

双臂协作配电机机器人抓取方案及激光校准测试

何家劲¹,徐勇¹,吴智伟¹,戴军²

(1. 国网浙江省电力有限公司金华供电公司,浙江省金华市,321000;

2. 国网浙江省电力有限公司培训中心,浙江省湖州市,313000)

摘要 配电机机器人工作的时候对双臂协作要求很高,直接影响到配电效率。为了进一步提高配电机机器人双臂协作抓取准确性,设计了一种双臂协作激光跟踪校准方案。在双臂协作运动模式分类的基础上,开展激光跟踪校准。开展抓取位姿精度分析。研究表明:采用本方案进行数据标定时,能够取得良好识别稳健性,通过对各参量校正后,左右手臂的确定性定位精度明显提升。利用识别出机构参数来控制机械臂,确定各检验点相对坐标精度,绝对位置精度从6.82缩小到1.35,而绝对方向精确度从0.137rad降低到96.42%。该研究有助于提高机器人自动控制能力,可以实现联网控制,具有很广的实用性。

关键词 双臂协作;激光跟踪;校准;抓取;位姿精度

中图分类号:TP242.2 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)04-0037-02

随着现代智能控制水平和机器人手臂精度控制能力的不断提高,抓持机器人在配电网工业应用领域中不断得到推广,可有效替代手工方式进行各种作业,对实现智能化控制和提高配电网工作效率都起到了很大推动作用^[1]。目前,基本都是采用单臂式机构的抓持方式,存在承载力低、作业距离短等不足,难以实现高智能、复杂作业的控制要求。本文在现有研究基础上,提出了一种基于多臂机构的控制系统来实现多品种、高载荷、多工况抓持功能^[2-3]。

目前,关于双臂协同技术的研究已引起了越来越多学者的关注。常琛扬等^[4]提出基于机器视觉和力觉协同引导下双臂协作机器人拧紧装配策略,实现扭矩监控和拧紧螺栓双向协同作业,提升了装配工艺操作的高效性及安全性。白明等^[5]提出改进非几何误差补偿方法补偿机器人本体非几何误差,通过实验验证方法的正确性和有效性,与基于参数模型的方法相比协作定位精度提升约30%。

本文提出的配电机机器人抓取控制方式是以松臂配合的过程完成,因此必须对机械臂避障行为控

制深入探讨。对于较大的工件进行抓取的过程则通过两个手臂之间的紧密配合,需在两臂末端施加位姿限制。

1 双臂协作激光跟踪校准

1.1 双臂抓取空间

对双臂结构进行准确运动控制,是保证准确分类和有效规划抓持轨迹的一个重要环节。当手臂在空间中高效抓取作业空间目标时,需要手臂末端操作机构在完成对物体的垂直抓持时触及目标范围。通过对两个半径为1.32m的圆形区域进行分析。

1.2 双臂协作运动模式分类

在协同操作过程中,手臂的运动配合方式可分为两种类型,分别为松散配合和紧密配合。进行松懈控制时,手臂之间没有受到显著束缚,需要对手臂运动效率进行分析。机器人手臂与机器人处于紧密配合的运动轨迹是一种高度耦合的运动形式,需要全面研究机器人手臂运动的约束条件。

针对多种形状的工件,需对其进行协调处理。对于小型零件,在使用双手分类时,手臂应处于放松配合状态。在使用双手对大型零件分类时,手臂端部控制结构没有达到抓握位置便和手臂完成了工作部件的摆放,返回值初始点位置的两个步骤中,手臂都处于一种松弛配合结构,搬运部件到指定位置时,则是一种紧配合状态。

作者简介:何家劲(1994~),男,浙江金华人,本科,工程师,研究方向:配电网运维检修。

1.3 激光跟踪校准

本研究的机器人执行试验系统构成为：双臂机器人、目标球。控制传感器、追踪装置等^[6]。采用激光追踪技术进行跟踪，将检测设备安装在机械手法兰盘处并定位，共加装了三颗激光球，利用该仪器测量出真实中心位置。在此基础上，采用任意控制方法建立k位型，并分别测量个体关节轴角 θ 和靶球点参数。

