

基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统设计

杨 跃

(昆明工业职业技术学院, 云南 昆明 650302)

摘要: CNC 上下料系统受环境复杂多变的影响, 相机采集的图像中包含大量不相关的特征, 使得边缘检测过程中产生较多伪边缘点, 工件定位不准确, 导致上下料抓取点位的匹配误差增大, 难以满足高精度加工需求。为此, 设计基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统。首先, 选用小型高性能的 PLC 作为核心控制器, 设计带有自动交换视觉测头的在线视觉采集系统硬件; 其次, 对协作机器人视觉采集图像进行预处理后, 结合图像亚像素级边缘定位技术对图像像素边缘进行划分与精确定位; 最后, 结合图像亚像素级边缘定位结果, 利用 PLC 程序对机器人的运动轨迹进行控制, 实现上下料整个生产流程的自动化控制。测试结果表明: 应用 PLC 电气控制智能协作机器人进行上下料抓取的过程中, 针对轴承钢套 5 个抓取点位的匹配误差均低于 0.05mm, 上下料的位置误差可以始终保持在 0.1mm 以下, 能够满足实际应用的抓取要求, 使得机械臂上下料抓取更加精准, 具有较好的实用性能。

关键词: PLC; 智能协作机器人; CNC 上下料系统; 电气控制; 模态振型分析; 机器视觉

中图分类号: TP311.11 **文献标志码:** A

Design of a CNC Loading/Unloading System Based on PLC-Controlled Intelligent Collaborative Robots

YANG Yue

(Kunming Vocational and Technical College of Industry, Kunming Yunnan 650302, China)

Abstract: CNC loading/unloading systems are often challenged by complex and dynamic environments, where camera-captured images contain excessive irrelevant features. This leads to numerous pseudo-edge points during edge detection, inaccurate workpiece positioning, and increased matching errors in grasping points, ultimately failing to meet high-precision machining requirements. To address these issues, this study designs a CNC loading/unloading system based on PLC-controlled intelligent collaborative robots. First, a compact high-performance PLC is selected as the core controller, and an online vision acquisition system hardware with an auto-switching visual probe is designed. Second, after preprocessing images captured by the collaborative robot's vision system, sub-pixel edge localization technology is applied to partition and precisely locate pixel edges. Finally, leveraging the sub-pixel edge localization results, the PLC program controls the robot's motion trajectory to achieve automated control of the entire loading/unloading process. Experimental results demonstrate that, during the grasping of bearing steel sleeves at five target points, the system achieves matching errors below 0.05 mm and positional errors consistently under 0.1 mm, fulfilling practical requirements. This approach significantly enhances the precision and reliability of robotic arm operations, demonstrating strong practical applicability.

Keywords: PLC; intelligent collaborative robots; CNC loading/unloading system; electrical control; modal shape analysis; machine vision

1 引言

随着全球制造业的快速发展与转型升级，高效、精密、智能化的生产模式已成为行业发展的必然趋势。在这一背景下，作为现代制造业的核心装备，其加工能力与自动化水平直接关乎着产品的质量与生产效率。计算机数值控制（Computer Numerical Control, CNC）机床上下料是 CNC 加工过程中的一个环节，CNC 上下料中使用智能协作机器人能够有效提高搬运工件的速度和搬运量，操作简便，有利于加工效率、加工精度的提高。但是现有的 CNC 上下料机器人在实际应用过程往往依赖于简单的自动化装置，难以满足大规模、高精度生产的需求。为了克服这一瓶颈，相关学者对此进行了深入研究，例如，文献 [1] 通过 MES 对上下料机器人进行智能化任务调度与排程，增强了生产线的灵活性与适应性。然而，其过度依赖机械限位和较为基础的光电传感器作为主要的感知手段，成为制约其性能进一步提升的关键因素。这些传感器的精度和适应性存在固有的局限性，特别是在面对复杂多变或快速变化的生产环境时，可能会出现识别误差，导致机器人无法精确无误地识别并抓取目标零部件的位置。文献 [2] 提出了在数字孪生平台上进行虚拟仿真的创新方法，通过模拟各种生产情境来验证机器人操作的可行性，不断优化生产流程。尽管该系统在虚拟仿真阶段能够模拟出接近真实的生产环境，依赖传统的机械限位来实现零部件的识别和定位，机器人可能因无法准确锁定目标零部件而错失抓取时机，导致抓取位置与目标位置之间误差较大，降低了整体生产效率和质量稳定性。

