



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105555222 B

(45)授权公告日 2018.08.17

(21)申请号 201480051427.2  
 (22)申请日 2014.09.19  
 (65)同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 105555222 A  
 (43)申请公布日 2016.05.04  
 (30)优先权数据  
 2013-197003 2013.09.24 JP  
 (85)PCT国际申请进入国家阶段日  
 2016.03.17  
 (86)PCT国际申请的申请数据  
 PCT/JP2014/074917 2014.09.19  
 (87)PCT国际申请的公布数据  
 W02015/046081 JA 2015.04.02  
 (73)专利权人 索尼奥林巴斯医疗解决方案公司  
 地址 日本东京  
 (72)发明人 福岛哲治 小久保亘 坪井利充  
 宫本敦史 长阪宪一郎 广濑宪志  
 (74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限  
 责任公司 11240  
 代理人 田喜庆 吴孟秋

(51)Int.Cl.  
 A61B 34/30(2016.01)  
 A61B 90/00(2016.01)  
 (56)对比文件  
 US 7646161 B2,2010.01.12,全文.  
 US 5231279 A,1993.07.27,全文.  
 US 5719480 A,1998.02.17,全文.  
 CN 101426446 A,2009.05.06,全文.  
 CN 102764159 A,2012.11.07,全文.  
 US 7646161 B2,2010.01.12,全文.  
 US 8425403 B2,2013.04.23,全文.  
 US 5546508 A,1996.08.13,全文.  
 JP 特开平10-231100 A,1998.09.02,全文.  
 US 6120433 A,2000.09.19,全文.  
 US 2013/0079930 A1,2013.03.28,全文.  
 Ken"ichiro Nagasaka et al.《Whole-body Cooperative Force Control for a Two-Armed and Two-Wheeled Mobil Robot Using Generalized Inverse Dynamis and Idealized Joint Units》.《2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation》.2010,第3377-3382页、说明书附图1-7.

审查员 张文静

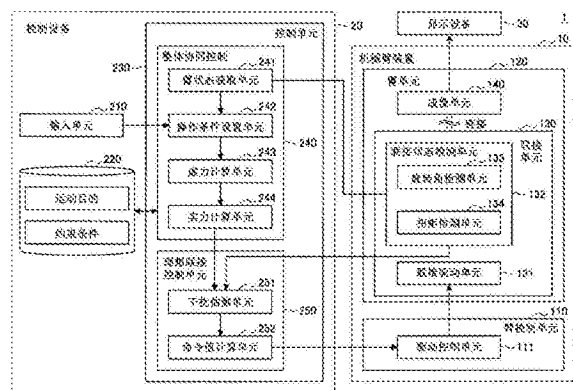
权利要求书2页 说明书35页 附图11页

(54)发明名称

医用机械臂装置、医用机械臂控制系统、医用机械臂控制方法、及程序

(57)摘要

为用户加强能用性,并且减少用户的负担。提供一种医用机械臂装置,包括:多个联接部,所述多个联接部被配置为连接多个链接件,并且在配置有该多个链接件的多链接件结构驱动时实现至少6以上的自由度;和驱动控制部,被配置为基于联接部的状态控制联接部的驱动。附接至多链接件结构的前端的前端单元包括至少一种医疗工具。



CN 105555222 B

1. 一种医用机械臂装置,包括:

多个联接单元,被配置为连接多个链接件,并且相对于由多个所述链接件构成的多链接件结构体的驱动实现至少6自由度以上的自由度;以及

驱动控制单元,被配置为基于所述联接单元的状态控制所述联接单元的驱动;

其中,安装在所述多链接件结构体的顶端的顶端单元为至少一种医疗器械;

其中,使用基于检测出的多个所述联接单元的状态而获取的所述多链接件结构体的状态以及所述多链接件结构体的运动目的和约束条件,所述驱动控制单元控制所述联接单元的驱动;

所述顶端单元是成像单元,被配置为安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端并且获取拍摄目标的图像,

其中,所述运动目的是转向动作,其中,安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端的顶端单元控制至少一个致动器,使得所述成像单元的拍摄方位固定至所述拍摄目标而仅改变拍摄角度。

2. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,基于虚力和实际力计算控制值,所述虚力是用于在描述作用于所述多链接件结构体的力与在所述多链接件结构体中产生的加速度之间的关系的操作空间内实现所述运动目的的虚力,所述实际力是基于所述约束条件通过将所述虚力转换成用于驱动所述联接单元的实际力而获得的。

3. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,所述驱动控制单元基于命令值控制所述联接单元的驱动,所述命令值通过校正干扰对控制值的影响而计算,用于实现所述多链接件结构体的理想响应。

4. 根据权利要求3所述的医用机械臂装置,

其中,利用干扰估测值,通过校正所述控制值来计算所述命令值,所述干扰估测值是基于检测出的所述联接单元的状态而估测的,表示干扰对所述联接单元的驱动的影响。

5. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,所述运动目的至少是控制所述联接单元的状态以抵消作用于所述多链接件结构体的重力,并且控制所述联接单元的状态以支持所述多链接件结构体向从外部进一步施加的力的方向移动的动力辅助动作。

6. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,在所述转向动作中,所述顶端单元与所述拍摄目标之间的距离保持不变。

7. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,在所述转向动作中,所述成像单元与所述拍摄目标之间的距离保持不变。

8. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,多个所述联接单元包括用于检测所述联接单元的状态的联接状态检测单元,所述联接状态检测单元至少包括:

扭矩检测单元,被配置为检测所述联接单元的生成扭矩和从外部施加到所述联接单元的外部扭矩;以及

旋转角检测单元,被配置为检测所述联接单元的旋转角。

9. 根据权利要求3所述的医用机械臂装置,

其中,所述控制值和所述命令值是在所述联接单元产生的生成扭矩。

10. 根据权利要求1所述的医用机械臂装置,

其中,所述医用机械臂装置的所述联接单元包括旋转机构,并且控制所述旋转机构的旋转驱动以控制所述医用机械臂装置的驱动。

11. 一种医用机械臂控制系统,具备:

医用机械臂装置,包括:

多个联接单元,连接多个链接件并且相对于由多个所述链接件构成的多链接件结构体实现至少6自由度以上的自由度;

和

驱动控制单元,基于检测出的多个所述联接单元的状态控制所述联接单元的驱动;

其中,安装在所述多链接件结构体的顶端的顶端单元为至少一种医疗器械;以及

控制设备,包括整体协同控制单元,利用基于检测出的多个所述联接单元的状态而获取的所述多链接件结构体的状态以及所述多链接件结构体的运动目的和约束条件,所述整体协同控制单元控制所述联接单元的驱动;

所述顶端单元是成像单元,被配置为安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端并且获取拍摄目标的图像,

其中,所述运动目的是转向动作,其中,安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端的顶端单元控制至少一个致动器,使得所述成像单元的拍摄方位固定至所述拍摄目标而仅改变拍摄角度。

12. 一种安装有一程序的计算机,所述程序用于执行下列功能:

检测多个联接单元的状态的功能,所述多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于由多个所述链接件的构成多链接件结构体实现至少6自由度以上的自由度;以及

基于检测出的多个所述联接单元的状态控制所述联接单元的驱动的功能,

其中,安装在所述多链接件结构体的顶端的顶端单元为至少一种医疗器械,

其中,使用基于检测出的多个所述联接单元的状态而获取的所述多链接件结构体的状态以及所述多链接件结构体的运动目的和约束条件,控制所述联接单元的驱动;

所述顶端单元是成像单元,被配置为安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端并且获取拍摄目标的图像,

其中,所述运动目的是转向动作,其中,安装在用作所述多链接件结构体的臂的顶端的顶端单元控制至少一个致动器,使得所述成像单元的拍摄方位固定至所述拍摄目标而仅改变拍摄角度。

## 医用机械臂装置、医用机械臂控制系统、医用机械臂控制方法、及程序

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种医用机械臂装置、医用机械臂控制系统、医用机械臂控制方法、以及程序。

### 背景技术

[0002] 近年来,在医疗领域和工业领域中,已经广泛使用机械装置,从而以高准确度快速执行任务。通常,机械装置是其中通过联接单元将多个链接件彼此连接的多链接件结构,并且当控制该多个联接单元的旋转驱动时,控制整个机械装置的驱动。

[0003] 此处,位置控制和力控制被称为机械装置和各个联接单元的控制方法。例如,在位置控制中,将诸如角度等命令值提供给联接单元的致动器,并且根据命令值控制联接单元的驱动。同时,在力控制中,给定通过整个机械装置施加到任务目标的力的目标值,并且控制联接单元的驱动(例如,由联接单元产生的扭矩),以使得实现由目标值所指示的力。

[0004] 通常,因为位置控制便于控制并且系统配置简单,所以通过位置控制驱动大多数机械装置。然而,位置控制因不能容易地灵活处理外部力而通常被称为“硬性控制”,并且位置控制不适用于在与各种外界执行物理相互作用(例如,与人的物理相互作用)的同时执行任务(运动目的)的机械装置。同时,力控制虽然具有复杂的系统配置,但是,能够实现动力级的“软性控制”,因此,力控制是一种特别适用于执行与人的物理相互作用的机械装置的控制方法和具有良好能用性的控制方法。

[0005] 例如,作为对其施加力控制的机械装置,专利文献1公开了包括配置有2个轮的移动机构和配置有多个联接单元的臂单元、并且执行控制以使得以协同方式整体驱动轮和联接单元(执行整体协同控制)的机械装置。

[0006] 此外,在力控制中,需要以高准确度检测机械装置的每个联接单元的扭矩(包括通过联接单元产生的生成的扭矩和从外部施加到联接单元的外部扭矩)并且执行反馈控制和/或前馈控制。例如,专利文献2公开了包括解耦结构并且执行其中尽可能减少振动影响的高准确度扭矩检测的扭矩传感器。

[0007] 引用列表

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:JP 2010-188471A

[0010] 专利文献2:JP 2011-209099A

### 发明内容

[0011] 技术问题

[0012] 同时,近年来,在医疗领域中,尝试使用其中在执行各个医疗程序(例如,手术或者检查)时将各个医疗单元(前端单元)安装在臂单元的前端处的平衡臂。例如,已经提出了这样一种方法,即,其中,将诸如显微镜、内诊镜、或者成像单元(摄像机)等具有各种成像功能

的单元安装在平衡臂上作为前端单元的臂单元的前端上,并且执业者(用户)在观察通过前端单元捕获的疫区图像同时执行各种医疗程序。然而,当移动臂单元并且由此使设备尺寸趋于增大时,不得不将平衡臂配备有用于保持力平衡的制衡重体(也被称为衡重体或者平衡体)。医疗程序中使用的设备尺寸不得不变小,因为需要确保用于医疗程序的任务空间,但是,所提出的一般平衡臂很难满足这种需求。此外,在平衡臂中,仅臂单元的某种驱动,例如,仅用于在(二维)平面内移动前端单元的双轴驱动为电驱动,并且需要执业者或者其周围医务人员的手动定位来移动臂单元和前端单元。因此,在一般平衡臂中,在拍摄时难以确保稳定性(例如,前端单元的定位准确度、振动抑制等)并且难以确保可以在各个方向上进行拍摄的拍摄自由度,例如,在其中将患者身体的特定部位固定为进行拍摄的部位的状态下进行拍摄的拍摄自由度。

[0013] 根据该情形,已经提出其中通过位置控制控制驱动的医用机械臂装置作为取代平衡臂的设备。然而,为了更为高效地执行医疗程序并且减少用户负担,需要能够更为直观控制臂单元和前端单元的位置或者姿势的高操作性来执行机械臂装置的驱动控制。在其中通过位置控制控制驱动的机械臂装置中,很难满足该用户需求。

[0014] 根据上述内容,希望通过以高稳定性和高自由度的操作性实现能够执行前端单元和臂单元的驱动控制的医用机械臂装置而高效执行医疗程序并且在医疗程序过程中减少用户的负担。有哪次,本公开提供一种医用机械臂装置、医用机械臂控制系统、医用机械臂控制方法、以及一种程序,其为新型和改进型并且能够进一步提高用户便利性并且进一步减少用户负担。

[0015] 问题解决方案

[0016] 根据本公开的实施方式,提供一种包括多个联接单元和驱动控制单元的医用机械臂装置,该多个联接单元被配置为连接多个链接件并且在配置有该多个链接件的多链接件结构驱动时实现至少6以上的自由度;并且驱动控制单元被配置为基于联接单元的状态控制联接单元的驱动。附接至多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

[0017] 根据本公开的另一实施方式,提供一种包括医用机械臂装置和控制设备的医用机械臂控制系统,医用机械臂装置包括多个联接单元和驱动控制单元,该多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有该多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度,并且驱动控制单元基于该多个联接单元的检测的状态控制联接单元的驱动;并且控制设备包括整体协同控制单元,整体协同控制单元被配置为利用基于该多个联接单元的检测的状态以及该多链接件结构的运动目的和约束条件所获取的多链接件结构的状态根据广义逆动力学计算用于该多链接件结构的整体协同控制的控制值。附接至该多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

[0018] 根据本公开的另一实施方式,提供一种医用机械臂控制方法,包括:检测多个联接单元的状态,该多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有该多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度;并且基于该多个联接单元的检测的状态控制联接单元的驱动。附接至该多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

[0019] 根据本公开的另一实施方式,提供一种用于使计算机执行下列功能的程序:检测多个联接单元的状态的功能,该多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有该多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度;和基于该多个联接单元的检测的

状态控制联接单元的驱动的功能。附接至该多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

[0020] 根据本公开,在机械臂装置中具有多链接件结构的臂单元具有至少6以上的自由度,并且通过驱动控制单元控制配置臂单元的多个联接单元中的各个的驱动。此外,将医疗装置安装在臂单元的前端处。如上所述,当控制各个联接单元的驱动时,实现了具有高自由度的臂单元的驱动控制,并且实现了对用户具有高操作性的医用机械臂装置。

[0021] 发明的有利效果

[0022] 如上所述,根据本公开,可以进一步提高用户便利性并且进一步减少用户负担。

## 附图说明

[0023] 【图1】图1是用于描述出于医疗用途使用根据本公开的实施方式的机械臂装置的应用例的示例图。

[0024] 【图2】图2是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置的外观的示意图。

[0025] 【图3】图3是示意性地示出了根据本公开的实施方式的其中沿着通过旋转轴的截面切割联接单元的致动器的状态的截面图。

[0026] 【图4A】图4A是示意性地示出了从驱动轴的轴方向上观看图3中所示的扭矩传感器的状态的示意图。

[0027] 【图4B】图4B是示出了应用于图3中所示的致动器的扭矩传感器的另一示例性配置的示意图。

[0028] 【图5】图5是用于描述根据本公开的实施方式的理想联接控制的示例图。

[0029] 【图6】图6是示出了根据本公开的实施方式的机械臂控制系统的示例性配置的功能框图。

[0030] 【图7】图7是用于描述根据本公开的实施方式的枢转移动(即,臂移动的具体实施例)的示例图。

[0031] 【图8】图8是用于描述实现图7中所示的枢转移动的运动目的和约束条件的示例图。

[0032] 【图9】图9是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置的具有冗余自由度的变形例的外观的示意图。

[0033] 【图10】图10是示出了根据本公开的实施方式的机械臂控制方法的处理过程的流程图。

[0034] 【图11】图11是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置和控制设备的硬件配置的示例性配置的功能框图。

## 具体实施方式

[0035] 在下文中,将参考附图详细描述本公开的优选实施方式。应注意,在本说明书和附图中,以相同参考标号指示具有大致相同功能和结构的结构元件,并且省去了对这些结构元件的重复性说明。

[0036] 将按照下列顺序进行描述。

[0037] 1. 医用机械臂装置的概述

- [0038] 2.本公开的实施方式
- [0039] 2-1.机械臂装置的外观
- [0040] 2-2.广义逆动力学
- [0041] 2-2-1.虚力计算过程
- [0042] 2-2-1.实际力计算过程
- [0043] 2-3.理想联接控制
- [0044] 2-4.机械臂控制系统的配置
- [0045] 2-5.运动目的的具体实例
- [0046] 3.机械臂控制方法的处理过程
- [0047] 4.硬件配置
- [0048] 5.结论
- [0049] <1.医用机械臂装置的概述>

[0050] 首先,为了进一步阐明本公开,将描述发明人公开本公开的背景。

[0051] 将参考图1描述出于医疗用途使用根据本公开的实施方式的机械臂装置的应用例。图1是用于描述出于医疗用途使用根据本公开的实施方式的机械臂装置的应用例的示例图。

[0052] 图1示意性地示出了使用根据本实施方式的机械臂装置的示例性医疗用途。具体地,例如,图1示出了其中作为执业者(用户)520的医生使用诸如手术刀、镊子、以及钳子等手术仪器521在医疗程序平台530上对医疗程序目标(患者)540执行手术的实施例。在下列描述中,医疗程序指包括作为用户520的医生对医疗程序目标540的患者执行诸如手术或者检查等各种医学治疗的一般概念。图1中的实施例示出了作为医疗程序的实施例的手术,但是,使用机械臂装置510的医疗程序并不局限于手术并且可以是诸如使用内诊镜的检查等各种其他医疗程序。

[0053] 根据本实施方式的机械臂装置510安装在医疗程序平台530的侧部。机械臂装置510包括用作底部(base)的底部单元511和从底部单元511延伸的臂单元512。臂单元512包括多个联接单元513a、513b、513c、通过联接单元513a和513b连接的多个链接件514a和514b、以及安装在臂单元512的前端处的成像单元515。在图1所示的实施例中,出于简化之目的,臂单元512包括3个联接单元513a至513c以及2个链接件514a和514b,但是,实际上,例如,可以适当地设置联接单元513a至513c以及链接件514a和514b的数目和形状以及联接单元513a至513c的驱动轴的方向,以鉴于臂单元512和成像单元515的位置和姿势的自由度明确所需的自由度。

[0054] 联接单元513a至513c具有连接可旋转的链接件514a和514b的功能,并且当旋转地驱动联接单元513a至513c时,控制臂单元512的驱动。此处,在下列描述中,机械臂装置510的各个部件的位置位于指定用于驱动控制的空间中的位置(坐标),并且各个部件的姿势位于指定用于驱动控制的空间中的任意轴方向(角)上。此外,在下列描述中,臂单元512的驱动(或者驱动控制)指通过执行联接单元513a至513c的驱动(或者驱动控制)和联接单元513a至513c的驱动(或者驱动控制)改变(控制)臂单元512的各个部件的位置和姿势(变化)。

[0055] 各种医疗装置连接至作为前端单元的臂单元512的前端。在图1中示出的实施例

中,将成像单元515安装在作为示例性前端单元的臂单元512的前端处。成像单元515是获取拍摄目标的图像(拍摄图像)的单元并且是例如能够捕获移动图像或者静止图像的摄像机。如图1所示,通过机械臂装置510控制臂单元512和成像单元515的姿势或者位置,以使得安装在臂单元512的前端处的成像单元515拍摄医疗程序目标540的医疗程序部位的状态。安装在臂单元512的前端处的前端单元并不局限于成像单元515并且可以是各种医疗装置。例如,医疗装置包括执行医疗程序时所使用的诸如内窥镜、显微镜、具有诸如成像单元515等成像功能的单元等各种单元、各种医疗程序仪器、以及检查装置。如上所述,根据本实施方式的机械臂装置510是配备有医疗装置的医用机械臂装置。此外,具有两个成像单元(摄像机单元)的立体摄像机可安装在臂单元512的前端处并且可执行拍摄,以使得将成像目标显示为三维(3D)图像。

[0056] 此外,诸如监控器或者显示器等显示设备550被安装在面向用户520的位置处。在显示设备550的显示屏幕上显示通过成像单元515捕获的医疗程序部位的捕获图像。用户520在查看显示设备550的显示屏幕上显示的医疗程序部位的捕获图像时执行各种治疗。

[0057] 如上所述,在本实施方式中,在医学领域中,提出了一种在通过机械臂装置510对医疗程序部位进行拍摄的同时执行手术的技术。此处,在包括手术的各种医疗程序中,需要通过高效执行医疗程序减少用户520和患者540的疲惫感或者负担。例如,为了满足该需求,机械臂装置510中的下列功能被视为比较理想。

[0058] 首先,第一点,机械臂装置510应确保用于手术的任务空间。如果臂单元512或者成像单元515阻碍执业者的视野或者在用户520对医疗程序目标540执行各种治疗的同时阻碍执行治疗的手的运动,则手术效率降低。此外,例如,尽管图1中未示出,然而,在实际手术情景中,执行将仪器交给用户520或者检查患者540的各种生命体征等各种辅助任务的多个其他医生和/或护士通常位于用户520和患者540的附近,并且存在用于执行辅助任务的其他设备,因此,手术环境比较复杂。因此,小型尺寸的机械臂装置510比较理想。

[0059] 接着,第二点,机械臂装置510应具有用于移动成像单元515的高操作性。例如,用户520可能希望在根据手术部位或者手术内容对医疗程序部位执行治疗的同时从各个位置和角度观察相同的医疗程序部位。为了改变观察医疗程序部位的角度,则需要改变成像单元515相对于医疗程序部位的角度,但此时,更希望在其中将成像单元515的拍摄方向固定至医疗程序部位的状态下仅改变拍摄角度(即,在拍摄相同部位时)。因此,例如,机械臂装置510应具有诸如转向移动(枢转移动)等高自由度的操作性,其中,成像单元515在将成像单元515的拍摄方向固定至医疗程序部位并且圆锥体的轴被用作枢转轴的状态下在将医疗程序部位作为顶点的圆锥体表面内移动。因为将成像单元515的拍摄方向固定至特定的医疗程序部位,所以枢转移动也被称为点锁移动。

