

外置视觉监测的机器人数字孪生系统研究

张旭东,王国庆,刘平利,杨嘉龙,覃 波,石振宇,Njaramba Winnie Nyokabi

(长安大学 工程机械学院,陕西 西安 710064)

摘要:目前,在直角坐标机器人的数字孪生系统研究中,存在数字端对物理端真实情况反应不足的问题。针对此问题,采用外置视觉和数字孪生系统模型相结合的方法,基于半物理仿真技术建立数字端模型,并构建了直角坐标机器人数字孪生系统,设计了结合外置视觉的数字孪生系统模型,并就构建数字孪生系统所涉及的关键技术进行了分析,包括数字端模型、控制器、外置视觉监测等。实现了对直角坐标机器人数字孪生系统的开发,完成了相关功能的实现。

关键词:直角坐标机器人;数字孪生;外置监测;半物理仿真

中图分类号:TP391.9;TP242.2

文章编号:1000-0682(2024)01-0047-04

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.01.011

Study on robot digital twin system with external visual monitoring

ZHANG Xudong, WANG Guoqing, LIU Pingli, YANG Jialong, QIN Bo, SHI Zhenyu, Njaramba Winnie Nyokabi

(Chang'an University College of Engineering Machinery, Shaanxi Xi'an 710064, China)

Abstract: At present, in the study of the digital twin system of cartesian robots, there is a problem that the digital side does not respond to the real situation of the physical side. To solve this problem, the digital end model is established based on semi-physical simulation technology, and the digital twin system of cartesian coordinate robot is constructed. The model of digital twin system combined with external vision is designed, and the key technologies involved in constructing digital twin system are analyzed, including digital terminal model, controller, external vision monitoring and so on. The digital twin system of cartesian coordinate robot is developed and the related functions are realized.

Keywords: cartesian robot; digital twins; external monitoring; semi-physical simulation

0 引言

直角坐标机器人是能够实现自动控制的、可重复编程的、多用途的操作机。在智能制造背景下,该设备的数字化管理成为目前的一大难点,由此数字孪生解决方案应运而生。但在当前数字孪生的发展中,已有的技术很难完全做到现实数据和虚拟数据全面的映射,由此提出外加一个独立的视觉监测系统,进行辅助。

关于数字孪生的相关研究中,文献^[1]阐述了数字孪生系统在制造业领域的发展现状以及前景。文献^[2-3]总结了数字孪生的多种定义及技术框架。文献^[4]将电池管理和数字孪生系统相融合,完成了电

池全生命周期的细致化管理。文献^[5]中将数字孪生系统应用于滚动轴承的故障诊断。

视觉监测的主要目的是对目标物进行视觉监控和目标跟踪。在现有的研究中,文献^[6-8]对视频目标跟踪的各种算法进行了总结。文献^[9]提出了端到端目标跟踪架构,该架构使用视觉前端来获得测量值并计算单应性。文献^[10]基于 CNN 技术提出了多目跟踪算法,该算法可应用于自动驾驶和自动监控领域,并具有较高的准确度。

在这种背景下,该文将外置视觉作为监测手段,提出结合外置视觉的数字孪生系统模型,根据模型建立结合外置视觉的数字孪生原型系统,并将数字孪生原型系统应用于直角坐标机器人。

1 数字孪生系统模型设计

该文提出基于半物理仿真技术构建数字孪生数字端模型的方法,并结合外置监测系统构建数字孪

收稿日期:2023-10-10

基金项目:省级科技计划项目 2024GX-YBXM-154 资助

第一作者:张旭东(1999—),男,汉族,陕西西安人,硕士研究生,学生,研究方向为设备智能化信息化。

生系统模型,该模型由物理端实体(Physical Entities, PE)、数字端模型(Digital Model, DM)、外置监测系统(External Monitoring System, EMS)、交互连接(Interactive Connection, IC)、孪生服务(Twin Services, TS)组成,模型架构如图 1 所示。