为解决上述方法在 CNC 上下料环节中存在的抓取位置匹配误差较高的问题，基于 PLC 电气控制智能协作机器人，设计 CNC 上下料系统。去除在线视觉采集系统获取图像中的伪边缘点，采用图像亚像素级边缘定位技术精确锁定工件边缘的具体位置，并结合图像亚像素边缘定位结果，利用 PLC 程序对上下料过程进行实时监控，实现基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统设计，并通过实验验证所设计系统可以有效降低抓取位置的匹配误差，能够满足实际应用的抓取要求，有助于推动智能协作机器人在 CNC 上下料领域的应用迈向新的高度。

2 CNC 上下料系统设计与实现

在现代制造业中，为了提升数控机床的生产效率，本文设计一套集 PLC 电气控制、在线视觉采集与预处理、亚像素级边缘定位技术于一体的智能化 CNC 上下料系统。该系统通过 PLC 控制的智能协作机器人，不仅显著利用集成的高性能视觉采集系统确保了复杂环境下的高质量图像传输，还能够基于图像亚像素级边缘定位技术对图像像素边缘进行划分与精确定位，有效降低上下料抓取点位的匹配误差。结合 PLC 联动控制保障了上下料与加工流程的紧密同步，增强了系统的稳定性与可靠性，满足高精度加工需求。该系统流程如图 1 所示。

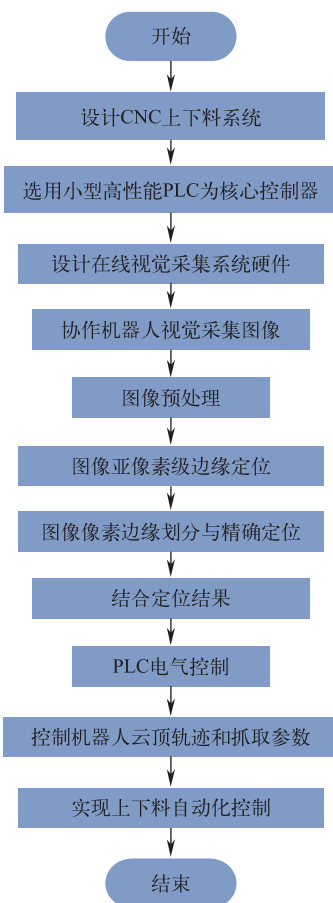


图 1 系统流程图

如图 1 所示，基于 PLC 电气控制的智能协作机器人 CNC 上下料系统能够实现机器人运动轨迹和抓取参数的精确控制，实现 CNC 机床上下料的自动化控制。接下来，对系统中的关键部分进行具体分析。

2.1 PLC 电气控制智能协作机器人硬件设计

智能协作机器人在 CNC 上下料系统中的具体功能主要为自动抓取、搬运、放置工件等。基于 PLC 电气控制的智能协作机器人,可实现 CNC 与智能协作机器人之间的高效、稳定、安全的自动化上下料过程,从而提升生产线的整体效率、降低人力成本、提高生产安全性。

在上下料系统硬件设计过程中 PLC 作为整个控制系统的核心,负责执行用户编写的机器人控制程序,在选择 PLC 时,采用小型高性能的西门子 S7-1500 系列 PLC,输出电流控制在 0.5A 以内,自带集成 I/O 点。配置 PROFINET 通信模块,实现 PLC 与 CNC 机床、上位机监控系统之间的实时数据交换。同时,为了与其他设备(如视觉系统)兼容,还配备了 RS-485 串口通信模块。同时,配置变频器用于控制传送带的左右运行^[3]。考虑物料的重量因素,选择了负载功率在 1kW 以内的变频器。其控制单元为 FD51,额定功率为 3kW,充分满足系统需求。根据实际配置硬件,获取系统硬件接线图如图 2 所示。

