



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110328657 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 16

(21) 申请号 201910737804.2

(22) 申请日 2019.08.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110328657 A

(43) 申请公布日 2019.10.15

(73) 专利权人 河北工业大学  
地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

(72) 发明人 郭士杰 陈强 张毅 孙磊  
高志宇

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务所(普通合伙) 12210  
专利代理师 张国荣

(51) Int. Cl.  
B25J 9/00 (2006.01)  
B25J 13/08 (2006.01)  
B25J 17/02 (2006.01)  
G06F 3/01 (2006.01)  
G06V 40/20 (2022.01)

(56) 对比文件

CN 105476822 A, 2016.04.13  
CN 108247618 A, 2018.07.06  
CN 109079763 A, 2018.12.25  
CN 205391322 U, 2016.07.27  
CN 210307810 U, 2020.04.14  
US 2015173993 A1, 2015.06.25  
US 2016107309 A1, 2016.04.21  
US 2017202724 A1, 2017.07.20  
WO 2018191777 A1, 2018.10.25

陈贵亮;郭建立;刘更谦.下肢康复机器人膝关节动力学分析PID与控制.河北工业大学学报.2013,(第05期),

陈玲玲;宋晓伟;王婕;张腾宇.下肢外骨骼系统摆动相非线性干扰观测器设计.哈尔滨工程大学学报.2018,(第12期),

石晓博;郭士杰;李军强;赵海文.发展中的外骨骼机器人及其关键技术.机床与液压.2018,(第21期),

审查员 方群

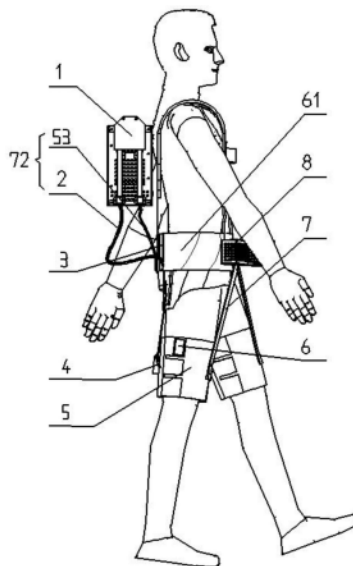
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

一种柔性外骨骼助力机器人

(57) 摘要

本发明公开一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,该助力机器人由柔性穿戴服、控制箱、前侧驱动单元、鲍登线、传感系统构成;该助力机器人采用髋关节前屈拉伸和伸展拉伸的助力方案,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。采用基于代理的滑模控制策略,结合PID控制和滑模控制的优点,设计柔性外骨骼的人机协调控制系统,确保跟踪精度和快速平滑响应,实现多场景下的助力需求。



1. 一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,该助力机器人由柔性穿戴服、控制箱、前侧驱动单元、鲍登线、传感系统构成;

所述柔性穿戴服包括双肩带、外腰带、腰部内衬、大腿绑缚、柔性带、安全带;双肩带与外腰带连接,外腰带里层下部连接腰部内衬,所述安全带为尼龙带;安全带缝制在外腰带和腰部内衬之间后侧的两侧;

两个前侧驱动单元分别对称安装在外腰带前侧,每一个前侧驱动单元的卷轴与一根柔性带的一端连接,柔性带的另一端与传感系统中的一个前侧拉力传感器连接,前侧拉力传感器通过传感魔术贴与大腿绑缚连接;前侧驱动单元通过前侧电机驱动卷轴转动,控制可弹性伸缩的柔性带进行摆动相助力;控制箱固定在双肩带的后侧,悬挂人体背部;

所述控制箱包括外壳、顶风扇、卷轴外壳、导管、导套;外壳内部设置有后侧减速器、后侧电机、后侧编码器、后侧卷轴、电池、主控板、电机驱动板、电源转换模块、吸能板、内风扇;安装在外壳底板上的电池为整个助力机器人提供电能;主控板、电机驱动板是由多个电路模块集成封装而成,主控板包括主控芯片和传感系统接口,电机驱动板包括三路电机驱动板,分别用于控制两个前侧电机和一个后侧电机;主控板、电机驱动板、电源转换模块均设置在电池的上方,吸能板和内风扇分别安装于电源转换模块的两侧;内风扇安装于电源转换模块的一侧,用于电源转换模块的散热;顶风扇安装于外壳顶部,用于后侧电机和后侧减速器散热;后侧减速器、后侧电机、后侧编码器依次连接并均位于外壳内部的上方,后侧卷轴安装于外壳一侧面的上方且一端与后侧减速器连接,卷轴外壳扣装在后侧卷轴外侧;两个导管平行竖直安装,两端通过螺栓固定在后侧卷轴所在侧外壳上,两个导套分别安装在两个导管下方的所在侧外壳上;

鲍登线包括鲍登线内芯和鲍登线外壳,鲍登线内芯可以在鲍登线外壳内滑动;鲍登线外壳的一端通过鲍登线外壳固定压板固定于腰部内衬上的安全带上,另一端由导管的顶部端面限位;鲍登线内芯的一端与后侧拉力传感器相连并通过鲍登线线芯固定压板一起固定于大腿绑缚的后侧,另一端依次穿过鲍登线外壳、导套、导管上并卷在后侧卷轴上,两侧的鲍登线的鲍登线内芯分别从第一导管和第二导管穿出,并分别从两个方向缠绕在后侧卷轴上;通过后侧电机的转动使后侧卷轴转动进而拉动鲍登线内芯运动,从而产生拉力,后侧电机的正反转使两侧鲍登线交替拉伸进行助力;

所述两个前侧驱动单元的结构呈镜面对称,对称布置,包括底座、保护壳,保护壳内部设置有前侧电机、前侧减速器、前侧编码器、电机支撑、前侧卷轴、卷轴支撑、从动齿轮、主动齿轮、卷轴左端轴承、卷轴右端轴承;与前侧电机连接的前侧减速器的输出端面固定于电机支撑上,前侧减速器的输出轴与主动齿轮连接,从动齿轮与主动齿轮啮合,从动齿轮通过顶丝固定在前侧卷轴一端削边轴上,前侧卷轴左右两端与卷轴左端轴承、卷轴右端轴承内圈过盈配合连接,卷轴左端轴承、卷轴右端轴承分别与电机支撑、卷轴支撑的孔间隙配合连接;电机支撑、卷轴支撑通过螺栓与底座连接;两根柔性带的一端分别固定在两个前侧卷轴上,其另一端均连接有一个前侧拉力传感器;每一个前侧拉力传感器的下端连接有一个传感魔术贴,两个传感魔术贴分别粘合在对应大腿绑缚的外周;

传感系统包括一个加速度传感器、前侧拉力传感器、后侧拉力传感器、第一陀螺仪、第二陀螺仪,加速度传感器安装在外腰带的后侧,采集人体走动时的加速度,检测人体姿态信息,用于识别人体运动意图;前侧拉力传感器安装于柔性带下部的末端,后侧拉力传感器安

