(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 11 月 9 日 (09.11.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/213243 A1

(51) 国际专利分类号:
B25J 9/16 (2006.01) *B25J 13/08* (2006.01)
B25J 9/12 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/091649

(22) 国际申请日: 2023 年 4 月 28 日 (28.04.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211559370.X 2022年12月6日 (06.12.2022) CN

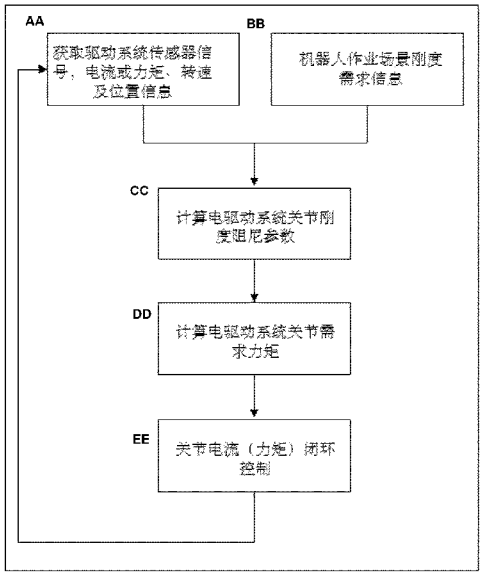
(71) 申请人:之江实验室(**ZHEJIANG LAB**) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。

(72) 发明人:朱世强(**ZHU, Shiqiang**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。 谢安桓(**XIE, Anhuan**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。 周伟刚(**ZHOU, Weigang**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。 孔令雨(**KONG, Lingyu**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。 华强(**HUA, Qiang**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。 程超(**CHENG, Chao**); 中国浙江省杭州市余杭区中泰街道科创大道之江实验室, Zhejiang 311121 (CN)。

(74) 代理人: 杭州天勤知识产权代理有限公司 (**HANGZHOU TIANQIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD**); 中国浙江省杭

(54) **Title:** ADAPTIVE VARIABLE IMPEDANCE ELECTRIC DRIVING SYSTEM FOR ROBOT, CONTROL METHOD, AND APPARATUS

(54) 发明名称: 一种机器人自适应变阻抗电驱动系统及控制方法、装置



AA Acquire electric driving system sensor signals, which comprise motor current or drive joint torque, rotational speed, and position signal
BB Necessary stiffness information for operation scenario of robot
CC Calculate joint stiffness and damping parameters of electric driving system
DD Calculate necessary joint torque for electric driving system
EE Joint current (torque) closed-loop control

图 1

(57) **Abstract:** An adaptive variable impedance electric driving system for a robot and a control method therefor. An embodiment comprises: acquiring electric driving system sensor signals comprising a motor current or a drive joint torque, a rotational speed, and a position signal; adaptively configuring stiffness parameters according to a movement and operation scenario of a robot; calculating a joint damping parameter of the electric driving system according to the rotational speed and the torque of a driving joint; determining a necessary joint torque of the electric driving system according to the stiffness parameters and the joint damping parameter, so as to perform closed-loop adaptive control on the robot driving joint on the basis of an impedance control mode of a force inner loop. The

[见续页]

WO 2023/213243 A1

州市西湖区竞舟路1号筑品金座501室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。
— 在修改权利要求的期限届满之前进行，在收到该修改后将重新公布(细则48.2(h))。
— 根据申请人的请求，在条约第21条(2)(a)所规定的期限届满之前进行。

robot driving system does not need the addition of mechanical parts such as additional elastic and damping parts, the stiffness and damping of the robot driving system are directly altered in real time by means of an active control method, causing the robot to be more intelligent and limber, and improvement of interactivity of the robot with the environment is facilitated, especially movement buffering and damping capacity of legged robots. The present invention further relates to an adaptive variable impedance electric driving system for a robot and a computer readable storage medium.

