



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116100565 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 12

(21) 申请号 202310389548.9

(22) 申请日 2023.04.13

(71) 申请人 中国科学技术大学

地址 230041 安徽省合肥市金寨路96号

(72) 发明人 李智军 许鸢飞 李国欣

(74) 专利代理机构 上海段和段律师事务所

31334

专利代理师 王丹东

(51) Int. Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

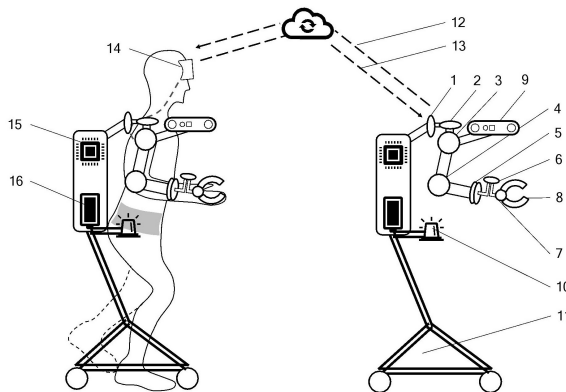
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台

(57) 摘要

本发明提供了一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台, 上肢外骨骼, 分为操作端和作业端; 所述上肢外骨骼包括关节电机, 所述上肢外骨骼的关节由关节电机驱动, 每个关节电机对应一个人体上肢的自由度; 所述操作端关节电机采集操作员的交互力矩, 生成驱动信号, 所述作业端关节电机根据驱动信号完成操作; 传感及检测模块, 包括图像传感器和激光雷达, 所述图像传感器采集可见光图像和深度信息, 所述激光雷达采集三维点云数据; 实时网络通信模块, 所述操作端和作业端实时网络通信模块进行通讯连接。本发明基于高带宽低延时的实时网络通信为操作员提供了包括视觉、压力触觉的丰富本体感觉, 适合交互式, 高精度的远程操作需求。



1. 一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,包括:

上肢外骨骼,分为操作端和作业端;

所述上肢外骨骼包括关节电机,所述上肢外骨骼的关节由关节电机驱动,每个关节电机对应一个人体上肢的自由度;所述操作端的关节电机采集操作员的交互力矩,生成驱动信号,所述作业端的关节电机根据驱动信号完成操作;

传感及检测模块,包括图像传感器和激光雷达(10),所述图像传感器采集可见光图像和深度信息,所述激光雷达(10)采集三维点云数据;

实时网络通信模块,所述操作端和作业端实时网络通信模块进行通讯连接。

2. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述上肢外骨骼还包括轮式移动平台(11),所述轮式移动平台(11)位于上肢外骨骼的底部,所述轮式移动平台(11)包括电机编码器和惯性传感器的里程计,所述操作端轮式移动平台(11)根据操作员的移动生成运动指令,所述作业端的轮式移动平台(11)接收运动指令并执行。

3. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述上肢外骨骼具有7个手臂主动自由度和1个操作手柄自由度,并通过关节电机的编码器实时就和反馈关节角度信息,通过关节电机驱动器的电流传感器实时记反馈关节力矩信息。

4. 根据权利要求3所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述关节电机包括肩内旋外旋关节电机(1)、肩内收外展关节电机(2)、肩屈曲伸展关节电机(3)、肘屈曲伸展关节电机(4)、腕内旋外旋关节电机(5)、腕尺偏桡偏关节电机(6)以及腕屈曲伸展关节电机(7);

所述上肢外骨骼还包括夹爪(8),所述夹爪(8)安装在腕屈曲伸展关节电机(7)上。

5. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述图像传感器采集作业端周围的可见光图像和深度信息,建立作业端环境的可视化稠密地图;

所述作业端还包括VR设备,所述可视化稠密地图发送至操作端,通过VR设备向操作员展示。

6. 根据权利要求5所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述VR设备通过增强现实技术将操作端上肢外骨骼当前位姿的三维渲染效果加入到VR图像中。

7. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述激光雷达(10)采集操作端和作业端周围的三维点云数据,分别为操作端和作业端提供避障信号。

8. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,还包括中心云和边缘云,所述作业端边缘云实时处理图像传感器和激光雷达(10)的传感器数据,构建环境地图,所述操作端边缘云将接收到的可视化稠密地图依据VR设备的姿态渲染为VR视频;

所述作业端、操作端与边缘云通过无线通信网络连接。

9. 根据权利要求1所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,

所述关节电机包括角度传感器和力矩传感器,所述操作端上肢外骨骼与作业端上肢外骨骼力矩交互方法包括:将作业端上肢外骨骼反馈的作业力矩,与操作端采集的人机交互力矩作差,解算人体驱动力矩,通过设计控制器改变关节角将人体驱动力矩调节到零,并实时发送关节角指令遥控作业端上肢外骨骼。

10.根据权利要求9所述的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,其特征在于,所述操作端人机交互力矩与作业端环境的交互力矩关系为:

操作端人机交互力矩=作业端环境的交互力矩+人体驱动力矩,

所述作业端环境的交互力矩通过助力增益函数调节,所述助力增益函数能够将操作员提供的力矩在作业端放大,或放大作业端的力反馈。

基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人控制技术领域,具体地,涉及一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,尤其是涉及一种集成上肢外骨骼、移动平台和三维建图传感器的实时远程操作平台。

背景技术

[0002] 机器人的远程控制很久以来都是机器人技术的热点研究方向,因为机器人技术的一个重要意义在于代替人类到一些危险的,或难以到达的场所进行作业,例如远程医疗、工业巡检、高压带电作业等。

[0003] 穿戴式外骨骼技术作为一种新的人机耦合方式,大大提升了人体与硬件系统的信息交换带宽。人机信息耦合包括穿戴式传感器和感官反馈系统。可穿戴机器人配备的传感器用于感知环境、认知人的状态、并测量机器人自身状态;包括物理信号传感器和生理信号传感器。人体运动意图识别就基于此类穿戴式传感系统。人体运动意图多种多样,是穿戴机器人实现智能化的关键。理想情况下,穿戴式机器人应可靠地检测用户的意图,据此同时为多个自由度提供连续的控制信号,像人体一样拥有平滑和灵巧的控制特性感觉反馈接口将外界环境或人体状态信息反向传递给人体的神经系统(如振动触觉、压力触觉、关节扭矩、电极刺激、视觉刺激、听觉刺激),构建人机共融的反馈控制回路。感官反馈在人体实时复杂的交互式任务是至关重要的,如果没有触觉反馈,执行涉及与物体进行物理交互的任务,特别是抓取和操纵的任务几乎是不可能的。

[0004] 专利文献CN111345970A公开一种模块化的七自由度上肢外骨骼,包括承载移动平台和上肢运动运动机构,通过柔顺的紧固件提升了舒适度,通过力觉感官反馈为人体实现沉浸感,但是不提供包含用于对环境进行建图的三维传感器和供视觉反馈的VR眼镜,大大限制了本体感觉的信息量。

[0005] 专利文献CN109521784A公开一种触觉感知式可穿戴上肢外骨骼无人机控制系统及方法,保证了遥操控的无人机飞行稳定性和可操作性;通过上肢外骨骼的力传感数据,生成相应的电机驱动信号;该系统通过规定无人机安全飞行等级与电机输出上肢运动辅助力的关系,使得遥操控者能通过感知上肢运动辅助力的强弱,获取无人机飞行的安全等级,可以减少安全操作的过度视觉依赖;该系统以及在外骨骼硬件系统中集成了意图识别的传感模块以及感官反馈的驱动模块,但是反馈的信息量仅限于无人机的安全等级,感官反馈信息比较单一;需要操作者专门学习适应。

