



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110730706 B

(45) 授权公告日 2023.08.04

(21) 申请号 201880038977.9

(22) 申请日 2018.05.14

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110730706 A

(43) 申请公布日 2020.01.24

(30) 优先权数据  
102017005581.5 2017.06.13 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.12.12

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2018/062335 2018.05.14

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/228762 DE 2018.12.20

(73) 专利权人 库卡德国有限公司  
地址 德国奥格斯堡

(72) 发明人 Y·库甘

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司  
72003

专利代理师 傅磊 黄艳

(51) Int.Cl.  
B25J 9/16 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 106272408 A, 2017.01.04  
US 2014222025 A1, 2014.08.07  
EP 2131257 A1, 2009.12.09  
EP 2082852 A2, 2009.07.29  
CN 106182040 A, 2016.12.07  
DE 102006061752 A1, 2008.07.03  
JP 3300625 B2, 2002.07.08  
CN 204233094 U, 2015.04.01  
Lorenzo Sciavicco ET AL. Interaction Control.《Modelling and Control of Robot Manipulators》.2000,

审查员 郭瑞

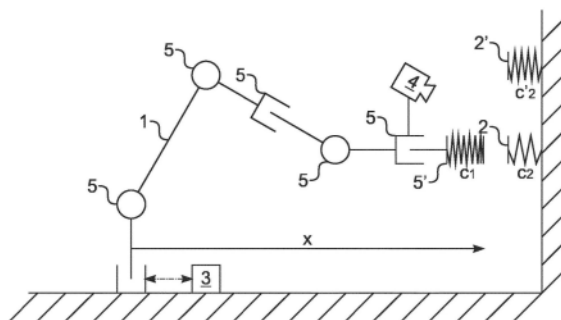
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

机器人的控制

(57) 摘要

一种根据本发明的用于控制机器人(1)的方法,具有以下步骤:预先给定(S10)施加到接触部位(2;2')上的额定力( $F_s$ );确定(S20)所述接触部位处的接触刚性( $c;c'$ );和根据所确定的接触刚性通过正在运动的机器人的驱动器(5)和/或制动器使正在运动的机器人制动(S50),以便通过正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上,其中,在达到( $x_s;x'_s$ )所述额定力之前,开始所述制动( $x_b;x'_b$ )。



1. 一种用于控制机器人(1)的方法,具有以下步骤:

-预先给定(S10)作用到接触部位(2;2')上的额定力( $F_s$ );

-确定(S20)所述接触部位处的接触刚性( $c;c'$ );和

-根据所确定的接触刚性通过正在运动的机器人的驱动器(5)和/或制动器使正在运动的机器人制动(S50),以便通过正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上,其中,在达到( $x_s;x'_s$ )所述额定力之前,开始所述制动( $x_b;x'_b$ ),

其中,检测所述机器人与所述接触部位和/或其周围环境之间的至少一个反作用力,并且基于该反作用力来确定所述接触刚性,并且

其中,所述机器人以一次或多次测试方式接触所述接触部位和/或其周围环境,并在此检测反作用力并基于该反作用力确定所述接触刚性,然后所述机器人重新接触所述接触部位以便通过正在停止和/或已停止的机器人施加所述额定力。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于以下步骤:

-检测(S30)所述接触部位由所述正在运动的机器人的当前的接触或即将来临的接触( $x_c$ ),其中,所述正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器根据检测到的该接触被制动,以便将所述额定力通过正在停止和/或已停止的机器人施加到所述接触部位上。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,在所述正在运动的机器人接触( $x_c$ )所述接触部位之前,通过所述正在运动的机器人的驱动器和/或制动器已经使所述正在运动的机器人开始( $x'_b$ )制动,以便通过所述正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,在所述正在运动的机器人接触( $x_c$ )所述接触部位之后,才开始( $x_b$ )通过所述正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使所述正在运动的机器人制动,以便通过所述正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上。

5. 根据前述权利要求2至4中任一项所述的方法,其特征在于,检测所述接触部位与接触所述接触部位的机器人之间的反作用力,并且基于所述反作用力来检测当前的接触。

6. 根据前述权利要求2至5中任一项所述的方法,其特征在于,检测所述机器人与所述接触部位之间的距离,并且基于该距离来检测当前的和/或即将来临的接触。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于以下步骤:

-检测所述机器人的当前运动,其中,根据检测到的运动,正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器被制动,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到所述接触部位上。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于以下步骤:

-检测所述机器人的当前运动,其中,根据机器人的模型,正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器被制动,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到所述接触部位上。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,根据所述接触部位的刚性( $c_2;c'_2$ )和/或所述机器人的刚性( $c_1$ )来确定所述接触刚性。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述机器人已经接触所述接触部位以通过所述正在停止和/或已停止的机器人施加所述额定力期间,检测所述反作用力并基于

该反作用力确定所述接触刚性。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,根据所述机器人的姿势来确定所述接触刚性。

12. 一种用于控制机器人(1)的控制器(3),其被设置用于执行根据权利要求1至11中任一项所述的方法,和/或具有:

- 用于预先给定作用到接触部位(2;2')上的额定力( $F_s$ )的装置;
- 用于确定在所述接触部位处的接触刚性( $c;c'$ )的装置;和
- 用于根据所确定的接触刚性通过正在运动的机器人的驱动器(5)和/或制动器制动正在运动的机器人,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上的装置,其中,在达到( $x_s;x'_s$ )所述额定力之前,开始所述制动( $x_b,x'_b$ )。

13. 一种具有机器人(1)和根据权利要求12所述的用于控制所述机器人的控制器(3)的设施。

14. 一种计算机可读介质,其上存储有程序代码,所述程序代码用于执行根据权利要求1至11中任一项所述的方法。

## 机器人的控制

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于控制机器人的方法和控制器,以及一种具有机器人和控制器的设施,和一种用于执行该方法的计算机程序产品。

### 背景技术

[0002] 从企业内部的实践中已知,预先给定机器人应当施加到接触部位上的额定力,然后在机器人的运行中检测机器人和接触部位之间的当前反作用力。一旦检测到反作用力已经达到了额定力,则机器人通过其驱动器和/或制动器被制动。

[0003] 由此,机器人尤其也可以在未知的或变化的环境中工作,例如驶近位置变化的工件并在接触时停止,例如以便夹持、加工工件等。

[0004] 然而,特别是由于机械的、电子的和/或控制技术上的惯性或故障时间造成地,机器人还在后续运行,从而在检测到施加的或达到的额定力之后,机器人才以一定的延迟停止。

[0005] 然而在此,机器人能够更深地侵入到接触部位中或者尤其弹性地和/或塑性地将接触部位的周围环境变形,其中,实际上的反作用力被不希望地提高超过预先给定的额定力。

[0006] 相应地,在接触部位由正在运动的机器人接触之前,迄今为止机器人的速度被降低,以便降低机器人的冲量和随之的后续运行并降低与此相关的反作用力提高。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于,改善机器人的运行。

[0008] 该目的通过具有权利要求1特征的方法解决。权利要求13-15保护一种用于执行在此描述的方法的控制器和计算机程序产品或具有机器人和在此描述的控制器的设施。从属权利要求涉及有利的改进方案。

[0009] 根据本发明的一实施方式,一种用于控制机器人的方法具有以下步骤:

[0010] -预先给定施加到接触部位上的额定力;

[0011] -确定该接触部位处的接触刚性;和

[0012] -基于或根据所确定的接触刚性通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使正在运动的机器人制动,以便通过正在停止和/或已停止的机器人或如下地或以如下目的,即正在停止或已停止的机器人尤其是至少、至多和/或以一定的允差将额定力施加到接触部位上,将所述额定力施加或给予到所述接触部位上,其中,在达到所述额定力之前,开始所述制动。

[0013] 通过根据事先和/或在接触时确定的接触刚性对机器人进行制动,或者在制动时考虑该接触刚性,并在此或者由此在达到额定力之前已经开始制动,并因此减小了并且优选地至少基本上避免了机器人伴随相应的、超过额定力的力超高的后续运行,可以在一实施方式中改善正在停止或已停止的机器人最终实际上施加到接触部位上的反作用力与预