(57) 摘要: 一种机器人自适应变阻抗电驱动系统及其控制方法，包括：获取包括电机电流或驱动关节力矩、转速及位置信号在内的电驱动系统传感器信号；根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。该机器人驱动系统无需增加额外弹性和阻尼等机械元件，直接通过主动控制的方法在线实时改变机器人驱动系统的刚度与阻尼使机器人达到更智能柔顺的目的，有利于提高机器人与环境的交互能力特别是足式机器人运动缓冲减震能力。还涉及一种机器人自适应变阻抗电驱动系统、计算机可读存储介质。

一种机器人自适应变阻抗电驱动系统及控制方法、装置

技术领域

本发明属于机器人电驱动控制技术领域，具体涉及一种机器人自适应变阻抗电驱动系统及控制方法、装置。

背景技术

机器人广泛应用于工业、服务等应用领域。对于协作与足式机器人，协作机器人在作业任务时需要与人和环境大量交互，足式机器人在运动过程中需要具备更高的环境适应性。传统的位置控制方式已不能满足机器人与人或环境交互能力，机器人需要具备一定的柔顺性能。基于阻抗控制的电驱动系统使机器人能够具备一定的柔顺性能，但驱动系统刚度与阻尼控制参数往往是恒定的。为使机器人在变化的环境中具备更智能的柔顺性能，需要对机器人进行自适应变阻抗控制。

机器人柔顺性能通常可以通过被动柔顺和主动柔顺控制实现。被动柔顺方式通过设计额外的机械结构使机器人具备一定的柔顺性能，但会使机器人驱动系统体积增大并且不能实现较大范围的刚度阻尼调节。主动柔顺控制可以通过控制机器人位置、速度及力三者运动关系来实现机器人的柔顺性能，其通过设定机器人的等效刚度与阻尼控制参数来实现。但单一的刚度与阻尼控制参数并不能满足机器人与变化的不同环境智能柔顺交互的性能。机器人根据交互环境进行自适应变阻抗控制能达到更好的柔顺性能。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提出了一种机器人自适应变阻抗电驱动系统及控制方法、装置。

为实现上述发明目的，本发明的技术方案为：本发明实施例的第一方面提供了一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，所述方法具体包括：

获取包括电机电流或驱动关节力矩、转速及位置信号在内的电驱动系统传感器信号；

根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；

根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

进一步地，自适应设置刚度参数包括：

刚度参数包括三个参数区间，公式如下：

$$K=\begin{cases}\alpha K_c & (h_1\le\alpha<1)\\ K_c & \\ \beta K_c & (1<\beta\le h_2)\end{cases}$$

式中，K为设定的刚度参数，K_c为刚度参数常量设定值，α为第一刚度参数调节系数，β为第二刚度参数调节系数，h_1为第一刚度参数调节系数的下限值，h_2为第二刚度参数调节系数的上限值。

进一步地，根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数包括：初始设定一阻尼常量，计算自适应阻尼增量，将初始设定的阻尼常量与自适应阻尼增量叠加得到实时计算的电驱动系统关节阻尼参数。

进一步地，自适应阻尼增量为驱动关节力矩的微分量与权重系数的乘积。

进一步地，根据计算的刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩的公式如下：

$$\tau=K(q_d-q)-D\dot{q}+C(\dot{q},q)\dot{q}+G(q)$$

其中，τ为驱动关节控制力矩，K为刚度参数，q_d为驱动关节期望位置，q为驱动关节实际位置，D为关节阻尼参数，C为科氏力与离心力项，G为重力项。

本发明实施例的第二方面提供了一种机器人自适应变阻抗电驱动系统，用于实现上述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，包括：

永磁同步电机，经行星减速器减速、放大力矩后输出转速和力矩；

编码器，安装在永磁同步电机侧，用于采集永磁同步电机的转速及位置信号；

自适应变阻抗控制器，接收永磁同步电机对应的电流、力矩、转速及位置信号；根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

进一步地，所述系统还包括力矩传感器，设置于行星减速器的输出端，用于测量驱动系统的输出力矩。

本发明实施例的第三方面提供了一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置，包括一个或多个处理器，用于上述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

本发明实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有程序，该程序被处理器执行时，用于实现上述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

