



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112494276 A

(43) 申请公布日 2021.03.16

(21) 申请号 202011505976.6

A63B 23/16 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.18

(66) 本国优先权数据

202011303328.2 2020.11.19 CN

(71) 申请人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路516号

(72) 发明人 孟巧玲 陈立宇 姜明鹏 费翠芝

聂志洋 沈志家 喻洪流 焦宗琪

张洪源 孟青云

(74) 专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司

公司 31220

代理人 郑立

(51) Int.Cl.

A61H 1/02 (2006.01)

A61N 1/36 (2006.01)

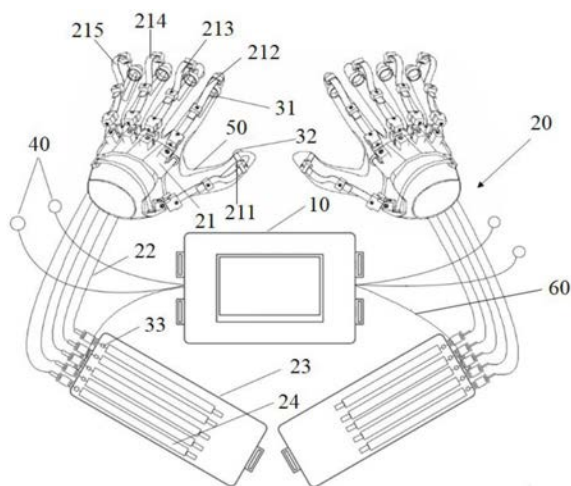
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

一种手部康复机器人系统

(57) 摘要

本发明公开了一种手部康复机器人系统,包括与上位机无线通讯的主控装置,两个分别作用在用户手部的执行机构,用于采集运动信息以及系统状态的传感部件,用于给用户施加电刺激的电刺激部件。主控装置与执行机构、传感部件以及电刺激部件连接,并控制这些部件。主控装置包括MCU模块、交互模块、驱动模块、数据采集模块、电刺激模块和电源模块,其中,MCU模块作为主控模块,用于处理各个模块上传的数据、接收并下达控制指令,从而控制执行机构工作在多种训练模式下。本发明与传统的康复训练方法相比,人机交互性能强,能够针对不同肌力等级的患者选择合适的训练模式,并且将协同运动控制策略融入到康复训练以及日常生活辅助当中。



1. 一种手部康复机器人系统,其特征在于,包括:

主控装置,其通过无线网络与上位机通讯;

两个执行机构,所述两个执行机构分别用于用户的左右手,所述执行机构通过线束与所述主控装置连接;

多个传感部件,所述多个传感部件与所述主控装置连接,所述多个传感部件被配置为能够采集所述执行机构在动作时的运动信息和作用力以及用户的生理信息,并反馈给所述主控装置;

多个电刺激部件,所述多个电刺激部件与所述主控装置连接,所述多个电刺激部件被配置为能够在用户的手部施加电刺激;

其中,所述主控装置包括MCU模块、交互模块、驱动模块、数据采集模块、电刺激模块和电源模块;所述MCU模块分别与所述交互模块、所述驱动模块、所述数据采集模块、所述电刺激模块连接;所述交互模块被配置为能够允许用户输入执行指令以及向用户输出所述传感部件采集的信息和所述手部康复机器人系统的状态;所述驱动模块分别与所述两个执行机构连接,并根据所述MCU模块的指令控制所述两个执行机构运动;所述数据采集模块与所述多个传感部件连接,将所述多个传感部件所采集的信息传输给所述MCU模块;所述电刺激模块与所述多个电刺激部件连接,并根据所述MCU模块的指令控制所述多个电刺激部件输出电力;所述电源模块与外界电源连接并将所述外界电源的电压转换为所述手部康复机器人系统所需的电压;

所述主控装置被配置为能够根据用户输入的所述执行指令以及根据所述数据采集模块输送的所述信息控制所述两个执行机构在多种训练模式下工作。

2. 如权利要求1所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述交互模块包括触屏输入交互子模块和语音输入子模块,所述触屏输入交互子模块和所述语音输入子模块分别通过串口通信与所述MCU模块连接。

3. 如权利要求1所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述上位机是PC机或移动终端。

4. 如权利要求1所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述两个执行机构的每一个包括:

多个手指模块,所述多个手指模块被配置为分别与用户的一个手指配合;

多个线性电机,所述多个线性电机的每一个分别与对应的所述手指模块通过驱动绳索连接。

5. 如权利要求4所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述传感部件包括压力传感器、弯曲角度传感器和拉力传感器;所述压力传感器被配置为设置在用户的指尖,用于采集用户抓握物体时的指尖压力;所述弯曲角度传感器被配置为设置在用户的手指背部,用于采集用户的手指弯曲角度状态;所述拉力传感器设置在所述线性电机与所述驱动绳索之间,用于采集所述驱动绳索的拉力。

6. 如权利要求4所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述多个手指模块包括大拇指模块、食指模块、中指模块、无名指模块和小指模块。

7. 如权利要求4所述的手部康复机器人系统,其特征在于,所述驱动绳索的长度根据以下方式确定:

$$L_0 = P_1P_2 + P_2P_3 + P_3P_4$$

$$L_1 = P_1P_2 \sin(\theta_1/2) + P_2P_3 \sin(\theta_2/2) + P_3P_4 \sin(\theta_3/2)$$

$$L_1 - L_2 = P_1P_2 [1 - \sin(\theta_1/2)] + P_2P_3 [1 - \sin(\theta_2/2)] + P_3P_4 [1 - \sin(\theta_3/2)]$$

其中,  $L_0$  为用户的手指完全伸展时的绳索长度;  $L_1$  为当所述手指弯曲时的绳索长度;  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  分别为所述手指的每段指节中点位置,  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  分别为所述手指的后一段相对前一段的弯曲角度。