先给定的额定力的一致性,和/或机器人在接触部位附近也还以较高的速度运动,并因此尤其是减小了周期时间。

[0014] 在一实施方式中,机器人具有至少三个、特别是至少六个、特别是至少七个(运动)轴或关节,它们通过机器人的驱动器和/或制动器特别是受控地可制动、特别是可停止运动,或(可)被制动、特别是被停止运动。

[0015] 为了较紧凑地描述,在本发明的意义上,基于在额定值和(检测到的)实际值之间的(调节)差进行的调节在本发明中也被称为控制。在本发明的意义中,力也可以概括性地包括、尤其就是反平行的力偶,即(转动)力矩。在本发明中,刚性尤其是以本领域常规的方式理解为侵入深度或尤其是弹性和/或塑性变形与为此所需的或施加的力之间的关系,尤其是力除以侵入深度或变形的商。

[0016] 在一实施方式中,正在停止或已停止的机器人通过机器人引导的工具或工件将反作用力或额定力施加到接触部位上,或者被设置或设立用于此目的。

[0017] 在一实施方式中,为了施加所述额定力,通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器对正在运动的机器人的制动包括:相应地(操控)控制、尤其是因此调节驱动器或制动器;根据所确定的接触刚性和预先给定的额定力,尤其是确定和/或命令正在停止或已停止的机器人的额定姿势,在该额定姿势下,机器人将预先给定的额定力施加或应施加到接触部位上,和/或尤其是确定和/或命令额定运动、尤其是额定速度(走向)和/或额定加速度(走向)。

[0018] 特别地,在一实施方式中,如果接触刚性具有第一值或相应地被确定,则通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使正在运动的机器人在第一姿势中停止或静止以施加额定力,而如果接触刚性具有或相应地确定为小于第一值的第二值,则在第二姿势中停止正在运动的机器人,正在运动的机器人、特别是机器人引导的工具或工件在该第二姿势中较深地侵入接触部位中或达到较大的变形。

[0019] 在一实施方式中,如果接触刚性具有第一值或相应地被确定,则在达到额定力之前,在第一时间点开始通过驱动器和/或制动器进行制动以施加额定力,并且如果接触刚性具有或相应地确定为小于第一值的第二值,则在达到额定力之前,在稍后的第二时间点开始通过驱动器和/或制动器进行制动,尤其是在接触刚性具有第一值的情况下,在第一时间点导入、尤其是命令通过驱动器和/或制动器的制动,并且如果接触刚性具有第二值则在第二时间点导入或命令通过驱动器和/或制动器的制动。

[0020] 附加地或替代地,在一实施方式中,如果接触刚性具有或相应地确定为一第一值或所述第一值,则机器人通过其驱动器和/或制动器在至少一个阶段中较强烈地被制动或延迟,用于施加额定力,并且如果接触刚性具有或相应地确定为小于第一值的一第二值或所述第二值,则至少在该阶段中较弱地被制动或延迟。

[0021] 在一实施方式中,该方法包括以下步骤:检测接触部位由正在运动的机器人的当前的接触或即将来临的接触,特别是机器人和接触部位之间接触的开始或结束,其中,基于或(也)根据所检测到的接触,正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器被制动,以便由正在停止或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上。

[0022] 机器人与接触部位之间的反作用力或机器人施加或给予到接触部位上的反作用力一方面取决于接触刚性,另一方面取决于侵入深度或特别是弹性和/或塑性变形,该侵入

深度或变形本身取决于机器人的姿势与机器人在接触接触部位时的姿势的差异或机器人与接触部位之间的接触开始或结束时的姿势之间的差异,例如根据弹簧定律,一般公式为 $F=f_c(x-x_c)$ 、特别是线性弹簧定律 $F=c \cdot (x-x_c)$ ,其具有接触刚性函数 $f_c$ 或接触刚性因数 $c$ 、机器人接触区域 $x$ 的当前位置和接触时的其位置 $x_c$ 。相应地,在一实施方式中,通过使正在运动的机器人制动、尤其是在第一或第二姿势下停止,在第一或第二时间点开始制动和/或根据所检测到的接触来较强或较弱地制动,可以减少并且优选地至少基本上避免机器人伴随相应的力超高进行后续运行,并由此改善了正在停止或已停止的机器人最终实际施加到接触部位上的反作用力与预先给定的额定力的一致性,和/或机器人也在接触部位附近还以较高的速度运动,并因此尤其缩短了周期时间。