装在鲍登线内芯下部的末端,用于实时测量柔性带和鲍登线内芯的拉力信息,构成力反馈回路使助力大小按照设定的最佳助力波形函数变化;第一陀螺仪、第二陀螺仪分别安装在两个大腿绑缚的外侧面上,采集角速度信息,对角速度进行积分获得髋关节角度信息,用于识别人体步态;

所述加速度传感器、前侧拉力传感器、后侧拉力传感器、第一陀螺仪、第二陀螺仪均通过导线连接于主控板的寄存器输入口,这些传感器一共占据主控板的七个寄存器输入口;主控板的寄存器输出口与电机驱动板连接,给电机驱动板发送PWM信号和使能信号;电机驱动板与两个前侧电机和一个后侧电机通过导线相连,给予电机电流信号;

电池输出的电能直接通过电源转换模块转换输出5V和36V电压,电源转换模块输出的5V电压分别给主控板、顶风扇、第一左侧风扇和第二左侧风扇、电机驱动板供电,此为芯片工作电压;从电源转换模块输出的36V电压先连接吸能器输入端,然后吸能器输出端连接电机驱动板,为两个前侧电机和一个后侧电机提供供电电压。

2. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,所述前侧拉力传感器型号为FUTEK,FSH04099,量程44.5N;所述后侧拉力传感器型号为FUTEK,FSH04096,量程222N。

3. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,陀螺仪型号为MPU6050;加速度传感器型号为BMI160。

4. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,主控板的主控芯片型号为TMS320F28335。

5. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,电机驱动板包括两个前侧电机的两路电机驱动板ESCON Module 50/5和一个后侧电机的一路电机驱动板ESCON Module 50/8。

6. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,吸能器型号为Shunt Regulator DSR70/30。

7. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,前侧电机的型号为EC-4pole22 $\varnothing$ 22mm,brushless,120W;后侧电机的型号为EC-4pole30 $\varnothing$ 30mm,brushless,200W。

8. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,前侧减速器的型号为Planetary Gearhead GP22HP $\varnothing$ 22mm,2.0-3.4Nm;后侧减速器的型号为Planetary Gearhead GP32HP $\varnothing$ 32mm,4.0-8.0Nm。

9. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,前侧编码器的型号为Encoder 16 EASY128-1024 CPT,3Channels,with Line Driver RS 422;后侧编码器的型号为Encoder 16 EASY 128-1024 CPT,3Channels,with Line Driver RS 422。

10. 根据权利要求1所述的一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,该助力机器人总重量7.8kg,电池为2.5kg,续航可达到3h。

## 一种柔性外骨骼助力机器人

### 技术领域

[0001] 本发明涉及机动工具领域,具体是一种柔性外骨骼助力机器人。该助力机器人采用髌关节前屈拉伸和伸展拉伸的助力方式,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。

### 背景技术

[0002] 随着现代科技的飞速发展,武器装备水平越来越成为现代战争胜利的重要保证。作战部队规模小、作战消耗高成为现代战争的基本特征。同时,反恐战争等新形式的武装打击对单兵装备要求越来越高,单兵负荷也随之增大,但过重的单兵负荷又是影响执行任务成败的重要因素。能够提升单兵携行能力又不妨碍动作敏捷性的外骨骼系统受到广泛的关注。外骨骼系统是一种穿戴在单兵身体上的伴随式智能装备,通过人机协调同步运动,为单兵提供承重及运动助力,提升其搬移托举能力、承载携行能力及快速机动能力。目前国内外对硬质外骨骼研究最多,硬质结构外骨骼机器人还普遍存在重量大、动作灵活性差、反应速度慢、舒适性差、穿脱不方便、携带不方便等方面的问题,无法满足单兵实战需求,制约了其普及应用。

[0003] 近年,柔性外骨骼系统因其能够克服硬质外骨骼系统的上述瓶颈问题而受到更多青睐。哈佛大学Ye Ding等人研制的主动式离线式下肢助力柔性外骨骼包括踝关节、膝关节、髌关节驱动,其力传递采用绳索,外骨骼最大可以为踝关节、膝关节、髌关节提供124.6Nm、40Nm、104Nm的力矩,正常人穿戴该外骨骼,行走时可以减少 $22.83 \pm 3.17\%$ 代谢消耗。这种外置实验平台的设计只能进行实验研究,不能商业化和实际运用。哈佛Alan T. Asbeck等人报告一种可穿戴的多关节辅助软外套,帮助踝关节伸展和髌关节伸展,行走速度可达1.79m/s(4.0mph)。外套在踝关节负荷路径上施加力最大值为300N,在髌关节伸展处施加力最大值为150N。多关节辅助软外套使用一种利用关节协同作用的新的驱动方法,其中一台电机驱动双腿上踝关节载荷路径,一台电机驱动双腿上的髌关节延伸载荷路径,以便减少总系统重量。缺陷是这种设计只能助力支撑相运动。人在爬坡上台阶时,抬腿也是很关键的助力项。

### 发明内容

[0004] 为解决现有技术的不足,本发明提供一种柔性外骨骼助力机器人。实现多场景下的助力需求,能在最低功耗条件下达到最佳的助力效果和穿戴者的安全与舒适。在穿戴者负重25kg行军过程中相比于同类其他系统能够有效减小代谢成本。该助力机器人可解决单兵高负荷作战面临的一系列问题。助力机器人的外形类似运动员穿戴的护膝、髌骨带等护具,通过采用柔性材料,可大幅降低其自重,使携带更为方便。助力机器人适用于士兵的日常负荷和作战环境中频繁进行的蹲、爬、匍匐、奔跑等动作,能够防止并减轻肌肉与骨骼损伤。而且,它还能够能够在运动过程中吸收身体受到的冲击,并利用其自身弹性吸收人机控制的不协调性,从而确保穿戴的舒适性。通过同步“跟随”人体运动,辅助单兵承重助力及负重机

动,有效提升单兵的搬移托举能力、承载携行能力和快速机动能力,在后装物资装填搬移保障、物资伴随支援保障、边防巡逻保障等领域具有广泛的军事需求。

[0005] 本发明所采用的技术方案是:设计一种柔性外骨骼助力机器人,其特征在于,该助力机器人由柔性穿戴服、控制箱、前侧驱动单元、鲍登线、传感系统构成;

[0006] 所述柔性穿戴服包括双肩带、外腰带、腰部内衬、大腿绑缚、柔性带、安全带;双肩带与外腰带连接,外腰带里层下部连接腰部内衬,所述安全带为尼龙带;安全带缝制在外腰带和腰部内衬之间后侧的两侧;

[0007] 两个前侧驱动单元分别对称安装在外腰带前侧,每一个前侧驱动单元的卷轴与一根柔性带的一端连接,柔性带的另一端与传感系统中的一个前侧拉力传感器连接,前侧拉力传感器通过传感魔术贴与大腿绑缚连接;前侧驱动单元通过前侧电机驱动卷轴转动,控制可弹性伸缩的柔性带进行摆动相助;控制箱固定在双肩带的后侧,悬挂人体背部;