本发明与传统机器人电驱动系统相比具有以下有益效果：机器人的驱动系统采用电机

与低速比减速器具有更好的力控性能，并且直接通过主动控制的方法使机器人能够根据机器人电机电流或驱动关节力矩、转速以及机器人运动作业需求，在线实时调整机器人电驱动关节系统刚度与阻尼，无需增加额外的柔性机械元件，达到使机器人更智能柔顺的目的，有利于提高协作机器人交互能力和足式机器人运动行走能力。

附图说明

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他的附图。

图 1 是机器人自适应变阻抗电驱动系统控制方法流程图；

图 2 是机器人自适应变阻抗电驱动系统组成图；

图 3 是采用位置控制（无缓冲）电驱动系统机器人跳跃跌落地面冲击加速度；

图 4 是采用自适应变阻抗电驱动系统机器人跳跃跌落地面冲击加速度；

图 5 是本发明实施例提供的一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置的示意图。

具体实施方式

这里将详细地对示例性实施例进行说明，其示例表示在附图中。下面的描述涉及附图时，除非另有表示，不同附图中的相同数字表示相同或相似的要素。以下示例性实施例中所描述的实施方式并不代表与本发明相一致的所有实施方式。相反，它们仅是与如所附权利要求书中所详述的、本发明的一些方面相一致的装置和方法的例子。

在本发明使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的，而非旨在限制本发明。在本发明和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式，除非上下文清楚地表示其他含义。还应当理解，本文中使用的术语“和/或”是指并包含一个或多个相关联的列出项目的任何或所有可能组合。

应当理解，尽管在本发明可能采用术语第一、第二、第三等来描述各种信息，但这些信息不应限于这些术语。这些术语仅用来将同一类型的信息彼此区分开。例如，在不脱离本发明范围的情况下，第一信息也可以被称为第二信息，类似地，第二信息也可以被称为第一信息。取决于语境，如在此所使用的词语“如果”可以被解释成为“在……时”或“当……时”或“响应于确定”。

下面结合附图，对本发明进行详细说明。在不冲突的情况下，下述的实施例及实施方式中的特征可以相互组合。

如图 1 所示，本发明提出了一种机器人自适应变阻抗电驱动系统控制方法，所述方法包括：

获取包括电机电流或驱动关节力矩、转速及位置信号在内的电驱动系统传感器信号；其中，驱动关节力矩可以通过力矩传感器测量，或通过关节电流估计。

根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数。

根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据预设的刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

本发明提供的电驱动系统包括：

永磁同步电机，经行星减速器减速后输出转速和力矩。

编码器，安装在永磁同步电机侧，用于采集永磁同步电机的转速及位置信号。

自适应变阻抗控制器，接收永磁同步电机对应的电流、力矩、转速及位置信号；根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

进一步地，本发明提供的电驱动系统还可包括：力矩传感器，用于测量减速器端输出力矩。

其中，自适应设置刚度参数可以表示为：

$$K=\begin{cases}\alpha K_c & \left(h_1\le\alpha<1\right)\\ K_c & \\ \beta K_c & \left(1<\beta\le h_2\right)\end{cases}$$

式中，K 为设定的刚度参数，K_c 为刚度参数常量设定值，α 为第一刚度参数调节系数，β 为第二刚度参数调节系数，h_1 为第一刚度参数调节系数的下限值，h_2 为第二刚度参数调节系数的上限值。本实例中，需要根据机器人运动作业场景信息自定义设定不同等级的刚度控制参数，例如在足式机器人在落地时自适应调整较小刚度以实现缓冲，蹬地时自适应调整较大刚度获得较大运动速度。并且还需基于机器人本身的重量以及实际路况等因素来综合自适应调节刚度参数值。

根据获取的驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，具体为：初始设定一阻尼常量，计算自适应阻尼增量，将初始设定的阻尼常量与自适应阻尼增量叠加得到实时计算的电驱动系统关节阻尼参数。其中，自适应阻尼增量为驱动关节力矩的微分量与权重