2 测试结果分析

对双臂机械臂标定时，首先依据相对位置精度优化其几何结构，再以协同定位精度为目标优化双臂坐标变换关系。通过最小化目标球差，完成单臂及左右臂坐标变换的标定。选取三个空间点作为约束，对六自由度系统进行调节，在最小化位置误差的同时修正仪器坐标参数，提升标定鲁棒性，并解决了姿态矢量基准坐标的单位归一化问题。

对本实验测试数据进行分析的结果表明，本次设计的两种方案均能显著提高机械臂位置和方向控制准确性。通过对两种方案的相对位置和方位误差对比研究表明，使用方案1的结果更优，尤其是相对位置精度得到了极大提高。表1列出了两个控制臂的精确度统计数据。由表1可以看出，在左臂试验时，方案1和方案2都获得了同样的抬举效果，由此可以判定，方案2的最佳目标球验点恰好是方案1的目标球验点最大处。采用方案1进行数据标定时，能够取得良好的识别稳健性，通过对各参量进行校正后，左右手臂的确定性定位精度分别提升83.34%和88.62%，而相对位置的准确性则分别提升88.52%和94.74%。

表1 校准前后的左右臂绝对位姿精度指标

指标		校准前	方法1	方法2
右臂	定位精度/mm	均方根 3.771	0.305	0.319
		最大值 6.852	0.803	0.800
	定向精度/rad	均方根 0.120	0.005	0.009
		最大值 0.140	0.009	0.015
左臂	定位精度/mm	均方根 2.190	0.310	0.310
		最大值 4.615	0.782	0.783
	定向精度/rad	均方根 0.049	0.005	0.005
		最大值 0.060	0.008	0.008

利用识别出的机构参数来控制机械臂，并确定各检验点相对坐标精度。实验表明，在没有进行校准的条件下，即使不进行标定，也能达到较高定位精度，得到图1的精度改善结果。从图1可以看出，绝对位置精度从最初的6.82缩小到1.35，而绝对方向的精确度从原先的0.137rad降低到96.42%。

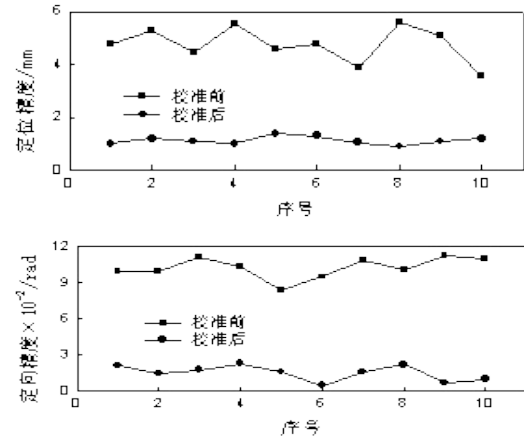


图1 机械臂校准前后绝对精度对比

3 结语

本文开展双臂协作激光跟踪校准后抓取位姿精度分析，取得如下有益结果：采用本方案进行数据标定时，能够取得良好的识别稳健性，通过对各参量校正后，左右手臂的确定性定位精度明显提升。利用识别出的机构参数来控制机械臂，确定各检验点相对坐标精度，绝对位置精度从6.82缩小到1.35，而绝对方向精确度从0.137rad降低到96.42%。

参考文献

- [1] 荆学东,薛毓铨,陈亚楠.6R双臂服务机器人协作空间分析及参数优化[J].机械科学与技术,2021,40(06):840-845.
- [2] 李宪华,孙青,范凯杰,等.双臂6R服务机器人的协作空间分析与仿真[J].机械传动,2018,42(09):130-134.
- [3] 解磊磊,吴海森,崔国华,等.双臂协作机器人运动可靠性评估[J].机床与液压,2022,50(17):32-37.
- [4] 常琛扬,王平安,李秉洋.基于机器视觉的双臂协作机器人拧紧装配实验研究[J].制造技术与机床,2023,731(05):94-97.
- [5] 白明,庞淋峻,史羽胜,等.基于参数与非参数模型结合的双臂机器人协作定位精度提升方法[J].机器人,2023,45(03):276-286.
- [6] 许鹏,陈友东.三维仿真交互式双臂机器人离线编程系统设计[J].计算机工程与设计,2018,39(07):2042-2047.