[0023] 在一实施方式中,还在正在运动的机器人与接触部位为此接触之前,必要时已经开始通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器来制动正在运动的机器人,以便通过正在停止或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上。在一实施方式中,这使得即使在接触刚性高和/或接近速度高时也能避免机器人以超过额定力的、相应大的力超高侵入得太深。

[0024] 附加地或替代地,在正在运动的机器人已经为此接触接触部位之后,必要时才开始通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器来制动正在运动的机器人,以通过正在停止或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上。由此,在一实施方式中,通过检测接触部位与接触该接触部位的机器人之间的反作用力,能够基于该反作用力检测当前的接触和/或基于该反作用力确定接触刚性。

[0025] 在一实施方式中,检测接触部位与接触该接触部位的机器人之间的反作用力,并基于该反作用力检测当前接触,尤其是一旦反作用力超过预先给定的阈值或者检测到这点,就检测当前接触。由此,在一实施方式中,可以精确地和/或借助于机器人的相应的力传感装置检测当前接触。

[0026] 附加地或替代地,在一种实施方式中,特别是借助至少一个机器人引导的和/或至少一个与机器人间隔开的传感器、特别是(至少)电、磁和/或光学传感器、特别是(至少)摄像机来检测机器人与接触部位之间的距离,并且基于该距离检测当前的和/或即将来临的接触。由此在一实施方式中已经可以检测即将来临的接触,并因此特别提早地开始制动。附加地或替代地,由此在一实施方式中,即使没有力传感器,也可以通过机器人将期望的额定力施加到接触部位上。

[0027] 在一实施例中,该方法包括以下步骤:检测机器人的当前运动、特别是速度和/或加速度,其中,通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使正在运动的机器人根据(也)由所检测到的运动、特别是根据机器人的特别是数学(替代)模型进行制动,以便通过正在停止或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上。由此,机器人的制动可以有利地(较)精确地进行,尤其是模型支持地被预控制和/或调节,使得机器人在一姿势中停止,在该姿势中机器人将额定力施加到接触部位上并且该姿势相应地取决于接触刚性,其中,在一实施方案中在该模型中考虑接触刚性。

[0028] 特别是在一实施方式中,如果机器人、特别机器人接触区域在接触时具有第一速度,则正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器在至少一个阶段中较强烈地制动,用于施加额定力,和/或在第一时间点通过驱动器和/或制动器开始制动,用于施加额定力,且如

果机器人(接触区域)在接触时具有小于第一速度的第二速度,则正在运动的机器人至少在该阶段中较弱地被制动和/或在稍后的第二时间点开始制动,因为反作用力在接触速度较大时更快地增大。

[0029] 在一实施方式中,根据接触部位的刚性和/或机器人的刚性来确定接触刚性,特别因此在一实施方式中考虑由接触部位和机器人组成的整个系统的柔韧性、特别是弹性。由此,有利地(较)精确地进行机器人的制动,使得机器人在如下姿势中停止,在该姿势中,机器人将额定力施加到接触部位上并且该姿势相应地取决于接触刚性。相反,如果接触刚性与接触部位的刚性无关地或者与机器人的刚性无关地被确定,则这在一实施方式中可以简化其确定。

[0030] 在一实施方式中,特别是基于或取决于接触部位和/或机器人的已知材料参数和/或几何参数,理论上、特别是数值地、特别是通过模拟来确定、特别是估计接触刚性。

[0031] 附加地或替换地,接触刚性可以在一实施方式中凭经验确定,特别是通过检测接触部位和接触所述接触部位的机器人之间的反作用力和/或接触部位的周围环境和接触该周围环境的机器人之间的一个或多个反作用力,并且基于这些检测到的反作用力来确定接触刚性。在一实施方式中,接触部位或周围环境与机器人之间的反作用力通过机器人的力传感装置、特别是一个或多个在机器人的关节中和/或在其机器人法兰或工具法兰上的力传感器来检测,其中,如前所述,力也可以包括力矩,因此在本发明的意义上力传感器特别也包括力矩传感器。