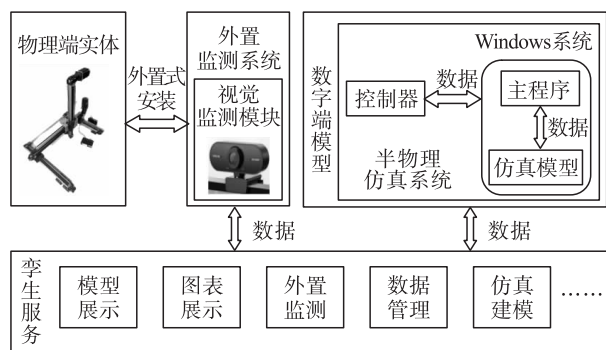


图1 数字孪生系统模型图

提出的结合外置视觉的直角坐标机器人数字孪生系统模型如下:

(1) 物理端实体(PE)

物理端实体即为直接与外界发生交互的部分,又驱动器、控制器以及终端设备等构成,其可与传感器相结合,并获取实时数据。

(2) 数字端模型(DM)

数字模型即为通过计算机信息技术对物理模型的虚拟表达。该文构建了以半物理仿真为基础的数字模型,以完成对物理端的真实表达。

(3) 外置监测系统(EMS)

该部分是该文提出的数字孪生模型的重要组成部分,通过外置监测,进而获取机器人末端的状态和数据,完成对直角坐标机器人的完全可视化。

(4) 交互连接(IC)

模型各部分的交互连接是该系统的重要组成部分,其由多种网络协议、I/O 设备等组成,起到各模块通讯的用途。

(5) 孪生服务(TS)

孪生服务是由虚拟模型、采集数据、人机交互页面等组成的软件平台,其可完成系统中所涉及数据的可视化、数据管理等操作。

2 关键技术研究

2.1 基于半物理仿真的数字端模型设计

半物理仿真技术是一种将所需测试的物理端实体通过数学模型进行模拟测试的技术。半物理仿真系统可分为控制装置,信号转换器和数学模型三部分。执行流程为:数字端的数学模型先进行一次单

步计算,再将计算输出结果通过信号转换器进行转换,转换为控制器可以执行的信号,控制器进行计算,计算后输出结果再通过信号转换器,返回到数字端,进而完成一次仿真,其主要流程如图 2 所示。

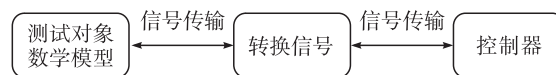


图2 半物理仿真系统主要流程图

在创建基于半物理仿真技术的数学模型时,该模型需要运行在实时系统中,因 Windows 系统具有毫秒定时器,在一毫秒内物体状态发生一次改变,数字模型进行一次仿真,可认为 Windows 系统可近似代替实时系统。基于此,建立运行在 Windows 系统上的半物理仿真系统,框架如图 3 所示。

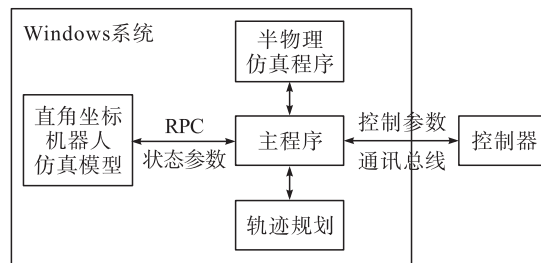


图3 半物理仿真模型架构图

主程序、轨迹规划、仿真模型、半物理仿真服务程序均位于 Windows 系统上。其中主程序实现调度,半物理仿真服务程序进行仿真数据结果的可视化。控制模块和主程序使用总线进行控制参数的传输,与此同时,控制装置进行物理端机器人的驱动。物理端机器人通过 RPC 来与主程序进行通讯。

2.2 机器人控制器设计

控制器使用可重构的快速硬件模块设计,采用底板+功能板+核心板的设计方案,功能板与核心板可根据具体需求进行更换,可根据不同的功能需求设计不同的功能板和核心板,在实际应用场景中通过更换功能和核心板,实现硬件控制器的快速搭建。具体方案如图 4 所示。