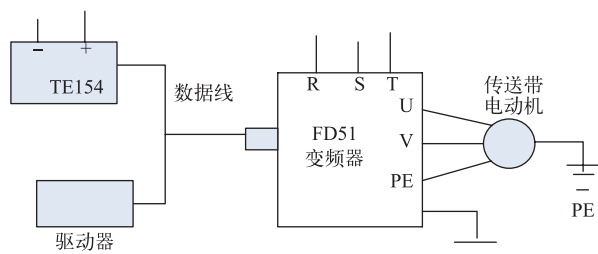


图 2 系统硬件接线图

同时,配备传送带电动机,其额定转速为 1 220 r/min,额定电压为 350V,并使用步进驱动器连接步进电机进行定位,其转矩为 0.24N·m,步距角为 1.6°。控制器通过数据线连接变频器。PLC 的输出点 Q0.0 和 Q0.1 分别连接步进驱动器的 PUL+ 和 DIR+。变频器的 R、S、T 和 PE 端子接三相四线制交流电源,U、V、W 为传送带电动机 M1 的三相交流输入,A+、A- 等接线则按照步进电机的颜色标识进行连接。

智能协作机器人采用六轴关节式机械臂,每个关节均配置高精度伺服电机驱动,末端执行器为气动夹爪,夹爪内部装有力传感器,用于实时监测抓取力,避免工件损坏。机械臂各关节选用伺服电机,配置与伺服电机相匹配的驱动控制器,实现电机的精确控制,包括速度、位置、扭矩等多方面的调节。并采用精密行星减速器与

高强度传动带相结合,确保动力传输平稳且效率高。

2.2 在线视觉采集系统硬件设计

在 CNC 加工过程中,对工件的高精度定位和识别是确保加工质量的关键。传统的机械限位和光电传感器难以满足这种高精度需求。为此,在完成 PLC 硬件设计基础上,对在线视觉采集系统硬件进行集成,包含工业级 CCD 相机、定制焦距的镜头及同轴环形光源等硬件。确保了即使在复杂上下料环境下,也能实现稳定且高质量的图像数据传输,为工件的精确定位和识别提供了坚实的基础。

使用带有自动交换视觉测头进行上下料过程的图像采集^[4],该装置由相机、镜头和光源等关键硬件组成,针对上下料环境的复杂性,选用了工业级 CCD 相机,通过千兆以太网接口实现与电脑及嵌入式装置的稳定数据传输。在镜头选型上,根据相机感光尺寸及像素分辨率(1 280×960),通过焦距计算公式计算出适用于本系统的镜头焦距,其公式为

$$f = \frac{L_1}{r} \quad (1)$$

式中, f 为镜头焦距, L_1 为最短工作距离, r 为感光距离。

通过选择适合的镜头,确保镜头像面尺寸不小于 CCD 靶面尺寸,从而实现高质量的图像采集^[5]。为进一步优化光照条件,选用了与镜头同轴的环形光源,确保适度阳光照射,提升图像清晰度。

2.3 协作机器人视觉采集图像预处理

在 CNC 上下料过程中,机器人需要准确识别工件的位置、姿态等信息,通过在线视觉采集系统来捕捉工件的图像。但是 CNC 加工环境中的光照变化、灰尘、油污等都可能影响 CCD 相机采集的图像质量,这些低质量图像往往混杂着众多不相关的特征,这些特征在边缘检测过程中容易引发伪边缘点的产生,影响机器人完成上下料任务的准确性。

首先,在图像中选定一个 $m \times n$ 大小的采样窗口,并从该窗口中提取灰度值数据进行整理。将图像中那些与周围灰度值差异显著的像素点,通过其周围邻域内灰度值的中间值来替代,保持图像边缘的显著效果,防止图像中的非线性噪声干扰。其保持清晰度的公式为

$$GF = SE + EG + S \quad (2)$$

式中, GF 为保持清晰度, SE 为减少模糊度, EG 为抑制函数, S 为细节参数。用排序后的中间值来替换窗口中心

点的原始灰度值^[6]。如果窗口内的数据量为9，则取4或者5；如果数据量为8，则取5作为中值。按一定顺序进行多次排列取平均值后，其计算公式为

$$y = GF(f)med(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

式中， y 为经过中值滤波处理后的输出值； $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为灰度值数据。通过中值滤波处理，图像中的噪声得到有效地去除，同时使得图像的边缘信息得到了保证^[7]。在复杂环境中，相机采集的图像中包含大量不相关的特征，这些特征在边缘检测过程中会产生伪边缘点，进而影响检测的准确性。为了去除这些伪边缘点，使用 $n \times n$ 大小的方形区域模板来扫描图像边缘，通过计算该区域内像素值的平均值 $ave(D)$ ，并将其与预设的标准值进行比较，来决定是否保留该区域内的边缘信息。如果平均值 $ave(D)$ 小于标准值，则保留该区域内的边缘。这一过程的数学表达式为

$$f(i, j) = \begin{cases} 255, & ave(D)y \leq p \\ 0, & ave(D)y > p \end{cases} \quad (4)$$