8. 如权利要求1所述的手部康复机器人系统, 其特征在于, 所述电刺激模块包括Boost升压电路和双极性转换电路, 所述电刺激模块被配置为将所述MCU模块输出的PWM波进行幅值和频率的放大, 然后通过所述电刺激部件输出。

9. 如权利要求1所述的手部康复机器人系统, 其特征在于, 所述多种训练模式包括被动训练模式、主动训练模式、阻力训练模式以及生活辅助模式; 其中,

在所述被动训练模式下, 所述主控装置控制所述执行机构动作, 实现不同的手指组合的屈曲伸展运动;

在所述主动训练模式下, 所述主控装置根据所述数据采集模块采集的所述信息, 控制所述执行机构动作, 为用户提供助力;

在所述阻力训练模式下, 所述主控装置根据所述数据采集模块采集的所述信息, 识别用户的运动意图, 控制所述执行机构动作, 以保持用户与所述执行机构之间的作用力;

在所述生活辅助模式下, 所述主控装置控制所述执行机构, 实现用户的手部的协同控制。

10. 如权利要求9所述的手部康复机器人系统, 其特征在于, 所述生活辅助模式根据用户的肌力分为第一生活辅助模式、第二生活辅助模式和第三生活辅助模式, 其中:

在所述第一生活辅助模式下, 所述主控装置控制用户的左手的所述执行机构运动, 实现用户的左手抓握, 并在用户触碰到物体且指尖压力达到阈值时停止运动或者当手指完全握拢时停止运动; 在所述左手运动停止后, 所述主控装置控制用户的右手的所述执行机构握拢, 并在指尖压力达到阈值时运动停止, 从而实现用户的双手被动协同生活辅助;

在所述第二生活辅助模式下, 所述数据采集模块实时采集用户的健侧手的手指弯曲角度信号和患侧手指尖压力信号, 在所述健侧手提供主动弯曲信号时, 所述MCU模块通过所述驱动模块带动用户的所述患侧手的所述执行机构, 以提供助力, 并当指尖压力达到阈值时停止运动;

在所述第三生活辅助模式下, 所述数据采集模块实时采集用户的双手的手指弯曲角度信号和指尖压力信号, 在所述双手提供主动弯曲信号时, 所述MCU模块通过所述驱动模块带动所述两个执行机构, 以给所述双手分别提供助力, 实现自适应抓握。

## 一种手部康复机器人系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及医疗康复设备领域,尤其涉及一种手部康复机器人系统。

### 背景技术

[0002] 据统计,我国现有40岁以上脑卒中患者已达到1400万人,每年新发病在200万人以上。脑卒中是最常见的致残疾病之一,其中70%-85%的患者伴有偏瘫。在偏瘫患者的上肢功能康复中,又以手功能的康复最为困难。同时临床实验发现,大部分偏瘫患者健侧手也会存在不同程度的影响并且在康复治疗上对患者双侧肢体进行协同康复训练有助于提升康复效率以及康复效果。

[0003] 现有的医学理论和实践数据表明,正确、科学、合理地康复训练对于肢体运动功能的恢复起到十分重要的作用。传统治疗方式主要依靠医护人员对患者进行一对一的辅助训练,这种训练模式耗时耗力,且缺乏量化和客观评价。随着机器人技术的不断发展,人工智能科技的不断的创新,将机器人技术与医学理论相结合,为康复治疗提供了新的途径。康复机器人不仅能有效的减轻医护人员的负担,长期、稳定、客观地辅助患者进行康复训练,而且还可提供多种准确地康复训练量化数据,便于医护人员根据这些反馈数据为病患指定更合理的训练计划。

[0004] 将双手协同运动控制理论融入到控制算法当中,可以实现多模式下的双手协同控制,极大地提升康复训练效果,同时还能对患者进行日常生活辅助,建立其生活自信心。

[0005] 目前,针对柔性骨骼式手部康复机器人的控制方式比较单一,人机交互性差,并且训练模式也较为单一,多是单手结构,无法进行双手训练。

[0006] 因此,本领域的技术人员致力于开发一种手部康复机器人系统,可以实现多种摸下的手指复合训练,还能对患者进行日常生活辅助;将双手协同控制理论融入到控制算法当中,可以实现多模式下的双手协同运动控制,极大地提升了康复训练效果。

### 发明内容

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了一种手部康复机器人系统,包括:

[0008] 主控装置,其通过无线网络与上位机通讯;

[0009] 两个执行机构,所述两个执行机构分别用于用户的左右手,所述执行机构通过线束与所述主控装置连接;

[0010] 多个传感部件,所述多个传感部件与所述主控装置连接,所述多个传感部件被配置为能够采集所述执行机构在动作时的运动信息和作用力以及用户的生理信息,并反馈给所述主控装置;

[0011] 多个电刺激部件,所述多个电刺激部件与所述主控装置连接,所述多个电刺激部件被配置为能够在用户的手部施加电刺激;

[0012] 其中,所述主控装置包括MCU模块、交互模块、驱动模块、数据采集模块、电刺激模块和电源模块;所述MCU模块分别与所述交互模块、所述驱动模块、所述数据采集模块、所述

电刺激模块连接;所述交互模块被配置为能够允许用户输入执行指令以及向用户输出所述传感部件采集的信息和所述手部康复机器人系统的状态;所述驱动模块分别与所述两个执行机构连接,并根据所述MCU模块的指令控制所述两个执行机构运动;所述数据采集模块与所述多个传感部件连接,将所述多个传感部件所采集的信息传输给所述MCU模块;所述电刺激模块与所述多个电刺激部件连接,并根据所述MCU模块的指令控制所述多个电刺激部件输出电力;所述电源模块与外界电源连接并将所述外界电源的电压转换为所述手部康复机器人系统所需的电压;

[0013] 所述主控装置被配置为能够根据用户输入的所述执行指令以及根据所述数据采集模块输送的所述信息控制所述两个执行机构在多种训练模式下工作。

[0014] 在一些实施方式中,可选地,所述交互模块包括触屏输入交互子模块和语音输入子模块,所述触屏输入交互子模块和所述语音输入子模块分别通过串口通信与所述MCU模块连接。