[0008] 所述控制箱包括外壳、顶风扇、卷轴外壳、导管、导套;外壳内部设置有后侧减速器、后侧电机、后侧编码器、后侧卷轴、电池、主控板、电机驱动板、电源转换模块、吸能板、内风扇;安装在外壳底板上的电池为整个助力机器人提供电能;主控板、电机驱动板是由多个电路模块集成封装而成,主控板包括主控芯片和传感系统接口,电机驱动板包括三路电机驱动板,分别用于控制两个前侧电机和一个后侧电机;主控板、电机驱动板、电源转换模块均设置在电池的上方,吸能板和内风扇分别安装于电源转换模块的两侧;内风扇安装于电源转换模块的一侧,用于电源转换模块的散热;顶风扇安装于外壳顶部,用于后侧电机和后侧减速器散热;后侧减速器、后侧电机、后侧编码器依次连接并均位于外壳内部的上方,后侧卷轴安装于外壳一侧面的上方且一端与后侧减速器连接,卷轴外壳扣装在后侧卷轴外侧;两个导管平行垂直安装,两端通过螺栓固定在后侧卷轴所在侧外壳上,两个导套分别安装在两个导管下方的所在侧外壳上;

[0009] 鲍登线包括鲍登线内芯和鲍登线外壳,鲍登线内芯可以在鲍登线外壳内滑动;鲍登线外壳的一端通过鲍登线外壳固定压板固定于腰部内衬上的安全带上,另一端由导管的顶部端面限位;鲍登线内芯的一端与后侧拉力传感器相连并通过鲍登线线芯固定压板一起固定于大腿绑缚的后侧,另一端依次穿过鲍登线外壳、导套、导管上并卷在后侧卷轴上,两侧的鲍登线的鲍登线内芯分别从第一导管和第二导管穿出,并分别从两个方向缠绕在后侧卷轴上;通过后侧电机的转动使后侧卷轴转动进而拉动鲍登线内芯运动,从而产生拉力,后侧电机的正反转使两侧鲍登线交替拉伸进行助力;

[0010] 所述两个前侧驱动单元的结构呈镜面对称,对称布置,包括底座、保护壳,保护壳内部设置有前侧电机、前侧减速器、前侧编码器、电机支撑、前侧卷轴、卷轴支撑、从动齿轮、主动齿轮、卷轴左端轴承、卷轴右端轴承;与前侧电机连接的前侧减速器的输出端面固定于电机支撑上,前侧减速器的输出轴与主动齿轮连接,从动齿轮与主动齿轮啮合,从动齿轮通过顶丝固定在前侧卷轴一端削边轴上,前侧卷轴左右两端与卷轴左端轴承、卷轴右端轴承内圈过盈配合连接,卷轴左端轴承、卷轴右端轴承分别与电机支撑、卷轴支撑的孔间隙配合连接;电机支撑、卷轴支撑通过螺栓与底座连接;两根柔性带的一端分别固定在两个前侧卷轴上,其另一端均连接有一个前侧拉力传感器;每一个前侧拉力传感器的下端连接有一个传感魔术贴,两个传感魔术贴分别粘合在对应大腿绑缚的外周;

[0011] 传感系统包括一个加速度传感器、前侧拉力传感器、后侧拉力传感器、第一陀螺

仪、第二陀螺仪。加速度传感器安装在外腰带的后侧,采集人体走动时的加速度,检测人体姿态信息,用于识别人体运动意图;前侧拉力传感器安装于柔性带下部的末端,后侧拉力传感器安装在鲍登线内芯下部的末端,用于实时测量柔性带和鲍登线内芯的拉力信息,构成力反馈回路使助力大小按照设定的最佳助力波形函数变化;第一陀螺仪、第二陀螺仪分别安装在两个大腿绑缚的外侧面上,采集角速度信息,对角速度进行积分获得髋关节角度信息,用于识别人体步态;

[0012] 所述加速度传感器、前侧拉力传感器、后侧拉力传感器、第一陀螺仪、第二陀螺仪均通过导线连接于主控板的寄存器输入口,这些传感器一共占据主控板的七个寄存器输入口;主控板的寄存器输出口与电机驱动板连接,给电机驱动板发送PWM信号和使能信号;电机驱动板与两个前侧电机和一个后侧电机通过导线相连,给予电机电流信号;

[0013] 电池输出的电能直接通过电源转换模块转换输出5V和36V电压,电源转换模块输出的5V电压分别给主控板、顶风扇、第一左侧风扇和第二左侧风扇、电机驱动板供电,此为芯片工作电压;从电源转换模块输出的36V电压先连接吸能器输入端,然后吸能器输出端连接电机驱动板,为两个前侧电机和一个后侧电机提供供电电压。

[0014] 本发明与现有技术比较有以下几点优势:

[0015] (1)在现有技术的基础上进行了创新、优化,实现了从理论到实物的设计。创新采用髋关节前屈拉伸和伸展拉伸的助力方案,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。

[0016] (2)对于髋关节伸展拉伸的助力采用一台电机交替带动双腿髋关节伸展拉伸方案,减轻了重量,简化了结构。

[0017] (3)实现多场景下的助力需求,能在最低功耗条件下达到最佳的助力效果和穿戴者的安全与舒适。

[0018] 本发明从穿戴者负重行走助力的需求入手,采用髋关节前屈拉伸和伸展拉伸的助力方案,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。采用基于代理的滑模控制策略,结合PID控制和滑模控制的优点,设计柔性外骨骼的人机协调控制系统,确保跟踪精度和快速平滑响应,实现多场景下的助力需求。

[0019] 该外骨骼助力机器人续航达到3h,总重量7.8kg,通过实时更新控制参数优化助力波形曲线使助力效果最佳,达到适应不同人的需求;我们通过贝叶斯优化对控制参数进行N次迭代细化,得到最优控制参数,达到适应特定人的助力波形曲线,在系统最低功耗条件下达到最佳助力效果。实现多场景下的助力需求,能在最低功耗条件下达到最佳的助力效果和穿戴者的安全与舒适。在单兵负重25kg行军过程中能够有效减小代谢成本。

## 附图说明

[0020] 图1为本发明助力机器人一种实施例的穿戴效果侧面示意图;

[0021] 图2为本发明助力机器人一种实施例的穿戴效果正面示意图;

[0022] 图3为本发明助力机器人一种实施例的柔性穿戴服结构示意图;

[0023] 图4为本发明助力机器人一种实施例的大腿绑缚结构示意图;

[0024] 图5为本发明助力机器人一种实施例的鲍登线装配示意图;

[0025] 图6为本发明助力机器人一种实施例的控制箱结构示意图;