系数的乘积。

电驱动系统关节阻尼参数可以表示为：

$$D = D_c + Q$$

$$Q = \eta \dot{F}$$

式中，D为实时计算的阻尼参数，D_c为初始设定阻尼常量，Q为自适应阻尼增量，η为权重系数，$\dot{F}$为驱动关节力矩微分量。在本实例中，自适应变阻抗控制器阻尼控制参数可以根据所受力矩变化速率自适应实时调整合适的阻尼参数。

根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

其中，驱动关节控制力矩可以通过采集力矩传感器信号或者电机电流计算而得。

电驱动系统关节需求力矩可以表示为：

$$\tau = K(q_d - q) - D\dot{q} + C(\dot{q}, q)\dot{q} + G(q)$$

其中τ为驱动关节控制力矩，q_d为关节期望位置，q为关节实际位置，C为科氏力与离心力项，G为重力项。

图 3 是采用位置控制（无缓冲）电驱动系统机器人跳跃跌落地面冲击加速度；图 4 是采用自适应变阻抗电驱动系统机器人跳跃跌落地面冲击加速度。由图 3 和图 4 对比可知，通过本发明方法处理，可以使机器人跳跃跌落地面的运动缓冲减震能力明显增强，且机器人系统可以较大范围根据应用需求自适应调节自身控制刚度与阻尼特性。

综上所述，本发明机器人驱动系统无需增加的额外弹性和阻尼等机械元件，直接通过主动控制的方法根据不同的作业场景、作业任务在线实时改变机器人驱动系统的刚度与阻尼使机器人达到更智能柔顺的目的，有利于提高机器人与环境的交互能力特别是足式机器人运动缓冲减震能力。

与前述机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法的实施例相对应，本发明还提供了机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置的实施例。

参见图 5，本发明实施例提供的一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置，包括一个或多个处理器，用于实现上述实施例中的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

本发明机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置的实施例可以应用在任意具备数据处理能力的设备上，该任意具备数据处理能力的设备可以为诸如计算机等设备或装置。装置实施例可以通过软件实现，也可以通过硬件或者软硬件结合的方式实现。以软件实现为

例，作为一个逻辑意义上的装置，是通过其所在任意具备数据处理能力的设备的处理器将非易失性存储器中对应的计算机程序指令读取到内存中运行形成的。从硬件层面而言，如图 5 所示，为本发明机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置所在任意具备数据处理能力的设备的一种硬件结构图，除了图 5 所示的处理器、内存、网络接口、以及非易失性存储器之外，实施例中装置所在的任意具备数据处理能力的设备通常根据该任意具备数据处理能力的设备的实际功能，还可以包括其他硬件，对此不再赘述。

上述装置中各个单元的功能和作用的实现过程具体详见上述方法中对应步骤的实现过程，在此不再赘述。

对于装置实施例而言，由于其基本对应于方法实施例，所以相关之处参见方法实施例的部分说明即可。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本发明方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下，即可以理解并实施。

本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质，其上存储有程序，该程序被处理器执行时，实现上述实施例中的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

所述计算机可读存储介质可以是前述任一实施例所述的任意具备数据处理能力的设备的内部存储单元，例如硬盘或内存。所述计算机可读存储介质也可以是任意具备数据处理能力的设备，例如所述设备上配备的插接式硬盘、智能存储卡（Smart Media Card，SMC）、SD 卡、闪存卡（Flash Card）等。进一步的，所述计算机可读存储介质还可以既包括任意具备数据处理能力的设备的内部存储单元也包括外部存储设备。所述计算机可读存储介质用于存储所述计算机程序以及所述任意具备数据处理能力的设备所需的其他程序和数据，还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

以上应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，所述方法具体包括：

获取包括电机电流或驱动关节力矩、转速及位置信号在内的电驱动系统传感器信号；

根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；

根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

2、根据权利要求 1 所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，自适应设置刚度参数包括：

刚度参数包括三个参数区间，公式如下：

$$K=\begin{cases}\alpha K_c & (h_1\le\alpha<1)\\ K_c & \\ \beta K_c & (1<\beta\le h_2)\end{cases}$$

式中，K 为设定的刚度参数，K_c 为刚度参数常量设定值，α 为第一刚度参数调节系数，β 为第二刚度参数调节系数，h_1 为第一刚度参数调节系数的下限值，h_2 为第二刚度参数调节系数的上限值。