[0060] 此外,例如,为了改变成像单元515的位置和角度,考虑其中用户520手动移动臂单元512以将成像单元515移动至理想位置和理想角度的方法。因此,希望具有即使使用一只手也能容易执行成像单元515的移动、枢转移动等的操作性。

[0061] 此外,存在用户520在手术过程中使用双手执行治疗的同时将通过成像单元515捕获的捕获图像的拍摄中心从正在执行治疗的部位移至另一部位(例如,执行下一步治疗的部位)的需求。因此,当希望改变成像单元515的位置和姿势时,需要通过诸如踏板等输入单元的操作输入的诸如控制臂单元512的驱动的方法等臂单元512的各种驱动方法以及通过



手动运动控制臂单元512的驱动的方法。

[0062] 例如,如上所述,关于第二点中的功能,机械臂装置510应具有能够通过枢转移动或者手动运动支持简单移动并且满足用户520的直觉或者期望的高操作性。

[0063] 最后,第三点,机械臂装置510应在臂单元512的驱动控制时具有稳定性。臂单元512的驱动控制稳定性可以是驱动臂单元512时前端单元的位置和姿势稳定性。臂单元512的驱动控制稳定性还包括驱动臂单元512时前端单元的平滑移动和振动抑制(振动抑制)。例如,如图1中所示的实施例,当前端单元是成像单元515时,如果成像单元515的位置或者姿势不稳定,则显示设备550的显示屏幕上所显示的捕获图像不稳定,并且用户可能具有不舒服的感觉。具体地,当手术中使用机械臂装置510时,可以采用其中将包括两个成像单元(摄像机单元)的立体摄像机安装为前端单元并且显示基于通过立体摄像机获得的拍摄图像生成的3D图像的使用方法。如上所述,当显示3D图像时,如果立体摄像机的位置或者姿势不稳定,则用户可能遭遇3D眩晕。此外,通过成像单元515拍摄的观察范围可被放大至约 $\phi 15\text{mm}$ ,视手术部位或者手术内容而定。如上所述,当成像单元515放大并且拍摄窄范围时,成像单元515的轻微震动被示出为成像图像的较大震动或者偏离。因此,在臂单元512和成像单元515的驱动控制过程中需要具有约1mm许可范围内的高定位准确度。如上所述,在臂单元512的驱动控制过程中需要高准确性响应度和高定位准确度。

[0064] 发明人已经就上述所述3中功能回顾了基于位置控制的现有一般平衡臂和机械臂装置。

[0065] 首先,关于确保用于第一点中手术的任务空间,在一般平衡臂中,当移动臂单元时,将用于保持力平衡的制衡重体(也被称为衡重体或者平衡体)安装在底部单元等内,并且由此很难减少平衡臂装置的尺寸,并且很难说实现了相应的功能。

[0066] 此外,关于第二点中的高操作性,在一般平衡臂中,仅臂单元的某种驱动,例如,仅用于在(二维)平面内移动成像单元的双轴驱动是电驱动,并且臂单元和成像单元的移动需要手动定位,并且由此很难说可以实现高操作性。此外,在基于位置控制的一般机械臂装置中,因为通过臂单元的驱动控制所使用的位置控制很难灵活地处理外部力,即,成像单元的位置和姿势控制,所以位置控制通常被称为“硬性控制”并且不适用于实现满足用户直觉的理想操作性。

[0067] 此外,关于第三点中臂单元的驱动控制稳定性,臂单元的联接单元通常通常具有诸如摩擦、惯性等不易于被模型化的因素。在基于位置控制的一般平衡臂或者机械臂装置中,这些因素充当干扰联接单元的驱动控制的作用,并且即使当给定理论上适当的控制值(例如,应用于联接单元电机的当前值)时,也存在其中不能实现理想驱动(例如,在联接单元电机中以理想的角度旋转)的情况,并且很难实现臂单元的驱动控制所需的高稳定性。

[0068] 如上所述,发明人已经回顾了出于医疗用途所使用的机械臂装置并且认识到存在对有关机械臂装置的上述三点功能的需求。然而,很难使基于位置控制的一般平衡臂或者机械臂装置容易完成这些功能。发明人在回顾了满足这三点功能的配置之后开发了根据本公开的机械臂装置、机械臂控制系统、机械臂控制方法、以及程序。在下文中,将详细描述由发明人开发的配置的优选实施方式。

[0069] <2. 本公开的实施方式>

[0070] 下面将描述根据本公开的实施方式的机械臂控制系统。在根据本实施方式的机械

臂控制系统中,通过利用广义逆动力学的整体协同控制控制安装在机械臂装置中的多个联接单元的驱动。此外,此外,将通过校正干扰影响实现命令值的理想响应的理想联接控制应用于联接单元的驱动控制。

[0071] 在本实施方式的下列描述中,将在【2-1.机械臂装置的外观】中首先描述根据本实施方式的机械臂装置的外观和机械臂装置的示意性配置。然后,将在【2-2.广义逆动力学】和【2-3.理想联接控制】中描述广义逆动力学的概述和根据本实施方式的用于机械臂装置的控制的理想联接控制。然后,将参考【2-4.机械臂控制系统的配置】中的功能框图描述根据本实施方式的用于控制机械臂装置的系统的配置。最后,将在【2-5.运动目的的具体实例】中描述利用根据本实施方式的机械臂装置中的广义逆动力学的整体协同控制的具体实例。

[0072] 此外,将以其中根据本公开的实施方式的机械臂装置的臂单元的前端单元是成像单元并且在本公开的实施方式的图1中所示的手术过程中通过成像单元拍摄医疗程序部位的实例中继续下列描述,但是,本实施方式并不局限于该实例。即使当出于另一用途使用包括不同前端单元的机械臂装置时,也可应用根据本实施方式的机械臂控制系统。

[0073] 【2-1.机械臂装置的外观】

[0074] 首先,将参考图2描述根据本公开的实施方式的机械臂装置的示意性配置。图2是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置的外观的示意图。

[0075] 参考图2,根据本实施方式的机械臂装置400包括底部单元410和臂单元420。底部单元410用作机械臂装置400的底部,并且臂单元420从底部单元410延伸。尽管图2中未示出,然而,可将以集成方式控制机械臂装置400的控制单元安装在底部单元410中,并且通过控制单元可控制臂单元420的驱动。例如,控制单元配置有诸如中央处理单元(CPU)或者数字信号处理器(DSP)等各种信号处理电路。

[0076] 臂单元420包括多个联接单元421a至421f、通过联接单元421a至421f使彼此连接的多个链接件422a至422c、以及安装在臂单元420的前端处的成像单元423。

[0077] 链接件422a至422c是杆状构件,链接件422a的一端通过联接单元421a与底部单元410连接,并且链接件422a的另一端通过联接单元421b与链接件422b的一端连接,并且链接件422b的另一端通过联接单元421c和421d与链接件422c的一端连接。此外,成像单元423连接至臂单元420的前端,即,通过联接单元421e和421f连接至链接件422c的另一端。如上所述,从底部单元410延伸的臂形状被配置成使得将底部单元410用作支撑点,并且使多个链接件422a至422c的各端通过联接单元421a至421f彼此连接。

[0078] 成像单元423是获取拍摄目标的图像的单元并且是例如捕获移动图像、静止图像的摄像机。控制臂单元420的驱动,以使得控制成像单元423的位置和姿势。例如,在本实施方式中,成像单元423拍摄患者身体上作为医疗程序部位的某些区域。此处,安装在臂单元420的前端处的前端单元并不局限于成像单元423,并且各种医疗装置可连接至作为前端单元的臂单元420的前端。如上所述,根据本实施方式的机械臂装置400是配备有医疗装置的医用机械臂装置。

[0079] 此处,将以图2中所示定义的坐标轴继续对机械臂装置400的描述。此外,根据坐标轴定义垂直方向、纵向方向、以及水平方向。换言之,相对于安装在地板上的底部单元410的垂直方向被定义为z轴方向和垂直方向。此外,沿着臂单元420从底部单元410延伸的作为正

交于z轴的方向的方向(即,其中相对于底部单元410定位成像单元423的方向)被定义为y轴方向和纵向方向。而且,正交于y轴和z轴的方向是x轴方向和水平方向。

[0080] 联接单元421a至421f连接可旋转的链接件422a至422c。联接单元421a至421f中的每个均包括旋转机构,旋转机构包括致动器并且在根据致动器的驱动的特定旋转轴上被旋转驱动。例如,通过控制联接单元421a至421f中的每个的旋转驱动,可以控制臂单元420的驱动,以使臂单元420伸长或者缩短(折叠)。此处,通过在【2-2. 广义逆动力学】中描述的整体协同控制和在【2-3. 理想联接控制】中描述的理想联接控制控制联接单元421a至421f的驱动。此外,如上所述,因为根据本实施方式的联接单元421a至421f包括旋转机构,所以在下列描述中,联接单元421a至421f的驱动控制具体指控制联接单元421a至421f的旋转角和/或生成扭矩(通过联接单元421a至421f生成的扭矩)。

[0081] 根据本实施方式的机械臂装置400包括6个联接单元421a至421f并且相对于臂单元420的驱动实现6个自由度。具体地,如图2所示,联接单元421a、421d、以及421f被安装成使得链接件422a至422c的长轴方向与其连接并且将成像单元473与其连接的拍摄方向设置为旋转轴方向,并且联接单元421b、421c、以及421e被安装成使得将作为其中在y-z平面(由y轴和z轴规定的平面)内改变链接件422a至422c和成像单元473与其连接的方向的x轴方向设置为旋转轴方向。如上所述,在本实施方式中,联接单元421a、421d、以及421f具有执行偏转的功能,并且联接单元421b、421c、以及421e具有执行俯仰的功能。

[0082] 通过提供臂单元420的上述所述配置,根据本实施方式的机械臂装置400可在臂单元420驱动时实现6以上的自由度,并且由此可在臂单元420的移动范围内自由移动成像单元423。图2示出了作为成像单元423的示例性移动范围的半球体。当半球体的中心点是通过成像单元423拍摄的医疗程序部位的拍摄中心时,在将成像单元423的拍摄中心固定至半球体的中心点的状态下通过在半球体的球形表面上移动成像单元423可从各个角度拍摄医疗程序部位。

[0083] 此处,将参考图3进一步详细描述图2中所示的联接单元421a至421f的配置。此外,此处,将参考图3描述用作主要涉及联接单元421a至421f的部件之中联接单元421a至421f的旋转驱动的部件的致动器的配置。

[0084] 图3是示意性示出了其中沿着通过旋转轴的截面部分切割根据本公开的实施方式的联接单元421a至421f中的每个的致动器的状态的截面图。图3示出了连接单元421a至421f的部件之间的致动器,但是,联接单元421a至421f可具有任何其他部件。例如,联接单元421a至421f具有用于驱动臂单元420所需的各种部件,诸如,除图3中所示的部件之外的用于控制致动器的驱动的控制单元和用于连接并且支撑链接件422a至422c以及成像单元423的支撑构件。此外,在下列描述的上述描述中,臂单元的联接单元的驱动可指联接单元中致动器的驱动。

[0085] 如上所述,在本实施方式中,通过在后面【2-3. 理想联接控制】中描述的理想联接控制控制联接单元421a至421f的驱动。因此,图3中所示的联接单元421a至421f的致动器被配置为执行对应于理想联接控制的驱动。具体地,联接单元421a至421f的致动器被配置为能够调整与联接单元421a至421f的旋转驱动相关联的旋转角和扭矩。此外,联接单元421a至421f的致动器被配置为能够随意调整旋转运动的粘滞阻力系数。例如,通过从外部施加的力可以实现其中容易执行旋转的状态(即,通过手动运动容易移动臂单元420)或者通过

从外部施加的力可以实现其中不容易执行旋转的状态(即,通过手动运动不容易移动臂单元420)。

[0086] 参考图3,根据本实施方式的联接单元421a至421f的致动器430包括电机424、电机驱动器425、减速齿轮426、编码器427、扭矩传感器428、以及驱动轴429。如图3所示,编码器427、电机424、减速齿轮426、以及扭矩传感器428按照描述顺序串联连接至驱动轴429。

[0087] 电机424是致动器430中的原动机并且使驱动轴429围绕其轴旋转。例如,电机424是诸如无刷直流电机等电动机。在本实施方式中,当电机424供应电流时,控制旋转驱动。

[0088] 电机驱动器425是用于将电流供应至电机424并且旋转驱动电机424的驱动器电路(驱动器集成电流(IC)),并且通过调整供应至电机424的电流量可控制电机424的转数。此外,电机驱动器425可通过调整供应至电机424的电流量而调整致动器430的旋转运动的粘滞阻力系数。

[0089] 减速齿轮426连接至驱动轴429并且通过以特定减速比使通过电机424产生的驱动轴429的旋转速度减速而产生具有特定值的旋转驱动力(即,扭矩)。使用无齿隙式的高性能减速齿轮作为减速齿轮426。例如,减速齿轮426可以是谐波驱动(注册商标)。通过减速齿轮426产生的扭矩在后续阶段通过连接至减速齿轮426的输出轴的扭矩传感器428被传输至输出构件(未示出)(例如,链接件422a至422c、成像单元423等的连接构件)。

[0090] 编码器427连接至驱动轴429并且检测驱动轴429的转数。基于通过编码器检测的驱动轴429的转数与减速齿轮426的减速比之间的关系可以获得诸如联接单元421a的旋转角、旋转角速度、以及旋转角加速度等信息。

[0091] 扭矩传感器428连接至减速齿轮426的输出轴并且检测通过减速齿轮426产生的扭矩,即,通过致动器430输出的扭矩。在下列描述中,通过致动器430输出的扭矩被简称为“生成扭矩”。

[0092] 如上所述,致动器430可通过调整被供应至电机424的电流量调整电机424的转数。此处,可以根据机械臂装置400的用途适当地设置减速齿轮426的减速比。因此,根据减速齿轮426的减速比通过适当地调整电机424的转数可以控制生成扭矩。此外,在致动器430中,基于通过编码器427检测的驱动轴429的转数可以获得诸如联接单元421a至421f的旋转角、旋转角速度、以及旋转角加速度等信息,并且可以通过扭矩传感器428检测联接单元421a至421f的生成的扭矩。

[0093] 此外,扭矩传感器428可以检测从外部施加的外部扭矩以及通过致动器430产生的生成的扭矩。因此,当电机驱动器425基于通过扭矩传感器428检测的外部扭矩调整被供应至电机424的电流量时,可以调整旋转运动的粘滞阻力系数并且例如实现其中通过从外部施加的力而容易或者不容易执行旋转的状态。

[0094] 此处,将参考图4A和图4B详细描述扭矩传感器428的配置。图4A是示意性示出了从驱动轴429的轴方向观察的图3中所示的扭矩传感器428的状态的示意图。

[0095] 参考图4A,扭矩传感器428包括外环部分431、内环部分432、射束部分433a至433d、以及变形检测元件434a至434d。如图4A所示,外环部分431和内环部分432为同心布置。在本实施方式中,内环部分432连接至输入侧,即,减速齿轮426的输出轴,并且外环部分431连接至输出侧,即,随后阶段的输出构件(未示出)。

[0096] 4个射束部分433a至433d布置在同心布置的外环部分431与内环部分432之间并且

连接外环部分431与内环部分432。如图4A所示,射束部分433a至433d被插入在外环部分431与内环部分432之间,因此,射束部分433a至433d的两个相邻部分形成90°角。

[0097] 变形检测元件434a至434d安装在面向彼此的两个部分处,即,在射束部分433a至433d之间设置成180°角。基于通过变形检测元件433a至433d检测的射束部分433a至433d的变形量可以检测致动器430的生成的扭矩和外部扭矩。

[0098] 在图4A中所示的实施例中,在射束部分433a至433d之中,变形检测元件434a和434b安装在射束部分433a处,并且变形检测元件434c和434d安装在射束部分433c处。此外,变形检测元件434a和434b安装有内置其间的射束部分433a,并且变形检测元件434c和434d安装有内置其间的射束部分433c。例如,变形检测元件434a至434d是附接至射束部分433a和433c的表面的变形量规并且基于电阻的变化检测射束部分433a和433c的几何变形量。如图4A所示,变形检测元件434a至434d安装在4个位置处,并且检测元件434a至434d配置成所谓的惠斯通电桥。因此,因为可以使用所谓的四量规技术检测变形,所以可以降低除其中检测变形的轴之外的轴的干扰影响、驱动轴429的离心率、温度漂移等。

[0099] 如上所述,射束部分433a至433d用作检测其变形的变形诱导体。根据本实施方式的变形检测元件433a至433d的类型并不局限于变形量规,并且可以使用任何其他元件。例如,变形检测元件434a至434d可以是基于磁性特征的变化检测射束部分433a至433d的变形量的元件。

[0100] 尽管图3和图4A中未示出,然而,为了通过扭矩传感器428提供生成扭矩和外部扭矩的检测准确度,可以应用下列配置。例如,当与外环部分431连接的射束部分433a至433d的部分形成比其他部分更薄的厚度时,由于释放支点力矩,所以改善了被检测的变形量的线性度,并且减少了径向负荷的影响。此外,当通经由轴承通过外壳支撑外环部分431和内环部分432时,可以排斥其他轴向力以及来自输入轴和输出轴的力矩的作用。此外,为了减少作用于外环部分431的另一轴向力矩,可以将支撑轴承布置在图3中所示的致动器430的另一端,即,布置编码器427的部分。

[0101] 上面已经参考图4A描述了扭矩传感器428的配置。如上所述,通过图4A中所示的扭矩传感器428的配置,可以高准确度检测致动器430的生成的扭矩和外部扭矩。

[0102] 此处,在本实施方式中,扭矩传感器428的配置并不局限于图4A中所示的配置并且可以是任何其他配置。将参考图4B描述应用于致动器430的除扭矩传感器428之外的扭矩传感器的另一示例性配置。

[0103] 图4B是示出了应用于图3中所示的致动器430的扭矩传感器的另一示例性配置的示意图。参考图4B,根据本变形例的扭矩传感器428a包括外环部分441、内环部分442、射束部分443a至443d、以及变形检测元件444a至444d。与图4A相似,图4B示意性地示出了从驱动轴429的轴方向观察的扭矩传感器428a的状态。

[0104] 在扭矩传感器428a中,外环部分441、内环部分442、射束部分443a至443d、以及变形检测元件444a至444d的功能和配置与上面参考图4A描述的扭矩传感器428的外环部分431、内环部分432、射束部分433a至433d、以及变形检测元件434a至434d的功能和配置相似。根据本变形例的扭矩传感器428a在射束部分443a至443d和外环部分441的连接部分的配置上不同。因此,将集中于射束部分443a至443d以及外环部分441的连接部分的配置描述图4B中所示的扭矩传感器428a,即,不同于图4A中所示的扭矩传感器428。并且将省去重复

性配置的描述。

[0105] 参考图4B,通过扭矩传感器428a的全视图一起放大并且示出了射束部分443b和外环部分441的连接部分。在图4B中,仅放大和示出了射束部分443b与外环部分441的连接部分,即,射束部分443a至443d与外环部分441的四个连接部分之一,但是,射束部分443a、443c、以及443d和外环部分441的其他3个连接部分具有相同的配置。

[0106] 参考图4B中的放大图,在射束部分443b与外环部分441的连接部分处,外环部分441中形成啮合凹入部分,并且射束部分443b与外环部分441连接,以使得射束部分443b的前端与啮合凹入部分啮合。此外,射束部分443b与外环部分441之间形成间隙G1和G2。间隙G1表示射束部分443b与外环部分441之间在射束部分443b朝向外环部分441延伸的方向上的间隙,并且间隙G2表示射束部分443b与外环部分441之间在正交于该方向的方向上的间隙。

[0107] 如上所述,在扭矩传感器428a中,射束部分443a至443d和外环部分441被布置成通过特定间隙G1和G2而彼此分离。换言之,在扭矩传感器428a中,外环部分441与内环部分442分离。因此,因为内环部分442具有运动自由度,而不绑定至外环部分441,所以例如,即使在致动器430驱动时发生振动,通过内环部分442与外环部分441之间的空气间隙G1和G2也可同化由振动引起的变形。因此,当将扭矩传感器428a用作致动器430的扭矩传感器时,可以高准确度检测生成扭矩和外部扭矩。

[0108] 例如,之前通过本申请人提交的专利申请JP 2009-269102A和JP2011-209099A可被称之为关于对应于图3、图4A、以及图4B所示的理想联接控制的致动器430的配置。

[0109] 上面已经参考图2、图3、图4A、以及图4B描述了根据本实施方式的机械臂装置400的示意性配置。接着,将描述用于控制臂单元420的驱动的整体协同控制和理想联接控制,即,根据本实施方式的机械臂装置400中的联接单元421a至421f的驱动。