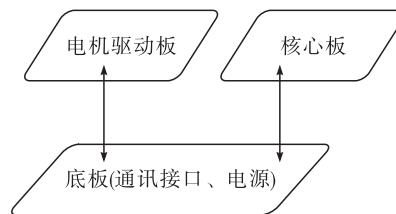


图4 控制器整体架构图

底板是功能板和核心板连接的基础,其功能是固定不变的,负责功能板和核心板的供电以及两板的连接,支持 3.3 V、5 V 和 24 V 的电压。底板上还

带有通讯模块,负责信息的传输。

图 5 所示电机驱动板即为功能板,主要用于驱动电机,其通过排针与底板连接。该电机驱动板的电源位于底板上,为 24 V,以驱动电机。

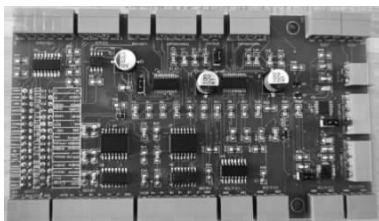


图 5 电机驱动板

核心板的主要组成有主控芯片和下载电路等,其主要功能为计算和控制,并通过排针与底板上的通讯模块和电源相连接。

底板、电机驱动板、核心板构成机器人控制器,通过对电机的控制,进而实现机器人的运动。

2.3 外置视觉监控

外置监测系统总体设计:光照状况,监测对象的运动状态,多样的背景,监测对象的外形,相机性能及其自身的运动,监测对象和相机之间的相对运动等都会对外置监测系统的监测算法带来一定的影响。为了完成较好的监测效果,完成对直角坐标机器人的实时监测,视觉追踪的流程如图 6 所示。

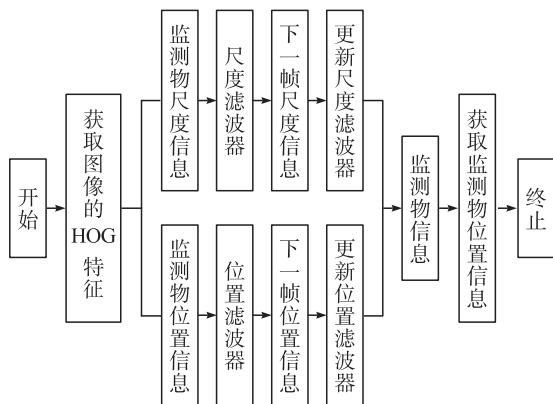


图 6 外置视觉跟踪定位流程图

视觉追踪的具体步骤:

- (1) 获取图像的 HOG 特征;
- (2) 构建基于相关滤波的滤波器:二维位置滤波器和一维尺度滤波器;
- (3) 尺度,位置滤波器的更新;
- (4) 跟踪目标的位置更新。

目标跟踪是在 python 中完成的,主软件是用 C# 开发的,通过 socket 通讯将主程序和目标跟踪程序连接,实现双向的数据传输,python 端将图像数据发送到主程序,并把图像在主程序中展示,当需要跟踪

时主程序将跟踪参数发回 python,实现跟踪,不跟踪时可作为一个视觉监控。

3 直角坐标机器人数字孪生原型系统

3.1 数字孪生系统软件总体设计

直角坐标机器人数字孪生系统是将通讯模块,设备监测功能,外置视觉监测功能集成为一体的软件系统。具体的开发是基于 Windows 系统,使用微软的 WPF 技术进行开发,软件采用 WPF + 嵌入式浏览器的架构。直角坐标机器人数字孪生系统的总体功能框架如图 7 所示。