3、根据权利要求 1 所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数包括：初始设定一阻尼常量，计算自适应阻尼增量，将初始设定的阻尼常量与自适应阻尼增量叠加得到实时计算的电驱动系统关节阻尼参数。

4、根据权利要求 3 所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，自适应阻尼增量为驱动关节力矩的微分量与权重系数的乘积。

5、根据权利要求 1 所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，根据计算的刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩的公式如下：

$$\tau=K(q_d-q)-D\dot{q}+C(\dot{q},q)\dot{q}+G(q)$$

其中，τ 为驱动关节控制力矩，K 为刚度参数，q_d 为驱动关节期望位置，q 为驱动关节实际位置，D 为关节阻尼参数，C 为科氏力与离心力项，G 为重力项。

6、一种机器人自适应变阻抗电驱动系统，用于实现权利要求 1~5 所述的机器人自适应

变阻抗电驱动系统的控制方法，其特征在于，包括：

永磁同步电机，经行星减速器减速、放大力矩后输出转速和力矩；

编码器，安装在永磁同步电机侧，用于采集永磁同步电机的转速及位置信号；

自适应变阻抗控制器，接收永磁同步电机对应的电流、力矩、转速及位置信号；根据机器人运动作业场景，自适应设置刚度参数；根据驱动关节转速和力矩计算电驱动系统关节阻尼参数，根据刚度参数和关节阻尼参数确定电驱动系统关节需求力矩，以此基于力内环的阻抗控制方式对机器人驱动关节进行闭环自适应控制。

7、根据权利要求 6 所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统，其特征在于，所述系统还包括力矩传感器，设置于行星减速器的输出端，用于测量驱动系统的输出力矩。

8、一种机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制装置，其特征在于，包括一个或多个处理器，用于实现权利要求 1-5 中任一项所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

9、一种计算机可读存储介质，其上存储有程序，其特征在于，该程序被处理器执行时，用于实现权利要求 1-5 中任一项所述的机器人自适应变阻抗电驱动系统的控制方法。

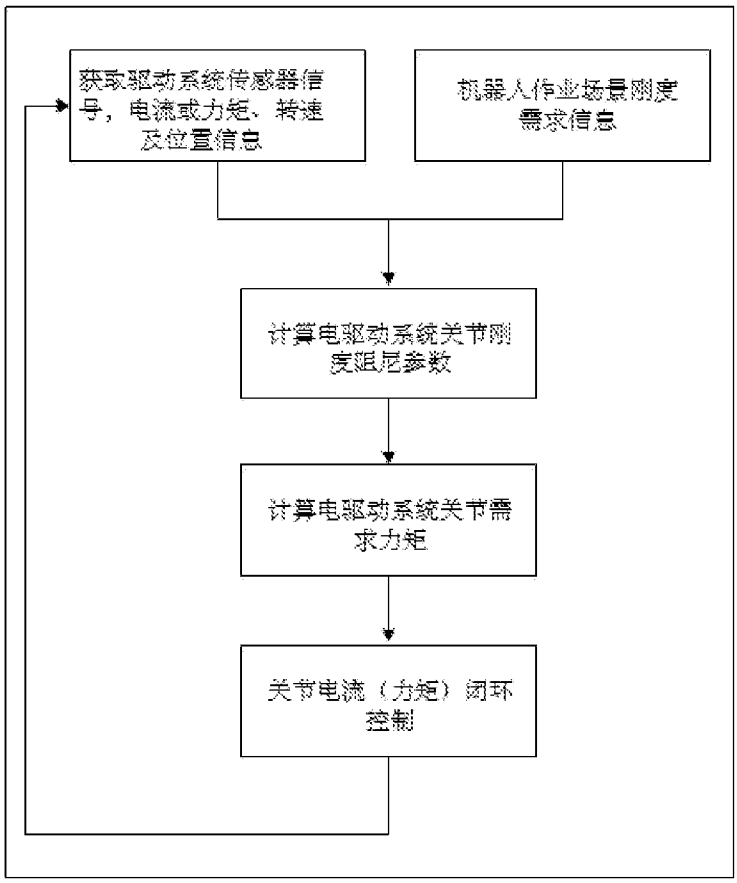

获取驱动系统传感器信号，电流或力矩、转速及位置信息
机器人作业场景刚度需求信息
计算电驱动系统关节刚度阻尼参数
计算电驱动系统关节需求力矩
关节电流（力矩）闭环控制