- [0026] 图7为图6的控制箱内部结构示意图；
- [0027] 图8为图6中的第一导管结构示意图；
- [0028] 图9为图2中的前侧驱动单元结构示意图；
- [0029] 图10为图9中的前侧驱动单元内部结构示意图；
- [0030] 图11为本发明助力机器人一种实施例的电路模块连接示意图；
- [0031] 其中,附图标记汇总如下:
- [0032] 控制箱1;鲍登线72;第一鲍登线53;第二鲍登线2;加速度传感器3;前侧拉力传感器75;第一前侧拉力传感器64;第二前侧拉力传感器65;大腿绑缚76;第一大腿绑缚5;第二大腿绑缚66;第一陀螺仪6;第二陀螺仪67;柔性带74;第一柔性带7;第二柔性带63;前侧驱动单元73;第一前侧驱动单元8;第二前侧驱动单元62;传感魔术贴91;第一传感魔术贴89;第二传感魔术贴90;绑缚魔术贴59;柔性穿戴服61;双肩带10;外腰带9;腰部内衬56;安全带79;第一安全带57;第二安全带58;鲍登线内芯83;第一鲍登线内芯51;第二鲍登线内芯69;鲍登线外壳固定压板85;第一鲍登线外壳固定压板52;第二鲍登线外壳固定压板68;后侧拉力传感器86;第一后侧拉力传感器4;第二后侧拉力传感器49;鲍登线线芯固定压板88;第一鲍登线线芯固定压板48;第二鲍登线线芯固定压板71;卷轴外壳13;导管80;第一导管14;第二导管15;导套81;第一导套17;第二导套16;主控板18;电机驱动板19;电源转换模块22;编码器28;后侧电机27;减速器26;卷轴25;吸能器24;电池23;内风扇82;顶风扇12;第一左侧风扇20;第二左侧风扇21;前侧驱动外壳29;底座30;卷轴支撑31;前侧卷轴32;前侧电机固定板36;从动齿轮34;主动齿轮35;前侧减速器37;前侧电机39;前侧编码器40;卷轴左端轴承33;卷轴右端轴承38。

### 具体实施方式

- [0033] 以下是本发明的具体实施例并结合附图,对本发明的技术方案作进一步描述。
- [0034] 本发明提供一种柔性外骨骼助力机器人(简称助力机器人),所述助力机器人穿戴效果如图1、2所示,由柔性穿戴服61、控制箱1、前侧驱动单元73、鲍登线72、传感系统构成。
- [0035] 所述柔性穿戴服61如图3所示,包括双肩带10、外腰带9、腰部内衬56、大腿绑缚76(包括第二大腿绑缚66和第一大腿绑缚5)、柔性带74(包括第一柔性带7和第二柔性带63)、安全带79(包括第一安全带57、第二安全带58)。双肩带10与外腰带9连接,外腰带9里层下部连接腰部内衬56,所述安全带79为尼龙带。安全带79缝制在外腰带9和腰部内衬56之间后侧的两侧,用于加强腰部内衬56的抗拉强度,以免鲍登线72拉坏柔性材料。
- [0036] 两个前侧驱动单元73(分别为第一前侧驱动单元8和第二前侧驱动单元62)分别对称安装在外腰带9前侧,每一个前侧驱动单元73的卷轴32与一根柔性带74的一端连接,柔性带74的另一端与传感系统中的一个前侧拉力传感器75连接,前侧拉力传感器75通过传感魔术贴91与大腿绑缚76连接;前侧驱动单元73通过前侧电机39驱动卷轴32转动,控制可弹性伸缩的柔性带74进行摆动相助力;控制箱1固定在双肩带的后侧,悬挂人体背部。所述大腿绑缚76形状如图4所示,图中以第一大腿绑缚5为例,其上设置有绑缚魔术贴59使第一大腿绑缚5牢固绑缚在人右大腿膝关节部位。
- [0037] 所述控制箱1结构参见如图6,包括外壳11、顶风扇12、卷轴外壳13、导管80(包括第一导管14和第二导管15)、导套81(包括第一导套17和第二导套16)。外壳11内部设置有后侧

减速器26、后侧电机27、后侧编码器28、后侧卷轴25、电池23、主控板18、电机驱动板19、电源转换模块22、吸能板24、内风扇82(包括第一左侧风扇20和第二左侧风扇21)。安装在外壳11底板上总重2.5kg的电池23为整个助力机器人提供电能。主控板18、电机驱动板19是由多个电路模块集成封装而成,主控板18包括主控芯片和传感系统接口,电机驱动板19包括三路电机驱动板,分别用于控制两个前侧电机39和一个后侧电机27。主控板18、电机驱动板19、电源转换模块22均设置在电池23的上方,吸能板24和内风扇82分别安装于电源转换模块22的两侧,吸能板24用于消除电机反电动势,起保护电路的作用。内风扇82安装于电源转换模块22的一侧,用于电源转换模块22的散热;顶风扇12安装于外壳11顶部,用于后侧电机27和后侧减速器26散热。后侧减速器26、后侧电机27、后侧编码器28依次连接并均位于外壳11内部的上方,后侧卷轴25安装于外壳11一侧面的上方且一端与后侧减速器26连接,卷轴外壳13扣装在后侧卷轴25外侧;两个导管80平行竖直安装,两端通过螺栓固定在后侧卷轴25所在侧外壳11上,两个导套81分别安装在两个导管80下方的所在侧外壳11上。

[0038] 鲍登线72包括鲍登线内芯83和鲍登线外壳,鲍登线内芯83可以在鲍登线外壳内滑动,摩擦阻力小,可任意弯折改变传力方向。鲍登线外壳的一端通过鲍登线外壳固定压板85(包括第一鲍登线外壳固定压板52和第二鲍登线外壳固定压板68)固定于腰部内衬56上的安全带79上,另一端由导管80的顶部端面限位。鲍登线内芯83的一端与后侧拉力传感器86(包括第一后侧拉力传感器4和第二后侧拉力传感器49)相连并通过鲍登线线芯固定压板88(包括第一鲍登线线芯固定压板48和第二鲍登线线芯固定压板71)一起固定于大腿绑缚76的后侧,另一端依次穿过鲍登线外壳、导套81、导管80上并卷在后侧卷轴25上,两侧的鲍登线72的鲍登线内芯83分别从第一导管14和第二导管15穿出,并分别从两个方向缠绕在后侧卷轴25上。由控制箱1控制鲍登线内芯83的移动,通过后侧电机27的转动使后侧卷轴25转动进而拉动鲍登线内芯83运动,从而产生拉力,后侧电机27的正反转使两侧鲍登线72交替拉伸进行助力。

[0039] 所述两个前侧驱动单元73的结构呈镜面对称,对称布置。以布置在右侧的前侧驱动单元73(第一前侧驱动单元8)为例,如图10所示,包括底座30、保护壳29,保护壳29内部设置有前侧电机39、前侧减速器37、前侧编码器40、电机支撑36、前侧卷轴32、卷轴支撑31、从动齿轮34、主动齿轮35、卷轴左端轴承33、卷轴右端轴承38。与前侧电机39连接的前侧减速器37的输出端面固定于电机支撑36上,前侧减速器37的输出轴与主动齿轮35连接,从动齿轮34与主动齿轮35啮合,从动齿轮34通过顶丝固定在前侧卷轴32一端削边轴上,前侧卷轴32左右两端与卷轴左端轴承33、卷轴右端轴承38内圈过盈配合连接,卷轴左端轴承33、卷轴右端轴承38分别与电机支撑36、卷轴支撑31的孔间隙配合连接。电机支撑36、卷轴支撑31通过螺栓与底座30连接。两根柔性带74的一端分别固定在两个前侧卷轴32上,其另一端均连接有一个前侧拉力传感器75(分别为第一前侧拉力传感器64、第二前侧拉力传感器65);每一个前侧拉力传感器75的下端连接有一个传感魔术贴91(分别为第一传感魔术贴89、第二传感魔术贴90),两个传感魔术贴91分别粘合在对应大腿绑缚76的外周。