[0015] 在一些实施方式中,可选地,所述上位机是PC机或移动终端。

[0016] 在一些实施方式中,可选地,所述两个执行机构的每一个包括:

[0017] 多个手指模块,所述多个手指模块被配置为分别与用户的一个手指配合;

[0018] 多个线性电机,所述多个线性电机的每一个分别与对应的所述手指模块通过驱动绳索连接。

[0019] 在一些实施方式中,可选地,所述传感部件包括压力传感器、弯曲角度传感器和拉力传感器;所述压力传感器被配置为设置在用户的指尖,用于采集用户抓握物体时的指尖压力;所述弯曲角度传感器被配置为设置在用户的手指背部,用于采集用户的手指弯曲角度状态;所述拉力传感器设置在所述线性电机与所述驱动绳索之间,用于采集所述驱动绳索的拉力。

[0020] 在一些实施方式中,可选地,所述多个手指模块包括大拇指模块、食指模块、中指模块、无名指模块和小指模块。

[0021] 在一些实施方式中,可选地,所述驱动绳索的长度根据以下方式确定:

$$[0022] \quad L_0 = P_1P_2 + P_2P_3 + P_3P_4$$

$$[0023] \quad L_1 = P_1P_2 \sin(\theta_1/2) + P_2P_3 \sin(\theta_2/2) + P_3P_4 \sin(\theta_3/2)$$

$$[0024] \quad L_1 - L_2 = P_1P_2 [1 - \sin(\theta_1/2)] + P_2P_3 [1 - \sin(\theta_2/2)] + P_3P_4 [1 - \sin(\theta_3/2)]$$

[0025] 其中, $L_0$ 为用户的手指完全伸展时的绳索长度; $L_1$ 为当所述手指弯曲时的绳索长度; $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别为所述手指的每段指节中点位置, $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 分别为所述手指的后一段相对前一段的弯曲角度。

[0026] 在一些实施方式中,可选地,所述电刺激模块包括Boost升压电路和双极性转换电路,所述电刺激模块被配置为将所述MCU模块输出的PWM波进行幅值和频率的放大,然后通过所述电刺激部件输出。

[0027] 在一些实施方式中,可选地,所述多种训练模式包括被动训练模式、主动训练模式、阻力训练模式以及生活辅助模式;其中,

[0028] 在所述被动训练模式下,所述主控装置控制所述执行机构动作,实现不同的手指组合的屈曲伸展运动;

[0029] 在所述主动训练模式下,所述主控装置根据所述数据采集模块采集的所述信息,

控制所述执行机构动作,为用户提供助力;

[0030] 在所述阻力训练模式下,所述主控装置根据所述数据采集模块采集的所述信息,识别用户的运动意图,控制所述执行机构动作,以保持用户与所述执行机构之间的作用力;

[0031] 在所述生活辅助模式下,所述主控装置控制所述执行机构,实现用户的手部的协同控制。

[0032] 在一些实施方式中,可选地,所述生活辅助模式根据用户的肌力分为第一生活辅助模式、第二生活辅助模式和第三生活辅助模式,其中:

[0033] 在所述第一生活辅助模式下,所述主控装置控制用户的左手的所述执行机构运动,实现用户的左手抓握,并在用户触碰到物体且指尖压力达到阈值时停止运动或者当手指完全握拢时停止运动;在所述左手运动停止后,所述主控装置控制用户的右手的所述执行机构握拢,并在指尖压力达到阈值时运动停止,从而实现用户的双手被动协同生活辅助;

[0034] 在所述第二生活辅助模式下,所述数据采集模块实时采集用户的健侧手的手指弯曲角度信号和患侧手的指尖压力信号,在所述健侧手提供主动弯曲信号时,所述MCU模块通过所述驱动模块带动用户的所述患侧手的所述执行机构,以提供助力,并当指尖压力达到阈值时停止运动;

[0035] 在所述第三生活辅助模式下,所述数据采集模块实时采集用户的双手的手指弯曲角度信号和指尖压力信号,在所述双手提供主动弯曲信号时,所述MCU模块通过所述驱动模块带动所述两个执行机构,以给所述双手分别提供助力,实现自适应抓握。

[0036] 本发明提供的手部康复机器人系统,其具有以下技术效果:

[0037] 1、不仅可以实现多种模式下的手指复合训练,还能对患者进行日常生活辅助,同时将双手协同运动控制理论融入到控制算法当中,可以实现多模式下的双手协同运动控制,极大地提升了康复训练效果,提高患者生活自信心;

[0038] 2、融合了功能电刺激技术,用以提高患者手部肌力,并利用多传感器融合技术,能够在训练以及生活辅助过程中提供多种形式的反馈信息,充分发挥患者的主观能动性。

[0039] 3、在人机交互上可实现触屏、语音以及上位机远端控制,极大地提高了可操作性,便于用户使用。并且可根据患者状态给予暗示或者建议等,使康复效果得到很大的提高。

[0040] 本发明与传统的康复训练方法相比,人机交互性能强,能够针对不同肌力等级的患者选择合适的训练模式,并且将协同运动控制策略融入到康复训练以及日常生活辅助当中。其操作简单,训练效果好,适用于小型的家庭康复医疗场景,极大地解决了医院医疗资源紧张的问题。

[0041] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明,以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

## 附图说明

[0042] 图1是本发明的一个较佳实施例的手部康复机器人系统的结构示意图;

[0043] 图2是主控装置的模块示意图;

[0044] 图3是手指模块与线性电机的连接示意图;

[0045] 图4是电刺激模块的示意图;

[0046] 图5是手指模块的长度设计示意图;