[0110] **【2-2.广义逆动力学】**

[0111] 接着,将描述根据本实施方式的机械臂装置400的整体协同控制所使用的广义逆动力学的概况。

[0112] 广义逆动力学是基于被配置成使得通过多个联接单元连接多个链接件的多链接件结构(例如,本实施方式的图2中所示的臂单元420)的各种约束条件而将与各种操作空间中的各个维度有关的运动目的转换成通过多个联接单元产生的扭矩的多链接件结构的整体协同控制的基本操作。

[0113] 操作空间是机械装置的力控制的重要概念。操作空间是用于描述作用于多链接件结构的力与多链接件结构的加速度之间的关系的空间。当通过力控制而非位置控制执行多链接件结构的驱动控制时,在将处理多链接件结构和环境的方式用作约束条件的情况下需要操作空间的概念。例如,操作空间是多链接件结构所属的诸如联接空间、笛卡尔空间、以及动量空间等空间。

[0114] 运动目的指示多链接件结构驱动控制时的目标值,例如,希望通过驱动控制实现的多链接件结构的位置、速度、加速度、力、或者阻抗的目标值。

[0115] 例如,约束条件指与与通过多链接件结构的形状或者结构、多链接件结构周围的环境、通过用户执行的设置等确定的多链接件结构的位置、速度、加速度、或者力有关的约束条件。例如,约束条件包括关于生成力、优先级、非驱动联接的存在与否、垂直反应力、摩

摩擦力权重、支撑多边形等的信息。

[0116] 就广义动力学而言,为了实现数值计算稳定性和实时处理操作效率,使操作算法配置有用作第一阶段的虚力决策过程(虚力计算过程)和用作第二阶段的实际力转换过程(实际力计算过程)。在用作第一阶段的虚力计算过程中,基于虚力的运动目的和最大值的优先级确定用作实现各个运动目的所需并且作用于操作空间的虚力的虚力。在用作第二阶段的实际力计算过程中,计算的虚力被转换成基于与非驱动联接、垂直反应力、摩擦力权重、支撑多边形等有关的约束通过诸如联接力或者外部力等实际多链接件结构的配置可以实现的实际力。下面将描述虚力计算过程和实际力计算过程。在虚力计算过程、实际力计算过程、以及理想联接控制的下列描述中,为易于理解,存在其中描述作为具体实例的根据图2和图3中所示的本实施方式的机械臂装置400的臂单元420的示例性配置的情况。

[0117] (2-2-1. 虚力计算过程)

[0118] 多链接件结构的联接单元中配置有特定物理量的矢量被称之为“广义变量 $q$ ”(也被称之为“联接值 $q$ ”或者“联接空间 $q$ ”)。通过利用广义变量 $q$ 与雅可比 $J$ 的时间微分值的下列等式(1)定义操作空间 $x$ :

[0119] 【数学式1】

$$\dot{x} = J\dot{q}$$

[0120]

$$\dots\dots (1)$$

[0121] 例如,在本实施方式中, $q$ 表示臂单元420的联接单元421a至421f的旋转角。通过下列等式(2)描述与操作空间 $x$ 有关的运动等式:

[0122] 【数学式2】

$$\ddot{x} = \Lambda^{-1}f + c$$

[0123]

$$\dots\dots (2)$$

[0124] 此处, $f$ 表示作用于操作空间 $x$ 的力。此外, $\Lambda^{-1}$ 表示操作空间惯性逆矩阵, $c$ 表示操作空间偏移加速度,并且通过下列等式(3)和(4)表达 $\Lambda^{-1}$ 和 $c$ 。

[0125] 【数学式3】

$$\Lambda^{-1} = JH^{-1}J^T$$

[0126]  $\Lambda^{-1} = JH^{-1}J^T$

[0127]  $\dots\dots (3)$

$$c = JH^{-1}(\tau - b) + J\ddot{q}$$

[0128]

$$\dots\dots (4)$$

[0129]  $H$ 表示联接空间惯性矩阵, $\tau$ 表示对应于联接值 $q$ 的联接力(例如,联接单元421a至421f的生成的扭矩),并且 $b$ 是表示重力、科里奥利力、离心力的术语。

[0130] 在广义逆动力学中,与操作空间 $x$ 有关的位置和速度的运动目的已知被表示为操作空间 $x$ 的加速度。此时,为了从等式(1)实现作为运动目的给出的目标值的操作空间加速度,通过解出由下列等式(5)表达的某种线性互补问题(LCP)获得作用于操作空间 $x$ 的虚力 $f$ 。

[0131] 【数学式4】

$$[0132] \quad w + \ddot{x} = \Lambda^{-1} f_v + c$$

$$[0133] \quad s.t. \begin{cases} ((w_i < 0) \cap (f_{v_i} = U_i)) \cup \\ ((w_i > 0) \cap (f_{v_i} = L_i)) \cup \\ ((w_i = 0) \cap (L_i < f_{v_i} < U_i)) \end{cases}$$

..... (5)

[0134] 此处,将 $L_i$ 和 $U_i$ 设置为 $f_v$ 的第 $i$ 个分量的负下限值(包括 $-\infty$ )和 $f_v$ 的第 $i$ 个分量的正上限值(包括 $+\infty$ )。例如,使用迭代方法、支点法、利用稳健加速度控制等方法可以解出LCP。

[0135] 此外,当在作为限定性等式等等式(3)和(4)中进行计算时,操作空间惯性逆矩阵 $\Lambda^{-1}$ 和偏移加速度 $c$ 的计算成本较大。因此,已经提出了一种通过应用计算广义力(联接力 $\tau$ )的广义加速度(联接加速度)的准动力学计算(FWD)而高速执行操作空间惯性逆矩阵 $\Lambda^{-1}$ 的计算过程的方法。具体地,利用正向动力学计算FWD可基于与作用于多链接件结构(例如,臂单元420和联接单元421a至421f)的力有关的诸如联接空间 $q$ 、联接力 $\tau$ 、或者重力有关的信息获得操作空间惯性逆矩阵 $\Lambda^{-1}$ 和偏移加速度 $c$ 。如上所述,通过应用与操作空间有关的前向动力学计算FWD可以根据联接单元的数目 $N$ 的计算量 $O(N)$ 计算操作空间惯性逆矩阵 $\Lambda^{-1}$ 。

[0136] 此处,作为运动目的的设置实例,可通过下列等式(6)表达用于通过绝对值 $F_i$ 以下的虚力 $f_{v_i}$ 实现操作空间加速度的目标值(通过在 $x$ 的二阶微分上添加一栏表示)的条件:

[0137] 【数学式5】

$$[0138] \quad L_i = -F_i,$$

$$[0139] \quad U_i = F_i,$$

$$[0140] \quad \ddot{x}_i = \ddot{\bar{x}}_i$$

..... (6)

[0141] 如上所述,与操作空间 $x$ 的位置和速度有关的运动目的可被表示为操作空间加速度的目标值并且具体由下列等式(7)表示(通过在 $x$ 和 $\dot{x}$ 的一阶微分上添加一栏表示操作空间 $x$ 的位置和速度的目标值)。

[0142] 【数学式6】

$$[0143] \quad \ddot{\bar{x}}_i = K_p(\bar{x}_i - x_i) + K_v(\dot{\bar{x}}_i - \dot{x}_i)$$

..... (7)

[0144] 还可以使用分解操作空间的近似法设置与由其他操作空间的线性总和表示的操作空间(动量、笛卡尔相关坐标、互锁联接等)有关的运动目的。此外,需要给定竞争运动目的的优先级。根据每个优先级或者优选顺序的升序解出LCP,并且可以将之前LCP获得的虚力作为随后LCP的已知外力。

[0145] (2-2-2.实际力计算过程)

[0146] 在作为广义逆动力学的第二阶段的实际力计算过程中,执行以实际力和外力替代在(2-2-1.虚力决策过程)中获得的虚力 $f_v$ 的过程。通过下列等式(8)表达基于通过由联接单元产生的生成的扭矩 $\tau_a$ 的虚力和实际力 $f_e$ 实现广义力 $\tau_v = J_v^T f_v$ 的条件。



[0147] 【数学式7】

$$[0148] \begin{bmatrix} J_{vu}^T \\ J_{va}^T \end{bmatrix} (f_v - \Delta f_v) = \begin{bmatrix} J_{eu}^T \\ J_{ea}^T \end{bmatrix} f_e + \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_a \end{bmatrix}$$

..... (8)

[0149] 此处,下标a表示一组驱动联接单元(驱动联接集),并且下标u表示一组非驱动联接单元(非驱动联接集)。换言之,等式(8)中的上部表示非驱动联接单元的空间(非驱动联接空间)的力平衡,并且下部表示驱动联接单元的空间(驱动联接空间)的力平衡。 $J_{vu}$ 和 $J_{va}$ 分别表示与实际力 $f_v$ 作用的操作空间有关的雅可比的非驱动联接分量和驱动联接分量。 $J_{eu}$ 和 $J_{ea}$ 表示与外力 $f_e$ 作用的操作空间有关的雅可比的非驱动联接分量和驱动联接分量。 $\Delta f_v$ 表示很难通过实际力实现的虚力 $f_v$ 的分量。

[0150] 等式(8)中的上部未被定义,例如,通过解出由下列等式(9)表达的二次规划问题(QP)可获得 $f_e$ 和 $\Delta f_v$ 。

[0151] 【数学式8】

$$[0152] \min \frac{1}{2} \varepsilon^T Q_1 \varepsilon + \frac{1}{2} \xi^T Q_2 \xi$$

$$[0153] \text{s. t. } U\xi \geq v$$

[0154] ..... (9)

[0155] 此处, $\varepsilon$ 为等式(8)中的上部各边之间的差并且表示等式误差。 $\varepsilon$ 是 $f_e$ 与 $\Delta f_v$ 的连接矢量并且表示可变矢量。 $Q_1$ 和 $Q_2$ 是表示最小化时权重的正定对称矩阵。此外,使用等式(9)的不等式约束表示与诸如垂直反应力、摩擦圆锥、外力的最大值、以及支撑多边形等外力有关的约束条件。例如,通过下列等式(10)表达与矩形支撑多边形有关的不等式约束。

[0156] 【数学式9】

$$[0157] |F_x| \leq \mu_t F_z,$$

$$[0158] |F_y| \leq \mu_t F_z,$$

$$[0159] F_z \geq 0,$$

$$[0160] |M_x| \leq d_y F_z,$$

$$[0161] |M_y| \leq d_x F_z,$$

$$[0162] |M_z| \leq \mu_r F_z$$

[0163] ..... (10)

[0164] 此处, $z$ 表示接触表面的法线方向,并且 $x$ 和 $y$ 表示垂直于 $z$ 的两个正交切线方向。 $(F_x, F_y, F_z)$ 和 $(M_x, M_y, M_z)$ 是作用于接触点的外力和外力力矩。 $\mu_t$ 和 $\mu_r$ 表示与平移和旋转有关的摩擦系数。 $(d_x, d_y)$ 表示支撑多边形的大小。

[0165] 从等式(9)和(10)获得最小范数或者最小误差的解 $f_e$ 和 $\Delta f_v$ 。通过将从等式(9)获得的 $f_e$ 和 $\Delta f_v$ 代入等式(8)的下部可以获得用于实现运动目的所需的联接力 $\tau_a$ 。

[0166] 如果是其中固定底部的系统,并且不存在非驱动联接,则仅可以联接力替代所有的虚力,并且可在等式(8)中设置 $f_e=0$ 和 $\Delta f_v=0$ 。在这种情况下,从等式(8)中的下部的联接力 $\tau_a$ 可以获得下列等式(11)。

[0167] 【数学式10】

$$\begin{aligned} \tau_a &= J_{va}^T f_v \\ \dots\dots (11) \end{aligned}$$

[0169] 上面已经描述了利用根据本实施方式的广义逆动力学的整体协同控制。如上所述,当在随后执行虚力计算过程和实际力计算过程时,可以获得用于实现所需运动目的的联接力 $\tau_a$ 。换言之,相反,当在联接单元421a至421f运动时通过理论模型反映所计算的联接力 $\tau_a$ 时,联接单元421a至421f被驱动,以实现所需的运动目的。

[0170] 此外,例如,之前由本申请人提交的专利申请JP 2009-95959A和JP 2010-188471A可被称之为关于利用上述所述广义逆动力学的整体协同控制,具体地,关于得出虚力 $f_v$ 的过程、解出LCP并且获得虚力 $f_v$ 的方法、QP问题的解的细节。

[0171] 【2-3.理想联接控制】

[0172] 接着,将描述根据本实施方式的理想联接控制。通过下列等式(12)的二阶延迟系统的运动等式而使联接单元421a至421f中的每个的运动模型化:

[0173] 【数学式11】

$$\begin{aligned} I_a \ddot{q} &= \tau_a + \tau_e - v_a \dot{q} \\ \dots\dots (12) \end{aligned}$$

[0175] 此处, $I_a$ 表示联接单元的惯性力矩(惯量), $\tau_a$ 表示联接单元421a至421f的生成的扭矩, $\tau_e$ 表示作用于联接单元421a至421f中的每个的外部扭矩,并且 $v_a$ 表示联接单元421a至421f中的每个的粘滞阻力系数。等式(12)还可被视为表示联接单元421a至421f中的致动器430的运动的理论模型。

[0176] 如上面【2-2.广义逆动力学】中所描述,通过采用广义逆动力学的计算,可以计算作为各个联接单元421a至421f通过运动目的和约束条件利用实际力实现运动目的的 $\tau_a$ 。因此,理想上,实现了根据由等式(12)表达的理论模型的响应,即,通过将各个计算的 $\tau_a$ 应用于等式(12)实现了理想的运动目的。

[0177] 然而,实际上,存在其中由于各种干扰的影响而使联接单元421a至421f的运动与由等式(12)表达的理论模型之间存在误差(模型误差)的情况。模型误差被分类成由诸如多链接件结构的重量、重心、或者惯性张量等质量属性所产生的误差和由联接单元421a至421f的摩擦、惯性等产生的误差。其中,在构造理论模型时,通过应用高准确度计算机辅助设计(CAD)数据或者识别方法可以相对容易减少由质量属性产生的前者模型误差。

[0178] 同时,由于难以建模等现象,而使得因联接单元421a至421f的摩擦、惯性等而产生后者的建模误差,例如,联接单元421a至421f的减速齿轮426的摩擦等,并且在构造理论模型时仍可保持不可忽略的建模误差。此外,等式(12)中的惯性 $I_a$ 值或者粘滞阻力系数 $v_a$ 与联接单元421a至421f的实际值之间可能存在误差。很难建模的误差可干扰联接单元421a至421f的驱动控制。因此,由于该干扰的影响,实际上,存在其中在由等式(12)表达的理论模型中联接单元421a至421f的运动并不做出响应的情况。因此,即使施加作为通过广义逆动力学计算的联接力的实际力 $\tau_a$ 时,也存在其中很难实现控制目标的运动目的的情况。在本实施方式中,将由原控制系统添加到各个联接单元421a至421f,并且由此视为将联接单元

421a至421f的响应校正为使得执行根据由等式(12)表达的理论模型的理想响应。具体地,在本实施方式中,执行采用联接单元421a至421f的扭矩传感器428个428a的摩擦补偿类型的扭矩控制,此外,甚至可以对有关所请求的生成的扭矩 $\tau_a$ 和请求的外部扭矩 $\tau_e$ 的惯性 $I_a$ 和粘滞阻力系数 $v_a$ 执行根据理想值的理想响应。

[0179] 如上所述,在本实施方式中,控制联接单元的驱动以使得机械臂装置400的联接单元421a至421f基于由等式(12)表达的理论模型执行理想响应被称之为理想联接控制。此处,在下列描述中,因为执行理想响应,所以通过理想联接控制控制其驱动的致动器还被称之为“虚拟致动器(VA)”。下面将参考图5描述根据本实施方式的理想联接控制。

[0180] 图5是用于描述根据本公开的实施方式的理想联接控制的示例图。图5示意性地示出了利用框执行根据理想联接控制的各种操作的概念计算单元。

[0181] 参考图5,致动器610示意性地示出了图3中所示的致动器430的机构,并且电机611、减速齿轮612、编码器613、以及扭矩传感器614对应于图3中所示的电机424、减速齿轮426、编码器427、以及扭矩传感器428(或者图4B中所示的扭矩传感器428a)。

[0182] 此处,当致动器610根据由等式(12)表达的理论模型执行响应时,指当给定等式(12)的右边时实现了左边的旋转角加速度。此外,如等式(12)中的表达,理论模型包括作用于致动器610的外部扭矩术语 $\tau_e$ 。在本实施方式中,为了执行理想联接控制,通过扭矩传感器614测量外部扭矩 $\tau_e$ 。此外,通过基于由编码器613测量的致动器610的旋转角 $q$ 的干扰而应用干扰观察器620来计算作为扭矩估测值的干扰估测值 $\tau_d$ 。

[0183] 框631表示根据由等式(12)表示的联接单元421a至421f的理想联接模型执行操作的计算单元。框631可接收生成扭矩 $\tau_a$ 、外部扭矩 $\tau_e$ 、以及旋转角速度(旋转角 $q$ 的一阶微分)并且输出等式(12)左边所示的旋转角加速度目标值(旋转角目标值 $q^{ref}$ 的二阶微分)。

[0184] 在本实施方式中,通过在【2-2. 广义逆动力学】中描述的方法所计算的生成的扭矩 $\tau_a$ 和通过扭矩传感器614测量的外部扭矩 $\tau_e$ 被输入到框631中。同时,通过编码器613测量的旋转角 $q$ 被输入至表示执行微分操作并且由此计算旋转角速度(旋转角 $q$ 的一阶微分)的计算单元的框632。除生成扭矩 $\tau_a$ 和外部扭矩 $\tau_e$ 之外,通过框632计算的旋转角速度被输入至框631,并且由此通过框631计算旋转角加速度目标值。所计算的旋转角加速度目标值被输入至框633。

[0185] 框633表示基于致动器610的旋转角加速度计算在致动器610中产生的扭矩的计算单元。在本实施方式中,具体地,框633可通过使致动器610的额定惯性 $J_n$ 乘以旋转角加速度目标值而获得扭矩目标值 $\tau^{ref}$ 。在理想响应中,通过使致动器610生成扭矩目标值 $\tau^{ref}$ 实现了理想的运动目的,但是,存在其中因如上所述干扰等而影响实际响应的情况。因此,在本实施方式中,通过干扰观察器620计算干扰估测值 $\tau_d$ ,并且使用干扰估测值 $\tau_d$ 校正扭矩目标值。

[0186] 将描述干扰观察器620的配置。如图5所示,干扰观察器620基于从通过编码器613所测量的旋转角 $q$ 计算的扭矩命令值 $\tau$ 和旋转角速度而计算干扰估测值 $\tau_d$ 。此处,扭矩命令值 $\tau$ 是在校正干扰影响之后最终通过致动器610而产生的扭矩值。例如,当不计算任何干扰估测值 $\tau_d$ 时,将扭矩命令值 $\tau$ 用作扭矩目标值 $\tau^{ref}$ 。

[0187] 干扰观察器620配置有框634和框635。框634是基于致动器610的旋转角速度计算由致动器610产生的扭矩的计算单元。在本实施方式中,具体地,基于通过编码器613测量的旋转角 $q$ 而通过框632计算的旋转角速度被输入至框634。框634可通过执行以传递函数

$J_n s$ 表达的操作获得旋转角加速度,即,通过对旋转角速度求微分,并且通过使所计算的旋转角加速度乘以额定惯性 $J_n$ 而计算实际作用于致动器610的扭矩估测值(扭矩估测值)。

[0188] 在干扰观察器620中,获得扭矩估测值与扭矩命令值 $\tau$ 之间的差,并且由此估测因干扰而产生的作为扭矩值的干扰估测值 $\tau_d$ 。具体地,干扰估测值 $\tau_d$ 可以是之前控制中的扭矩命令值 $\tau$ 与当前控制中的扭矩估测值之间的差。因为通过框634计算的扭矩估测值基于实际测量值,并且通过框633计算的扭矩命令值 $\tau$ 基于由框631表示的联接单元421a至421f的理想理论模型,所以通过获得两个值的差可以估测理论模型中未考虑的干扰影响。

[0189] 为了防止系统发散,干扰观察器620进一步设置有通过框635表示的低通滤波器(LPF)。框635执行由传递函数 $g/(s+g)$ 表示的操作、响应输入值仅输出低频分量、并且使系统稳定。在本实施方式中,通过框634计算的扭矩估测值与扭矩命令值 $\tau^{ref}$ 之间的差值被输入至框635,并且计算作为干扰估测值 $\tau_d$ 的低频分量。

[0190] 在本实施方式中,执行将通过干扰观察器620计算的干扰估测值 $\tau_d$ 加成到扭矩目标值 $\tau^{ref}$ 的前馈控制,并且由此计算作为最终通过致动器610产生的扭矩值的扭矩命令值 $\tau$ 。然后,基于扭矩命令值 $\tau$ 驱动致动器610。具体地,将扭矩命令值 $\tau$ 转换成对应的电流值(电流命令值),将电流命令值施加到电机611,由此驱动致动器610。

[0191] 通过采用上面参考图5所描述的配置,在根据本实施方式的联接单元421a至421f的驱动控制中,即使存在诸如摩擦等干扰分量,也可以使致动器610的响应符合目标值。此外,在联接单元421a至421f的驱动控制中,可以根据通过理论模型而设定的惯性 $I_a$ 和粘滞阻力系数 $v_a$ 执行理想的响应。