[0040] 传感系统包括一个加速度传感器3、前侧拉力传感器75(包括第一前侧拉力传感器64和第二前侧拉力传感器65)、后侧拉力传感器86(包括第一后侧拉力传感器4和第二后侧拉力传感器49)、第一陀螺仪6、第二陀螺仪67,加速度传感器3安装在外腰带9的后侧,采集人体走动时的加速度,检测人体姿态信息,用于识别人体运动意图;前侧拉力传感器75安装



于柔性带74下部的末端,后侧拉力传感器86安装在鲍登线内芯83下部的末端,用于实时测量柔性带74和鲍登线内芯83的拉力信息,构成力反馈回路使助力大小按照设定的最佳助力波形函数变化。第一陀螺仪6、第二陀螺仪67分别安装在两个大腿绑缚76的外侧面上,采集角速度信息,对角速度进行积分获得髋关节角度信息,用于识别人体步态。

[0041] 图11为本发明助力机器人电路模块连接示意图(前侧减速器37、前侧编码器40、后侧减速器26、后侧编码器28为电机的常规配件,故在示意图里面省略,具体的,前侧减速器37、后侧减速器26分别与前、后电机的输出轴连接,前侧编码器40、后侧编码器28分别通过导线接入到电机驱动板上)。所述加速度传感器3、前侧拉力传感器75(包括第一前侧拉力传感器64和第二前侧拉力传感器65)、后侧拉力传感器86(包括第一后侧拉力传感器4和第二后侧拉力传感器49)、第一陀螺仪6、第二陀螺仪67均通过导线连接于主控板18的寄存器输入口,这些传感器一共占据主控板18的七个寄存器输入口。主制板18的寄存器输出口与电机驱动板19连接,给电机驱动板19发送PWM信号和使能信号。电机驱动板19与两个前侧电机39和一个后侧电机27通过导线相连,给予电机电流信号。

[0042] 电池23输出的电能直接通过电源转换模块22转换输出5V和36V电压,电源转换模块22输出的5V电压分别给主控板18、顶风扇12、第一左侧风扇20和第二左侧风扇21、电机驱动板19供电,此为芯片工作电压。从电源转换模块22输出的36V电压先连接吸能器24输入端,然后吸能器24输出端连接电机驱动板19,为两个前侧电机39和一个后侧电机27提供供电电压。

[0043] 吸能器24用来保护电路元件,当受负载作用电机被动高速转动时,会产生很大反电动势电流,通过吸能器24可以截止过大电流,避免电流过大烧坏电路元件。

[0044] 所述前侧拉力传感器型号为FUTEK,FSH04099,量程44.5N;

[0045] 所述后侧拉力传感器型号为FUTEK,FSH04096,量程222N;

[0046] 陀螺仪型号为MPU6050;加速度传感器型号为BMI160;

[0047] 主控板18的主控芯片型号为TMS320F28335;

[0048] 电机驱动板19包括两个前侧电机39的两路电机驱动板ESCON Module 50/5和一个后侧电机27的一路电机驱动板ESCON Module 50/8;

[0049] 吸能器型号为Shunt Regulator DSR70/30;

[0050] 前侧电机39的型号为EC-4pole22 $\phi$ 22mm,brushless,120 W;

[0051] 前侧减速器37的型号为Planetary Gearhead GP22HP $\phi$ 22mm,2.0-3.4Nm;

[0052] 后侧电机27的型号为EC-4pole30 $\phi$ 30mm,brushless,200 W;

[0053] 后侧减速器26的型号为Planetary Gearhead GP32HP $\phi$ 32mm,4.0-8.0Nm;

[0054] 前侧编码器40的型号为Encoder16 EASY128-1024 CPT,3Channels,with Line Driver RS 422;

[0055] 后侧编码器28的型号为Encoder 16 EASY 128-1024 CPT,3Channels,with Line Driver RS 422;

[0056] 鲍登线内芯83为钢丝。

[0057] 该外骨骼助力机器人总重量7.8kg,电池23为2.5kg,续航可达到3h。

[0058] 本发明助力机器人的工作原理为:人体行走分支撑相和摆动相采用髋关节前屈拉

伸和伸展拉伸的助力方案,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。由于人体行走过程中摆腿运动的幅度大、速度快,前部柔性带74的力控可能会出现滞后,因此前部柔性带74将采用可弹性伸缩的弹性体,以便吸收人机之间可能出现的不协调,确保自由运动。大腿后侧采用鲍登线72的牵引结构,鲍登线具有摩擦小、寿命长、传力大的优点。前侧驱动装置73的前侧驱动电机39经过从动齿轮34与主动齿轮35把动力传至前侧驱动卷轴32,前侧驱动卷轴32卷动使柔性带74收缩来拉动髌关节前屈拉伸。由于人体行走双腿髌关节交替伸展拉伸运动,对于髌关节伸展拉伸的助力采用一台电机交替带动双腿髌关节伸展拉伸方案,两侧鲍登线72分别从两侧的预紧机构80穿出,分别从两个方向缠绕在后侧卷轴25上,后侧电机27正反转使两侧鲍登线72交替拉伸进行助力。

[0059] 以上为肢体端的助力方式,而该助力方式可以通过控制箱1内部的主控板18实现协同跟随助力效果,具体过程为:在行走过程中我们通过左右腿陀螺仪采集人体正常行走大腿摆动角度信息并传入主控板18,主控板18运用算法检测采集的角度的波峰与波谷的时刻作为助力开始与结束时间点并计算摆动相与支撑相助力周期。摆动相与支撑相均有对应的助力波形公式,式中的参数可以控制助力波形的形状,改变波峰的位置,通过实时提取角度信号更新助力波形曲线波峰位置与助力波形周期使之与步态相匹配达到助最佳力效果,适应不同人的步态。详细的说,主控板18通过算法对采集信号积分获得大腿行走过程角度值数据并通过算法提取角度最大值、最小值对应时刻特征值,最小值对应时刻特征值就是人“准备抬腿”一瞬间时刻,最大值对应时刻特征值就是“抬腿到最大高度”的时刻,这样系统就知道了助力的开始和结束时刻,这就是步态识别的过程。通过实时采集助力时刻特征值来更新助力波形函数的周期,使助力波形函数达到此步态下最佳助力效果。拉力传感器是实时采集人机之间的交互力,采集到的力信号与助力目标函数形成偏差作为输入控制量输入给滑模控制器(一种电机的控制算法),最后以占空比的形式输出给三路电机驱动板,由三路电机驱动板输出电流给三路电机,电机驱动板给出电机电流信号驱动电机转动,这里电机驱动板通过电流闭环控制电流输出。实际电机输出到负载上的力的大小是通过拉力传感器检测的值来反馈给主控板18,这样不断地实时反馈,实时的纠正偏差,就实现了负载按照助力波形函数输出的力闭环反馈控制,这就是此系统的步态识别与双闭环(外部力闭环反馈、内部电流闭环)反馈控制方法。