[0047] 图6是低肌力生活辅助模式的示意图；

[0048] 图7是中肌力生活辅助模式的示意图；

[0049] 图8是高肌力生活辅助模式的示意图。

[0050] 其中,10-主控装置,11-MCU模块,12-数据采集模块,13-电刺激模块,131-Boost升压电路,132-双极性转换电路,14-驱动模块,15-触屏交互子模块,16-语音子模块,17-电源模块,20-执行机构,21-机械手,211-大拇指模块,212-食指模块,213-中指模块,214-无名指模块,215-小指模块,22-驱动绳索,23-驱动装置,24-线性电机,25-位置编码器,31-弯曲角度传感器,32-压力传感器,33-拉力传感器,40-电刺激部件,50-手部,60-线束,70-上位机。

## 具体实施方式

[0051] 以下参考说明书附图介绍本发明的多个优选实施例,使其技术内容更加清楚和便于理解。本发明可以通过许多不同形式的实施例来得以体现,本发明的保护范围并非仅限于文中提到的实施例。

[0052] 在附图中,结构相同的部件以相同数字标号表示,各处结构或功能相似的组件以相似数字标号表示。附图所示的每一组件的尺寸和厚度是任意示出的,本发明并没有限定每个组件的尺寸和厚度。为了使图示更清晰,附图中有些地方适当夸大了部件的厚度。

[0053] 如图1所示,本发明提供了一种手部康复机器人系统,包括:

[0054] 主控装置10,其通过无线网络与上位机70通讯,从上位机70接收控制指令以及将上报系统运行的数据以及患者的生理数据;其中,无线网络包括但不限于蓝牙、WLAN、移动数据通讯。

[0055] 至少一个执行机构20,其与主控装置10通过线束60连接,接收主控装置10的控制指令并执行该指令,实施不同的训练模式。

[0056] 执行机构20的数量可以设置为两个,分别对应患者的左右手。这两个执行机构20的结构基本相同,不同之处仅在于为了适应患者的左右手,在与患者手部50接触的位置设置了不同的形状。下面以其中一个执行机构20为例来进行描述。

[0057] 执行机构20包括外骨骼机械手21、驱动装置23。外骨骼机械手21是执行机构20的执行部件,是一种欠驱动机械手,其形状与患者的手部50相适应。外骨骼机械手21包括五个手指模块,具体为大拇指模块211、食指模块212、中指模块213、无名指模块214和小指模块215。每一个手指模块的结构基本类似,不同之处仅在于为适应不同的手指,在尺寸上有所区别。如图3所示,每一个手指模块分别通过驱动绳索22连接至驱动装置23。驱动装置23包括分别与五个手指模块对应的线性电机24以及电机驱动器。由电机驱动器驱动控制线性电机24的运动,线性电机24上带有位置编码器25,通过位置编码器25反馈线性电机24的位置。为提高系统的集成度,驱动装置23还可以包括箱体,将这五个线性电机24都设置在箱体内。驱动装置23接收了主控装置10的指令后,驱动线性电机24,从而带动手指模块实现对应的手指的屈曲伸展运动。通过多电机的带动并结合控制算法以及协同控制策略,每个手指模块可以分别同时实施不同的运动方式,从而完成不同的手势动作,以辅助患者进行康复训练以及协助患者进行日常生活辅助。

[0058] 本发明提供的手部康复机器人系统还包括传感部件,用于采集患者使用该手部康

复机器人系统时的运动信息、生理信息以及手部康复机器人系统的作用力,以反馈给主控装置10。主控装置10可以根据传感部件反馈的数据,对患者的意图进行识别。主控装置10通过分析结果产生相应的执行指令,控制驱动装置23,控制外骨骼机械手21动作,以完成训练动作和日常生活辅助。

[0059] 本发明提供的手部康复机器人系统还包括电刺激部件40,用于刺激患者手部50肌肉从而提高患者手部50肌力。电刺激部件40通过线束60连接至主控装置10,由主控装置10控制电刺激部件40所输出的电力值。

[0060] 如图2所示,主控装置10是本发明的手部康复机器人系统的控制核心,包括MCU模块11、交互模块、驱动模块14、数据采集模块12、电刺激模块13、电源模块17。

[0061] MCU模块11分别与交互模块、驱动模块14、数据采集模块12、电刺激模块13连接,用于接收和处理上位机70、交互模块、驱动模块14、数据采集模块12、电刺激模块13传送的数据,产生相应的执行指令,并传输至驱动模块14,以控制执行机构20实现不同功能以及各种训练模式。在一些实施方式中,MCU模块11包括处理芯片,处理芯片可以采用现有技术中已有的各种芯片。

[0062] 驱动模块14,与驱动装置23连接,用于将MCU模块11的控制指令传输至执行机构20的驱动装置23,从而控制线性电机24,带动手指模块运动。驱动模块14由用于驱动线性电机22的电机驱动器电路组成。也可以将电机驱动器电路设置在驱动装置20中,而驱动模块包括将电机驱动器电路与MCU模块通讯进行数据通讯的处理电路。

[0063] 数据采集模块12与传感部件连接,用于将传感部件采集的数据输送给MCU模块11。

[0064] 电刺激模块13与电刺激部件40连接,用于根据MCU模块11的指令,控制电刺激部件40产生合适的电力,以刺激患者的肌肉。电刺激部件40输出的电压幅值的大小以及频率可以由主控装置10根据所采集的数据自动调节,也可以由患者或医生通过交互模块输入。

[0065] 电源模块17与外部电源连接,用于将外部电源的电压转换为适于主控装置10以及驱动装置23的电压,以给整个系统提供电力。外部电源可以为现有技术中使用的任意合适的电源,包括但不限于电池、市电。

[0066] 交互模块用于与患者、医生进行交互,例如,将机器人系统的运行状态告知患者,医生可以根据患者的状况选择合适的训练模式,患者可以自主选择训练模式或调节的系统参数等。在一些实施方式中,交互模块包括触屏交互子模块15,触屏交互子模块15可以通过串口通信协议与MCU模块11通讯,医生或患者通过触屏操作,可以设置训练模式、电刺激参数等,同时通过触屏交互子模块15,可以显示系统输出的压力、患者生理状态等数据。在一些实施方式中,交互模块还包括语音子模块16,语音子模块16通过串口通信协议与MCU模块11进行数据传输。语音子模块16可以识别使用者的语音,采集并处理语音信号,然后传输给MCU模块11;同时语音子模块16可以向使用者播报系统的状态。在一些实施方式中,交互模块可以同时包括触屏交互子模块15和语音子模块16。串口通信协议可以选择为UART协议。