式中， $f(i, j)$ 为去除伪边缘点的过程， P 为标准值， D 为以 (i, j) 为中心的 $n \times n$ 区域内的像素集合， $ave(D)$ 为该区域内像素值的平均值。对于CNC上下料过程中的视觉检测，边缘检测的精度相应提高^[8]。

2.4 图像亚像素级边缘定位

在CNC上下料过程中，协作机器人需要准确地识别和定位工件，以便进行精确的抓取和放置。但是CNC上下料环境因其复杂多变性，常伴随着光照变化、遮挡物遮挡及机械振动等不利因素。针对目标工件的定位方式在复杂环境中容易受到干扰而导致定位不稳定的问题，在完成协作机器人视觉采集图像预处理后，采用了图像亚像素级边缘定位技术，精确锁定工件边缘的具体位置。这种高精度的定位能力，使得智能协作机器人在进行工件定位和抓取时，能够达到极高的准确度^[9]。

采用横纵方向相邻两像素之差来组成梯度幅值，其公式为

$$text = f(i, j) - F(x-1, y-1) + 0F(x, y-1) \quad (5)$$

式中， $text$ 为梯度幅值； $F(x, y)$ 为图像的像素点。

在这些整像素边缘的邻域内，采用矩算法进行更为精细的亚像素级边缘检测，能够准确地反映图像的边缘信息^[10]。该算法通过其旋转不变性来计算边缘参数，然后将这些参数与预设的标准值进行对照，从而精确定位

图像的边缘。在计算过程中，建立亚像素边缘检测理想模型来提取图像的边缘特征 z 。其公式为

$$z = \frac{n+1}{\pi} \int F(x, y) \times V dx dy (text) \quad (6)$$

式中， n 为阶数； V 为垂直距离。为增强检测的旋转不变性，进一步通过旋转后修正边缘参数 e ，得到精确的边缘特征 z^* 。其公式为

$$z^* = z_{mm} e^{-im} \quad (7)$$

式中， z_{mm} 为正边缘位置； e^{-im} 为修正边缘参数。

结合这些矩值，计算智能协作机器人在运行中阶跃高度，其公式为

$$K = \frac{3z^*}{2(1-l^2)} \quad (8)$$

式中， K 为运行中阶跃高度； l 为背景长度。

在获得阶跃高度边缘参数后，采用预设的阶跃灰度标准值 KT 进行判定，当 K 满足大于等于 KT 条件时，确认该点为零件的真实边缘，其位置精确至亚像素级别的浮点坐标，这些坐标通过结合三角函数与先前计算的参数精确计算得出。其公式为

$$\begin{bmatrix} xs \\ ys \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + dK \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中， s 为预设的阶跃灰度标准值， d 为阶跃高度边缘参数； θ 为旋转角。最终，对检测到的像素边缘进行更细致地划分与精确定位，将定位精度提高到亚像素级别，满足机器人对高精度操作的需求，实现了工件的高精度抓取。

2.5 基于PLC的上下料联动控制

CNC加工对工件的位置和状态精度要求极高，同时，上下料流程必须与机床的加工周期保持高度同步，以确保生产效率和加工质量的双重优化。PLC电气控制因其卓越的时间控制精度和信号同步能力，能够满足这一要求。它不仅确保了机器人与数控机床之间无缝的信号交流，还通过精确的指令控制，实现了上下料与加工流程的紧密衔接。此外，PLC电气控制系统具备强大的抗干扰性和稳定性，能够在CNC加工车间复杂多变的环境中稳定运行，有效抵御外部因素的干扰，从而减少系统故障和停机时间，提升整体生产线的可靠性和连续性。

PLC程序首先接收来自视觉检测系统的边缘定位数据，这些数据包含了工件在图像中的精确位置和边缘轮廓信息。然后，PLC根据预设的逻辑和算法，利用这些

定位结果来计算和控制机器人的运动轨迹和抓取参数。具体来说, PLC 电气控制系统通过预留的 I/O 接口与视觉检测系统相连接, 实时接收来自视觉检测系统的图像亚像素边缘定位数据。这些数据详细描述了工件在图像中的精确位置和边缘轮廓, 为后续的机器人控制提供了关键信息。具体过程如下。