[0060] 针对现有的柔性外骨骼设计的优缺点,本发明采用了新的研究思路。人体行走分支撑相和摆动相,介于髌关节的前屈和伸展对行走效率具有至关重要的作用,拟采用髌关节前屈拉伸和伸展拉伸的助力方案,通过两种拉伸助力的协同控制,使外骨骼系统能够在摆腿相和支撑相都能提供助力。该助力机器人能与单兵装具很好结合,自带电源,实用性强。采用基于代理的滑模控制策略,结合PID控制和滑模控制的优点设计柔性外骨骼的人机协调控制系统,确保跟踪精度和快速平滑响应,实现多场景下的助力需求

[0061] 本发明未述及之处适用于现有技术。

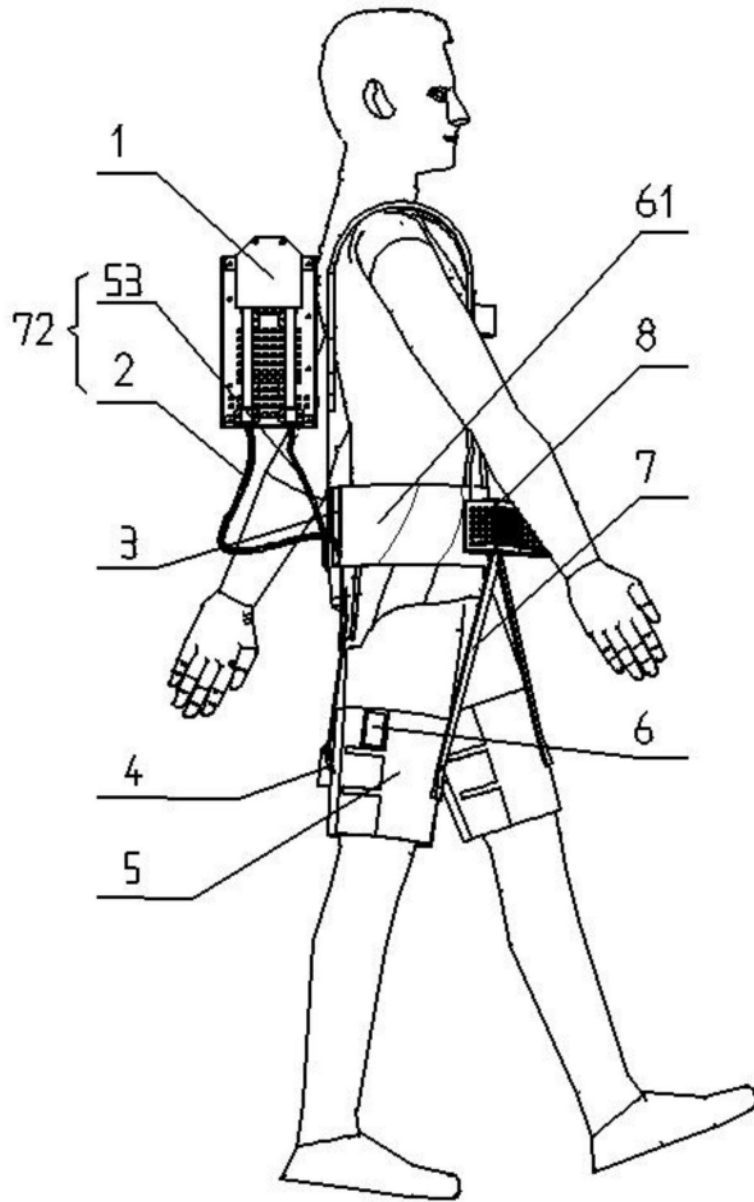


图1

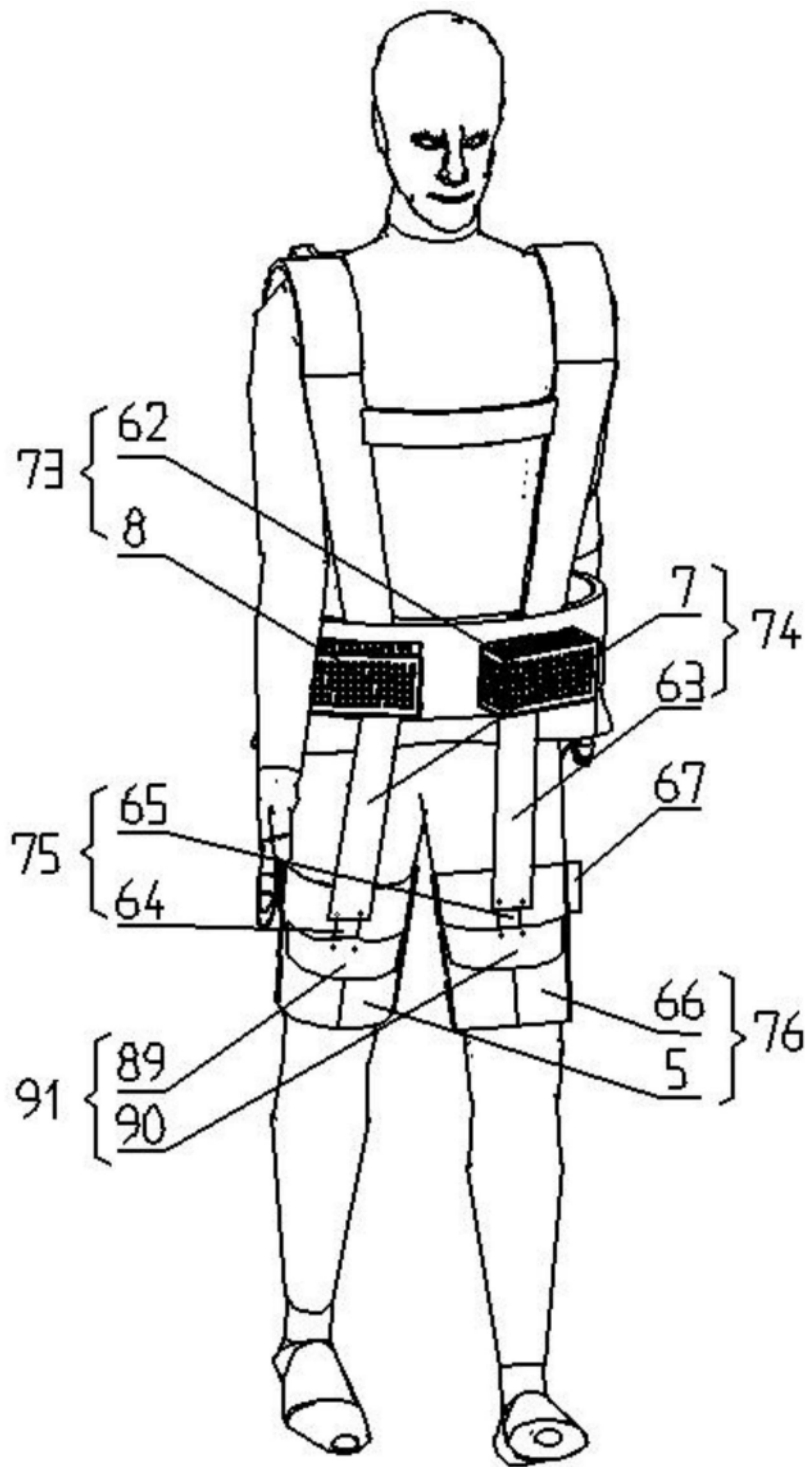


图2

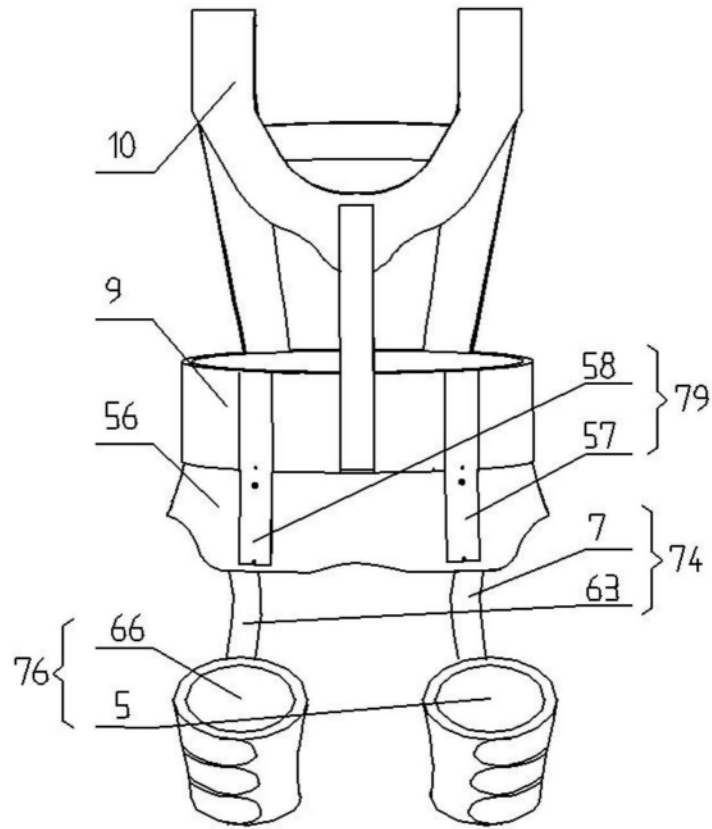


图3

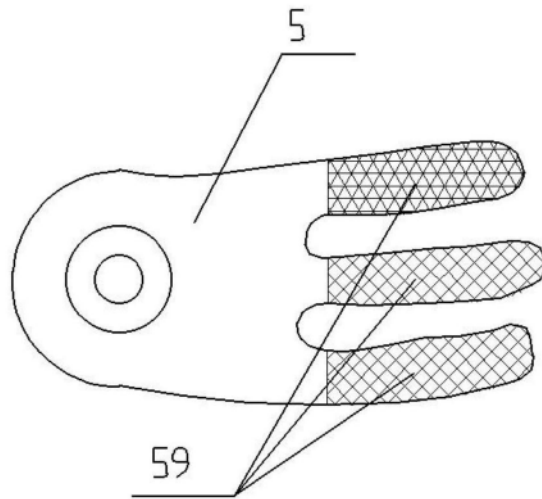


图4