[0067] 在一些实施方式中,上位机70可以选择为PC机或移动终端。在上位机70中安装有相应的应用程序,通过应用程序可以选择不同的功能以及训练模式,通过网络传输给MCU模块11。

[0068] 在一些实施方式中,如图4所示,电刺激模块13可以采用Boost升压电路131以及双极性转换电路132对MCU模块11输出的PWM波进行幅值和频率的放大,然后通过电刺激部件

40输送至人体,从而对人体的肌肉产生实时的电刺激。电刺激部件40可以选择电极片。

[0069] 在一些实施方式中,如图1所示,传感部件可以包括压力传感器32、弯曲角度传感器31和拉力传感器33。压力传感器32可以设置在患者手指指腹,用于检测患者抓握物体时的指尖压力;弯曲角度传感器31可以设置在患者手指背部,用于检测患者手指弯曲角度状态;拉力传感器33可以设置在线性电机24与驱动绳索22之间,用于实时检测手指拉力以及患者是否处于痉挛状态,拉力传感器33可以与线性电机24一起集成在驱动装置23内。通过压力传感器32、弯曲角度传感器31、拉力传感器33来采集患者手指运动角度、压力、阻力、位移等数据的变化,可以对患者进行意图识别。

[0070] 外骨骼机械手21是执行机构20的执行部件,在使用时佩戴在患者的手部50。如图5所示,可以根据患者的手部50大小的差异改变驱动绳索22的长度,以实现稳定、安全的手部50康复训练及生活辅助。当患者的手指完全伸展时,指端绳索长度为 $L_0$ ,其中,长度表达式为:

$$[0071] \quad L_0 = P_1P_2 + P_2P_3 + P_3P_4$$

[0072] 当手指弯曲时,绳索长度为 $L_1$ ,其中,长度表达式为:

$$[0073] \quad L_1 = P_1P_2 \sin(\theta_1/2) + P_2P_3 \sin(\theta_2/2) + P_3P_4 \sin(\theta_3/2)$$

[0074] 远指端关节交角 $\theta_3$ 和近指端关节交角 $\theta_1$ 之间的关系满足:

$$[0075] \quad \theta_3 = (1/4 \sim 2/3) \theta_1$$

[0076] 每根手指所应预设绳索长度为 $L_1-L_2$ ,其中,关系表达式为:

$$[0077] \quad L_1 - L_2 = P_1P_2 [1 - \sin(\theta_1/2)] + P_2P_3 [1 - \sin(\theta_2/2)] + P_3P_4 [1 - \sin(\theta_3/2)]$$

[0078] 式中, $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别为手指每段指节中点位置, $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 分别为手指后一段相对前一段弯曲角度。

[0079] 本发明提供的手部康复机器人系统包括多种训练模式,以适应不同的需求。在一些实施方式中,多种训练模式包括被动训练模式、主动训练模式、阻力训练模式以及生活辅助模式。可以根据患者肌力来进行选择,其中,肌力分类针对的是患者患侧手而言,对患者健侧手可以根据相同肌力等级分类进行不同模式选择。

[0080] 被动训练模式:主要适用于0-2级肌力患者,患者可根据自身情况或医嘱要求规划不同的训练内容,可由用户设置训练时间、训练速度、训练动作等参数,包括不同手指组合的屈伸伸展运动,以实现被动状态下的康复训练。例如,被动训练模式的训练动作包括握拳训练和对指训练,其中,握拳训练为双手进行往复的五指握拳以及伸展运动;对指训练为双手对应手指进行屈曲伸展运动,顺序为大拇指、食指、中指、无名指、小拇指,此为一个流程,结束后重复此流程。在被动训练模式下,可设定训练速度、训练时长、最大弯曲位置、手指选择等相关信息。

[0081] 主动训练模式:主要适用于0-4级肌力患者,训练内容主要为协助患者手部50完成相关训练动作,为患者手部50提供助力效果的同时逐渐增强手部50肌力。主动训练模块可以包括镜像训练和助力训练。其中,镜像训练用于0-2级肌力患者,需要进行患侧手选择,当健侧手的手指提供弯曲角度信号时,系统为该手指提供助力的同时也会带动患侧对应手指运动,此时,患侧手与健侧手运动一致,从而达到协同训练的效果。助力训练用于3-4级肌力患者,当患者手指给予一个主动弯曲信号时,根据角度传感器采集的信息,系统将会为该手指提供助力跟随的效果。在主动训练模式下,可提高患者主动参与性,有效地提升患者手部

50肌力。

[0082] 阻力训练模式：用于4-5级肌力患者，训练过程中MCU模块11根据数据采集模块12采集到的信息进行手指运动意图识别后以滞后的形式启动手部康复机器人运动，保持患者与执行机构20之间稳定的作用力(阻力)，进一步提高患者的肌力。

[0083] 生活辅助模式：生活辅助模式不同于被动康复训练，是一种完成任务式的动作过程。生活辅助模式可以针对0-5级肌力患者进行使用。在生活辅助模式下，按照患者患侧手肌力等级的不同分为：低肌力、中肌力、高肌力三种生活辅助模式。

[0084] 低肌力生活辅助模式：为双手执行机构20下的被动协同状态，针对的是双手均无法正常运动的患者。其控制策略如图6所示。当患者想用双手抓握一个物体时，例如盘子。通过上位机70或交互模块进入该模式后，MCU模块11会发出相关指令控制左手电机运动，通过驱动绳索22带动患者左手抓握，此时，系统将实施检测手指压力信号，当患者触碰到物体并在指尖压力达到阈值时运动停止，或者当手指完全握拢即行程终止时运动停止。左手运动停止后，右手开始握拢，系统实施采集指尖压力的同时，当压力达到阈值时运动停止，借助患者自身视觉信息的反馈处理，可实现在被动状态下对不同物体的抓握，从而实现双手被动协同生活辅助。