图 1

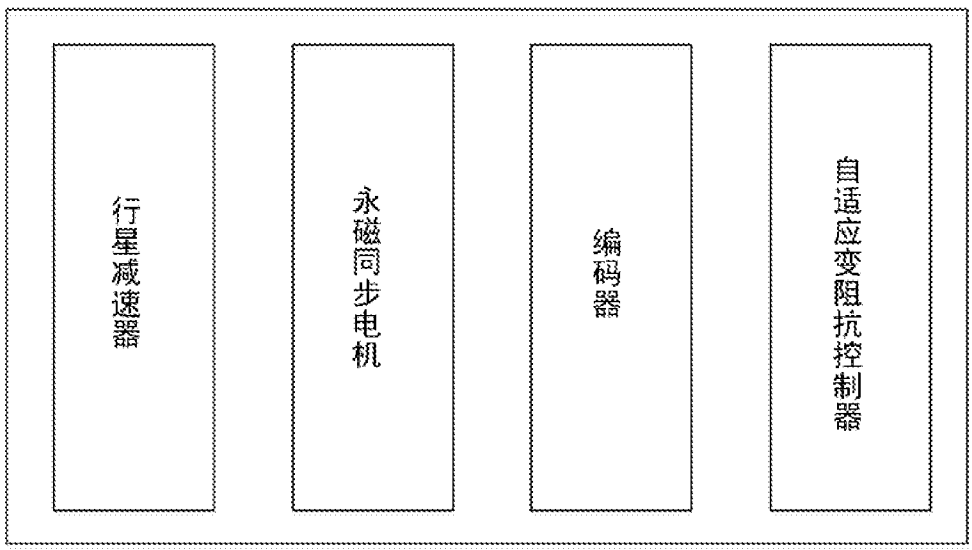

行星减速器
永磁同步电机
编码器
自适应变阻抗控制器

图 2

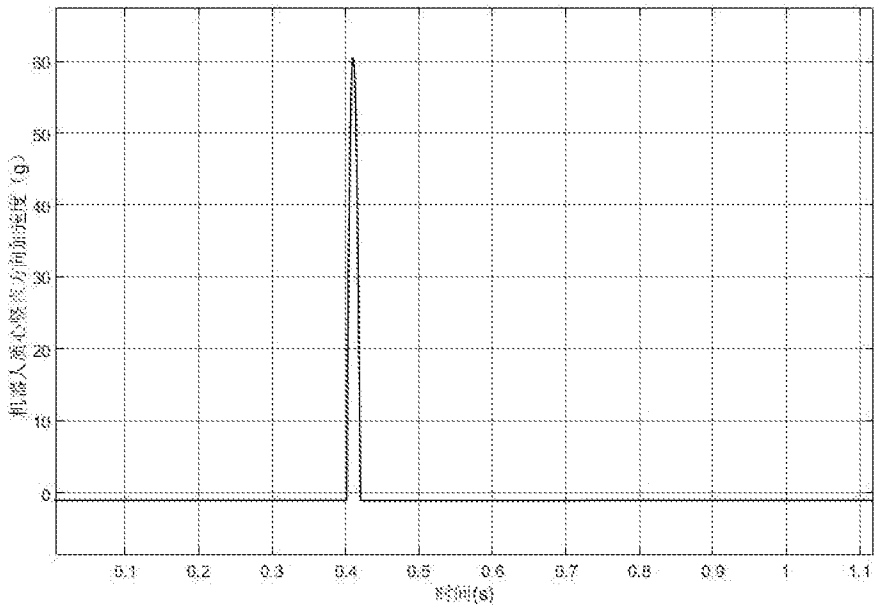

机器人质心竖直方向加速度（g）
0
10
20
30
40
50
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
时间(s)