发明内容

[0006] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台。

[0007] 根据本发明提供的一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,包括:
上肢外骨骼,分为操作端和作业端;

所述上肢外骨骼包括关节电机,所述上肢外骨骼的关节由关节电机驱动,每个关节电机对应一个人体上肢的自由度;所述操作端关节电机采集操作员的交互力矩,生成驱动信号,所述作业端关节电机根据驱动信号完成操作;

传感及检测模块,包括图像传感器和激光雷达,所述图像传感器采集可见光图像和深度信息,所述激光雷达采集三维点云数据;

实时网络通信模块,所述操作端和作业端实时网络通信模块进行通讯连接。

[0008] 优选地,所述上肢外骨骼还包括轮式移动平台,所述轮式移动平台位于上肢外骨骼的底部,所述轮式移动平台包括电机编码器和惯性传感器的里程计,所述操作端轮式移动平台根据操作员的移动生成运动指令,所述作业端的轮式移动平台接收运动指令并执行。

[0009] 优选地,所述上肢外骨骼具有7个手臂主动自由度和1个操作手柄自由度,并通过关节电机的编码器实时就和反馈关节角度信息,通过关节电机驱动器的电流传感器实时记反馈关节力矩信息。

[0010] 优选地,所述关节电机包括肩内旋外旋关节电机、肩内收外展关节电机、肩屈曲伸展关节电机、肘屈曲伸展关节电机、腕内旋外旋关节电机、腕尺偏桡偏关节电机以及腕屈曲伸展关节电机;

所述上肢外骨骼还包括夹爪,所述夹爪安装在腕屈曲伸展关节电机上。

[0011] 优选地,所述图像传感器采集作业端周围的可见光图像和深度信息,建立作业端环境的可视化稠密地图;

所述作业端还包括VR设备,所述可视化稠密地图发送至操作端,通过VR设备向操作员展示。

[0012] 优选地,所述VR设备通过增强现实技术将操作端上肢外骨骼当前位姿的三维渲染效果加入到VR图像中。

[0013] 优选地,所述激光雷达采集操作端和作业端周围的三维点云数据,分别为操作端和作业端提供避障信号。

[0014] 优选地,还包括中心云和边缘云,所述作业端边缘云实时处理图像传感器和激光雷达的传感器数据,构建环境地图,所述操作端边缘云将接收到的可视化稠密地图依据VR设备的姿态渲染为VR视频;

所述作业端、操作端与边缘云通过无线网络连接。

[0015] 优选地,所述VR设备包括Wi-Fi模块、视频解码处理模块、播放操作控制模块以及显示处理模块。

[0016] 优选地,所述作业端关节电机与操作端关节电机交互方法包括:

所述关节电机包括角度传感器和力矩传感器,所述操作端上肢外骨骼与作业端上肢外骨骼力矩交互方法包括:将作业端上肢外骨骼反馈的作业力矩,与操作端采集的人机交互力矩作差,解算人体驱动力矩,通过设计控制器改变关节角将人体驱动力矩调节到零,并实时发送关节角指令遥控作业端上肢外骨骼。

[0017] 优选地,所述操作端人机交互力矩与作业端环境的交互力矩关系为:

操作端人机交互力矩=作业端环境的交互力矩+人体驱动力矩,

所述作业端环境的交互力矩通过助力增益函数调节,所述助力增益函数能够将操

作员提供的力矩在作业端放大,或放大作业端的力反馈。

[0018] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

1、基于高带宽低延时的实时网络通信为操作员提供了包括视觉、压力触觉的丰富本体感觉,适合交互式,高精度的远程操作需求。

[0019] 2、针对操作端外骨骼控制,在关节空间将问题视为“调节器问题”,实时根据作业端机械臂的保持力矩与伺服电机采集的力矩信息进行作差解算人体驱动力矩,以将人体驱动力矩归零为目标设计调节器。这在控制外骨骼的同时自然地为人提供了力反馈,因为人体可以感知作业端所需的保持力矩,以及因碰撞干涉或摩擦等原因产生的阻力力矩。