[0192] 例如,之前由本申请人提交的专利申请JP 2009-269102A可被称之为关于上述所述理想联接控制的细节。

[0193] 上面已经参考图5描述了根据本实施方式的理想联接控制以及本实施方式中所使用的广义逆动力学。如上所述,在本实施方式中,利用广义逆动力学基于约束条件执行计算用于实现臂单元420的运动目的的联接单元421a至421f的驱动参数(例如,联接单元421a至421f的生成的扭矩值)的整体协同控制。此外,如上参考图5所述,在本实施方式中,当利用广义逆动力学对通过整体协同控制计算的生成的扭矩值执行其中考虑干扰影响的校正时,基于联接单元421a至421f的驱动控制的理论模型执行实现理想响应的理想联接控制。因此,在本实施方式中,可以执行用于实现驱动臂单元420的运动目的的高准确度驱动控制。

[0194] **【2-4. 机械臂控制系统的配置】**

[0195] 接着,将描述根据其中在**【2-2. 广义逆动力学】**和**【2-3. 理想联接控制】**中描述的整体协同控制和理想联接控制应用于机械臂装置的驱动控制的实施方式的机械臂控制系统的配置。

[0196] 将参考图6描述根据本公开的实施方式的机械臂控制系统的示例性配置。图6是示出了根据本公开的实施方式的机械臂控制系统的示例性配置的功能框图。在图6中所示的机械臂控制系统中,主要示出了与机械臂装置的臂单元的驱动控制有关的部分。

[0197] 参考图6,根据本公开的实施方式的机械臂控制系统1包括机械臂装置10、控制设备20、以及显示设备30。在本实施方式中,通过控制设备20执行在**【2-2. 广义逆动力学】**中描述的整体协同控制和在**【2-3. 理想联接控制】**中描述的理想联接控制的各种操作,并且基于操作结果控制机械臂装置10的臂单元的驱动。此外,机械臂装置10的臂单元设置有后面描

述的成像单元140,并且在显示设备30的显示屏幕上显示通过成像单元140所捕获的图像。接着,将详细描述机械臂装置10、控制设备20、以及显示设备30的配置。

[0198] 机械臂装置10包括具有配置有多个联接单元和多个链接件的多链接件结构的臂单元,并且在可移动范围内驱动臂单元,以控制安装在臂单元的前端处的前端单元的位置和姿势。机械臂装置10对应于图2中所示的机械臂装置400。

[0199] 参考图6,机械臂装置10包括臂控制单元110和臂单元120。臂单元120包括联接单元130和成像单元140。

[0200] 臂控制单元110以集成方式控制机械臂装置10并且控制臂单元120的驱动。臂控制单元110对应于上面参考图2所描述的控制单元(图2中未示出)。具体地,臂控制单元110包括驱动控制单元111并且控制臂单元120的驱动,并且根据驱动控制单元111的控制通过控制联接单元130的驱动来控制臂单元120的驱动。更具体地,驱动控制单元111通过控制被供应至电机的电流量控制联接单元130的致动器中的电机转数以及联接单元130的旋转角和生成扭矩。此处,如上所述,由驱动控制单元111基于控制设备20的操作结果对臂单元120执行驱动控制。因此,通过驱动控制单元111控制并且被供应至联接单元130的致动器中的电机的电流量为基于控制设备20的操作结果确定的电流量。

[0201] 臂单元120具有配置有多个联接单元和多个链接件的多链接件结构,并且根据臂控制单元110的控制控制臂单元120的驱动。臂单元120对应于图2中所示的臂单元420。臂单元120包括联接单元130和成像单元140。此外,因为臂单元120的多个联接单元具有相同的功能和配置,所以图6中示出了表示多个联接单元中的一个联接单元130的配置。

[0202] 联接单元130连接臂单元120中可旋转的链接件,并且根据臂控制单元110的控制而控制联接单元130的旋转驱动,以使得驱动臂单元120。联接单元130对应于图2中所示的联接单元421a至421f。此外,例如,联接单元130包括致动器,并且该致动器具有与图3、图4A、以及图4B中所示的配置相似的配置。

[0203] 联接单元130包括联接驱动单元131和联接状态检测单元132。

[0204] 联接驱动单元131是联接单元130的致动器中的驱动机构,并且驱动联接驱动单元131时,联接单元130被旋转地驱动。驱动控制单元111控制联接驱动单元131的驱动。例如,联接驱动单元131是对应于图3中所示的电机424和电机驱动器425的部件,并且驱动联接驱动单元131对应于利用根据从驱动控制单元给出的命令的电流量驱动电机424的电机驱动器425。

[0205] 联接状态检测单元132检测联接单元130的状态。此处,联接单元130的状态指联接单元130的运动状态。例如,联接单元130的状态包括诸如联接单元130的旋转角、旋转角速度、旋转角加速度、以及生成扭矩等信息。在本实施方式中,联接状态检测单元132包括检测联接单元130的旋转角的旋转角检测单元133和检测联接单元130的生成的扭矩和外部扭矩的扭矩检测单元134。旋转角检测单元133和扭矩检测单元134对应于图3中所示的致动器430的编码器427以及图4A和图4B中所示的扭矩传感器428和428a。联接状态检测单元132将联接单元130的检测的状态传输至控制设备20。

[0206] 成像单元140是安装在臂单元120的前端处的前端单元的实施例并且获取拍摄目标的图像。成像单元140对应于图2中所示的成像单元423。具体地,例如,成像单元140是能够以移动图像格式或者静止图像格式拍摄拍摄目标的摄像机。更具体地,成像单元140包括

以二维方式布置的多个光接收元件,并且在光接收元件中可执行光电转换以及获取指示拍摄目标的图像的图像信号。成像单元140将所获取的图像信号传输至显示设备30。

[0207] 此外,与图2中将成像单元423安装在臂单元420的前端处的机械臂装置400相似,在机械臂装置10中,成像单元140实际安装在臂单元120的前端处。在图6中,通过示意性示出联接单元130与成像单元140之间的链接件而表示其中通过多个联接单元130和多个链接件将成像单元140安装在最后链接件的前端处的形式。

[0208] 此外,在本实施方式中,各种医疗装置可连接至作为前端单元的臂单元120的前端。例如,作为医疗装置,存在执行医疗程序时所使用的各种单元,诸如包括手术刀或镊子的各种医疗程序仪器,或包括超声波检查装置的探头的各种检查装置中的一个单元。此外,在本实施方式中,还可包括作为医疗装置的图6中所示的成像单元140或者具有诸如内诊镜或显微镜等成像功能的单元。如上所述,根据本实施方式的机械臂装置10可以是包括医疗装置的医用机械臂装置。同样,根据本实施方式的机械臂控制系统1可以是医用机械臂控制系统。此外,包括两个成像单元(摄像机单元)的立体摄像机可以安装在臂单元120的前端处,并且可以执行拍摄,以使得将成像目标显示为3D图像。

[0209] 上面已经描述了机械臂装置10的功能和配置。接着,将描述控制设备20的功能和配置。参考图6,控制设备20包括输入单元210、存储单元220、以及控制单元230。

[0210] 控制单元230以集成方式控制控制设备20,并且执行用于控制机械臂装置10中的臂单元120的驱动的各种操作。具体地,为了控制机械臂装置10的臂单元120的驱动,控制单元230通过整体协同控制和理想联接控制执行各种操作。下面将详细描述控制单元230的功能和配置,但是,已经在【2-2. 广义逆动力学】和【2-3. 理想联接控制】中描述了整体协同控制和理想联接控制,并且此处由此省去与其相关的描述。

[0211] 控制单元230包括整体协同控制单元240和理想联接控制单元250。

[0212] 整体协同控制单元240执行与利用广义逆动力学的整体协同控制有关的各种操作。在本实施方式中,整体协同控制单元240基于通过联接状态检测单元132检测的联接单元130的状态获取臂单元120的状态(臂状态)。此外,整体协同控制单元240利用广义逆动力学在基于臂单元120的臂状态以及运动目的和约束条件的操作空间内计算用于臂单元120的整体协同控制的控制值。例如,操作空间指用于描述作用于臂单元120的力与臂单元120中所产生的加速度之间的关系的空间。

[0213] 整体协同控制单元240包括臂状态获取单元241、操作条件设置单元242、虚力计算单元243、以及实际力计算单元244。

[0214] 臂状态获取单元241基于通过联接状态检测单元132检测的联接单元130的状态获取臂单元120的状态(臂状态)。此处,臂状态指臂单元120的运动状态。例如,臂状态包括诸如臂单元120的位置、速度、加速度、或者力等信息。如上所述,联接状态检测单元132获取诸如各个联接单元130的旋转角、旋转角速度、旋转角加速度、或者生成扭矩等作为联接单元130的状态。此外,如后面所描述,存储单元220存储通过控制设备20处理的各种信息,并且在本实施方式中,存储单元220可存储与臂单元120有关的各种信息(臂信息),例如,联接单元130的数目和配置臂单元120的链接件数目、链接件与联接单元130的连接状态、以及链接件长度。臂状态获取单元241可从存储单元220获取对应的信息。因此,臂状态获取单元241可基于联接单元130的状态和臂信息获取诸如空间中的多个联接单元130、多个链接件、以

及成像单元140的位置(坐标)(即,臂单元120的形状或者成像单元140的位置和姿势)或者作用于各个联接单元130、链接件、以及成像单元140的力等信息。臂状态获取单元241将获取的臂信息传输至操作条件设置单元242。

[0215] 操作条件设置单元242在与利用广义逆动力学的整体协同控制有关的操作中设置操作条件。此处,操作条件可以是运动目的和约束条件。运动目的可以是与臂单元120的运动有关的各种信息。具体地,运动目的可以是成像单元140的位置和姿势(坐标)、速度、加速度、以及力的目标值或者臂单元120的多个联接单元130和多个链接件的位置(坐标)、速度、加速度、以及力的目标值。约束条件可以是用于限制臂单元120的运动的运动的各种信息。具体地,约束条件可以是其中臂单元的任何部件均不移动、速度和加速度的值不能使臂单元移动、力值不能被生成等的区域的坐标。此外,从难以从结构上实现臂单元120的一些区域设置或者通过用户可以适当地设置约束条件中的各个物理量的约束范围。此外,操作条件设置单元242包括有关臂单元120的结构的物理模型(例如,其中配置臂单元120的链接件数目、链接件长度、链接件与联接单元130的连接状态、联接单元130的移动范围等被模型化的一个;其对应于内部模型),并且可通过生成其中以物理模型反映所需运动调校和所需约束条件的控制模型设置运动条件和约束条件。

[0216] 在本实施方式中,可以适当地设置运动目的和约束条件并且使臂单元120执行所需移动。例如,可以将成像单元140的位置的目标值设置为运动目的并且将成像单元140移动至目标位置,并且例如还可以根据约束条件设置移动约束,以防止臂单元120侵入空间中的特定区域并且然后驱动臂单元120。

[0217] 例如,作为运动目的的具体实例,运动目的可以是作为转向移动的枢转移动,其中,成像单元140在将成像单元140的拍摄方向固定至医疗程序部位并且将圆锥体的轴作为枢转轴的状态下在将医疗程序部位作为顶点的圆锥体的平面内移动。在枢转移动中,在保持成像单元140与对应于圆锥体的顶点的点之间的距离不变的状态下可以执行转向移动。当执行转向移动时,可以相等距离从不同角度观察观察部位,并且由此可以提供用户执行手术的便利性。

[0218] 另一具体实例,运动目的可以是控制各个联接单元130的生成的扭矩的内容。具体地,运动目的可以是控制联接单元130的状态以使得抵消作用于臂单元120的重力并且控制联接单元130的状态以使得在从外部施加的力方向上抑制臂单元120的移动的动力辅助移动。更具体地,在动力辅助移动中,控制各个联接单元130的驱动,以使得各个联接单元130生成用于抵消因臂单元120的各个联接单元的重力而产生的外部扭矩的生成的扭矩,并且由此使臂单元120的位置和姿势保持处于特定状态。当在该状态下从外部(例如,从用户)进一步施加外部扭矩时,控制各个联接单元130的驱动,以使得各个联接单元1在施加外部扭矩的同一方向上产生生成扭矩。由于执行动力辅助移动,所以当用户手动移动臂单元120时,用户可通过较小的力移动臂单元120,并且由此可能使用户感觉到在非重力状态下移动臂单元120。此外,可以将枢转移动与动力辅助移动组合。

[0219] 此处,在本实施方式中,运动目的可指在整体协同控制中实现的臂单元120的移动(运动)或者可指相应移动中的瞬态运动目的(即,运动目的的目标值)。例如,如果是枢转移动,则通过成像单元140执行枢转移动为运动目的,但是,例如,在执行枢转移动的同时,将成像单元140在枢转移动的圆锥平面内的位置或者速度的值设置为瞬态运动目的(运动目

的的目标值)。此外,例如,如果是动力辅助移动,则在从外部施加力的方向上执行用于支持臂单元120的移动的动力辅助移动为运动目的,但是,在执行动力辅助移动的同时,将在对各个联接单元130施加外部扭矩的同一方向上的生成的扭矩值设置为瞬态运动目的(运动目标的目标值)。在本实施方式中,运动目的是包括瞬态运动目的(例如,臂单元120的各个部件在特定时间段内的位置、速度、或者力的目标值)和因连续实现瞬态运动目的而在一段时间内实现的臂单元120的各个部件的移动的概念。在用于整体协同控制单元240的整体协同控制的操作的各个步骤中,每次设置瞬态运动目的,并且重复执行该操作,以使得最终实现所需运动目的。

[0220] 此外,在本实施方式中,当设置运动目的时,还可适当地设置各个联接单元130的旋转运动的粘滞阻力系数。如上所述,根据本实施方式的联接单元130被配置为能够适当地调整致动器430的旋转运动的粘滞阻力系数。因此,例如,因为也是在设置运动目的时设置各个联接单元130的旋转运动的粘滞阻力系数,所以可以实现其中通过从外部施加的力容易执行旋转或者不容易执行旋转的状态。例如,如果是动力辅助移动,由于将联接单元130的粘滞阻力系数设置得较小,所以用户可通过较小的力移动臂单元120,并且用户可能有非重力的感觉。如上所述,可以根据运动目的的内容适当地设置各个联接单元130的旋转运动的粘滞阻力系数。

[0221] 将在【2-5.运动目的的具体实例】中再次详细描述运动目的的具体实例。

[0222] 此处,在本实施方式中,如后面所述,存储单元220可存储与诸如有关整体协同控制的操作中所使用的运动目的或者约束条件等操作条件有关的参数。操作条件设置单元242可将存储单元220中存储的约束条件设置为整体协同控制的操作中所使用的约束条件。

[0223] 此外,在本实施方式中,操作条件设置单元242可通过多种方法设置运动目的。例如,操作条件设置单元242可基于从臂状态获取单元241传输的臂状态设置运动目的。如上所述,臂状态包括臂单元120的位置信息和作用于臂单元120的力信息。因此,例如,当用户手动移动臂单元120时,还可通过臂状态获取单元241获取与用户如何移动臂单元120有关的信息作为臂状态。因此,例如,操作条件设置单元242可基于所获取的臂状态设置作为瞬态运动目的的用户移动臂单元120的位置、用户移动臂单元120的速度、或者用户移动臂单元120的力。如上所述,当设置运动目的时,通过用户执行控制,以使得臂单元120的驱动遵循并且支持臂单元120的移动。

[0224] 此外,例如,操作条件设置单元242可基于由用户从输入单元210输入的指令设置运动目的。如后面所描述,例如,输入单元210是用户通过其将与机械臂装置10的驱动控制有关的信息或者命令输入至控制设备20的输入界面,并且在实施方式中,基于基于用户从输入单元210输入的操作设置运动目的。具体地,例如,输入单元210包括由用户操作的诸如杠杆或者踏板等操作单元,并且操作条件设置单元242可根据杠杆、踏板等的操作将臂单元120的各部件的位置或者速度设置为瞬态运动目的。

[0225] 此外,例如,操作条件设置单元242可将存储单元220中存储的运动目的设置为整体协同控制的操作中所使用的运动目的。例如,如果是用于使成像单元140在空间中的特定点处停止的运动目的,则可将特定点的坐标提前设置为运动目的。此外,例如,如果是用于使成像单元140沿着空间中的特定轨迹移动的运动目的,则可将指示特定轨迹的点的坐标提前设置为运动目的。如上所述,当提前设置运动目的时,可将运动目的提前存储在存储单



元220中。此外,例如,如果是枢转移动,则使运动目的局限于将在圆锥体的平面内的位置、速度等设置为目标值,并且如果是动力辅助移动,则使运动目的局限于将力设置为目标值。如上所述,例如,当提前设置诸如枢转移动或者动力辅助移动等运动目的时,可将与设置为运动目的中的瞬态运动目的的目标值的范围或者类型有关的信息存储在存储单元220中。操作条件设置单元242可包括与运动目的有关的各种信息并且将与运动目的有关的各种信息设置为运动目的。

[0226] 此外,例如,用户可根据机械臂装置10的用途通过操作条件设置单元242适当地设置运动目的的方法。此外,操作条件设置单元242可通过适当组合上述方法而设置运动目的和约束条件。而且,可将运动目的的优先级设置为存储单元220中存储的约束条件,并且当存在多种不同运动目的时,操作条件设置单元242可根据约束条件的优先级设置运动目的。操作条件设置单元242将臂状态、设置的运动目的、以及约束条件传输至虚力计算单元243。

[0227] 虚力计算单元243在与利用广义逆动力学的整体协同控制有关的操作中计算虚力。例如,通过虚力计算单元243执行的虚力计算过程可以是在上面(2-2-1.虚力计算过程)中描述的一系列过程。虚力计算单元243将所计算的虚力 $f_v$ 传输至虚力计算单元244。

[0228] 实际力计算单元244在与利用广义逆动力学的整体协同控制有关的操作中计算实际力。例如,通过实际力计算单元244执行的实际力计算过程可以是在上面(2-2-2.实际力计算过程)中描述的一系列过程。实际力计算单元244将所计算的实际力(生成扭矩) $\tau_a$ 传输至理想联接控制单元250。此外,在本实施方式中,通过实际力计算单元244计算的生成的扭矩 $\tau_a$ 还被称之为“控制值”或者“控制扭矩值”,即,指整体协同控制中的联接单元130的控制值。

[0229] 理想联接控制单元250基于理论模型执行与用于实现理想响应的理想联接控制有关的各种操作。在本实施方式中,理想联接控制单元250校正干扰对通过实际力计算单元244计算的生成的扭矩 $\tau_a$ 的影响并且计算用于实现臂单元120的理想响应的扭矩命令值 $\tau$ 。通过理想联接控制单元250执行的操作过程对应于在上面【2-3.理想联接控制】中所描述的一系列过程。

[0230] 理想联接控制单元250包括干扰估测单元251和命令值计算单元252。

[0231] 干扰估测单元251基于从通过旋转角检测单元133检测的旋转角 $q$ 而计算的扭矩命令值 $\tau$ 和旋转角速度计算干扰估测值 $\tau_d$ 。此处,扭矩命令值 $\tau$ 指指示最终传输至机械臂装置10的臂单元120的生成的扭矩的命令值。如上所述,干扰估测值251具有对应于图5中所示的干扰观察器620的功能。

[0232] 命令值计算单元252利用通过干扰估测单元251计算的干扰估测值 $\tau_d$ 计算作为指示由臂单元120产生并且最终被传输至机械臂装置10的扭矩的命令值的扭矩命令值 $\tau$ 。具体地,命令值计算单元252通过将由干扰估测单元251计算的干扰估测值 $\tau_d$ 加成到从由等式(12)表达的联接单元130的理想模型所计算的 $\tau^{ref}$ 而计算扭矩命令值 $\tau$ 。例如,当不计算干扰估测值 $\tau_d$ 时,将扭矩命令值 $\tau$ 作为扭矩目标值 $\tau^{ref}$ 。如上所述,命令值计算单元252的功能对应于除图5中所示的干扰观察器620之外的功能。

[0233] 如上所述,在理想联接控制单元250中,执行上面参考图5所描述的一系列过程,以使得在干扰估测单元251与命令值计算单元252之间重复交换信息。理想联接控制单元250将所计算的扭矩命令值 $\tau$ 传输至机械臂装置10的驱动控制单元111。驱动控制单元111执行

将对应于所传输的扭矩命令值 $\tau$ 的电流量供应至联接单元130的致动器中的电机的控制、控制电机的转数、并且控制联接单元130的旋转角和生成扭矩。

[0234] 在根据本实施方式的机械臂控制系统1中,因为在执行采用臂单元120的任务同时,连续执行对机械臂装置10中的臂单元120的驱动控制,所以机械臂装置10和控制设备20重复执行上述所述过程。换言之,机械臂装置10的联接状态检测单元132检测联接单元130的状态并且将联接单元130的检测的状态传输至控制设备20。在控制设备20中,基于联接单元130的状态、运动目的、以及约束条件执行与用于控制臂单元120的驱动的整体协同控制和理想联接控制有关的各种操作,并且将作为操作结果的扭矩命令值 $\tau$ 传输至机械臂装置10。在机械臂装置10中,基于扭矩命令值 $\tau$ 控制臂单元120的驱动,并且在驱动过程中或者之后再次通过联接状态检测单元132检测联接单元130的状态。

