



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118493407 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 12

(21) 申请号 202410958101.3

(22) 申请日 2024.07.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118493407 A

(43) 申请公布日 2024.08.16

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街

道高新技术产业园南区粤兴一道18号

香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 郑湃 李成熙

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事

务所(普通合伙) 44268

专利代理师 王永文

(51) Int. Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

(56) 对比文件

郑湃 等. 增强现实辅助的互认知人机安全交互系统.《机械工程学报》.2023,第59卷(第6期),第173-184页.

审查员 李辉

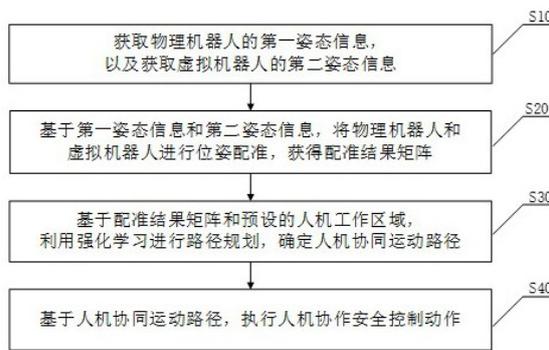
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法及装置

(57) 摘要

本发明提供的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法及装置,具体涉及人机协同智能制造装配技术领域,方案包括:获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;基于第一姿态信息和所述第二姿态信息,将物理机器人和虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果;基于配准结果和预设的人机工作区域深度结合强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;基于人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。该方案利用混合现实设备提取人机姿态信息,通过虚实空间映射的方法实现了人机位姿配准,并设计了基于深度强化学习的人机双向协同的安全交互策略,有效提高了人机交互操作的安全性和有效性。



1. 基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;

基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作;

所述基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径,包括:

基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点;基于所有所述环境锚点和所述人机工作区域,计算所述物理机器人和所述虚拟机器人之间的距离;基于所述距离,确定所述物理机器人运动执行的线速度;基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理解算出关节角速度,并利用所述关节角速度以及预设的目标姿态,生成所述物理机器人的运动轨迹;基于所述物理机器人的运动轨迹,计算所述物理机器人的关节空间组合序列;将所述关节空间组合序列映射到所述虚拟机器人的关节空间,确定所述虚拟机器人的关节空间组合序列;基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,解算所述虚拟机器人的关节运动值;基于所述关节运动值和所述人机工作区域,确定所述虚拟机器人的运动路径;基于所述物理机器人的运动轨迹和所述虚拟机器人的运动路径,确定人机协同运动路径;

在有效的人机工作区域内,通过手势、按键或语音方式发出的实时或规划动作,结合获得的多模态输入信息,使用深度强化学习算法生成所述物理机器人的末端执行器的运行轨迹,并通过逆向运动学求解器计算出物理机器人所需的关节空间组合序列。

2. 根据权利要求1所述的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,其特征在于,所述基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵,包括:

基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,计算姿态配准矩阵;

基于所述姿态配准矩阵,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行姿态配准和坐标系配准,获得配准结果矩阵。

3. 根据权利要求1所述的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,其特征在于,所述基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点,包括:

基于预设的通讯频率,对所述物理机器人和所述虚拟机器人的协同工作状态进行定时轮询,确定当前协同工作状态;

获取当前环境锚点,基于所述当前协同工作状态和所述当前环境锚点,判定当前人机协同控制精度;

若所述当前人机协同控制精度满足所述预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点。

4. 根据权利要求1所述的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,其特征在于,所述基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作,包括:

若所述人机协同运动路径不满足预设的运动安全标准或所述人机协同控制精度中的至少一种,则重新构建若干新的环境锚点,并基于所述新的环境锚点执行路径规划的过程,

直至所述人机协同运动路径满足预设的运动安全标准及所述人机协同控制精度,执行人机协作安全控制动作。

5. 基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置,其特征在于,应用于实现如权利要求1-4任一项所述的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,所述装置包括:

信息获取模块,用于获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;

配准模块,用于基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

人机协同路径规划模块,用于基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

控制执行模块,用于基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。

6. 智能终端,其特征在于,所述智能终端包括存储器、处理器以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被所述处理器执行时实现如权利要求1-4任一项所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

7. 计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质上存储有基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被处理器执行时实现如权利要求1-4任一项所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及人机协同智能制造装配技术领域,尤其涉及的是一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法及装置。