[0020] 3、人体即可以仅提供较小的力矩而在作业端获取更大的力矩输出,也可以放大作业端的力反馈,使得人体能够感觉到更细微的力矩变化已获得更精细的控制。

[0021] 本发明的其他有益效果,将在具体实施方式中通过具体技术特征和技术方案的介绍来阐述,本领域技术人员通过这些技术特征和技术方案的介绍,应能理解所述技术特征和技术方案带来的有益技术效果。

附图说明

[0022] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

图1为本发明提供的基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台的工作原理图;

图2为本发明中力矩反馈方法流程图。

[0023] 附图标记说明:

肩内旋外旋关节电机1

肩内收外展关节电机2

肩屈曲伸展关节电机3

肘屈曲伸展关节电机4

腕内旋外旋关节电机5

腕尺偏桡偏关节电机6

腕屈曲伸展关节电机7

夹爪8

RGBD摄像头9

激光雷达10

轮式移动平台11

视觉、力矩反馈信道12

外骨骼、移动平台控制指令信道13

VR眼镜14

处理器15

电池16

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0024] 本发明提供了一种基于外骨骼机器人的沉浸式实时远程操作平台,包括:

上肢外骨骼,分为操作端和作业端,统一的硬件平台在操作端作为穿戴式上肢外骨骼,在作业端作为协作机械臂。

[0025] 所述上肢外骨骼包括关节电机和轮式移动平台11,上肢外骨骼的关节由多个关节电机驱动,每个关节电机对应一个人体上肢的自由度。上肢外骨骼可以穿戴在人体的上肢进行人机耦合运动,也可以通过远程姿态角指令独立工作。

[0026] 上肢外骨骼具有7个手臂主动自由度和1个操作手柄自由度,并通过关节电机的编码器实时就和反馈关节角度信息,通过关节电机驱动器的电流传感器实时记反馈关节力矩信息。具体的,上肢外骨骼分为左臂和右臂两个部分,以右臂为例,包括肩内旋外旋关节电机1、肩内收外展关节电机2、肩屈曲伸展关节电机3、肘屈曲伸展关节电机4、腕内旋外旋关节电机5、腕尺偏桡偏关节电机6、腕屈曲伸展关节电机7、夹爪8。所述夹爪8安装在腕屈曲伸展关节电机7上。

[0027] 所述操作端关节电机采集操作员的交互力矩,生成驱动信号,所述作业端关节电机根据驱动信号完成操作。

[0028] 所述轮式移动平台11位于上肢外骨骼的底部,操作端的轮式移动平台11时随动式的,操作员穿戴该设备可以自由行走,所述轮式移动平台11包括电机编码器和惯性传感器的里程计,所述操作端轮式移动平台11根据操作员的移动生成运动指令,通过外骨骼、移动平台控制指令信道13发送指令,所述作业端的轮式移动平台11接收运动指令并执行。

[0029] 传感及检测模块,包括图像传感器和激光雷达10,所述图像传感器采集可见光图像和深度信息,所述激光雷达10采集三维点云数据,在本实施例中,图像传感器为RGBD摄像头9。所述激光雷达10固定安装于轮式移动平台11,大致位于人体腰部高度的两侧;所述RGBD摄像头9既可以是固定安装于轮式移动平台11(Eye to hand),也可以固定安装于上肢外骨骼的任一关节(Eye in hand)。

[0030] 实时网络通信模块,所述操作端和作业端实时网络通信模块进行通讯连接,通信内容分为作业端到操作端的感官反馈信息和操作端到作业端的运动指令。

[0031] 电源模块,电池16为上肢外骨骼、传感与检测模块和其他设备供电;