1) 精准定位与抓取: PLC 利用接收到的图像亚像素边缘定位结果, 精确计算并控制机器人的移动路径和抓取位置, 确保机器人能够准确无误地抓取到目标工件, 避免了因定位误差导致的抓取失败或工件损坏。

2) 加工路径规划: 在工件被运送到 CNC 加工工作台前, PLC 根据定位结果规划出最优的移动路径, 确保工件能够平稳、准确地放置在机床夹具上。同时, PLC 还通过 I/O 接口将定位信息传递给 CNC, 帮助机床调整加工参数, 提高加工精度。

3) 实时检测与反馈: 在加工过程中, PLC 持续接收来自视觉检测系统的实时数据, 包括工件的加工状态、尺寸精度等。结合图像亚像素边缘定位结果, PLC 对上下料过程进行实时监控, 并根据需要进行反馈调整, 确保加工质量达到预定标准。

4) 自动化流程控制: 通过整合图像亚像素边缘定位技术、PLC 电气控制、机器人及 CNC 的协同工作, 整个生产流程实现了高度自动化和智能化。PLC 作为中央控制器, 实时接收和处理来自各个设备的输入信号, 并输出相应的控制信号, 确保上下料、加工、检测等各个环节紧密衔接、高效运行^[11]。

5) 数控系统与 PLC 的信号交互: 利用 FAN 数控系统预留的 I/O 接口, PLC 能够与之进行信号交互, 实现数控机床与机器人之间的协同作业^[12]。具体 I/O 分配见表 1, 包括车床准备、完成、故障信号, CNC 准备、完成信号, 以及机械手的各种状态信号。

表 1 系统 PLC 的 I/O 分配表

信号	注释	信号	注释
1.00	车床准备信号	1.08	机械手在车床放料完成信号
1.01	车床完成信号 1	1.09	机械手在 CNC 放料完成信号
1.02	车床完成信号 2	2.00	机械手在车床回安全位置信号
1.03	车床卡盘夹紧信号	2.01	机械手到清洗位置信号

(续)

信号	注释	信号	注释
1.04	车床卡盘松开信号	2.02	机械手到 CCD 位信号
1.05	车床故障信号	2.03	机械手在 CNC 回安全位置信号
1.06	CNC 准备信号	2.04	机械手在车床更换物料完成信号
1.07	CNC 完成信号 1	2.05	机械手在 CNC 更换物料完成信号

在进行上下料综合联动测试时, 首先确保设备主电源和气泵开关处于正常工作状态, 并进行器件初始化。随后, 按照预设的流程进行上下料操作, 包括原材料的放置、机器人的抓取与移动、工件的加工与更换等。通过多次试验验证, 确保了整个装卸过程的顺利进行, 达到了预期的生产效率和加工质量。为满足智能协作机器人的高速运动, 快速实现抓取壳类零件进行加工等工作, 选择低惯量通用电机。设定通用电机的额定转速, 计算电机激振频率为

$$P = \frac{2n\pi b}{35} \quad (10)$$

式中, P 为电机激振频率, b 为额定转速。该计算可以避免模式共振的发生, 上下料的装卸动作可根据机器人的电气控制进行, 以此提高机械臂的整体性能, 实现基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统设计。

3 实验与结果分析

3.1 实验参数设置

为验证本文提出的基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统实际应用效果, 将设计实验进行验证。选择某数控加工中心作为研究场所, 为不影响金属零件的加工质量, 选择一批实验专用的 ABS 不锈钢轴承钢套作为测试的产品。智能协作机器人采用发那科 KT-V215 型号 6 轴机械臂, 主要参数见表 2。

采用 DSP+FPGA 对采集到的图像进行识别, 利用 MATLAB 和 VC++ 混合编程实现数据处理。通过运动控制卡控制的智能协作机器人, 成功完成了工件的加工。利用测头随机测取的若干点验证了加工精度, 计算得到的匹配度小于 0.05mm 时系统具有极高的加工精度。实验环境如图 3 所示。