[0235] 现将继续进行对控制设备20的其他部件的描述。

[0236] 例如,输入单元210是用户通过其将与机械臂装置10的驱动控制有关的信息或者命令输入至控制设备20的输入界面。在本实施方式中,基于由用户从输入单元3210输入的操作,可以控制机械臂装置10的臂单元120的驱动,并且可以控制成像单元140的位置和姿势。具体地,如上所述,当用户将与从输入单元210输入的臂驱动的指令有关的指令信息输入至操作条件设置单元242时,操作条件设置单元242可基于指令信息设置整体协同控制的运动目的。如上所述,基于由用户输入的指令信息通过运动目的执行整体协同控制,并且由此根据用户的操作输入实现臂单元120的驱动。

[0237] 具体地,例如,输入单元210包括由用户操作的诸如鼠标、键盘、触摸板、按钮、开关、杠杆、以及踏板等操作单元。例如,当输入单元210包括踏板时,用户可通过脚操作踏板而控制臂单元120的驱动。因此,即使当用户使用双手对患者的医疗程序部位执行治疗时,也可以调整成像单元140的位置和姿势,即,通过脚对踏板的操作而调整医疗程序部位的拍摄位置或者拍摄角度。

[0238] 存储单元220存储由控制设备20处理的各种信息。在本实施方式中,存储单元220可存储在与通过控制单元230执行的整体协同控制和理想联接控制有关的操作中所使用的各种参数。例如,存储单元220可存储在与通过整体协同控制单元240执行的整体协同控制有关的操作中所使用的运动目的和约束条件。例如,存储在存储单元220中的运动目的可以是提前设置以使得成像单元140可停止在上述所述空间中的特定点处的运动目的。此外,用户可根据臂单元120的几何配置、机械臂装置10的用途等提前设置约束条件,然后,将约束条件存储在存储单元220中。而且,存储单元220可存储与在臂状态获取单元241获取臂状态时所使用的臂单元120有关的各种信息。而且,例如,存储单元220可存储与通过控制单元230执行的整体协同控制和理想联接控制有关的操作的操作结果以及在操作过程中计算的数值。如上所述,存储单元220可存储与通过控制单元230执行的各个过程有关的所有参数,并且控制单元230可在将信息传输至存储单元220或者从存储单元220接收信息的同时执行各个过程。

[0239] 上面已经描述了控制设备20的功能和配置。例如,根据本实施方式的控制设备20可被配置有诸如个人电脑(PC)或者服务器等各种信息处理设备(算法处理设备)。接着,将描述显示设备30的功能和配置。

[0240] 显示设备30以诸如文本或者图像等各种格式将各种信息显示在显示屏幕上,并且

从视觉上将信息通知给用户。在本实施方式中,显示设备30通过显示屏幕显示由机械臂装置10的成像单元140捕获的图像。具体地,显示设备30包括诸如对通过成像单元140获取的图像信号执行各种图像处理的图像信号处理单元(未示出)或者执行控制以使得基于经过处理的图像信号将图像显示在显示屏幕上的显示控制单元(未示出)等功能或者部件。此外,显示设备30可具有通用显示设备中配备的除上述功能或者部件之外的各种功能和部件。显示设备30对应于图1中所示的显示设备550。

[0241] 上面已经参考图6描述了根据本实施方式的机械臂装置10、控制设备20、以及显示设备30的功能和配置。上述部件中的每个均可被配置为利用通用元件或者电路,并且可由各部件功能专用的硬件配置。此外,可通过CPU等执行部件的所有功能。因此,当执行本实施方式时,可根据技术水平适当地改变所使用的配置。

[0242] 如上所述,根据本实施方式,机械臂装置10中具有多链接件结构的臂单元120具有至少6以上的自由度,并且通过驱动控制单元111控制配置臂单元120的多个联接单元130中的每个的驱动。此外,将医疗装置安装在臂单元120的前端处。如上所述,当控制各个联接单元130的驱动时,实现了具有高自由度的臂单元120的驱动控制,并且实现了对用户具有高操作性的用于医疗用途的机械臂装置10。

[0243] 更具体地,根据本实施方式,在机械臂装置10中,通过联接状态检测单元132检测联接单元130的状态。此外,在控制设备20中,基于联接单元130的状态、运动目的、以及约束条件,执行与利用广义逆动力学以用于控制臂单元120的驱动的整体协同控制有关的各种操作,并且计算作为操作结果的扭矩命令值 $\tau$ 。而且,在机械臂装置10中,基于扭矩命令值 $\tau$ 控制臂单元120的驱动。如上所述,在本实施方式中,通过利用广义逆动力学的整体协同控制控制臂单元120的驱动。因此,实现了根据力控制的臂单元120的驱动控制,并且实现了对用户具有高操作性的机械臂装置。此外,例如,在本实施方式中,在整体协同控制中,可以执行用于实现各种运动目的以提高诸如枢转移动和动力辅助移动等用户便利性的控制。而且,例如,在本实施方式中,实现了用于手动或者通过从踏板输入的操作移动臂单元120的各个驱动单元,并且由此进一步提高了用户便利性。

[0244] 此外,在本实施方式中,将整体协同控制和理想联接控制应用于臂单元120的驱动控制。在理想联接控制中,估测诸如联接单元130的摩擦或者惯性等干扰分量,并且利用估测的干扰分量执行前馈控制。因此,即使当存在诸如摩擦等干扰分量时,在联接单元130驱动时也可实现理想响应。因此,在臂单元120驱动控制中实现了振动等较小的影响、高准确性响应度、以及高定位准确度或者稳定性。

[0245] 此外,例如,在本实施方式中,配置臂单元120的多个联接单元130中的每个均具有适用于图3中所示的理想联接控制的配置,并且根据电流值可控制联接单元130中每个的旋转角、生成扭矩、以及粘滞阻力系数。如上所述,根据电流值控制联接单元130中每个的驱动,并且在检测臂单元120的整体状态同时,根据整体协同控制控制联接单元130中的每个的驱动,并且由此不需要制衡,并且实现了小型机械臂装置10。

[0246] 【2-5. 运动目的的具体实例】

[0247] 接着,将描述根据本实施方式的运动目的的具体实例。如上面【2-4. 机械臂控制系统的配置】中所述,在本实施方式中,通过整体协同控制可实现各种运动目的。此处,作为根据本实施方式的运动目的的具体实例,将描述动力辅助移动和枢转移动。在运动目的的具

体实例的下列描述中,以图6中所示的功能框图中的参考标号表示根据本实施方式的机械臂控制系统的部件。

[0248] 动力辅助移动是控制联接单元130的状态以使得抵消作用于臂单元120的重力并且控制联接单元130的状态以使得支持臂单元120在从外部施加力的方向的移动的一种移动。具体地,当用户手动移动臂单元120时,动力辅助运动时控制臂单元120的驱动以使得支持由用户所施加的力的一种移动。更具体地,为了实现动力辅助移动,首先,在其中不对臂单元120施加除重力之外的任何力的状态下通过扭矩检测单元134检测外部扭矩,并且将瞬态运动目的设置成使得通过各个联接单元130产生用于抵消所检测的外部扭矩的生成的扭矩。在此阶段,臂单元120的位置和姿势保持处于特定状态。当在该状态下从外部(例如,由用户)进一步施加外部扭矩时,通过扭矩检测单元134检测额外所施加的外部扭矩,并且进一步设置瞬态运动目的,以使得各个联接单元130在与所检测的额外外部扭矩相同的方向上产生生成扭矩。当根据瞬态运动目的控制各联接单元130的驱动时,实现了动力辅助移动。通过动力辅助移动,用户可通过较小的力移动臂单元,并且由此用户可具有在非重力状态下移动臂单元120的感觉,并且提高了用户对臂单元120的操作性。

[0249] 枢转移动是这样一种转向移动,即,其中,安装在臂单元120的前端处的前端单元在将前端单元的方向固定至特定点上的状态下在将空间中的特定点作为顶点并且将圆锥体的轴作为枢转轴的圆锥体的平面上移动。具体地,当前端单元是成像单元140时,枢转移动是这样一种转向移动,即,其中,安装在臂单元120的前端处的成像单元140在将成像单元140的拍摄方向固定至特定点上的状态下在将空间中的特定点作为顶点并且将圆锥体轴作为枢转轴的圆锥体的平面上移动。例如,作为对应于枢转移动中圆锥体顶点的点,选择医疗程序部位。此外,在枢转移动中,可以在保持前端单元或者成像单元140与对应于圆锥体顶点的点之间的距离不变的状态下执行转向移动。此外,因为将前端单元的方向或者成像单元140的拍摄方向固定在空间中的特定点(例如,医疗程序部位)上,所以枢转移动也被称之为“点锁移动”。

[0250] 将参考图7和图8进一步详细描述枢转移动。图7是用于描述枢转移动(即,根据本公开的实施方式的臂移动的具体实例)的示例图。图8是用于描述图7中所示的枢转移动的运动目的和约束条件的示例图。

[0251] 参考图7,将患者750的医疗程序部位设置为枢转移动中的顶点。该顶点被称之为“枢转点 $P_i$ ”。在图7中,出于方便,在根据本实施方式的机械臂装置10中,示出了作为对应于图6中的成像单元140的单元的成像单元713。如图7所示,在枢转移动中,可将运动目的和约束条件设置成使得成像单元713可在圆锥体A的底部圆周上移动,即,成像单元713在其中保持成像单元713与枢转点 $P_i$ 之间的距离不变的状态下在圆锥体A的平面内移动。此外,用户可适当地设置圆锥体A的形状,即,圆锥体A顶点的夹角 $\theta$ 或者枢转点 $P_i$ 与成像单元713之间的距离。例如,将枢转点 $P_i$ 与成像单元713之间的距离调至成像单元713中的光学系统的焦距。当施加枢转移动时,可以在相等距离处从不同角度观察医疗程序部位,并且由此可以提高用户执行手术的便利性。

[0252] 此外,在枢转移动中,如同在圆锥体A和B中,在成像单元713在固定枢转点 $P_i$ 的状态下移动时可以移动圆锥体的位置。在图7中所示的实施例,圆柱体A的枢转轴大致垂直于医疗程序部位,并且圆锥体B的枢转轴大致平行于医疗程序部位。如上所述,例如,可将运

动目的和约束条件设置成在固定枢转点 $P_i$ 的状态下通过将用于执行枢转移动的诸如圆锥体A和B等圆锥体旋转约 $90^\circ$ 。当施加枢转移动时,可以从多个方向观察医疗程序部位,并且由此可进一步提高用户的便利性。

[0253] 图7中所示的实施例示出了其中将运动目的和约束条件设置成使得成像单元713可在圆锥体A的底部圆周上移动的实施例,但是,根据本实施方式的枢转移动并不局限于该实施例。例如,可将运动目的和约束条件设置成使得可在固定圆锥体A和B的枢转点 $P_i$ 的位置以及顶点夹角 $\theta$ 的状态下自由改变枢转点 $P_i$ 与成像单元713之间的距离。例如,当施加枢转移动时,可以在固定夹角的状态下改变成像单元713与医疗程序部位之间的距离,并且由此可以根据用户需要观察医疗程序部位,以放大或者缩小医疗程序部位,然后,通过适当调整成像单元713的焦距(焦点)观察被放大或者缩小的医疗程序部位。

[0254] 接着,将参考图8详细描述用于实现图7中所示的枢转移动的运动目的和约束条件。参考图8,包括成像单元713的臂单元710的实施例利用枢转点 $P_i$ 作为基点执行枢转移动。在图8中,将描述作为实施例的其中保持成像单元713与枢转点 $P_i$ 之间的距离不变的枢转移动。臂单元710包括多个联接单元711a、711b、以及711c与多个链接件712a、712b、以及712c,并且根据本实施方式的整体协同控制和理想联接控制控制臂单元710的驱动。例如,臂单元710及其部件具有与根据图2中所示的本实施方式的臂单元420和部件相同的配置。

[0255] 此处,考虑其中将作为臂单元710的支撑点的原点 $O_A$ 用作零点的臂坐标系和其中将空间中的原点 $O_s$ 用作零点的空间坐标系。通过比坐标系管理臂单元710的运动。此外,臂坐标系和空间坐标系被定义成使得其可彼此转换。

[0256] 以 $P_w$ 表示从空间坐标系观看的成像中心。此外,在臂坐标系中,远离通过成像单元713的长度 $D$ 和成像单元713的焦距连接成像单元713与链接件712c的联接单元711c的位置被称之为枢转点 $P_i$ 。

[0257] 在该状态下,将运动目的和约束条件设置成使得在枢转点 $P_i$ 与成像中心 $P_w$ 匹配的状态下驱动臂单元710。换言之,在臂坐标系中设置将固定在臂坐标系中的枢转点 $P_i$ 固定至空间坐标系中的成像中心 $P_w$ 的约束。此外,将成像单元713定位在将枢转点 $P_i$ (即,成像中心 $P_w$ )作为顶点的圆锥体的平面上的坐标或者其中成像单元713面向枢转点 $P_i$ 的成像单元713的位置设置成运动目的。当根据约束条件和运动目的执行整体协同控制时,即使通过臂单元710的移动改变成像单元713的位置和姿势,成像单元713的方向将始终面向成像中心 $P_w$ (即,枢转点 $P_i$ ),并且保持成像单元713与成像中心 $P_w$ 之间的距离具有焦距 $f$ 。因此,实现了在保持成像单元713与成像中心 $P_w$ 之间的距离不变的状态下的枢转移动。当在改变成像单元713与成像中心 $P_w$ (或者枢转点 $P_i$ )之间的距离的同时执行枢转移动时,希望改变枢转点 $P_i$ 的设置方法。具体地,例如,在臂坐标系中,希望将远离联接单元711c为成像单元713的长度 $D$ 和任意距离的位置设置为枢转点 $P_i$ 并且使用任意距离作为可变参数。

[0258] 此外,可以使用枢转移动与动力辅助移动的组合。当使用枢转移动与动力辅助移动的组合时,例如,当用户手动移动成像单元140时,由于感觉在非重力状态下移动成像单元140,所以用户可使用较小的力移动成像单元140,并且成像单元140的移动位置局限于位于圆锥体的平面内。因此,在枢转移动中提高了成像单元140的移动操作性。

[0259] 上面已经描述了动力辅助移动和枢转移动作为根据本实施方式的运动目的的具体实例。根据本实施方式的运动目的并不局限于该实例。例如,在本实施方式中,还可实现

下列运动目的。

[0260] 例如,可将成像单元140的坐标设置为使得将成像单元140的位置固定在特定点处的运动目的。例如,在这种情况下,当从外部向除臂单元120的成像单元140之外的部件施加力时,可以将运动目的和约束条件设置成使得联接单元130和链接件也被固定在特定位置处并且不能移动,并且可以将运动目的和约束条件设置成使得根据所施加的外力移动联接单元130和链接件,但是,使成像单元140的位置固定。在后者情况下,例如,当臂单元120与任务干扰并且希望移动时,实现了在将通过成像单元140捕获的图像固定的状态下高度自由地移动臂单元120的其他部分的位置和姿势的控制。

[0261] 此外,例如,当臂单元120在被驱动的同时检测与人或者事物的接触时,可将运动目的和约束条件设置成使得及时实现臂单元120的停止驱动的移动。通过执行该移动,可以减少臂单元120与人或者物体相撞的风险。此外,例如,当臂单元120与人或者物体接触时,联接状态检测单元132可根据施加到联接单元130的外部扭矩的变化检测该触点。

[0262] 此外,例如,可将运动目的的设置成使得成像单元140沿着空间中的特定轨迹移动。具体地,可将指示特定轨迹的点的坐标设置为运动目的。通过如上所述设置运动目的,成像单元140的移动范围局限于该轨迹。此外,通过将成像单元140的速度、成像单元140经过这些点的次数等以及指示该轨迹的点的坐标设置为运动目的,还可执行成像单元140在特定时间沿着特定轨迹自动移动的自动驱动。例如,当继续臂装置10重复自动执行特定任务时,根据该运动设置的驱动控制具有高效性。

[0263] 此外,例如,可将运动目的和约束条件设置成使得实现防止臂单元120侵入空间中的特定区域的移动。如上参考图1所述,在本实施方式中,用户在查看显示屏幕时执行手术。因此,如果将臂单元120定位在用户与显示屏幕之间的区域中时,则阻挡了用户的视野,并且由此可能降低手术效率。因此,例如,通过将用户与显示屏幕之间的区域设置成臂单元120的侵入禁止区域,则可提高手术效率。

[0264] 此处,如上所述,当将侵入禁止区域设置为臂单元120时,优选为臂单元120的自由度为6以上的自由度。这是因为可以使用6自由度之后的自由度作为冗余自由度,并且由此在处理侵入禁止区域等事务可以确保6个自由度的驱动。将参考图9详细描述包括具有比6个自由度更大的自由度的臂单元的机械臂装置的配置。

[0265] 图9是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置具有冗余自由度的变形例的外观的示意图。图9中示出了与图2中所限定方向相同的坐标轴。

[0266] 参考图9,根据本变形例的机械臂装置450包括底部单元460和臂单元470。此外,臂单元470包括多个联接单元471a至471g、将联接单元471a至471g彼此连接的多个链接件472a至472d、以及安装在臂单元470的前端处的成像单元473。此处,图9中所示的机械臂装置450对应于其中与上面参考图2所描述的机械臂装置400相比较而言,臂单元470的自由度增加一的配置。因此,底部单元460、联接单元471a至471g与链接件472a至472d中的每个、以及成像单元473的功能和配置与上面参考图2所描述的机械臂装置400的底部单元410、联接单元421a至421f与链接件422a至422c中的每个、以及成像单元423的功能和配置相似,并且由此省去与其相关的细节描述。将集中于作为不同于机械臂装置400的臂单元470的配置继续进行下列描述。

[0267] 根据本实施方式的机械臂装置450包括7个联接单元471a至471g,并且相对于臂单

元470的驱动实现7个以上自由度。具体地,链接件472a的一端与底部单元460连接,并且链接件472a的另一端通过联接单元421a与链接件472b的一端连接。此外,链接件422b的另一端通过联接单元471b和471c与链接件472c的一端连接。而且,链接件472c的另一端通过联接单元471d和471e与链接件472d的一端连接,并且72d的另一端通过联接单元471f和471g与成像单元473连接。如上所述,从底部单元460延伸的臂单元470被配置成使得将底部单元460用作支撑点,并且使多个链接件472a至472d的各端通过联接单元471a至471g彼此连接。

[0268] 此外,如图9所示,联接单元471a、471c、471e、以及471g被安装成使得将与其连接的链接件472b至472d的长轴方向和与其连接的成像单元473的拍摄方向设置为旋转轴方向,并且联接单元471b、471d、以及471f被安装成使得将作为其中在y-z平面内改变链接件472c和472d以及与其连接的成像单元473的连接角的方向的x轴方向设置为旋转轴方向。如上所述,在本变形例中,联接单元471a、471c、471e、以及471g具有执行偏转的功能,并且联接单元471b、471d、以及471f具有执行俯仰的功能。

[0269] 由于臂单元470具有上述配置,所以在根据本实施方式的机械臂装置450中,相对于臂单元470的驱动实现7个以上自由度,并且由此可以在臂单元470的移动范围空间内自由移动成像单元473,并且提供冗余自由度。在图9中,与图2相似,示出了半球形作为成像单元473的移动范围的实例。当半球形的中心点是通过成像单元473拍摄的医疗程序部位的拍摄中心时,通过在将成像单元473的拍摄中心固定至半球形的中心点的状态下在半球形的球形表面上移动成像单元473可从不同角度拍摄医疗程序部位。因为根据本实施方式的机械臂装置450具有一个冗余自由度,所以可以将成像单元473的移动局限于半球形和臂单元470的轨迹,并且还可容易处理诸如侵入禁止区域等约束条件。例如,通过设置侵入禁止区域,可以控制臂单元470的驱动,以使得不将臂单元470定位在其上显示由成像单元473捕获的图像的监控器与执业者或者人员之间,并且可以防止监控器阻挡执业者和人员的视野。此外,当设置侵入禁止区域时,可以控制臂单元470的驱动,以使得臂单元470在避免与执业者和人员或者其周围任何其他设备干扰(接触)的同时移动。

[0270] <3. 机械臂控制方法的处理程序>

[0271] 接着,将参考图10描述根据本公开的实施方式的机械臂控制方法的处理程序。图10是示出了根据本公开的实施方式的机械臂控制方法的处理程序的流程图。将以其中通过图6中所示的机械臂控制系统1的配置实现根据本实施方式的机械臂控制方法的实例继续下列描述。因此,根据本实施方式的机械臂控制方法可以是医用机械臂控制方法。此外,在根据本实施方式的机械臂控制方法的处理程序的下列描述中,已经在上面【2-4. 机械臂控制系统的配置】中描述了图6中所示的机械臂控制系统1的相应部件的功能,并且由此省去与其相关的细节描述。

[0272] 参考图10,在根据本实施方式的机械臂控制方法中,首先,在步骤S801中,联接状态检测单元132检测联接单元130的状态。此处,例如,联接单元130的状态指联接单元130的旋转角、生成扭矩和/或外部扭矩。