处理模块,CPU 15为各信号的传递和处理提供运算。

[0032] 结构件,操作端用于穿戴在人体的紧固件是柔软有顺应性的,上肢外骨骼的刚性连杆是可伸缩调节的。

[0033] 操作端的RGBD摄像机与激光雷达10作为视觉里程计和激光雷达里程计的数据来源,通过多源数据融合校正惯性传感器和移动平台电机编码器了里程计估计,在文献Ji Zhang, Sanjiv Singh. Visual-lidar odometry and mapping: low-drift, robust, and fast[J]. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2015,3,26-30: 2174-2181z中提出的V-Loam算法,提出了视觉里程计和激光雷达里程计相

结合的总体框架。V-LOAM算法提出了一种视觉里程计和激光雷达里程计相结合的总体框架,以改善实时运动估计和点云配准算法的性能。视觉里程计通过计算相邻图像之间的运动来估计视觉运动信息。激光雷达里程计通过比较先前和当前的激光雷达扫描来确定移动距离和角度的变化。从视觉里程计和基于扫描匹配的激光雷达里程计的多模态信息,通过多源数据融合进行校正,改进了实时的运动估计和点云配准算法性能,提高系统的准确性和鲁棒性。

[0034] 图像传感器(RGBD摄像头9)采集作业端周围的可见光图像和深度信息,并使用SLAM技术容易根据相机内参来计算RGB-D点云,然后使用泊松重建或Surfel重建等算法建立作业端环境的可视化稠密地图,通过视觉、力矩反馈信道12发送到操作端,所述作业端还包括VR设备,所述可视化稠密地图发送至操作端,通过VR设备向操作员展示。在本实施例中,VR设备可以是VR眼镜14,通过VR眼镜14为操作者渲染作业端的环境地图;VR通过动态环境建模、实时三维图形生成、立体显示观看、实时交互等技术,生成仿真现实的三维模拟环境,旨在帮助操作员进行导航、避障以及物理交互决策。

[0035] VR眼镜14视频终端包括Wi-Fi 模块、解码、视频帧处理、播放操作控制和显示处理等模块,具备解码、姿态感知、运动轨迹预测、实时模型渲染和呈现等能力。

[0036] 操作端的VR眼镜14通过增强现实技术将操作端上肢外骨骼当前位姿的三维渲染效果加入到VR图像中,进一步提供沉浸式的视觉反馈。

[0037] 激光雷达10采集操作端和作业端周围的三维点云数据,分别为操作端和作业端提供避障信号。由于操作员控制外骨骼时通过VR眼镜14直接观察的是作业端的稠密地图渲染图,对操作端环境观察受限,激光雷达10提供的避障信号能在出现碰撞等危险情况前向移动平台(11)发送刹车信号;另一方面,作业端RGB-D摄像头(9)采集的图像和深度具有盲区,且激光雷达10的有效测距范围、测量的实时性都超越RGB-D摄像头(9),对操作端可能存在的动态物体能实现更好的避障性能。

[0038] 本平台的信号传输架构由中心云、5G网络、边缘云、终端四个组成,5G网络可以提供高灵活性的前端采集的无线上行方案、100Mbps以上大带宽、5~8毫秒级的网络时延,能够满足稠密地图数据传输的带宽需求并消除远程交互过程中VR视频观看的眩晕;边缘云距离用户更近,可以满足高实时性传感器数据处理以及低时延渲染,需部署CPU、存储等基础资源以及GPU等高性能异构加速卡;作业端边缘云计算平台实时处理RGB-D摄像头(9)和激光雷达10等传感器数据,运行SLAM算法构建环境地图;作业端边缘云负责实时处理RGB-D摄像头和激光雷达等传感器数据,并运行SLAM算法以构建环境地图,将处理后的数据通过5G网络传输到中心云。中心云接收到数据后,进行进一步的处理和存储,并将处理后的数据发送到操作端边缘云计算平台。操作端边缘云计算平台负责将接收到的可视化稠密地图依据VR眼镜的姿态渲染为VR视频,并发送到终端。终端通过VR设备向操作员展示。中心云、边缘云、终端三个组成部分都通过5G网络相互连接。操作端边缘云计算平台将接收到的可视化稠密地图依据VR眼镜14的姿态渲染为VR视频。