背景技术

[0002] 工业机器人作为现代制造业的重要支撑技术和生产装备,广泛应用于机械加工、焊接和搬运等环节。随着技术的发展,尽管预编程机器人具有高自动化效率,但其配置时间长且缺乏柔性,难以适应定制化生产的要求。协作机器人突破了传统的人机隔离工作模式,实现了人机共享工作空间,从而促进人机共融。在实现人机协作之前,确保操作员安全是首要任务,以避免意外碰撞。随着生产制造规模和复杂性的增加,传统基于固定规则的机器人安全防护控制策略已无法满足当前的安全需求。

[0003] 目前,研究学者开始将增强现实技术和深度强化学习应用于人机交互中,主要是利用物联网的增强现实技术将虚拟信息叠加在真实世界的视野中,增强人对现场环境的感知和认知能力,并通过深度强化学习算法进行路径规划和障碍规避,来提高机器人的认知决策能力,但是存在人机交互的安全性无法得到保障的缺陷。

发明内容

[0004] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法及装置,旨在解决现有技术中存在的缺乏能够人机双向协同的安全交互策略的问题。

[0005] 为了实现上述目的,本发明第一方面提供一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,包括:

[0006] 获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;

[0007] 基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

[0008] 基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

[0009] 基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。

[0010] 在一种实施方式中,所述基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵,包括:

[0011] 基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,计算姿态配准矩阵;

[0012] 基于所述姿态配准矩阵,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行姿态配准和坐标系配准,获得配准结果矩阵。

[0013] 在一种实施方式中,所述基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径,包括:

[0014] 基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点;

- [0015] 基于所有所述环境锚点和所述人机工作区域,计算所述物理机器人和所述虚拟机器人之间的距离;
- [0016] 基于所述距离,确定所述物理机器人运动执行的线速度;
- [0017] 基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理进行路径规划,确定人机协同运动路径。
- [0018] 在一种实施方式中,所述基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点,包括:
- [0019] 基于预设的通讯频率,对所述物理机器人和所述虚拟机器人的协同工作状态进行定时轮询,确定当前协同工作状态;
- [0020] 获取当前环境锚点,基于所述当前协同工作状态和所述当前环境锚点,判定当前人机协同控制精度;
- [0021] 若所述当前人机协同控制精度满足所述预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点。
- [0022] 在一种实施方式中,所述基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理进行路径规划,确定人机协同运动路径,包括:
- [0023] 基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理解算出关节角速度,并利用所述关节角速度以及预设的目标姿态,生成所述物理机器人的运动轨迹;
- [0024] 基于所述物理机器人的运动轨迹,计算所述物理机器人的关节空间组合序列;
- [0025] 将所述关节空间组合序列映射到所述虚拟机器人的关节空间,确定所述虚拟机器人的关节空间组合序列;
- [0026] 基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,确定所述虚拟机器人的运动路径;
- [0027] 基于所述物理机器人的运动轨迹和所述虚拟机器人的运动路径,确定人机协同运动路径。
- [0028] 在一种实施方式中,所述基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,确定所述虚拟机器人的运动路径,包括:
- [0029] 基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,解算所述虚拟机器人的关节运动值;
- [0030] 基于所述关节运动值和所述人机工作区域,确定所述虚拟机器人的运动路径。
- [0031] 在一种实施方式中,所述基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作,包括:
- [0032] 若所述人机协同运动路径不满足预设的运动安全标准或所述人机协同控制精度中的至少一种,则重新构建若干新的环境锚点,并基于所述新的环境锚点执行路径规划的过程,直至所述人机协同运动路径满足预设的运动安全标准及所述人机协同控制精度,执行人机协作安全控制动作。
- [0033] 本发明第二方面提供一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置,所述系统包括:
- [0034] 信息获取模块,用于获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;
- [0035] 配准模块,用于基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

[0036] 人机协同路径规划模块,用于基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

[0037] 控制执行模块,用于基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。

[0038] 本发明第三方面提供一种智能终端,所述智能终端包括存储器、处理器以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被所述处理器执行时实现任意一项上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

[0039] 本发明第四方面提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,所述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被处理器执行时实现任意一项上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

[0040] 与现有技术相比,本方案的有益效果如下:

[0041] 本发明通过精确测量人机距离和速度,利用视觉辅助技术实现安全区域的动态可视化操作,提升操作安全性;通过虚实空间映射的方法,将物理机器人的关节空间组合序列映射到虚拟机器人所在的动作空间,实现了人机双向协同的安全交互策略,利用虚拟机器人实现对实际操作的运动预览和碰撞检测,确保物理机器人动作的安全性和有效性;通过深度强化学习算法驱动机器人能够自主识别并主动避开潜在障碍,保障人机协作的安全性和流畅性。

附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0043] 图1为本发明的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法简要流程图;

[0044] 图2为本发明的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法详细流程图;

[0045] 图3为本发明的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置的模块示意图;

[0046] 图4为本发明的智能终端结构示意图。

具体实施方式

[0047] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况下,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0048] 应当理解,当在本说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0049] 还应当理解,在本发明说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的

而并不意在限制本发明。如在本发明说明书和所附权利要求书中所使用的那样,除非上下文清楚地指明其它情况,否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0050] 还应当进一步理解,在本发明说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。

[0051] 下面结合本发明实施附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0052] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是本发明还可以采用其它不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0053] 本发明面对现有的缺乏能够人机双向协同的安全交互策略的问题,提出基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,主要是借助混合现实设备平台的感知和控制功能,通过实时对人机协作场景中的感知,构建出一个全阶段人机互认知安全控制模型,主要包括以下三个方面:一是通过精确测量人机距离和速度,利用视觉辅助技术实现安全区域的动态可视化操作,提升操作安全性;二是通过虚实空间映射的方法,将物理机器人的关节空间组合序列映射到虚拟机器人所在的动作空间,利用虚拟机器人实现对实际操作的运动预览和碰撞检测,确保物理机器人动作的安全性和有效性;三是结合上述两项的安全交互策略,通过深度强化学习算法驱动机器人能够自主识别并主动避开潜在障碍,保障人机协作的安全性和流畅性。

[0054] 本发明实施例提供一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,部署于电脑、服务器等电子设备上,应用场景为物理机器人和所述虚拟机器人进行人机协作安全控制的情况。上述物理机器人和虚拟机器人的类型不做限制,物理机器人可以是工业机器人等,虚拟机器人可以通过混合现实可穿戴设备等驱动生成。具体的,如图1和图2所示,本实施例方法的步骤包括:

[0055] 步骤S100:获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;

[0056] 具体地,启动物理机器人的工业机械臂控制器,初始化至待工作状态,为后续的人机姿态配准提供物理机器人初始化姿态信息,即第一姿态信息。具体包括但不限于开启物理机器人的机械臂控制系统、加载机械臂控制系统的初始化参数(如速度、加速度、碰撞力阈值和负载等),并通过传感器校准初始程序开启准备位置,以确保机械臂处于待工作状态。

[0057] 通过混合现实可穿戴设备驱动生成虚拟机器人,建立基于实时物理机器人的虚拟机器人数字孪生体,为后续的人机姿态配准提供虚拟机器人初始化姿态信息,即第二姿态信息。具体操作包括但不限于虚拟机器人的启动、虚拟机器人的初始化,以及与物理机器人的初步同步和对齐,为后续对所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准奠定良好的基础。

[0058] 步骤S200:基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

[0059] 具体地,基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,计算姿态配准矩阵;基于所述姿态配准矩阵,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行姿态配准和坐标系配准,获得配准结果矩阵。

[0060] 根据机器人姿态配准程序中多次配准计算的姿态配准矩阵,利用混合现实设备驱动物理机器人与虚拟机器人在数字孪生环境下的6D姿态配准。具体包括但不限于与物理机器人和所述虚拟机器人的姿态分别相关的数据的采集、多次配准计算、以及基于混合现实设备的实时调试和校正等。

[0061] 通过混合现实设备保持物理机器人与虚拟机器人固定通讯频率,定时轮询物理和虚拟机器人的状态协同情况,判定通讯实时性和状态是否满足机器人运动执行的精度要求,若不满足,重复执行步骤S100,并重新进行机器人姿态配准过程。具体包括但不限于设置通讯频率、状态轮询、数据分析和决策反馈。