[0032] 由此可以在一实施方式中有利地(较)精确和/或在线地确定接触刚性。

[0033] 在一实施方式中,在机器人已经为了由正在停止或已停止的机器人施加额定力而接触接触部位期间,检测反作用力并基于该反作用力确定接触刚性。由此,在一实施方式中,可以(较)精确地确定针对当前接触部位的接触刚性。

[0034] 在另一实施方式中,机器人首先一次或多次以测试方式接触该接触部位和/或其周围环境。在此,在机器人然后(重新)接触接触部位用于由正在停止或已停止的机器人施加额定力之前,(分别)检测反作用力并基于该反作用力或多个该反作用力尤其是通过平均、内插和/或外插等确定接触刚性。由此可以在一实施方式中事先确定接触刚性,并且特别是在接触刚性高和接近速度高的情况下避免机器人伴随超过额定力的、相应大的力过高侵入得太深。

[0035] 在一实施方式中,根据机器人的姿势来确定接触刚性,特别是从多个特定于姿势的接触刚性中选出和/或对其进行内插和/或外插,在一实施方式中,通过前述的测试方式接触或侵入来事先确定了这些特定于姿势的接触刚性。由此,在一实施方式中可以有利地考虑,一方面机器人的刚性并且另一方面接触部位进而其刚性可以与机器人的姿势相关。

[0036] 根据本发明一实施方式,用于控制机器人的控制器尤其是硬件技术和/或软件技术、尤其是编程技术地被设立用于执行在此所述的方法和/或具有:

[0037] -用于预先给定施加到接触部位上的额定力的装置;

[0038] -用于确定该接触部位上的接触刚性的装置;和

[0039] -用于根据所确定的接触刚性通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器制动正在运动的机器人,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将所述额定力施加到所述接触部位上的装置,其中,在达到所述额定力之前,开始所述制动。

[0040] 在一实施方式中,控制器或其装置具有:

[0041] -用于检测接触部位由正在运动的机器人的当前的接触或即将来临的接触的装置,其中,根据所检测到的接触正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器被制动,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上;

[0042] -用于必要时在正在运动的机器人接触所述接触部位之前,已经开始通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使正在运动的机器人制动,以通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上的装置;

[0043] -用于必要时在正在运动的机器人接触所述接触部位之后,才开始通过正在运动的机器人的驱动器和/或制动器使正在运动的机器人制动,以通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上的装置;

[0044] -用于检测接触部位与接触它的机器人之间的反作用力并基于该反作用力检测当前接触的装置;

[0045] -用于检测机器人和接触部位之间的距离以及基于该距离检测当前和/或即将来临的接触的装置;

[0046] -用于检测机器人的当前运动的装置,其中,正在运动的机器人通过其驱动器和/或制动器根据所检测到的运动、尤其根据机器人的模型被制动,以便通过正在停止和/或已停止的机器人将额定力施加到接触部位上;

[0047] -用于根据接触部位的和/或机器人的刚性来确定接触刚性的装置;

[0048] -用于检测机器人与接触部位和/或周围环境之间的至少一个反作用力并基于该反作用力确定接触刚性的装置;

[0049] -用于在所述机器人已经接触所述接触部位以通过所述正在停止和/或已停止的机器人施加所述额定力期间,检测所述反作用力并基于该反作用力确定接触刚性的装置;

[0050] -用于一次或多次以测试方式通过所述机器人接触所述接触部位和/或其周围环境并检测在此的反作用力,并在所述机器人重新接触所述接触部位以通过正在停止和/或已停止的机器人施加所述额定力之前,基于该反作用力确定接触刚性的装置;和/或