[0039] 上肢外骨骼,操作端的穿戴式上肢外骨骼的关节驱动器伺服电机带有角度传感和力矩传感。上肢外骨骼通过力矩反馈进行操作主体运动意图的识别。具体的,操作端上肢外骨骼与作业端上肢外骨骼力矩交互方法为:

如图2所示,操作端外骨骼穿戴在人体上肢,人机交互力矩被伺服电机力矩传感器

采集,减去作业端对应的关节的力矩数据,得到人体驱动力矩;然后通过设计LQR控制器改变关节角已将人体驱动力矩调节到零,LQR控制器是线性二次调节器的缩写,是一种广泛应用于控制工程中的最优控制理论。LQR控制器的目标是通过调整系统的状态反馈增益矩阵来最小化系统输出与期望输出之间的平方误差。在操作端的上肢外骨骼中,LQR控制器理由伺服电机力矩传感反馈,输出关节角控制量以将人体驱动力矩调节到零。操作端外骨骼实时发送关节角指令遥控作业端协作机械臂;伺服电机角度控制器接收关节角指令和电机角度编码器反馈进行位置反馈控制。

[0040] 作业端的伺服电机力矩传感器实际上包括了机械臂位姿的静力学保持力矩和机械臂与环境的交互力矩,由于作业端的位姿实时跟随操作端的示教,因此两端机械臂位姿的静力学保持力矩近似相等,作差后可视为消除,所以对于外骨骼的准静态过程,有:

操作端人机交互力矩=助力增益函数(作业端环境的交互力矩)+人体驱动力矩,

可见人机交互力矩包含用于感知作业端力反馈的项和用于控制外骨骼的主动动力矩,而与机械臂本身的保持力矩无关;

助力增益函数使得人体即可以仅提供较小的力矩而在作业端获取更大的力矩输出,也可以放大作业端的力反馈,使得人体能够感觉到更细微的力矩变化已获得更精细的控制。只要助力增益函数是单调递增的,人体通过练习就可以良好的适应遥控助力的功能;在不同的工作模式可以设计不同的助力增益函数以满足应用场景的需求。

[0041] 所述作业端环境的交互力矩通过助力增益函数调节,所述助力增益函数能够将操作员提供的力矩在作业端放大,或放大作业端的力反馈。

[0042] 在本申请的描述中,需要理解的是,术语“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本申请和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。