表 2 智能协作机器人主要参数

项目	参数
最大半径 /mm	2 615
重复定位精度 /mm	± 0.3
1 轴最大速度 $^{\circ}/s$	112
2 轴最大速度 $^{\circ}/s$	78
3 轴最大速度 $^{\circ}/s$	89
4 轴最大速度 $^{\circ}/s$	122
5 轴最大速度 $^{\circ}/s$	128
6 轴最大速度 $^{\circ}/s$	195



图 3 实验环境

3.2 测试结果与分析

(1) 模态振型分析

可以通过模态振型分析来衡量智能协作机器人在不同固有频率下的振动特性,以模态振型图为基础,判断智能协作机器人上下料过程中的稳定性,如果机械臂的振动频率与某些结构部件的固有频率相近,可能会引发共振现象,进而影响机械臂的定位精度和稳定性。模态振型图如图 4 所示。

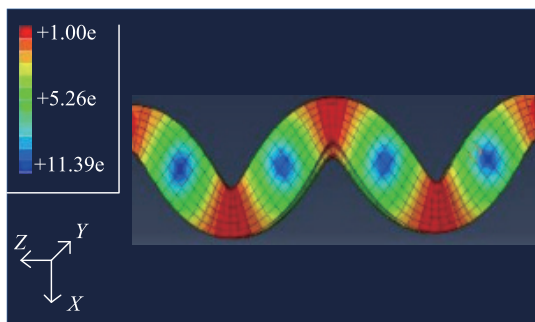


图 4 模态振型图

由图中结果可知,振动波形展现出极佳的平滑性和重复性,未出现任何显著的异常波动或突变迹象,这明确指示了系统处于稳定运行状态,未经历异常振动或共振的困扰。这一结果验证了所设计系统的稳定性要求已达标。本文系统的优势在于小型高性能 PLC 的低输出电流与集成 I/O 点设计,不仅确保了系统的高效运行,还极大地增强了系统的稳定性。PLC 作为整个控制系统的中枢,其性能的稳定与否直接影响到整个系统的运行状况。通过精确控制各部件的协同工作,PLC 有效避免了因信号干扰或处理延迟导致的系统波动,从而确保了振动波形的平滑与重复。

(2) 抓取位置匹配误差

为验证本文设计系统的有效性,将文献[1]中的 MES 和文献[2]中的数字孪生平台作为对比方法共同参与实验测试。MES 是一种位于上层计划管理系统与底层的工业控制之间,面向车间层的管理信息系统。它主要负责生产执行层面的计划、调度、监控、跟踪和资源管理等任务。数字孪生平台是一种基于物理实体的虚拟模型,通过实时数据交互和仿真分析,实现对物理实体的运行状态、性能变化及潜在故障等方面的预测和优化。为分析基于 PLC 电气控制智能协作机器人的 CNC 上下料系统的实用性,对 CNC 上下料过程中机械手抓取轴承钢套的过程进行了精准定位。要求轴承钢套抓取位置的匹配误差 $\leq 0.05\text{mm}$,以此来衡量 CNC 上下料系统的灵活性。随机抽取 10 个轴承钢套的抓取结果进行统计,设置 5 个抓取点位如图 5 所示,抓取位置匹配误差测试结果如图 6 所示。