[0062] 其中,机器人姿态配准程序具体包括:在协作机器人控制器中设置物理机器人的工业机械臂控制器参数和安全参数,并设置初始物理机器人姿态,具体包括但不限于输入初始参数和校准姿态;启动混合现实设备创建虚拟机器人数字孪生并投射至工作空间中与物理机器人视角重合;初始化物理机器人控制器电机,变换物理机器人姿态并读取物理机器人的初始化姿态信息,具体包括但不限于电机的启动、姿态调整和数据读取;根据物理机器人姿态信息和虚拟机器人姿态信息,取多组数据计算位移旋转矩阵结合最小二乘法与特征值回归进行姿态矩阵计算和配准,获得配准结果矩阵。

[0063] 步骤S300:基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

[0064] 具体地,基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点;基于所有所述环境锚点和所述人机工作区域,计算所述物理机器人和所述虚拟机器人之间的距离;基于所述距离,确定所述物理机器人运动执行的线速度;基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理进行路径规划,确定人机协同运动路径。

[0065] 其中,基于预设的人机协同控制精度,构建若干环境锚点,具体包括:基于预设的通讯频率,对所述物理机器人和所述虚拟机器人的协同工作状态进行定时轮询,确定当前协同工作状态;获取当前环境锚点,基于所述当前协同工作状态和所述当前环境锚点,判定当前人机协同控制精度;若所述当前人机协同控制精度满足所述人机协同控制精度,构建若干环境锚点。

[0066] 若物理机械臂与虚拟机器人的协同状态满足控制精度要求,则启动虚拟机器人重建环境锚点,并基于所有所述环境锚点和所述人机工作区域,计算所述物理机器人和所述虚拟机器人之间的距离,即人机之间的距离,其中人机中的“人”表示虚拟机器人,人机中的“机”表示物理机器人;基于所述距离,确定机器人运动执行的末端执行器线速度并通过雅可比矩阵计算关节角速度,并以此作为深度强化学习的动作空间设定,以支持高精度和安全速度的人机协同作业。具体包括但不限于环境扫描、锚点识别、人机距离计算和末端执行器速度设定。

[0067] 末端执行器运动速度设定后,构建基于混合现实设备下的人机双向通信的协同反馈控制,具体包括:基于所述线速度、深度强化学习原理和逆运动学原理解算出关节角速度,并利用所述关节角速度以及预设的目标姿态,生成所述物理机器人的运动轨迹;基于所

述物理机器人的运动轨迹,计算所述物理机器人的关节空间组合序列;将所述关节空间组合序列映射到所述虚拟机器人的关节空间,确定所述虚拟机器人的关节空间组合序列;基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,基于所述虚拟机器人的关节空间组合序列,解算所述虚拟机器人的关节运动值;基于所述关节运动值和所述人机工作区域,确定所述虚拟机器人的运动路径;基于所述物理机器人的运动轨迹和所述虚拟机器人的运动路径,确定人机协同运动路径。

[0068] 在有效的人机工作区域内,通过手势、按键、语音等方式发出的实时或规划动作,结合获得的多模态输入信息,使用深度强化学习算法生成末端执行器的运行轨迹,并通过逆向运动学求解器计算出物理机器人所需的关节空间组合序列。通过逆向运动学求解器计算物理机器人所需的关节空间组合序列的过程包括:建立机器人模型、定义目标位置和姿态序列、使用逆运动学原理计算每个目标点对应的关节角度,生成关节空间组合序列,确保机器人能够准确执行任务路径,具体包括但不限于多模态输入解析、深度强化学习算法原理和逆向运动学原理求解。然后将关节空间组合序列映射至虚拟机器人的关节空间,从而实现跟随操作的路径规划。

[0069] 在一种优选实施例中,为了解决工业复杂任务中机器人运动生成的问题,基于深度强化学习的运动规划方法包括以下步骤:首先,根据操作人员的作业需求,设定虚拟机器人的目标6D姿态或运动轨迹,以确保任务目标的准确性和可执行性;接着,根据虚拟机器人的当前姿态和目标姿态,确定运行速度并利用深度强化学习生成的神经网络控制器结合逆运动学求解器,计算虚拟机器人在目标姿态下的关节值,从而实现高效、准确的姿态控制。然后,利用混合现实的空间计算能力和可视化能力,检查运行过程中是否存在潜在的碰撞可能性。接着,结合虚拟机器人的姿态转换矩阵和标定数据,计算出物理机器人的姿态,确保虚拟和物理机器人之间的精确对齐。在基于深度强化学习的运动规划中,深度强化学习运动规划模块的输入为混合现实环境下虚拟机器人的目标姿态,输出为逆运动学求解器计算出的机器人在目标姿态下的关节状态。通过姿态转换配置模块,将这些关节状态输出为物理机器人的关节状态,包括基座关节、肩部关节、肘部关节、腕部1关节、腕部2关节和腕部3关节。最终,将这些关节状态输出至物理机器人控制器,确保机器人能够按照预定的轨迹和姿态完成任务,实现高效的执行和准确的动作生成。通过上述步骤,本发明提供了一种结合深度强化学习的机器人安全运动规划方法,能够有效应对工业复杂任务中的运动生成问题,提高机器人操作的灵活性和精度。