图 3

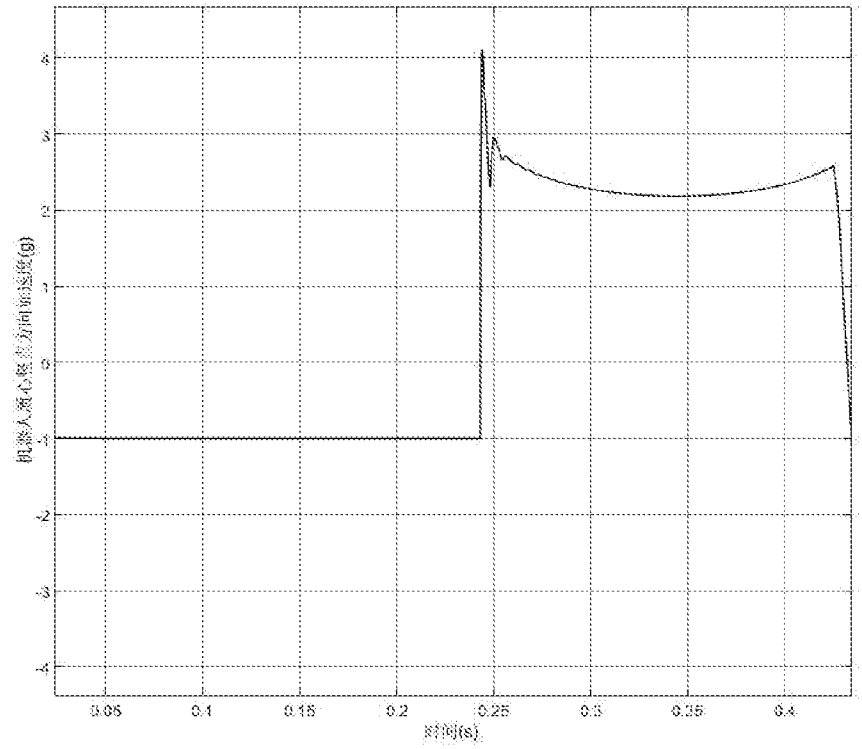

机器人质心竖直方向加速度(g)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
时间(s)