图 5 轴承钢套抓取点位设置

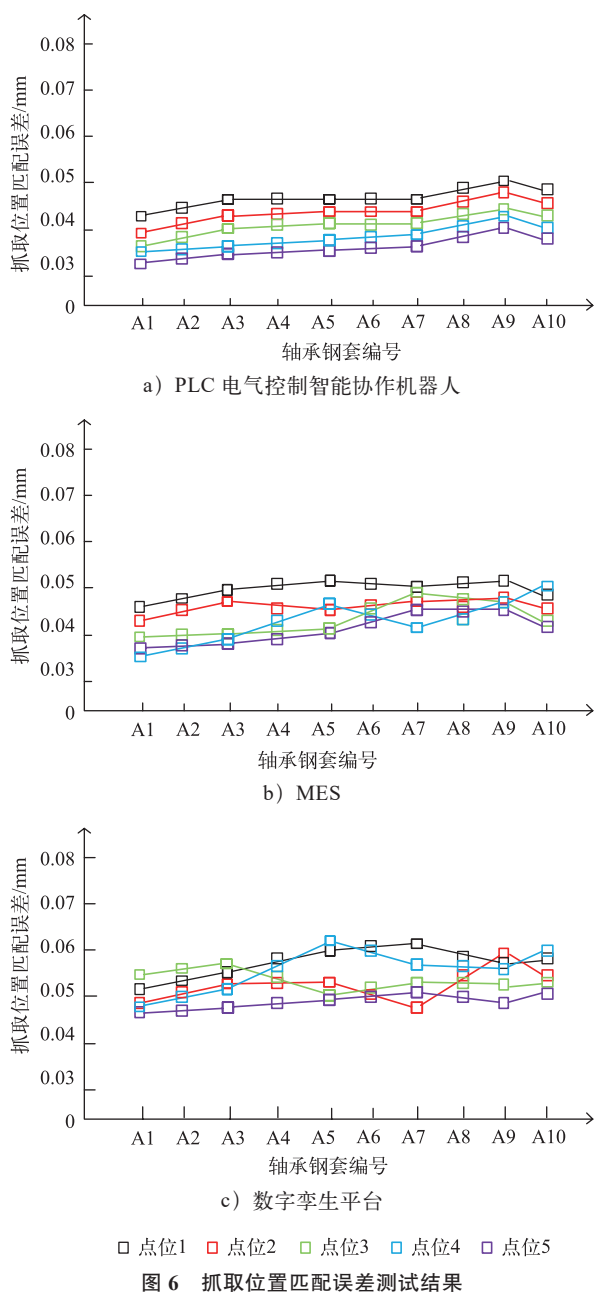


图6 抓取位置匹配误差测试结果

通过图6可知,在应用MES和数字孪生平台的过程中,有部分轴承钢套匹配误差超过了0.05mm,说明这两种系统与平台的抓取位置匹配误差较大,不能满足CNC上下料的实际应用需求。而应用PLC电气控制智能协作机器人进行上下料抓取的过程中,针对轴承钢套5个抓取点位的匹配误差均低于0.05mm,能够满足实际应用的抓取要求。

本文方法通过在线视觉采集系统和图像亚像素级边缘定位技术,实现了零部件的精确无误识别与稳定可靠

抓取,使得CNC上下料系统能够实时获取工件在图像中的精确位置和边缘轮廓信息,为PLC程序提供了至关重要的定位数据,精确计算并控制机器人的运动轨迹和抓取参数。这一过程不仅确保了机器人操作的准确无误,还实现了上下料流程的完全自动化控制,大大提高了生产效率和稳定性。

(3) 上下料位置误差

上下料位置误差直接关联到系统的定位精度,是衡量自动化生产线中机器人与CNC协同工作能力的关键指标。设定智能协作机器人在上下料过程中的标准移动轨迹,针对不同方法的移动轨迹与标准移动轨迹进行匹配,较小的位置误差意味着系统能够更准确地完成物料的上下料动作,从而提高生产效率和产品质量。不同系统平台的上下料位置误差结果如图7所示。

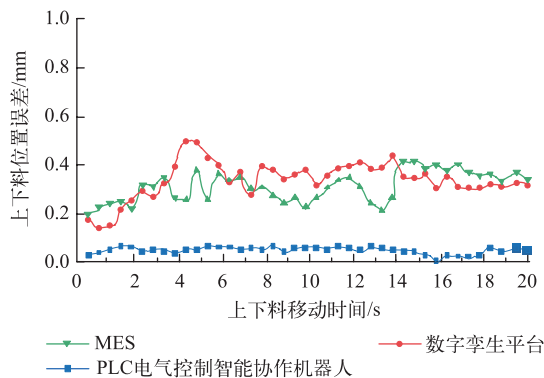


图7 上下料位置误差

通过图7可以看出,在应用MES控制下机械臂上下料的位置误差为0.20~0.41mm,表明MES虽然能够实现对生产流程的有效监控与管理,但在直接控制机械臂的精准度方面,仍存在一定的局限性。MES更多地侧重于生产数据的收集、分析与调度,而在物理层面的精确控制上,可能受限于传感器精度、算法优化程度等因素,导致位置误差相对较大;在应用数字孪生平台控制下机械臂上下料的位置误差为0.15~0.51mm,这一结果可能反映了数字孪生模型与实际生产环境之间的细微不匹配,或者是模型更新频率、数据同步精度等方面的挑战,导致控制指令与实际执行之间存在偏差。而在应用PLC电气控制智能协作机器人进行上下料的位置误差为0~0.08mm,可以始终保持在0.1mm以下,上下料位置误差较小。说明利用本文所设计的CNC上下料系统后,可大幅降低上下料位置的误差,使得机械臂抓取更加精准。主要是因