[0070] 步骤S400:基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。

[0071] 具体地,若所述人机协同运动路径不满足预设的运动安全标准或所述人机协同控制精度中的至少一种,则重新构建若干新的环境锚点,并基于所述新的环境锚点执行路径规划的过程,直至所述人机协同运动路径满足预设的运动安全标准及所述人机协同控制精度,执行人机协作安全控制动作。

[0072] 根据虚拟机器人姿态与逆向运动学解算出的各个关节具体旋转角度和速度值,结合混合现实设备的距离空间计算,机器人的笛卡尔坐标可确保机器人生成的轨迹不会超出有效工作范围。如果未超出,则可以触发物理机器人关节空间变换。操作包括安全距离计算、轨迹验证和关节空间转换。

[0073] 判断人机协同运动路径否满足机器人运动安全要求及执行精度,混合现实设备计

算对环境进行重建并检查机器人数字孪生体和重建环境是否存在碰撞,如果没有则符合无碰撞安全规范,同时辅以人类主观检查。若不满足,则重新进行人机协同运动路径规划。若规划的人机协同运动路径在安全范围内的空间坐标系中满足机器人执行精度且不存在碰撞潜在危险,解算后关节命令可以驱动物理机器人在作业车间进行运动执行,完成人机双向安全协同反馈控制。

[0074] 综上所述,本发明的有益效果包括:

[0075] 本发明能够实时捕获人类操作员的多模态输入(如手势、语音、触摸等)、人机距离及场景信息,从而为人机协作场景提供即时和准确的反馈。混合现实设备中的虚拟机器人为机器人控制员提供了多模态控制输入(包括触觉、视觉和语音反馈),这不仅提升了操作的直观性和便捷性,还增强了复杂人机协同工作的效率和准确性。物理机器人与虚拟机器人之间通过数字孪生通讯机制实现无缝的实时数据传输,确保了机器人操作的实时性。同时,通过姿态配准矩阵,物理机器人能够精确复现预先规划的轨迹,保证了操作的高精度和一致性。

[0076] 本发明方法具有高度的适应性和通用性,能够适应各种不同的制造场景和任务。无论是不同的人物、复杂的场景还是多样化的任务需求,本系统均能提供有效的安全保障。其模块化设计允许系统在不同应用场景中灵活配置和扩展,从而满足不同工业环境中的人机协作需求。通过对任务和环境的智能感知与分析,系统能够动态调整其工作模式和安全策略,以适应实时变化的操作环境和任务要求。

[0077] 本发明通过模块解耦将安全保护措施分解为递进式、多层次的策略。这种设计不仅能够避免单一模块在部署过程中可能导致的保护不充分和精度下降问题,还能够提高系统的整体安全性和可靠性。基于逆向运动学的强化学习运动规划,使虚拟机器人能够直观地接受并理解机器人控制员的灵活操作姿态。通过逆向计算,系统能够准确地解算出机器人在目标姿态下的关节值,并将其传递给物理机器人,确保其能够执行精确而灵活的任务操作。此外,该系统还集成了多传感器数据融合技术,以提高环境感知和任务执行的精度,从而进一步提升机器人操作的安全性和效率。

[0078] 如图3所示,对应于上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法,本发明实施例还提供一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置,上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置包括:

[0079] 信息获取模块310,用于获取物理机器人的第一姿态信息,以及获取虚拟机器人的第二姿态信息;

[0080] 配准模块320,用于基于所述第一姿态信息和所述第二姿态信息,将所述物理机器人和所述虚拟机器人进行位姿配准,获得配准结果矩阵;

[0081] 人机协同路径规划模块330,用于基于所述配准结果矩阵和预设的人机工作区域,利用强化学习进行路径规划,确定人机协同运动路径;