[0273] 然后,在步骤S803中,臂状态获取单元241基于在步骤S801中检测的联接单元130的状态获取臂状态。例如,臂状态指臂单元120的运动状态并且可以是臂单元120的各部件的位置、速度、或者加速度、或者作用于臂单元120的各部件的力。

[0274] 然后,在步骤S805中,操作条件设置单元242基于在步骤S803中获取的臂状态设置

整体协同控制的操作所使用的运动目的和约束条件。此外,例如,操作条件设置单元242不可基于臂状态设置运动目的、可基于有关用户从输入单元210输入的臂单元120的驱动指令信息设置运动目的、并且可使用之前存储在存储单元220中的运动目的。而且,可通过适当组合上述方法设置运动目的。而且,操作条件设置单元242可使用之前存储在存储单元220中的约束条件。

[0275] 然后,在步骤S807中,基于臂状态、运动目的、以及约束条件执行有关利用广义逆动力学的整体协同控制的操作,并且计算控制值 $\tau_a$ 。在步骤S807中执行的过程可以是图6中所示的虚力计算单元243和实际力计算单元244中的一系列过程,即,在上面【2-2.广义逆动力学】中描述的一系列过程。

[0276] 然后,在步骤S809中,计算干扰估测值 $\tau_d$ ,利用干扰估测值 $\tau_d$ 执行有关理想联接控制的操作,并且基于控制值 $\tau_a$ 计算控制值 $\tau$ 。在步骤S809中执行的过程可以是图6中所示的理想联接控制单元250的一系列过程,即,在上面【2-3.理想联接控制】中描述的一系列过程。

[0277] 最后,在步骤S811中,驱动控制单元111基于命令值 $\tau$ 控制联接单元130的驱动。

[0278] 上面已经参考图10描述了根据本实施方式的机械臂控制方法的处理过程。在本实施方式中,在执行采用臂单元120的任务的同时,重复执行图10中所示的步骤S801至步骤S811的过程。因此,在本实施方式中,在执行采用臂单元120的任务的同时,连续执行对臂单元120的驱动控制。

[0279] <4.硬件配置>

[0280] 接着,将参考图11详细描述根据图6中所示的本实施方式的机械臂装置10和控制设备20的硬件配置。图11是示出了根据本公开的实施方式的机械臂装置10和控制设备20的硬件配置的示例性配置的功能框图。

[0281] 机械臂装置10和控制设备20主要包括CPU 901、ROM 903、以及RAM 905。机械臂装置10和控制设备20进一步包括主机总线907、电桥909、外部总线911、接口913、输入设备915、输出设备917、存储设备919、驱动921、连接端口923、以及通信设备925。

[0282] CPU 901用作算法处理设备和控制设备并且根据在ROM 903、RAM 905、存储设备919、或者可移动式存储介质927中记录的各种程序控制机械臂装置10和控制设备20的全部或者一些操作。ROM 903存储由PU 901使用的程序、操作参数等。RAM 905主要存储由CPU 901使用的程序、在执行程序时适当改变的参数等。上述所述部件通过配置有诸如CPU总线等内部总线的主机总线907而彼此连接。例如,CPU 901对应于本实施方式中的图6中所示的臂控制单元110和控制单元230。

[0283] 主机总线907通过电桥909连接至诸如外围部件互连/接口(PCI)等外部总线911。此外,输入设备915、输出设备917、存储设备919、驱动921、连接端口923、以及通信设备925经由接口913连接至外部总线911。

[0284] 输入设备915是由用户使用的诸如鼠标、键盘、触摸板、按钮、开关、杠杆、或者踏板等操作单元。例如,输入设备915可以是利用红外光或者任何其他无线电波的远程控制单元(所谓的远程控制器)并且可以是诸如对应于机械臂装置10和控制设备20的操作的移动电话或者PDA等外部连接设备929。此外,例如,输入设备915配置有基于通过使用操作单元的用户所输入的信息产生输入信号并且将输入信号输出至CPU 901的输入控制电路。机械臂



装置10和控制设备20的用户可将各种数据输入至机械臂装置10和控制设备20或者通过操作输入设备915指示机械臂装置10和控制设备20执行处理操作。例如,输入设备915对应于本实施方式的图6中所示的输入单元210。此外,在本实施方式中,通过用户经由输入设备915输入的操作可设置臂单元120驱动的运动目的,并且可以根据运动目的执行整体协同控制。

[0285] 输出设备917配置有能够将所获取的信息以视觉或者听觉方式通知用户的设备。作为该设备,存在诸如CRT显示设备、液晶显示设备、等离子体显示设备、EL显示设备或者灯等显示设备、诸如扬声器或者耳机等音频输出设备、打印机设备等。例如,输出设备917输出通过机械臂装置10和控制设备20执行的各种过程所获得的结果。具体地,显示设备以文本或者图像形式显示通过机械臂装置10和控制设备20执行的各种过程所获得的结果。同时,音频输出设备将包括再现音频数据、声学数据等的音频信号转换成模拟信号并且输出模拟信号。在本实施方式中,可以各种形式从输出设备917输出与臂单元120的驱动控制有关的各种信息。例如,在臂单元120的驱动控制中,可以图表形式将臂单元120的各部件的移动轨迹显示在输出设备917的显示屏幕上。此外,例如,图6中所示的显示设备30可以是包括用作显示设备的输出设备917以及诸如用于控制显示设备的驱动的控制单元等部件的功能和配置的设备。

[0286] 存储设备919是被配置为机械臂装置10和控制设备20的示例性存储单元的数据存储设备。例如,存储设备919配置有诸如硬盘驱动(HDD)、半导体存储设备、光学存储设备、磁光学存储设备等磁性存储设备。存储设备919存储由CPU 901执行的程序、各种数据等。例如,存储设备919对应于本实施方式的图6中所示的存储单元220。此外,在本实施方式中,存储设备919可存储与利用广义逆动力学的整体协同控制有关的操作的操作条件(运动目的和约束条件),并且机械臂装置10和控制设备20可执行与利用存储在存储设备919中的操作条件的整体协同控制有关的操作。

[0287] 驱动921是记录介质读取器/写入器并且安装在机械臂装置10和控制设备20中或者附接至机械臂装置10和控制设备20。驱动921读取存储在安装在其上的诸如磁盘、光盘、磁性光盘、或者半导体记忆装置等可移动式存储介质927中的信息并且将读取信息输出至RAM 905。此外,驱动921可在安装在其上的诸如磁盘、光盘、磁性光盘、或者半导体记忆装置等可移动式存储介质927中写入记录。例如,可移动式存储介质927是DVD介质、HD-DVD介质、蓝光(注册商标)介质等。此外,可移动式存储介质927可以是微型快擦写存储卡(CF)(注册商标)、闪存存储器、安全数字(SD)存储卡等。而且,例如,可移动式存储介质927可以是配备有非接触式IC芯片、电子设备等的集成电路(IC)卡。在本实施方式中,从各种可移动式存储设备927读取与臂单元120的驱动控制有关的各种信息或者通过驱动921将与臂单元120的驱动控制有关的各种信息写入各种可移动式存储介质927中。

[0288] 连接端口923是用于直接连接设备与机械臂装置10和控制设备20的端口。作为连接端口923的实施例,存在通用串行总线(USB)端口、IEEE1394端口、小型计算机系统接口(SCSI)端口等。作为连接端口923的另一实施例,存在RS-232C端口、光学音频终端、高分辨率多媒体接口(HDMI)(注册商标)等。当外部连接设备929连接至连接端口923时,机械臂装置10和控制设备20从外部连接设备929直接获取各种数据或者将各种数据提供至外部连接设备929。在本实施方式中,可以从各种外部连接设备929读取与臂单元120的驱动控制有关

的各种信息或者通过连接端口923将与臂单元120的驱动控制有关的各种信息写入各种外部连接设备929。

[0289] 例如,通信设备925是配置有用于与通信网络(网络)931连接的通信设备的通信接口。例如,通信设备925是用于有线或者无线局域网(LAN)、蓝牙(注册商标)、或者无线USB(WUSB)的通信卡。此外,通信设备925可以是光学通信路由器、非对称式数字用户线路(ADSL)路由器、各种通信调制解调器等。例如,通信设备925可根据诸如TCP/IP等特定协议将信号传输至因特网或另一通信设备或者从因特网或另一通信设备接收信号。此外,例如,连接至通信设备925的通信网络931配置有以有线或者无线方式连接的网络并且可以是因特网、国内LAN、红外线通信、无线电波通信、卫星通信等。在本实施方式中,可通过通信设备925经由通信网络931将与臂单元120的驱动控制有关的各种信息传输至外部设备或者从外部设备接收与臂单元120的驱动控制有关的各种信息。

[0290] 上面已经描述了能够实现根据本公开的实施方式的机械臂装置10和控制设备20的功能的硬件配置。上述各部件可被配置为采用通用元件并且可由各部件功能专用的硬件配置。因此,当实施本实施方式时,可根据技术水平适当地改变呢所使用的硬件配置。此外,尽管图11中未示出,然而,机械臂装置10明显包括对应于图6中所示的臂单元120的各种部件。

[0291] 此外,可以建立用于实现根据本实施方式的机械臂装置10、控制设备20、以及显示设备30的功能的计算机程序并且将计算机程序安装在个人计算机等中。而且,还可提供存储计算机程序的计算机可读记录介质。记录介质的实施例包括磁盘、光盘、磁性光盘、以及闪存存储器。此外,例如,可以经由网络而非通过记录介质传递计算机程序。

[0292] <5.结论>

[0293] 如上所述,在本实施方式中,可获得下列效果。

[0294] 如上所述,根据本实施方式,机械臂装置10中具有多链接件结构的臂单元120具有至少6以上的自由度,并且通过驱动控制单元111控制配置臂单元120的多个联接单元130中的每个的驱动。此外,将医疗装置安装在臂单元120的前端处。如上所述,由于控制了各个联接单元130的驱动,所以实现了具有高自由度的臂单元120的驱动控制,并且实现了对用户具有高操作性医疗用途的机械臂装置10。

[0295] 具体地,根据本实施方式,在机械臂装置10中,通过联接状态检测单元132检测联接单元130的状态。此外,在控制设备20中,基于联接单元130的状态、运动目的、以及约束条件,执行与利用广义逆动力学以用于控制臂单元120的驱动的整体协同控制有关的各种操作,并且计算扭矩命令值 $\tau$ 作为操作结果。而且,在机械臂装置10中,基于扭矩命令值 $\tau$ 控制臂单元120的驱动。如上所述,在本实施方式中,通过利用广义逆动力学的整体协同控制控制臂单元120的驱动。因此,实现了根据力控制的臂单元120的驱动控制,并且实现了对用户具有高操作性的机械臂装置。此外,例如,在本实施方式中,在整体协同控制中,可执行用于实现各种运动目的以提高诸如枢转移动和动力辅助移动等用户便利性的控制。而且,例如,在本实施方式中,可手动或者通过从踏板输入的操作实现用于移动臂单元120的各种驱动单元,并且由此进一步提高用户便利性。

[0296] 此外,在本实施方式中,将整体协同控制和理想联接控制应用于臂单元120的驱动控制。在理想联接控制中,估测诸如联接单元130的摩擦或者惯性等干扰分量,并且利用所

估测的干扰分量执行前馈控制。因此,即使当存在诸如摩擦等干扰分量时,也可在联接单元130驱动时实现理想响应。因此,在臂单元120的驱动控制中实现了振动的较小影响等、高准确性响应度、以及高定位准确度或者稳定性。

[0297] 此外,例如,在本实施方式中,配置臂单元120的多个联接单元130中的每个均具有适用于图3中所示的理想联接控制的配置,并且可根据电流值控制各个联接单元130的旋转角、生成扭矩、以及粘滞阻力系数。如上所述,根据电流值控制各个联接单元130的驱动,并且在检测臂单元120的整体状态同时,根据整体协同控制控制各个联接单元130的驱动,并且由此不需要制衡,并且实现了小型机械臂装置10。

[0298] 如上所述,根据本实施方式,可以完成在上面<1.医用机械臂装置的概述>中描述的机械臂装置所需的所有功能。因此,可以采用根据本实施方式的机械臂装置更为高效地执行各种医疗程序并且进一步减少用户或者患者的疲惫感或者负担。

[0299] 此外,在本实施方式中,当通过力控制驱动机械臂装置10的臂单元120时,即使臂单元120在驱动过程中干扰执业者、人员等或者与执业者、人员等接触,臂单元120也不产生比所需更大的力,并且臂单元120安全停止。而且,当解除干扰时,臂单元120根据设置的运动目的移动至所需位置,并且继续执行医疗程序。如上所述,在本实施方式中,当使用力控制用于机械臂装置10的驱动控制时,即使臂单元120在被驱动的同时干扰附近的事物,也可获得高度安全性。

[0300] 上面已经参考附图描述了本公开的优选实施方式,当然,本公开并不局限于上述实施例。本领域技术人员可以在所附权利要求的范围内做出各种变形和改造,并且应当理解的是,该等变形和改造在性质上应落在本公开的技术范围内。

[0301] 例如,上述实施方式已经示出了其中机械臂装置中臂单元的前端单元是成像单元并且在图1中所示的手术过程中通过成像单元拍摄医疗程序部位的实施例,但是,本实施方式并不局限于该实施例。即使出于其他用途使用包括不同前端单元的机械臂装置,也可应用根据本实施方式的机械臂控制系统1。例如,前端单元可以是内诊镜或者腹腔镜(以及治疗工具),并且可以是诸如超声波检查装置或者胃内照相机等任何其他检查设备。

[0302] 例如,在采用腹腔镜的医疗程序中,执行从不同角度将多种治疗工具和腹腔镜嵌入到患者体内并且在通过腹腔镜观察医疗程序部位的同时使用治疗工具执行各种治疗的医疗程序方法。例如,在该医疗程序方法中,当执业者在通过机械臂操作用于观察医疗程序部位的腹腔镜同时操作治疗工具时,单一用户可执行医疗程序,并且可更为高效地执行医疗程序。通过现有通用平衡臂的操作性,很难使单一用户利用其手对治疗工具执行操作并且同时通过平衡臂执行腹腔镜的操作。因此,在现有方法中,通常,需要多个人员,并且一个执业者在操作治疗工具的同时执行治疗,并且另一人操作观察腹腔镜。然而,在根据本实施方式的机械臂装置中,通过如上所述整体协同控制实现高操作性。此外,通过理想联接控制实现了较小影响的振动等、高准确性响应度、以及高稳定性。因此,例如,因为通过根据本实施方式的机械臂装置操作观察腹腔镜,所以一个执业者可利用其手容易地对治疗工具执行操作并且通过机械臂装置对观察腹腔镜执行操作。

[0303] 此外,可出于除医疗用途之外的目的使用根据本实施方式的机械臂装置。例如,在根据本实施方式的机械臂装置中,因为通过理想联接控制实现了高准确性响应度和高稳定性,所以还可以处理诸如以高度准确确定执行的工业部件的处理或者组装等任务。

[0304] 此外,已经结合其中机械臂装置的联接单元包括旋转机构并且将旋转机构的旋转驱动控制成使得控制臂单元的驱动的实施例描述了上述实施方式,但是,本实施方式并不局限于该实施列。例如,在根据本实施方式的机械臂装置中,配置臂单元的链接件可具有在链接件的延伸方向上扩展或者收缩的机构,并且链接件长度可变。例如,当链接件长度可变时,将臂单元的驱动控制成使得通过其中除联接单元的旋转之外考虑链接件的扩展和收缩的整体协同控制实现所需的运动目的。

[0305] 此外,已经结合其中机械臂装置中的臂单元的自由度为6以上的自由度的实施列描述了上述实施方式,但是,本实施方式并不局限于该实施列。此外,将以其中配置臂单元的多个联接单元中的每个均包括支撑理想联接控制的致动器的实施列继续进行描述,但是,本实施方式并不局限于该实施列。在本实施方式中,可以根据机械臂装置的用途设置各种运动目的。因此,只要可以实现所设置的运动目的,则臂单元可具有小于6个的自由度,并且配置臂单元的多个联接单元中的一些可以是具有通用联接机构的联接单元。如上所述,在本实施方式中,臂单元可被配置为能够实现运动目的或者可根据机械臂装置的用途适当地配置。

[0306] 此外,本技术还可被配置如下。

[0307] (1) 一种医用机械臂装置,包括:

[0308] 多个联接单元,所述多个联接单元被配置为连接多个链接件并且在配置有所述多个链接件的多链接件结构驱动时实现至少6以上的自由度;和

[0309] 驱动控制单元,被配置为基于所述联接单元的状态控制所述联接单元的驱动;

[0310] 其中,附接至所述多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

[0311] (2) 根据(1)所述的医用机械臂装置,

[0312] 其中,所述驱动控制单元利用基于所述多个联接单元的所检测的状态以及所述多链接件结构的运动目的和约束条件而获取的所述多链接件结构的状态基于用于根据广义逆动力学计算的所述多链接件结构的整体协同控制的控制值控制所述联接单元的驱动。

[0313] (3) 根据(2)所述的医用机械臂装置,

[0314] 其中,基于用作作用于在描述作用于所述多链接件的力与在所述多链接件结构中产生的加速度之间的关系以及通过将所述虚力转换成用于基于所述约束条件驱动所述联接单元的实际力而获得的实际力的操作空间中实现所述运动目的的虚力的虚力计算所述控制值。

[0315] (4) 根据(2)或(3)所述的医用机械臂装置,

[0316] 其中,所述驱动控制单元基于用于实现通过校正干扰对所述控制值的影响而计算的所述多链接件结构的理想响应的命令值控制所述联接单元的所述驱动。

[0317] (5) 根据(4)所述的医用机械臂装置,

[0318] 其中,通过利用基于所述联接单元的所检测的状态估测的指示干扰对所述联接单元的所述驱动的影响的干扰估测值校正所述控制值而计算所述命令值。

[0319] (6) 根据(2)至(5)中任一项所述的医用机械臂装置,

[0320] 其中,所述运动目的至少是控制所述联接单元的状态以使得抵消作用于所述多链接件结构的重力并且控制所述联接单元的状态以支持所述多链接件结构在从外部进一步施加力的方向上的移动的动力辅助移动。

- [0321] (7) 根据(2)至(6)中任一项所述的医用机械臂装置,
- [0322] 其中,所述运动目的是这样一种转向移动,其中,安装在用作所述多链接件结构的臂的前端处的前端单元在将所述前端单元的方向固定在空间中的特定点上并且将所述圆锥体的轴用作枢转轴的状态下在具有特定点作为顶点的圆锥体的平面内移动。
- [0323] (8) 根据(7)所述的医用机械臂装置,
- [0324] 其中,在所述转向移动中,保持所述前端单元与所述特定点之间的距离不变。
- [0325] (9) 根据(2)至(6)中任一项所述的医用机械臂装置,
- [0326] 其中,所述前端单元是被配置为安装在用作所述多链接件结构的臂的前端处并且获取拍摄目标的图像的成像单元;并且
- [0327] 所述运动目的是这样一种转向移动,其中,所述成像单元在所述成像单元的拍摄方向固定在空间中的特定点上并且将所述圆锥体的轴用作枢转轴的状态下在具有特定点作为顶点的圆锥体的平面内移动。
- [0328] (10) 根据(9)所述的医用机械臂装置,
- [0329] 其中,在所述转向移动中,保持所述成像单元与所述特定点之间的距离不变。
- [0330] (11) 根据(1)至(10)中任一项所述的医用机械臂装置,
- [0331] 其中,所述多个联接单元中的每个均包括被配置为检测所述联接单元的状态的联接状态检测单元;并且
- [0332] 其中,所述联接状态检测单元至少包括:
- [0333] 扭矩检测单元,所述扭矩检测单元被配置为检测所述联接单元的生成的扭矩和从外部施加到所述联接单元的外部扭矩;和
- [0334] 旋转角检测单元,所述旋转角检测单元被配置为检测所述联接单元的旋转角。
- [0335] (12) 根据(4)或(5)所述的医用机械臂装置,
- [0336] 其中,所述控制值和所述命令值是所述联接单元的生成的扭矩。
- [0337] (13) 一种医用机械臂控制系统,包括:
- [0338] 医用机械臂装置,包括:
- [0339] 多个联接单元,所述多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有所述多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度;和
- [0340] 驱动控制单元,所述驱动控制单元基于所述多联接单元的检测的状态控制所述联接单元的驱动;
- [0341] 其中,附接至所述多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置;和
- [0342] 控制设备,所述控制设备包括整体协同控制单元,所述整体协同控制单元被配置为利用基于所述多个联接单元的所检测的状态以及所述多链接件结构的运动目的和约束条件而获取的所述多链接件结构的状态根据广义逆动力学计算用于所述多链接件结构的整体协同控制的控制值。
- [0343] (14) 一种医用机械臂控制方法,包括:
- [0344] 检测多个联接单元的状态,所述多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有所述多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度;并且
- [0345] 基于所述多个联接单元的所检测的状态控制所述联接单元的驱动;
- [0346] 其中,附接至所述多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。