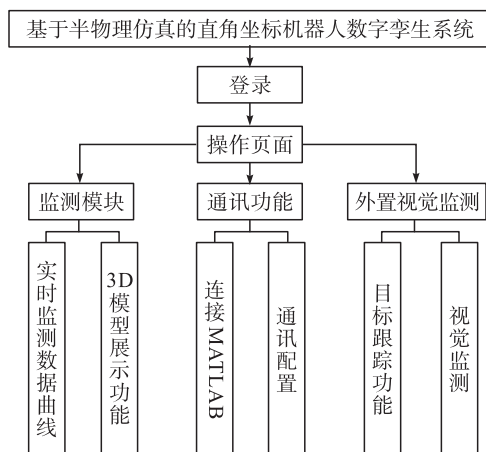


图 7 直角坐标机器人数字孪生系统功能架构图

3.2 数字孪生系统软件功能具体实现

用户通过登录页面进入主页面,如图 8 所示。主页面分为通讯模块、视觉监测模块和设备监测模块三个部分。用户可在页面左侧点击选择具体的功能。



图 8 主页面

通讯模块主要分为两个部分,第一部分配置与控制器通讯的串口,负责发送数据,第二部分配置与 MATLAB 的通讯,负责与 MATLAB 的连接。

软件中通讯部分的 MATLAB 连接界面如图 10 所示,该界面可实现主程序和 MATLAB 之间的通讯,完成数据的双向传输。

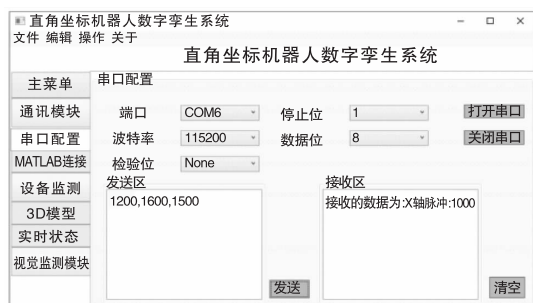


图 9 通讯配置页面



图 10 MATLAB 的 socket 连接

主程序中的嵌入视频页面如图 11 所示,主要负责视觉监测功能。



图 11 视觉监测页面

4 结语

该文为解决直角坐标机器人的数字孪生系统研究中,数字端对物理端真实情况反应不足的问题,设计了结合外置视觉的数字孪生系统模型,就构建数

字孪生系统所涉及的关键技术进行了分析,并经实验验证,证明该方案具有一定可行性。

参考文献:

- [1] 徐朋月,刘攀,郑肖飞. 数字孪生在制造业中的应用研究综述[J]. 现代制造工程, 2023(02): 128-136.
- [2] ASHTARI Talkhestani B, JUNG T, LINDEMANN B, et al. An architecture of an intelligent digital twin in a cyber-physical production system[J]. at - Automatisierungstechnik, 2019, 67(9): 762-782.
- [3] LIU M, FANG S, DONG H, et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2021, 58: 346-361.
- [4] WANG Y, XU R, ZHOU C, et al. Digital twin and cloud-side-end collaboration for intelligent battery management system[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2022, 62: 124-134.
- [5] 杨泞宁,王志坚. 数字孪生驱动的滚动轴承虚实交互研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2023(02): 160-163+168.
- [6] LI Yi, LI Mengmeng, ZHENG Qibin, et al. Survey on video object tracking algorithms[J]. Journal of Frontiers of Computer Science & Technology, 2022, 16(7): 1504.
- [7] 韩瑞泽,冯伟,郭青,等. 视频单目标跟踪研究进展综述[J]. 计算机学报, 2022, 45(09): 1877-1907.
- [8] 刘艺,李蒙蒙,郑奇斌,等. 视频目标跟踪算法综述[J]. 计算机科学与探索, 2022, 16(07): 1504-1515.
- [9] PETERSEN M, SAMUELSON C, BEARD R W. Target tracking and following from a multirotor UAV[J]. Current Robotics Reports, 2021, 2: 285-295.
- [10] MAHMOUDI N, AHADI S M, RAHMATI M. Multi-target tracking using CNN-based features: CNNMTT[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78: 7077-7096.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内邮发代号:52-49 国际发行代号:BM529 定价:18.00 元/期 108.00 元/年
地址:西安市高新区沣惠南路8号 邮编:710075 电话:029-81871277
网址: <http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱:gyybbjb@126.com