[0082] 控制执行模块340,用于基于所述人机协同运动路径,执行人机协作安全控制动作。

[0083] 具体的,本实施例中,上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制装置的具体功能还可以参照上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法中的对应描述,在此不再赘述。

[0084] 基于上述实施例,本发明还提供了一种智能终端,其原理框图可以如图4所示。上述智能终端包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口以及显示屏。其中,该智能终端的处理器用于提供计算和控制能力。该智能终端的存储器包括非易失性存储介质、内部存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序。该内部存储器为非易失性存储介质中的操作系统和基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序的运行提供环境。该智能终端的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被处理器执行时实现上述任意一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。该智能终端的显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏。

[0085] 本领域技术人员可以理解,图4中示出的原理框图,仅仅是与本发明方案相关的部分结构的框图,并不构成对本发明方案所应用于其上的智能终端的限定,具体的智能终端可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0086] 在一个实施例中,提供了一种智能终端,上述智能终端包括存储器、处理器以及存储在上述存储器上并可在上述处理器上运行的基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被上述处理器执行时实现本发明实施例提供的任意一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

[0087] 本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,上述计算机可读存储介质上存储有基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序,上述基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制程序被处理器执行时实现本发明实施例提供的任意一种基于混合现实和数字孪生的人机协作安全控制方法的步骤。

[0088] 应理解,上述实施例中各步骤的序号大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0089] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将上述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本发明的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0090] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0091] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各实例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟是以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0092] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以

通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的,例如,上述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以由另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。

[0093] 以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解;其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不是相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本发明的保护范围之内。