- [0347] (15)一种用于使计算机执行下列功能的程序：
- [0348] 检测多个联接单元的状态的功能，所述多个联接单元被配置为连接多个链接件并且相对于配置有所述多个链接件的多链接件结构实现至少6以上的自由度；和
- [0349] 基于所述多个联接单元的所检测的状态控制所述联接单元的驱动的功能；
- [0350] 其中，附接至所述多链接件结构的前端的前端单元为至少一种医疗装置。
- [0351] 参考标号列表
- [0352] 1 机械臂控制系统
- [0353] 10 机械臂装置
- [0354] 20 控制设备
- [0355] 30 显示设备
- [0356] 110 臂控制单元
- [0357] 111 驱动控制单元
- [0358] 120 臂单元
- [0359] 130 联接单元
- [0360] 131 联接驱动单元
- [0361] 132 旋转角检测单元
- [0362] 133 扭矩检测单元
- [0363] 140 成像单元
- [0364] 210 输入单元
- [0365] 220 存储单元
- [0366] 230 控制单元
- [0367] 240 整体协同控制单元
- [0368] 241 臂状态获取单元
- [0369] 242 操作条件设置单元
- [0370] 243 虚力计算单元
- [0371] 244 实际力计算单元
- [0372] 250 理想联接控制单元
- [0373] 251 干扰估测单元
- [0374] 252 命令值计算单元