[0051] -用于根据机器人的姿势确定接触刚性的装置。

[0052] 本发明意义上的装置可以硬件技术和/或软件技术地构造,尤其是具有优选与存储器 and/或总线系统数据或信号连接的、尤其是数字的处理单元、尤其是微处理器单元(CPU) and/或一个或多个程序或程序模块。CPU可以被构造用于处理作为存储在存储系统中的程序实现的指令、检测数据总线的输入信号和/或将输出信号发送到数据总线上。存储系统可以具有一个或多个、尤其是不同的存储介质,尤其是光学的、磁性的、固态的和/或其他不易失性的介质。程序可以被提供为使得其能够体现或执行在此描述的方法,使得CPU能够执行这种方法的步骤,并且因此特别地能够控制机器人。

[0053] 在一实施方式中,所述方法的一个或多个、尤其所有步骤完全或部分自动化地执行,尤其通过控制器或其(多个)装置来执行。

## 附图说明

[0054] 其它优点和特征由从属权利要求和实施例得出。在此部分示意性地示出:

[0055] 图1:根据本发明一实施方式的具有机器人和用于控制机器人的控制器的设施;

[0056] 图2:通过机器人施加反作用力或额定力;和

[0057] 图3:根据本发明一实施方式的方法。

### 具体实施方式

[0058] 图1示出了根据本发明一实施方式的具有机器人1和用于控制机器人1的控制器3的设施,图3示出了根据本发明一实施方式的由控制器3实施的用于控制机器人1的方法。

[0059] 在步骤S10中,预先给定额定力 $F_s$ ,机器人应该将该额定力施加到接触部位2上。这例如可以通过用户输入、机器人的工作程序或过程等被预先给定或是预先给定的。在一实施方式中,尤其可以通过工作程序中的停止条件来预先给定额定力。

[0060] 在步骤S10之前、并行或之后同样可以执行的步骤S20中,根据接触部位2的刚性和机器人1的刚性来确定接触部位2处的接触刚性 $c$ ,在图1中用机器人1的弹簧刚性 $c_1$ 和接触

部位2的弹簧刚性 $c_2$ 来简示该接触刚性,并且在该实施例中以简化的方式通过 $c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}$ 获

得。在另一接触部位2'上,接触刚性例如为 $c' = \frac{c_1 \cdot c'_2}{c_1 + c'_2}$ ,如图1中通过相应的弹簧刚性 $c'_2$ 简

示的那样。

[0061] 接触刚性 $c$ 或 $c'$ 的这种确定例如可以通过如下方式进行,即,用机器人1以测试方式提前驶近接触部位2、2'并且机器人以预先给定的、尤其是变化的力侵入到接触部位中并在此检测(对应的)侵入深度和/或相反地机器人1侵入预先给定的、尤其是变化的侵入深度并在此检测(对应的)反作用力。

[0062] 接触刚性可以特定于接触部位地被确定,例如通过上述以测试方式的侵入,在接

触部位2处确定接触刚性 $c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}$ 和在接触部位2'处确定接触刚性 $c' = \frac{c_1 \cdot c'_2}{c_1 + c'_2}$ ,其中,然后

根据当前接触部位而定来选出相应的接触刚性或者在多个接触刚性之间进行内插或外插。同样地,对于接触部位2、2',可以统一地确定平均接触刚性 $(c+c')/2$ 。应理解的是,两个接触部位2、2'仅用于简化的阐述。

[0063] 在机器人1驶近接触部位2期间,同样也可以在线进行接触刚性 $c$ 的确定,以便已经施加额定力 $F_s$ ,尤其是在侵入开始时通过比较侵入深度和在此情况下检测到的反作用力来确定。

[0064] 在步骤S30中,检测接触部位2由正在运动的机器人1的当前或即将来临的接触 $x_c$ 。

[0065] 这尤其可以通过如下方式进行,即,借助集成在驱动器5中的力传感器和/或在机器人1的法兰上的力传感器5'检测接触部位2和接触该接触部位的机器人1之间的反作用力,并基于该反作用力检测当前接触。

[0066] 同样,可以借助在一种变型方案中也可以与机器人1间隔开的机器人引导的摄像机4来检测机器人1与接触部位2之间的距离,并基于该距离检测当前的或即将来临的接触 $x_c$ 。