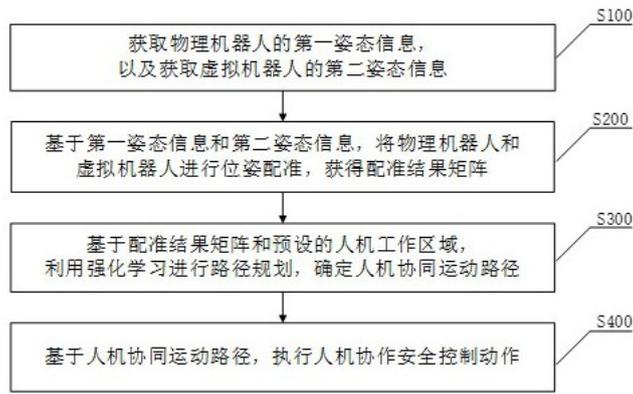


图 1

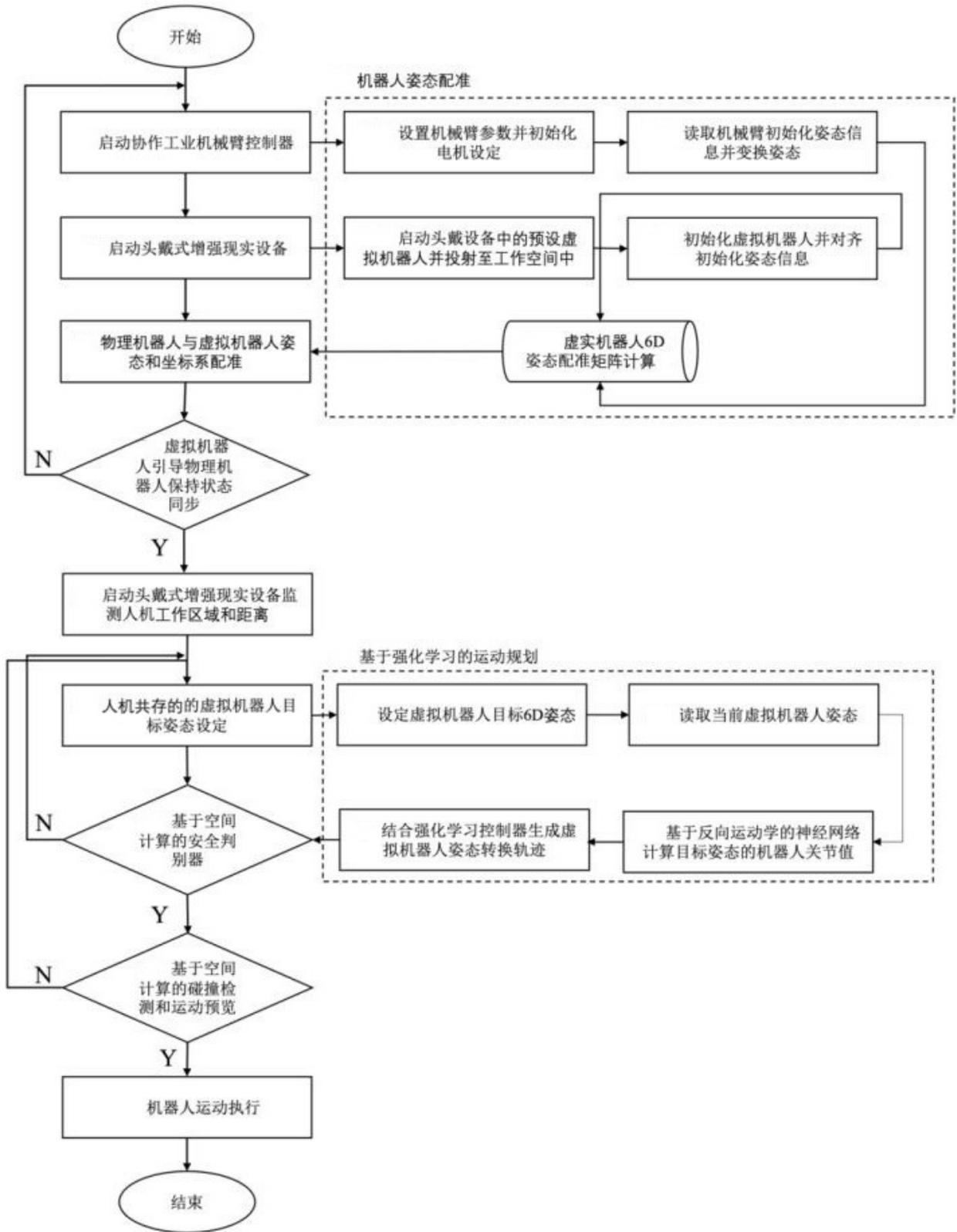


图 2

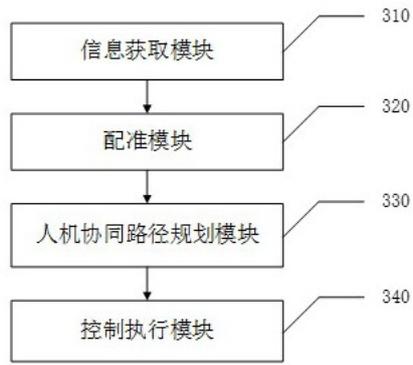


图 3

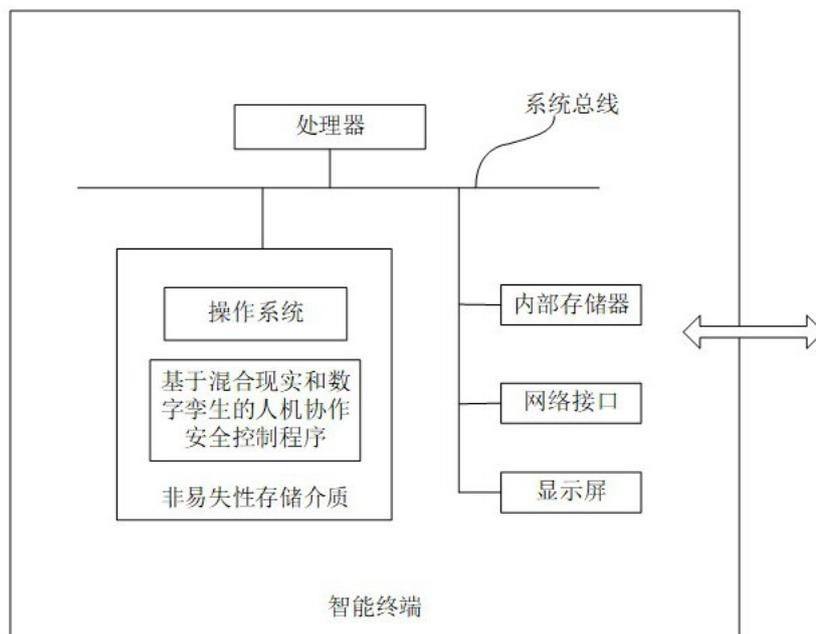


图 4