为本文所设计的 CNC 上下料系统，通过引入图像亚像素级边缘定位技术，不仅极大地提升了 PLC 电气控制智能协作机器人在工件识别上的准确性，实现了毫米级乃至更高精度的定位，从而显著降低了定位误差，增强了生产过程的稳定性和可靠性，展现出良好的实用性能；而且，该技术还赋予了系统出色的适应性和灵活性，使其能够应对复杂环境下的工件定位需求，确保生产流程的连续性和稳定性。此外，结合 PLC 这一成熟且可靠的工业自动化控制器，为整个系统的高效、稳定运行提供了坚实的技术支撑。

4 结束语

本次研究聚焦于 CNC 上下料系统的智能化升级，取得了显著的成果。通过引入 PLC 电气控制核心与在线视觉采集系统的智能协作机器人，成功构建一个高效、稳定的自动化上下料系统。该系统不仅显著提升了零部件的识别精度与定位稳定性，有效解决了传统 CNC 上下料环节中存在的抓取位置匹配误差较高的问题，还展现出了强大的适应性和灵活性，能够在复杂多变的生产环境中稳定运行。研究过程中，创新性地集成了高性能的视觉采集系统，并开发了先进的图像预处理算法和亚像素级边缘定位技术，共同确保了工件在复杂环境下的高精度识别与定位。同时，PLC 电气控制系统的引入，不仅提升了系统的整体性能和稳定性，还为实现上下料与加工流程的紧密同步提供了坚实的技术支撑。尽管当前设计已展现出卓越的性能与潜力，未来研究应进一步聚焦于优化视觉识别算法与机器人运动控制策略，特别是增强机器人在复杂环境中的自适应能力与安全性，如提升从安全启动点到工件精准定位的全路径优化，以及强化力度感知与反馈机制以保障人机协作安全。随着工业自动化的不断发展，该系统将在制造业中得到更多推广。IM

参考文献

- [1] 张丽，周航．基于上下料机器人的农机部件智能自动化组装系统[J]．农机化研究，2022，44（12）：216-

220．

- [2] 郎新星，段云森．基于数字孪生技术的晶棒机械加工及自动上下料系统[J]．现代制造工程，2023（7）：28-36．
- [3] 谢洁明，陈庆新，毛宁，等．基于 GMADS 与问题信息的车间单元上下料口布局优化方法[J]．计算机集成制造系统，2022，28（12）：3847-3858．
- [4] 孙军，王焕然，孙诗华．智能生产线机械臂上下料轨迹规划与仿真[J]．组合机床与自动化加工技术，2022（7）：5-8．
- [5] 徐巍，朱怀志，钟宇超，等．基于 NSGA- II 的热压系统上下料机械手结构优化设计[J]．现代制造工程，2023（5）：65-73．
- [6] 曹锦江，高世平．基于 EtherNet/IP 工业以太网的 FANUC 机器人上下料单元系统集成应用研究[J]．机床与液压，2022，50（24）：94-101．
- [7] 汪春华．基于 PLC 技术的播种机电气控制系统研究[J]．农机化研究，2023，45（11）：140-143，155．
- [8] 周伟，李玉平．基于 PLC 的全自动码垛机电气控制系统中的设计[J]．农机化研究，2022，44（9）：168-172．
- [9] 崔永远．PLC 技术在机械电气自动化控制中的应用研究[J]．有色金属工程，2023，13（9）：177．
- [10] 林俊辉．PLC 技术下联合收割机电气控制系统设计[J]．农业与技术，2023，43（21）：47-50．
- [11] 季明丽，熊渊琳．基于 PLC 的智能收割机传送带电气控制系统设计[J]．农机化研究，2022，44（8）：210-214．
- [12] 游中国，周海舟，吴泉成，等．基于 PLC 技术的播种机电气自动化技术探究[J]．农机化研究，2024，46（12）：194-198．

作者简介：杨跃（1973—），男，硕士，副教授，主要研究方向为智能制造。

收稿日期：2024-09-27