[0085] 中肌力生活辅助模式，为双手执行机构20下的主从协同状态，针对的是健侧手具备一定运动能力的患者。其控制策略如图7所示，在此模式下需进行患侧手选择这一步骤，此时系统实时采集患者手指弯曲角度信号以及指尖压力信号。当健侧手提供一个主动弯曲信号时，MCU模块11将通过驱动模块14驱动电机带动患者健侧手运动来提供助力减负效果的同时，患侧手电机带动患侧手机构运行实现双手的抓握，并且当指尖力达到阈值时或手指完全握拢即行程终时运动停止，从而实现对生活中不同物体的抓握，即健侧手带动患侧手的主从协同生活辅助。

[0086] 高肌力生活辅助模式，如图8所示，为双手执行机构20下的主动协同状态，针对的是双手均已恢复到一定运动能力的患者，但存在肌力不足需进行辅助抓握的患者。其控制策略如图所示，在此模式下，佩戴手部康复机器人系统后，患者双手可独立运动，在需进行生活辅助抓握物体的情境下，患者手部50给予一个主动弯曲信号时，执行机构20将会带动其手指弯曲为其提供助力减负效果，并且当指尖力达到阈值或手指完全握拢即行程终时运动停止，基于患者自身视觉信息的反馈以及手臂的运动，实现对不同物体的自适应双手协同抓握，即主动协同生活辅助。

[0087] 在本发明中，上位机70通过蓝牙/WIFI向MCU模块11发送指令，选择当前采用何种控制方式；触屏交互子模块15用于患者或医师进行触屏操作，通过UART通信协议将命令传输至MCU模块11，MCU模块11通过驱动模块14来实现线性电机24的运转，完成训练动作；语音子模块16通过UART通信协议与MCU模块11进行通讯；电刺激模块13通过对MCU模块11输出的PWM波进行幅值和频率的放大并借助电极片得到可直接作用在人体的电刺激，用于提高患者手部50肌力；数据采集模块12检测角度传感器、压力传感器32、拉力传感器33采集的运动角度、压力、拉力、位移等数据传送给MCU模块11，利用MCU模块11自带的A/D转换口将模拟量转化为数字量，并通过分析数字量控制线性电机24做出相应的动作；同时，数据采集模块12，一方面可以检测手部50运动的各参数指标是否在阈值范围内；另一方面可以通过MCU模块11把处理过的信息传送给上位机70，上位机70实时反馈各个手指的指尖压力、弯曲角度、

位置等信息,以便医生对患者进行实时监测和康复评估。与现有的控制方法相比,本发明采用了多种人机交互方式,能够更好的达到针对性康复训练的效果,采用多传感器融合技术能够精确控制患者手指运动,采用多种康复训练与生活辅助相结合的控制策略,便于不同肌力等级患者的使用,采用双手结构将双手协同运动控制理论融入到控制算法当中,可以实现多模式下的双手协同运动控制,提高整体康复效果的同时,解决了健侧手、患侧手肌力等级存在差异的问题。按此方法设计的设备体积小,可模块化佩戴,使用方便,训练效果好,制造成本低,应用范围广。

[0088] 本发明与传统的康复训练装置相比,人机交互性能强,能够针对不同肌力等级的患者选择合适的训练模式,并且将协同运动控制策略融入到康复训练以及日常生活辅助当中。其操作简单,训练效果好,适用于小型的家庭康复医疗场景,极大地解决了医院医疗资源紧张的问题。