[0043] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

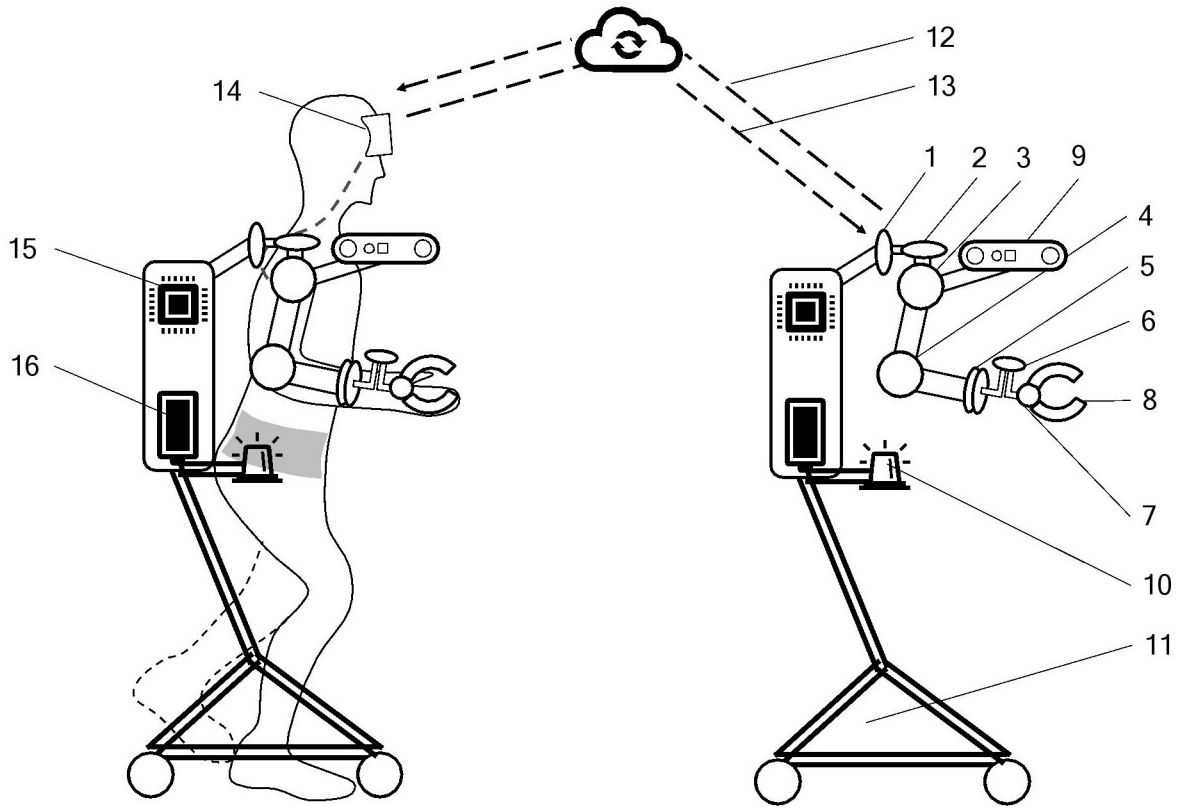


图1

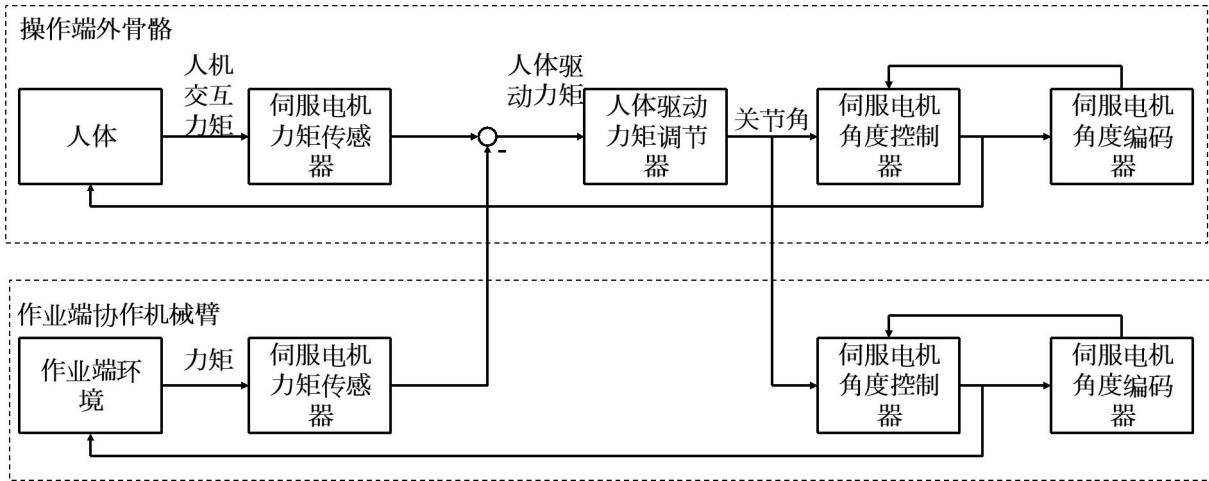


图2