[0067] 基于在步骤S10中预先给定的额定力 $F_s$ 、在步骤S20中确定的接触刚性 $c$ 以及在步骤S30中检测到的接触 $x_c$ ,控制器3在步骤S40中确定机器人1的额定姿势 $x_s$ ,在该额定姿势中,机器人施加额定力 $F_s$ 。

[0068] 这在图2中借助线性假设的或近似的模型简化地示出。可以看出,在该实施例中通过 $x_s = \frac{F_s}{c} - x_c$ 得到额定姿势 $x_s$ 。

[0069] 在步骤S50中,控制器3通过其驱动器5将正在运动的机器人1制动为,使得机器人1在额定姿势 $x_s$ 下停止,并且然后在该额定姿势中相应地将额定力 $F_s$ 施加到接触部位2上。

[0070] 这可以特别是模型支持地在考虑到接触刚性 $c$ 和检测机器人1的运动 $dx/dt$ 、 $d^2x/dt^2$ 的情况下进行。如果简化地将机器人的质量和驱动力投影到质量 $m$ 上并且将驱动力 $F_x$ 沿图1中绘出的 $x$ 轴方向投影,则在忽略另外的力如摩擦、重力等的情况下得出模型:

$$[0071] \quad m \frac{d^2x}{dt^2} = \begin{cases} F_x & \Leftrightarrow x < x_c \\ F_x - c \cdot (x - x_c) & \Leftrightarrow x \geq x_c \end{cases}$$

[0072] 由此,可以利用接触时所检测到的速度和在 $x_s$ 时所要求的停止来确定并命令相应的驱动力。

[0073] 然而,不必计算额定姿势 $x_s$ 。在一种变型方案中,例如可以由机器人1或其在接触时的接触区域的速度和所确定的弹簧刚性 $c$ 来确定、尤其是模型支持地预测:何时达到额定力 $F_s$ ,并且相应(较)早地或(较)晚地开始制动和/或相应至少阶段方式地较强地或较弱地制动。

[0074] 在接触部位2的例子中,在 $x_s$ 的情况下达到额定力 $F_s$ 之前,但是首先在正在运动的机器人1接触所述接触部位2之后,在 $x_b$ 情况下开始制动。

[0075] 同样地,尤其在如通过 $c'_2 > c_2$ 示例性简示的高接触刚性的情况下,还在正在运动的机器人在 $x_c$ 情况下与接触部位2'接触之前,就已经在 $x'_b$ 的情况下使得正在运动的机器人1通过其驱动器5开始制动,以通过已停止的机器人将额定力 $F_s$ 施加到接触部位2'上。

[0076] 这也阐明了,可以基于或根据机器人1的姿势来选出接触刚性或者可以在多个接触刚性之间进行内插或外插。根据机器人1的姿势而定,机器人接触接触部位2或2',从而在步骤S20中可以分别选出为此确定的特定于姿势的接触刚性 $c$ 或 $c'$ 。在另一姿势中,可以从这些接触刚性 $c$ 、 $c'$ 中进行内插或外插。

[0077] 虽然在前述说明中阐述了示例性的实施方式,但需要指出的是,可以进行大量的变型。此外还应指出,这些示例性的实施方式仅是举例,而不应以任何方式限制本发明的保护范围、应用和结构。更确切地说,通过上述说明为本领域技术人员提供了用于转化至少一个示例性实施方式的指导,其中,可以尤其在所述组成部分的功能和布置方面进行各种修改,只要不背离权利要求书所述技术方案及其等同的特征组合的技术方案的保护范围即可。

[0078] 附图标记列表

[0079] 1机器人

[0080] 2、2' 接触部位

[0081] 3控制器

[0082] 4摄像机

[0083] 5具有力或力矩传感器的驱动器

[0084] 5' 力或力矩传感器

[0085]  $c$ 接触刚性

- [0086]  $c_1$  机器人1的刚性
- [0087]  $c_2$ 、 $c'_2$  接触部位2/2' 的刚性
- [0088]  $F_s$  额定力
- [0089]  $x_c$  接触
- [0090]  $x_s$  额定姿势
- [0091]  $x_b$ 、 $x'_b$  制动开始