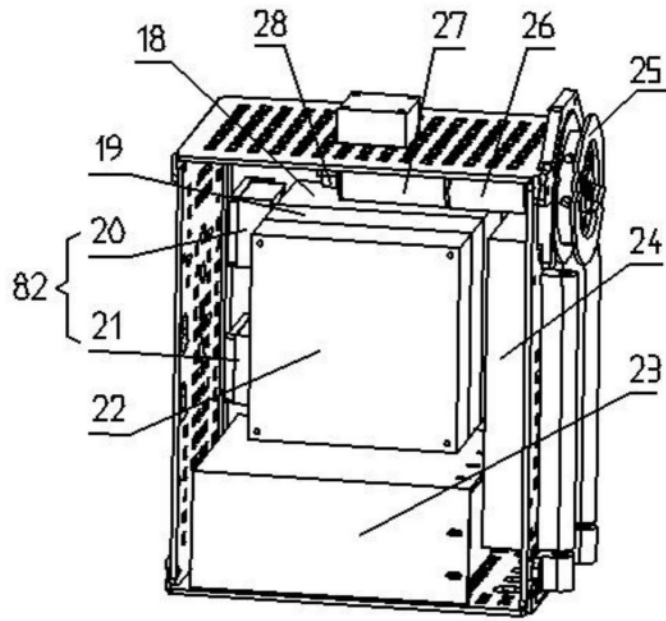


图7

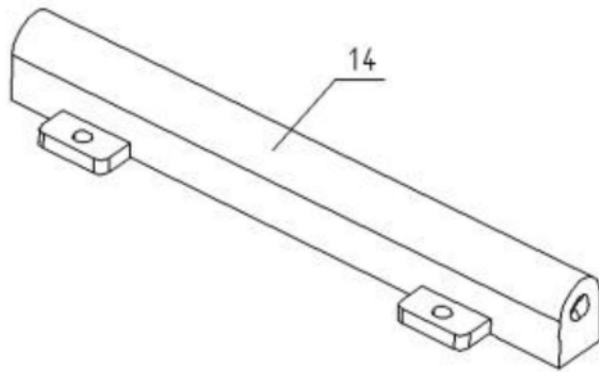


图8

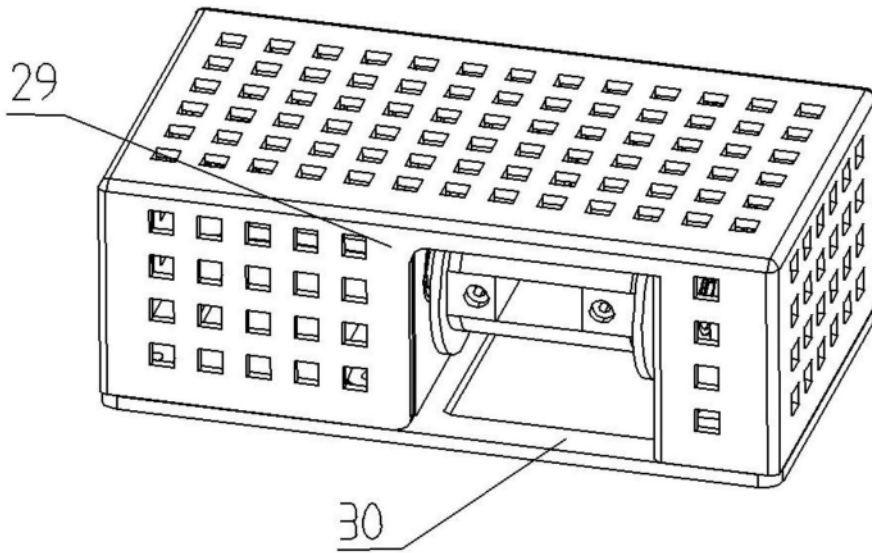


图9

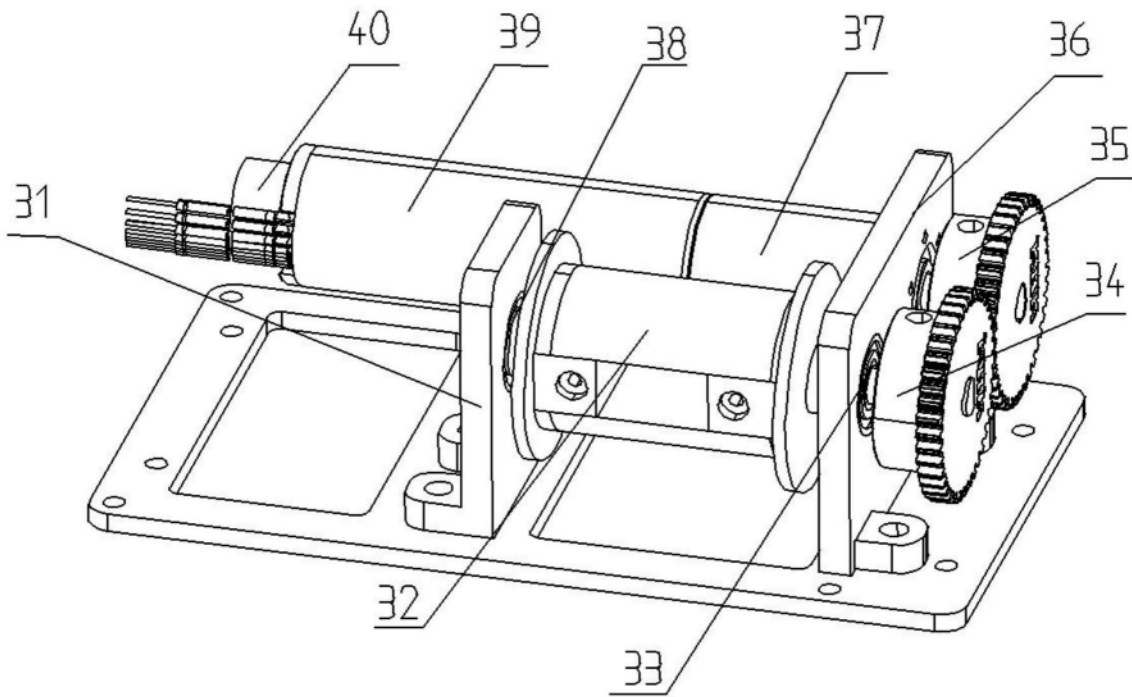


图10



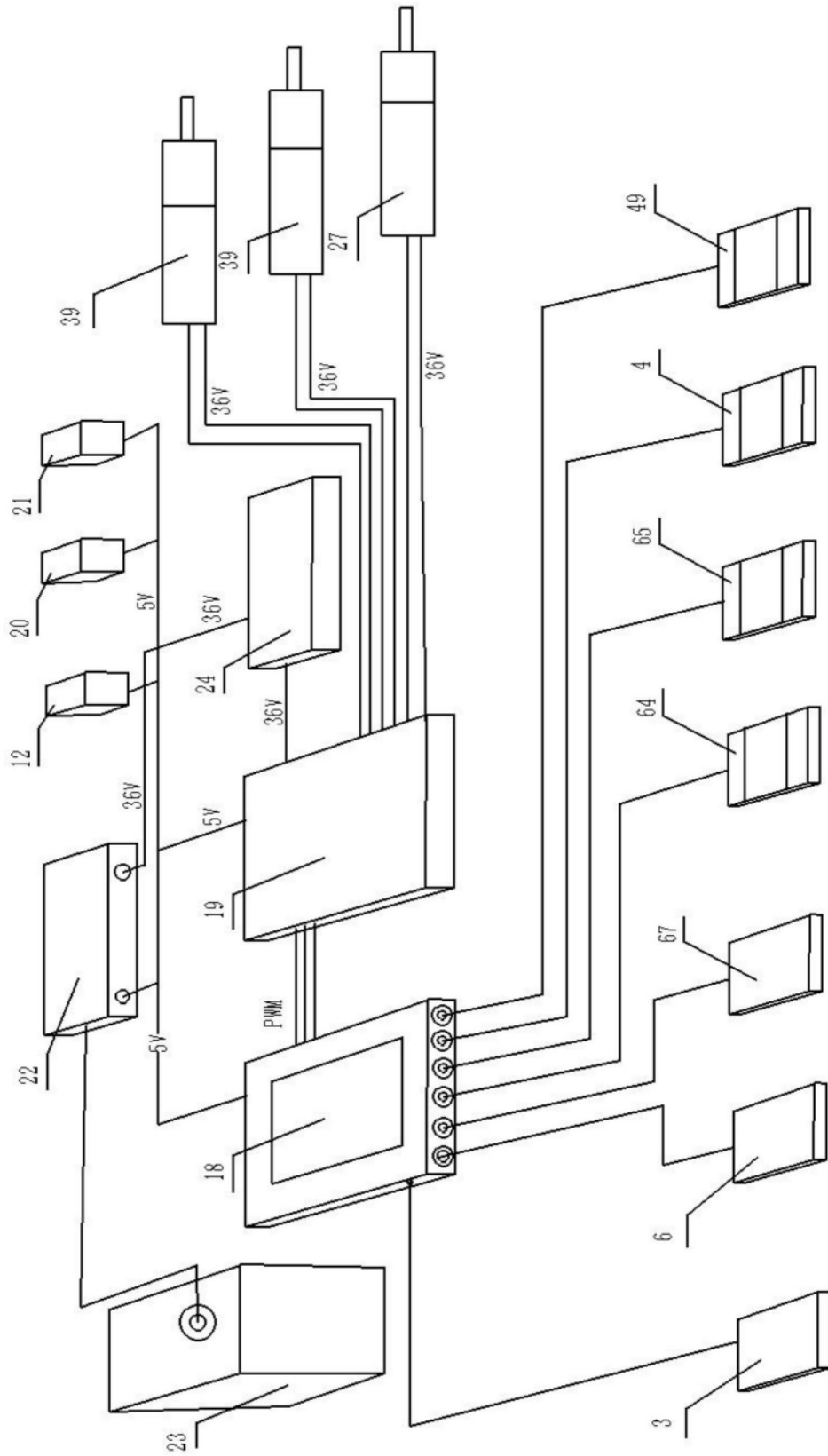


图11