[0089] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

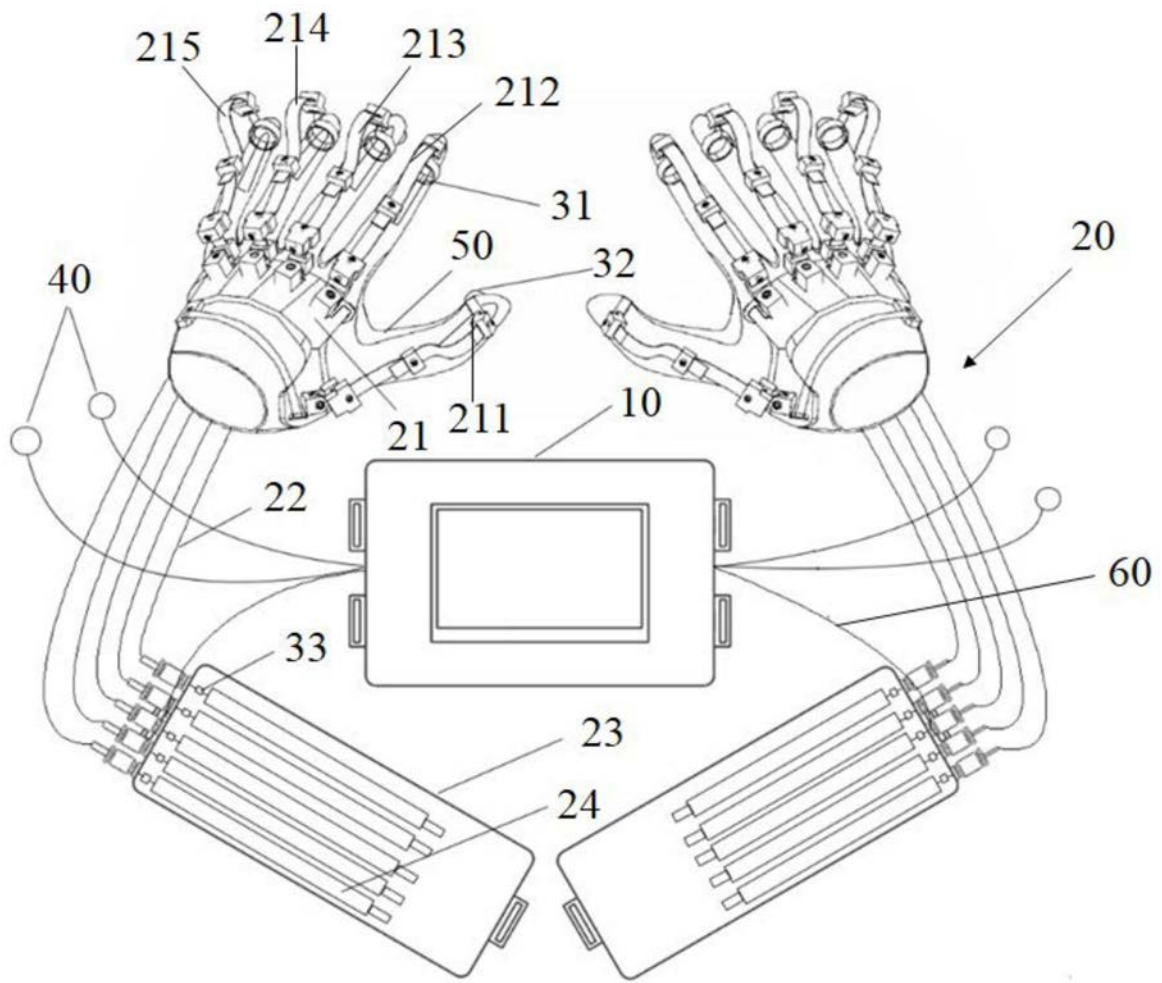


图1

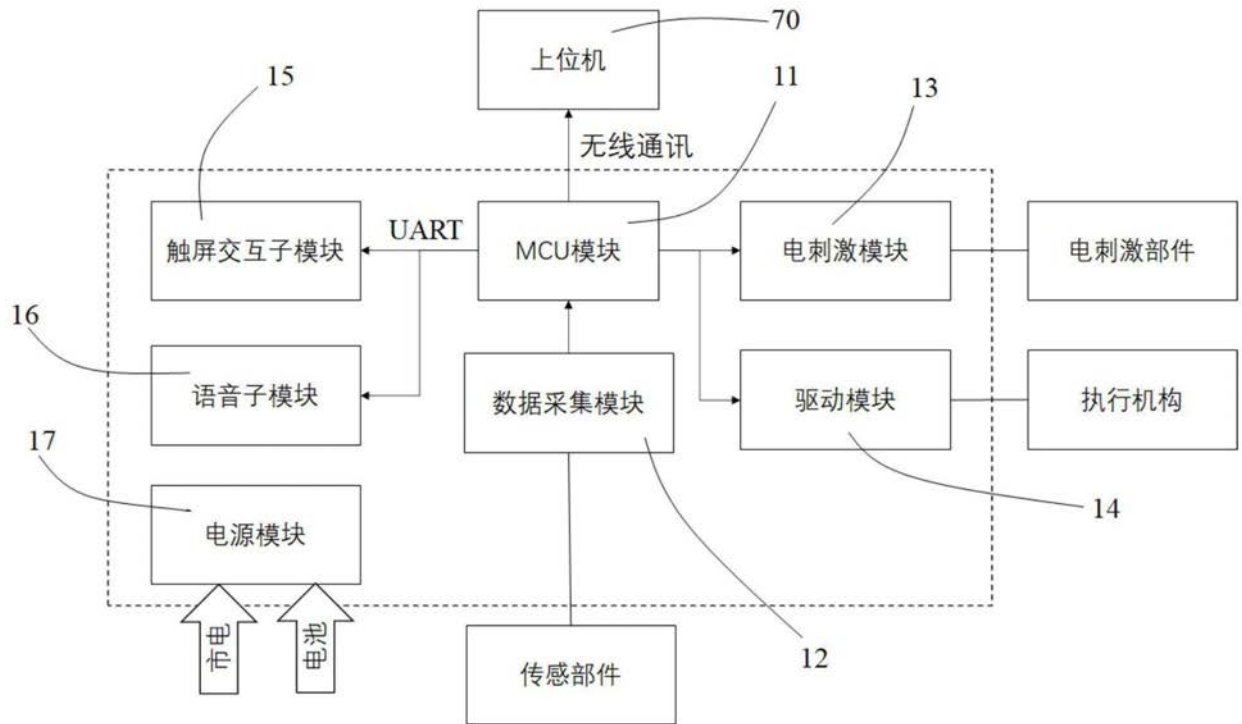


图2

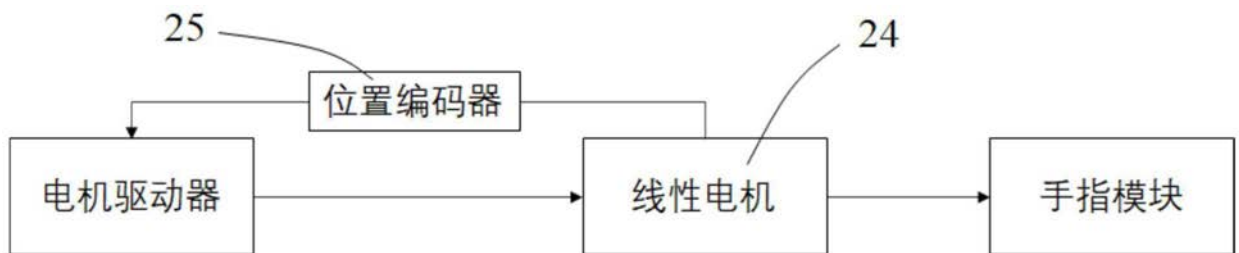


图3

