.cnki.net/urlid/23.1474.TP.20241230.1344.163.
[22]黄子涵. 基于机器视觉的孔轴装配机器人定位控制技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2025.
[23]张弘,张学成,王国强,等. 基于三维视觉的软体机器人实时定位与控制[J]. 浙江大学学报(工学版), 2025,59(8):1574-1581.
[24]吕宜光,郝明,孙凯明,等. 机器视觉技术在薄膜胶缺陷检测中的应用[J]. 自动化技术与应用,2025,44(5):131-134.
[25]张志伟,温耀龙,王晓晓. 基于 IT2FNN-Q 的苹果采摘机器人定位导航方法[J]. 农机化研究,2026,48(7):143-149,177.
[26]三菱电机 FX5U 用户手册[Z]. 上海:三菱电机自动化(中国)有限公司,2022.
[27]邢钦淞,丁素明,薛新宇,等. 制种油菜杂株铲齿式拔除试验台设计与试验[J]. 农机化研究,2024,46(12):113-117.
[28]三菱电机 MR-J4-GF(-RJ)伺服放大器技术资料集 [Z]. 上海: 三菱电机自动化(中国)有限公司,2024.
[29]周宇,刘建成,陈永军. 基于 PLC 控制器的五轴送料机械手控制系统设计[J]. 仪器仪表与分析监测,2021(1):14-17.