图 4

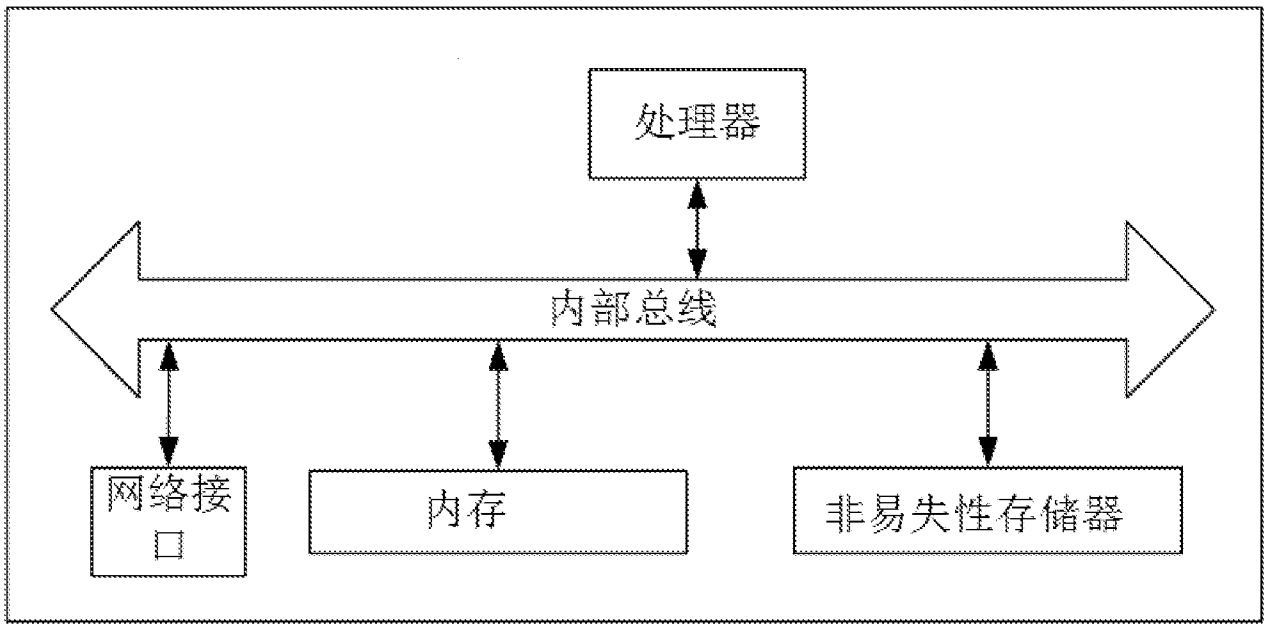


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/091649

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/16(2006.01)i; B25J 9/12(2006.01)i; B25J 13/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: B25J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, ENTXT, DWPI, CNKI: 机器人, 关节, 阻抗, 阻尼, 刚度, 柔顺, robot+, manipulator?, joint?, damp+, impedance, flexib+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 112847327 A (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 28 May 2021 (2021-05-28) description, paragraphs 0002-0058, and figures 1-2	1, 3-4, 6-9
A	CN 106483964 A (CENTRAL SOUTH UNIVERSITY) 08 March 2017 (2017-03-08) entire document	1-9
A	CN 110027002 A (SHENZHEN ACADEMY OF ROBOTICS) 19 July 2019 (2019-07-19) entire document	1-9
A	CN 111037573 A (SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 21 April 2020 (2020-04-21) entire document	1-9
A	CN 113858201 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 31 December 2021 (2021-12-31) entire document	1-9
A	US 2014379131 A1 (GWANGJU INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 25 December 2014 (2014-12-25) entire document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 August 2023	**31 August 2023**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/091649

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 112847327 A	28 May 2021	CN 112847327 B	11 February 2022
CN 106483964 A	08 March 2017	CN 106483964 B	31 December 2019
CN 110027002 A	19 July 2019	CN 110027002 B	17 September 2021
CN 111037573 A	21 April 2020	CN 111037573 B	30 September 2022
CN 113858201 A	31 December 2021	CN 113858201 B	25 April 2023
US 2014379131 A1	25 December 2014	KR 20140147267 A	30 December 2014
		US 9102056 B2	11 August 2015

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/091649

A. 主题的分类

B25J 9/16(2006.01)i；B25J 9/12(2006.01)i；B25J 13/08(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC：B25J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNTXT, ENTXT, DWPI, CNKI:机器人，关节，阻抗，阻尼，刚度，柔顺，robot+, manipulator?, joint?, damp+, impedance, flexib+

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 112847327 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2021年5月28日 (2021-05-28) 说明书第0002-0058段，附图1-2	1、3-4、6-9
A	CN 106483964 A (中南大学) 2017年3月8日 (2017-03-08) 全文	1-9
A	CN 110027002 A (深圳市智能机器人研究院) 2019年7月19日 (2019-07-19) 全文	1-9
A	CN 111037573 A (山东理工大学) 2020年4月21日 (2020-04-21) 全文	1-9
A	CN 113858201 A (清华大学) 2021年12月31日 (2021-12-31) 全文	1-9
A	US 2014379131 A1 (KWANGJU INST SCI & TECH) 2014年12月25日 (2014-12-25) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2023年8月18日	2023年8月31日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	受权官员 何菡 电话号码 (+86) 010-62085224

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/091649

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	112847327	A	2021年5月28日	CN	112847327	B	2022年2月11日
CN	106483964	A	2017年3月8日	CN	106483964	B	2019年12月31日
CN	110027002	A	2019年7月19日	CN	110027002	B	2021年9月17日
CN	111037573	A	2020年4月21日	CN	111037573	B	2022年9月30日
CN	113858201	A	2021年12月31日	CN	113858201	B	2023年4月25日
US	2014379131	A1	2014年12月25日	KR	20140147267	A	2014年12月30日
				US	9102056	B2	2015年8月11日