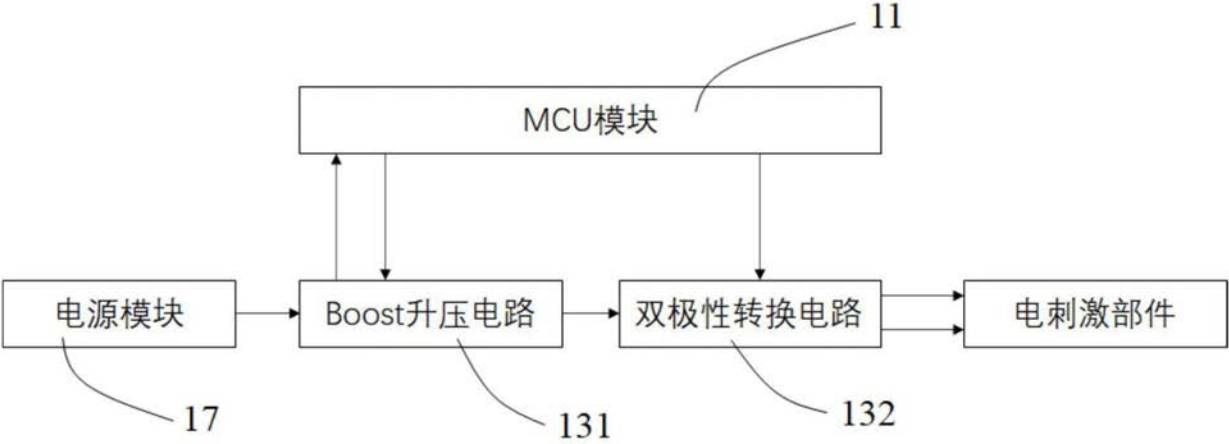


图4

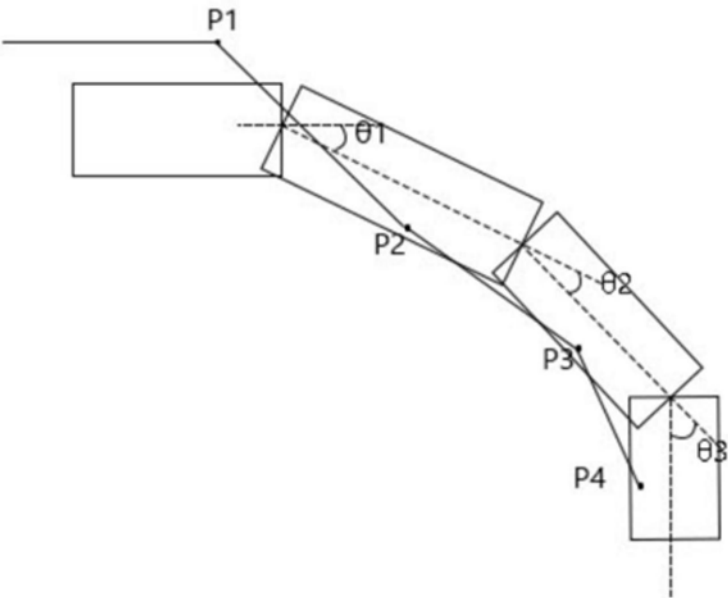


图5

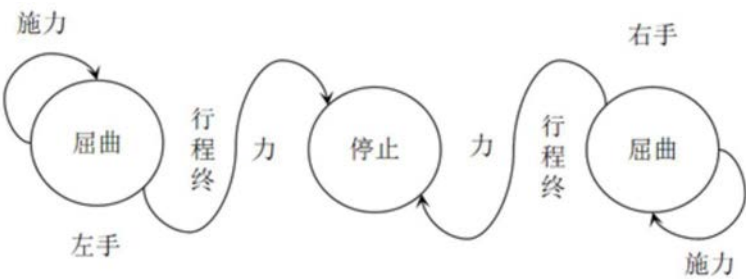


图6

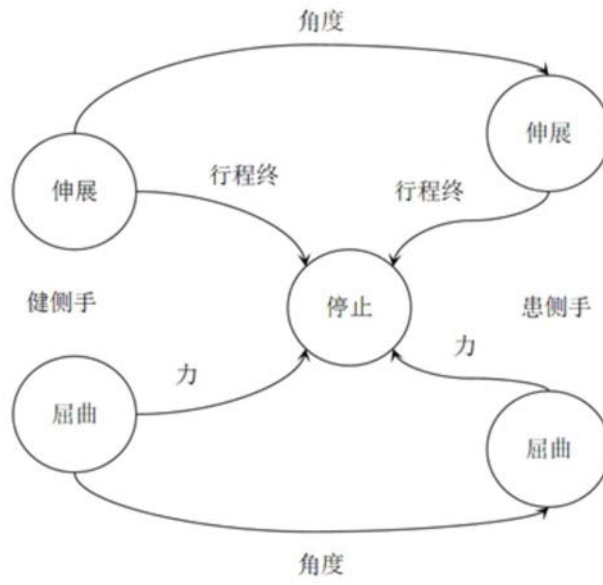


图7

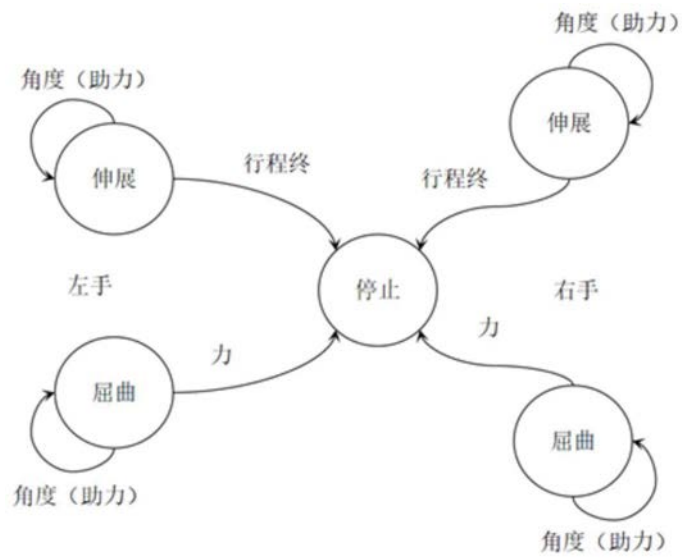


图8