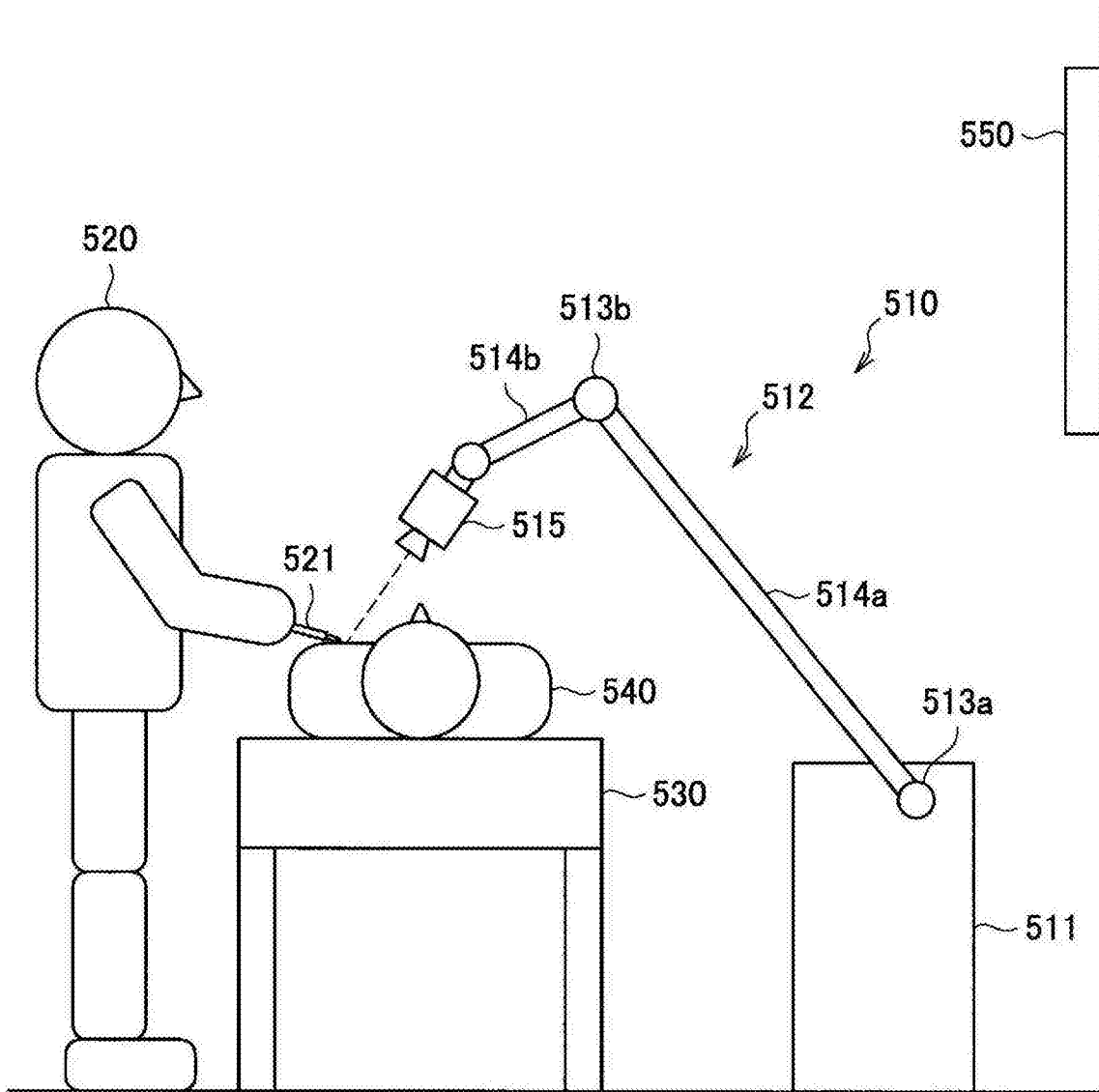


图1

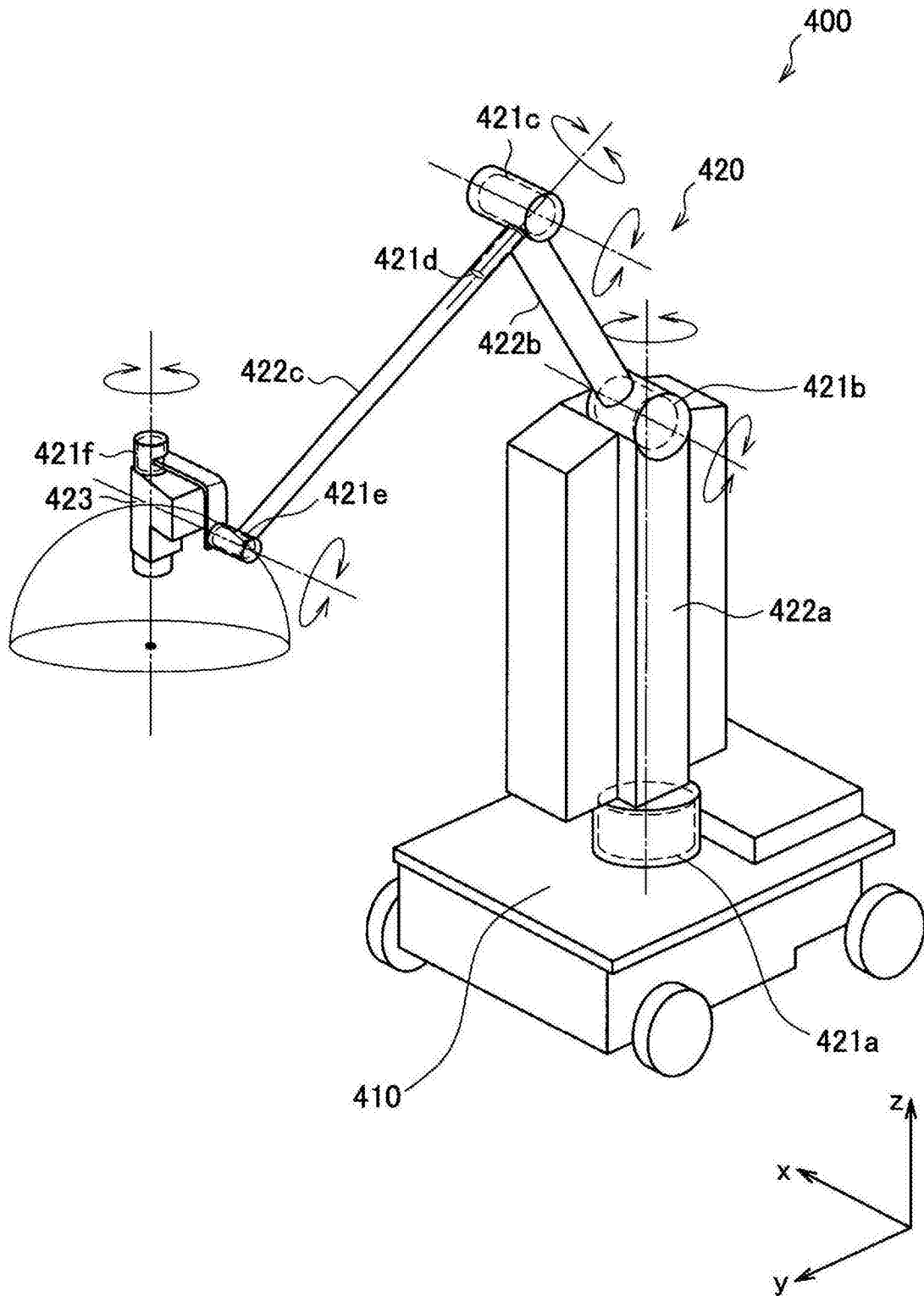


图2



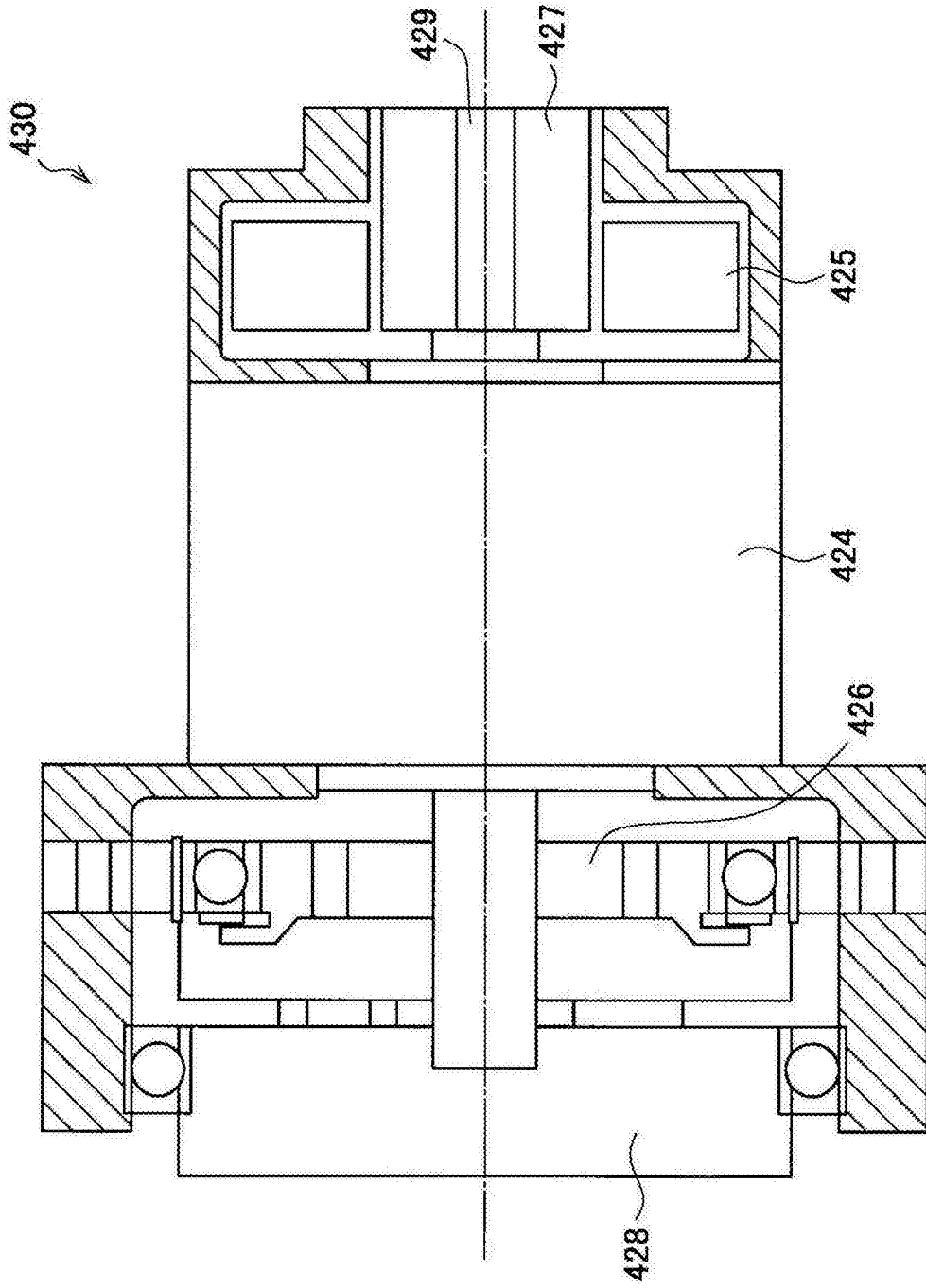


图3

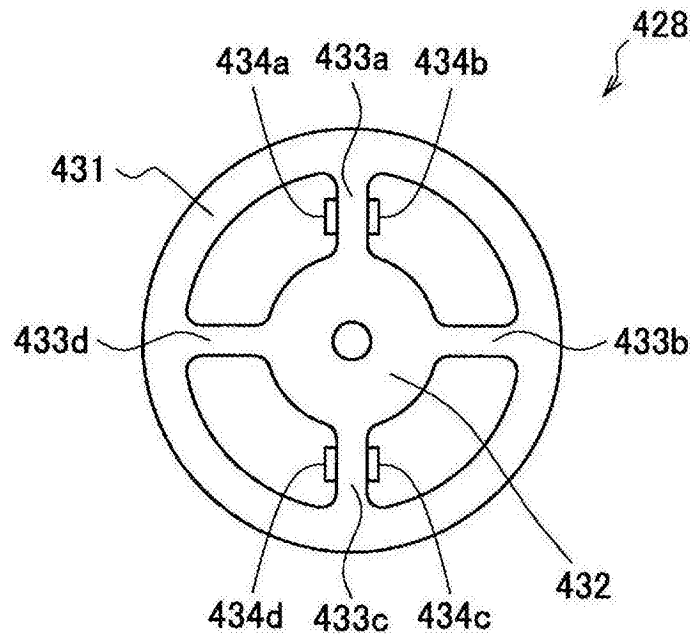


图4A

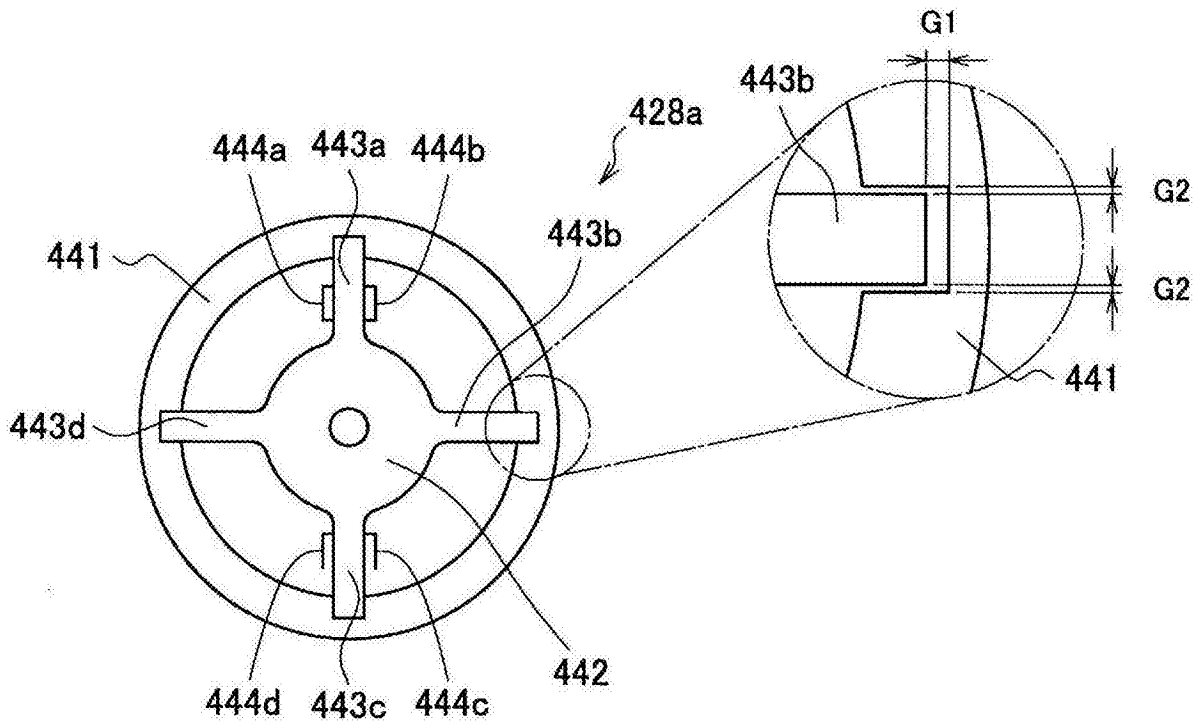


图4B

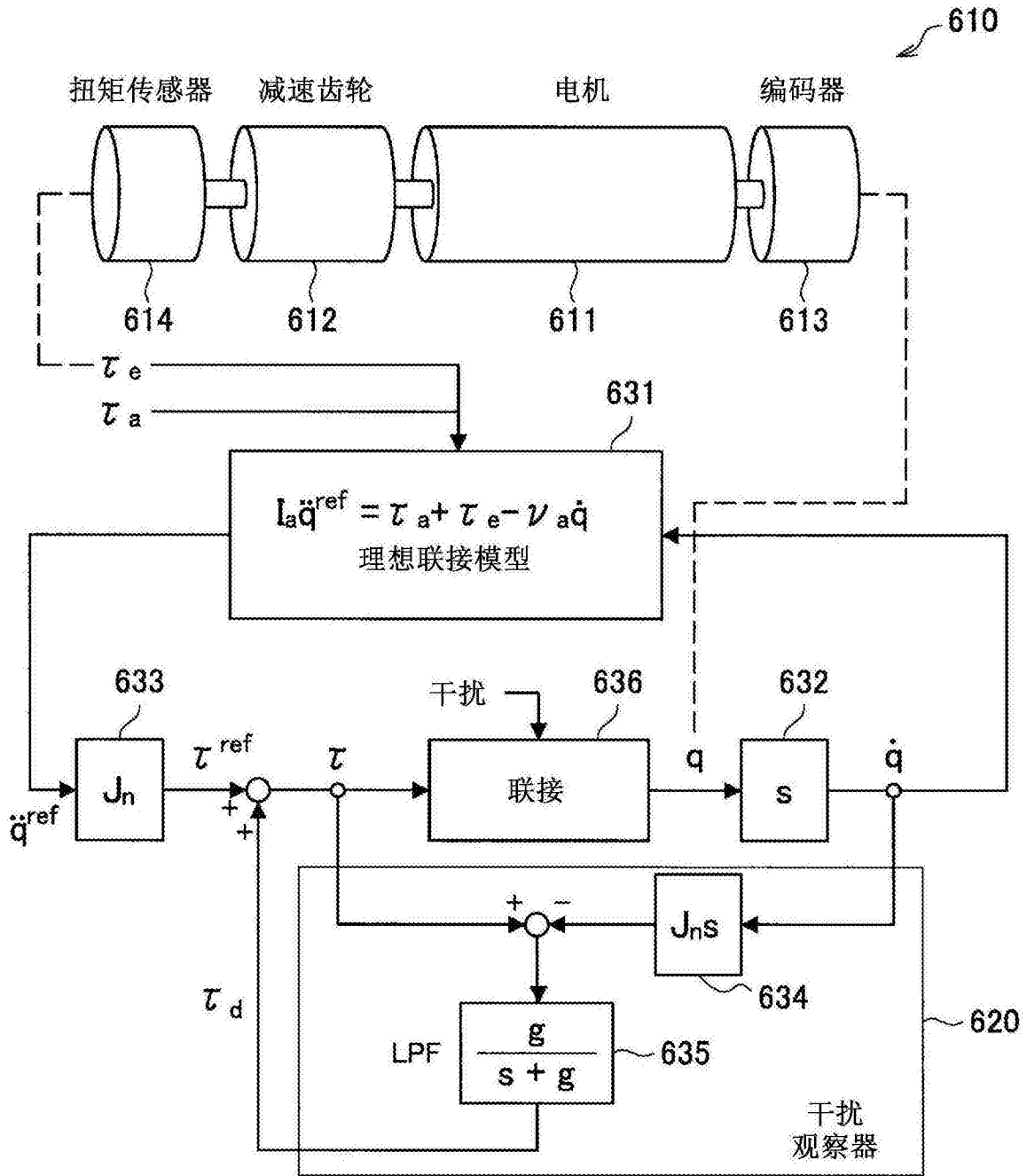


图5

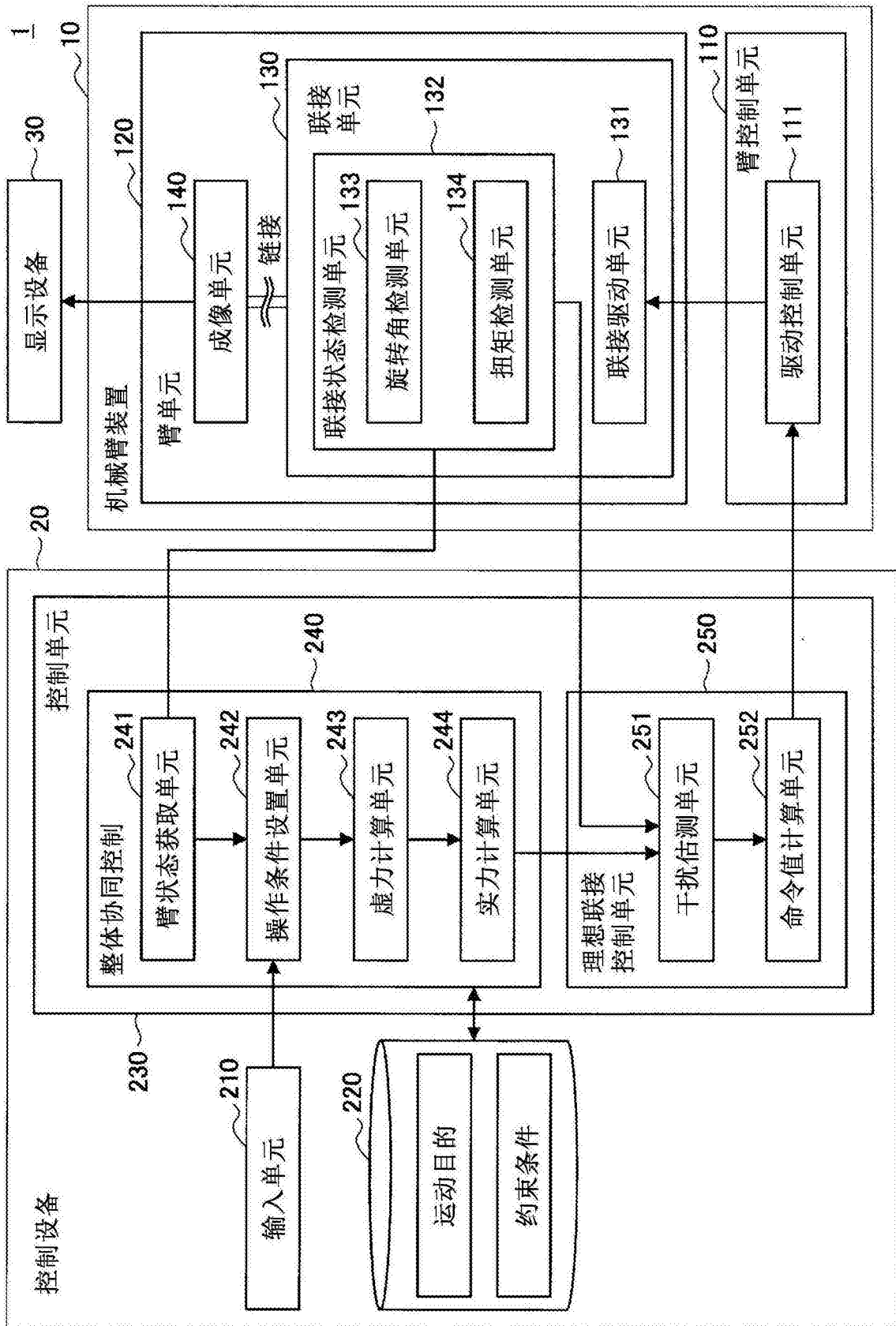


图6

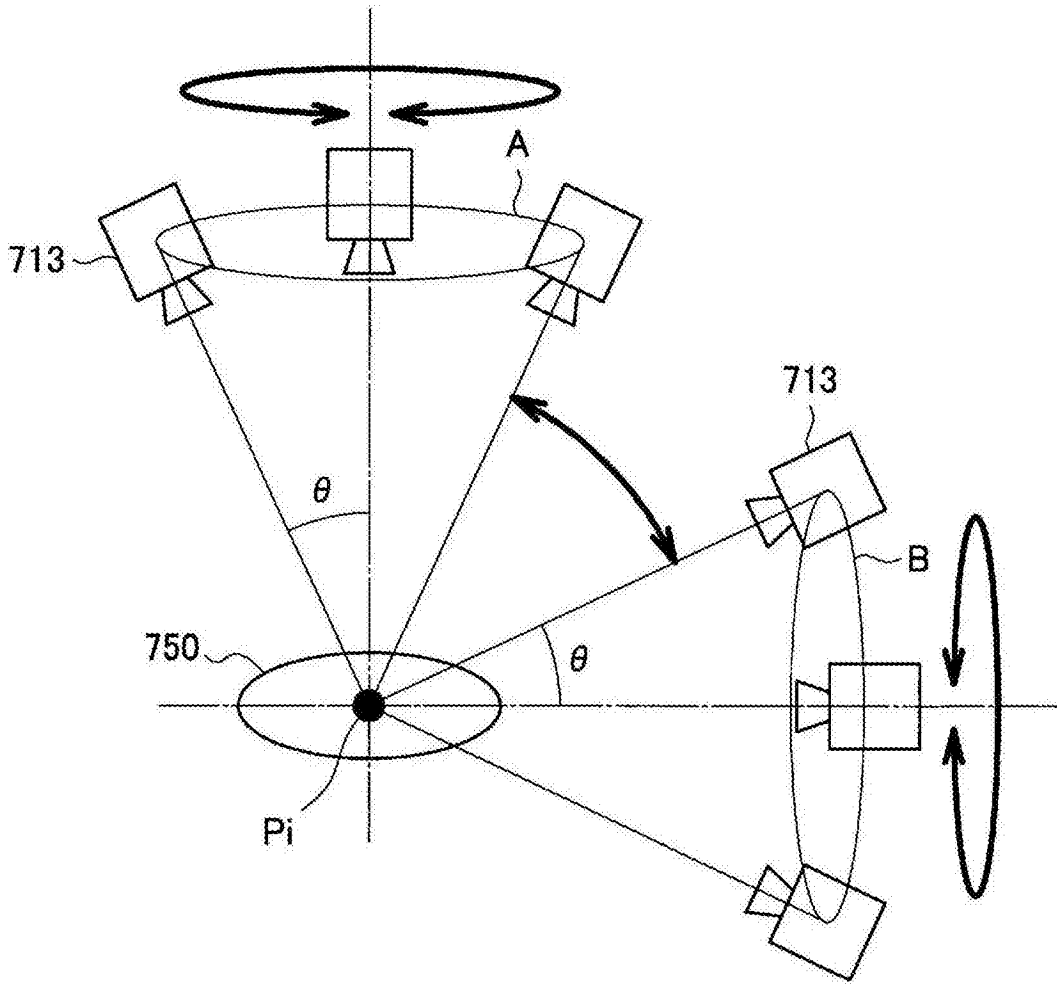


图7

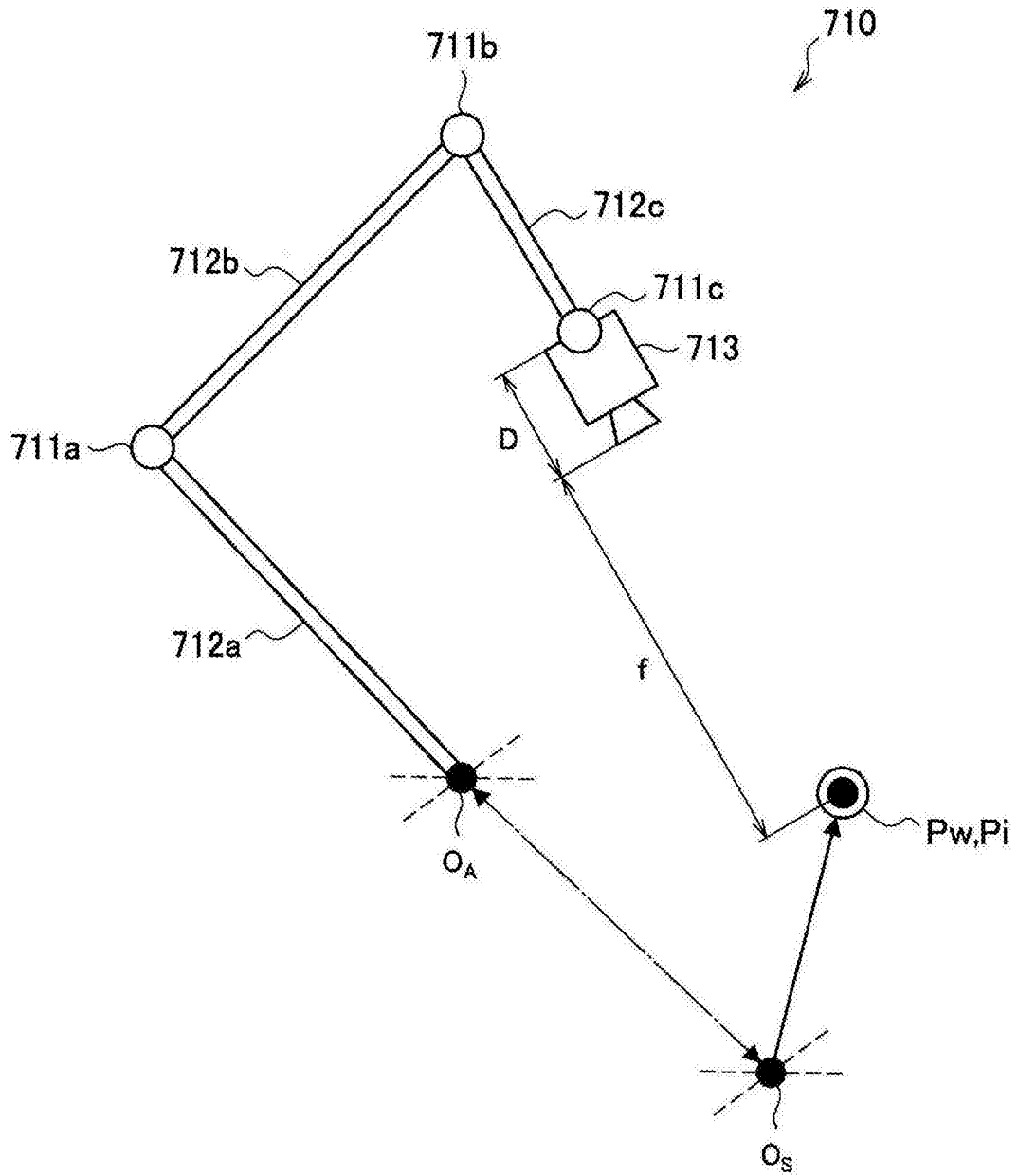


图8

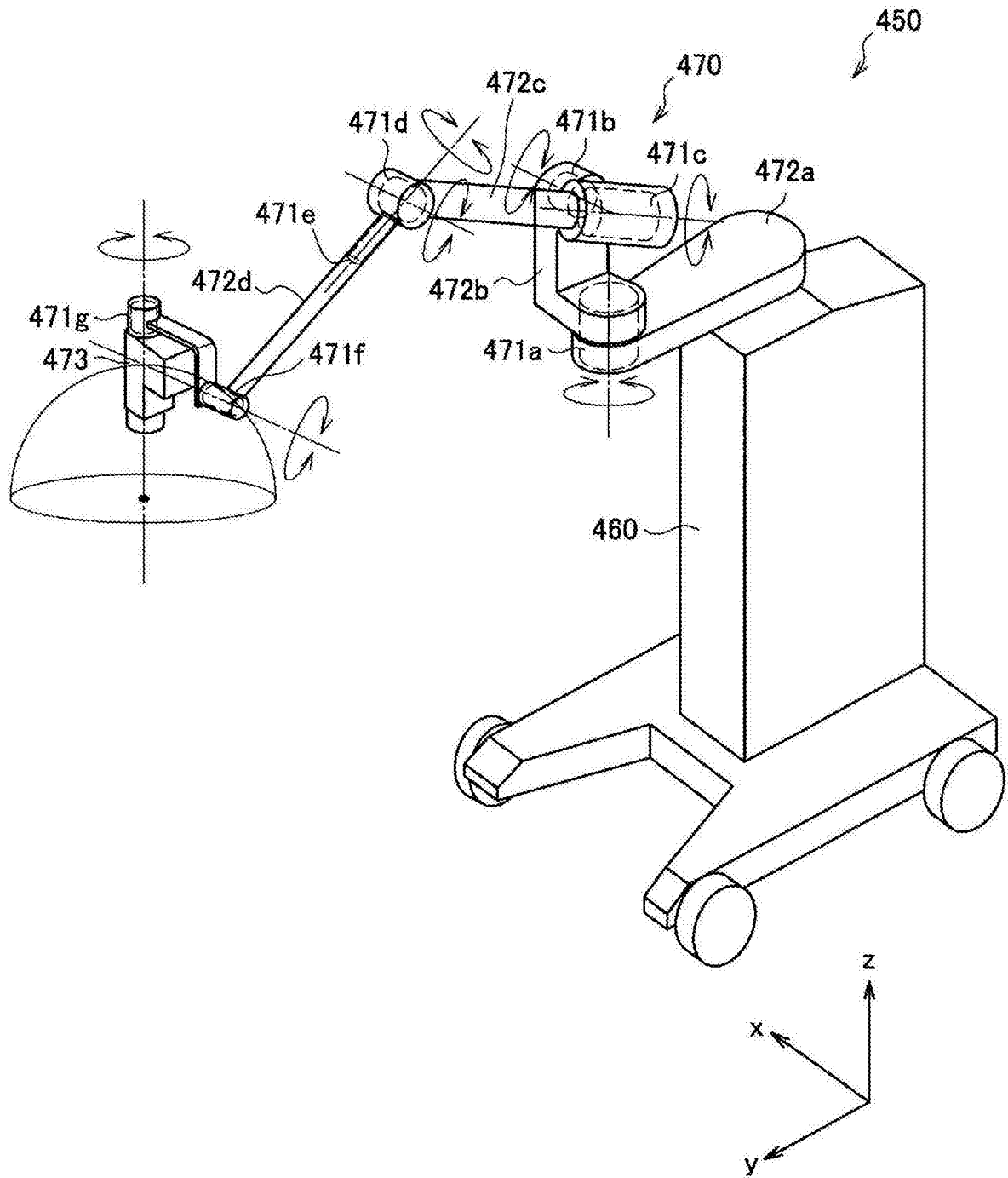


图9

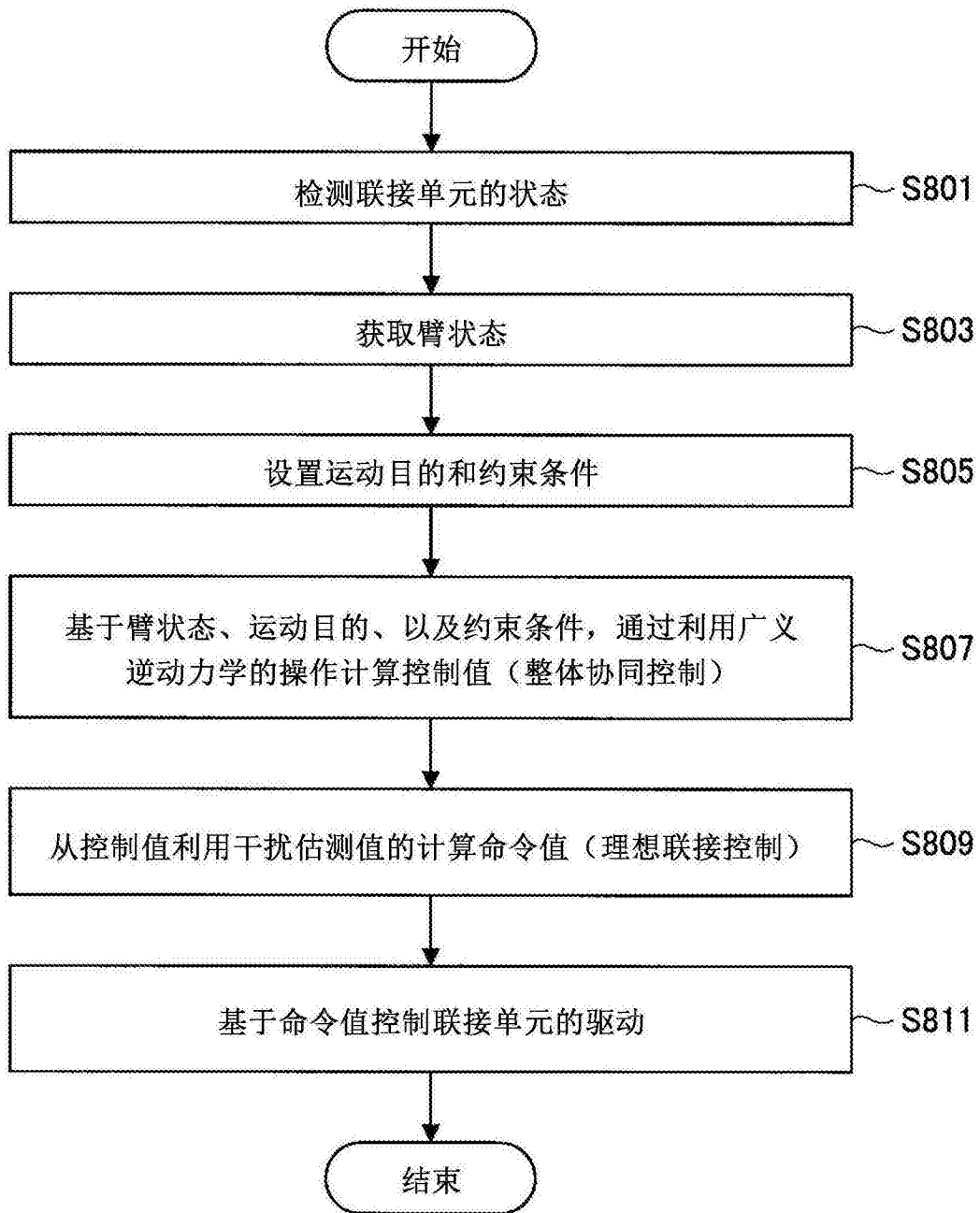


图10



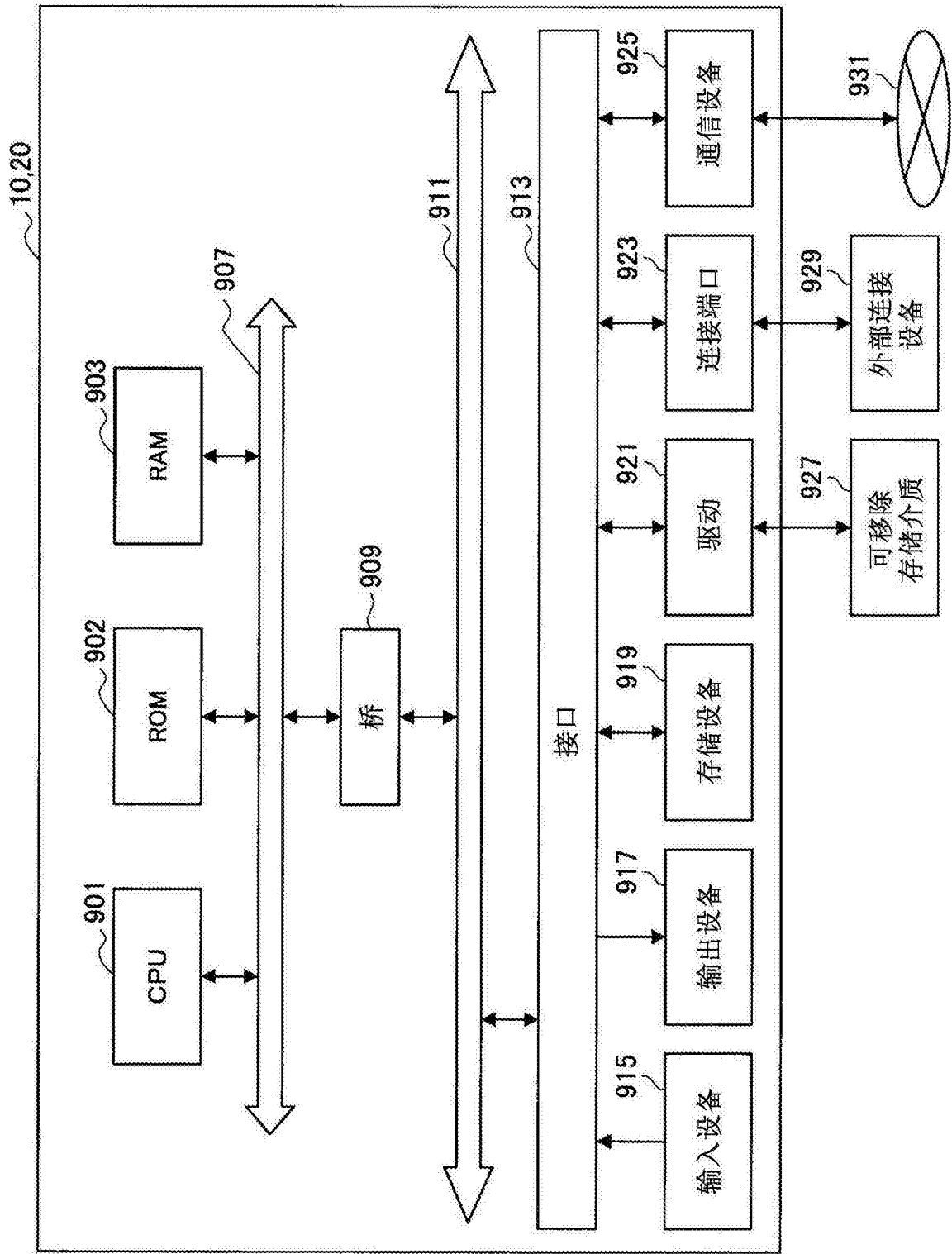


图11