



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118024231 B

(45) 授权公告日 2024. 12. 17

(21) 申请号 202410107934.9

B25J 9/16 (2006.01)

(22) 申请日 2024.01.25

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 102848389 A, 2013.01.02

申请公布号 CN 118024231 A

CN 106514623 A, 2017.03.22

(43) 申请公布日 2024.05.14

CN 107363820 A, 2017.11.21

CN 114393566 A, 2022.04.26

(73) 专利权人 清华大学

审查员 刘沃强

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72) 发明人 王国磊 王天奥 吴丹 张继文
徐静

(74) 专利代理机构 北京知联天下知识产权代理
有限公司 11594

专利代理师 刘彦平

(51) Int. Cl.

B25J 9/10 (2006.01)

B25J 17/00 (2006.01)

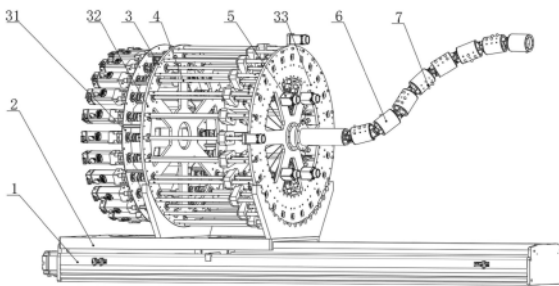
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法

(57) 摘要

本发明属于机械臂技术领域,公开了一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法,其中机械臂包括驱动固定模块、驱动模块、视觉模块、机械臂模块和反光标记点组;多组驱动模块沿驱动固定模块周向设置,机械臂模块设置在驱动固定模块的一端,每组驱动模块通过钢丝绳与机械臂模块连接,反光标记点组设置在机械臂模块上;视觉模块靠近机械臂模块设置在驱动固定模块上,视觉模块用于获取反光标记点组的图像,视觉模块还用于识别障碍物信息。本发明可以反馈关节的位姿信息,使机械臂模块不必依赖于机械工装进行零位标定,操作便捷,节省成本。本发明实现了位姿的闭环控制,相比于位置闭环控制和拉力闭环控制,提高了控制精度。



1. 一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

视觉模块将采集的机械臂模块上的反光标记点组图像发送给控制器;其中,视觉模块包括多个相机;

控制器根据反光标记点组图像,确定图像中反光标记点组相对于相机坐标系的三维坐标信息,包括以下步骤:将机械臂模块置于水平状态,根据反光标记点组图像,获得每个反光标记点相对于相机坐标系的三维坐标信息;根据每个反光标记点相对于相机坐标系的三维坐标信息,将相互距离最近的4个反光标记点组合为一个反光标记点组,将一个反光标记点组作为一个整体,获得每个反光标记点组在相机坐标系的三维坐标信息;当机械臂模块运动时,将当前的图像和前几帧图像一起作为输入,判断运动趋势,实时跟踪反光标记点的位置,防止关节误判;

控制器根据反光标记点组相对于相机坐标系的三维坐标信息,确定机械臂模块的每个关节相对于前一关节在两个方向上的旋转角度;

控制器根据机械臂模块的每个关节相对于前一关节在两个方向上的旋转角度,确定机械臂模块的每个关节的位姿。

2. 一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,用于执行权利要求1所述的控制方法,包括驱动固定模块、驱动模块、视觉模块、机械臂模块和反光标记点组;

其中,多组所述驱动模块沿所述驱动固定模块周向设置,所述机械臂模块设置在所述驱动固定模块的一端,每组所述驱动模块通过钢丝绳与所述机械臂模块连接,所述反光标记点组设置在所述机械臂模块上;所述视觉模块靠近所述机械臂模块设置在所述驱动固定模块上,所述视觉模块用于获取所述反光标记点组的图像,所述视觉模块还用于识别障碍物信息。

3. 根据权利要求2所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,还包括滑台和支撑架,所述支撑架的底部与所述滑台的上端滑动连接,所述驱动固定模块设置在所述支撑架的顶部。

4. 根据权利要求3所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述驱动固定模块包括固定板、前面板和后面板;

其中,所述固定板、所述前面板、所述后面板依次以设定间距相互平行固定在所述支撑架的顶部,所述固定板与所述前面板之间通过多个螺栓固定连接。

5. 根据权利要求4所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述驱动模块还包括伺服电机、减速机、联轴器、支座支持块、丝杆、光杆、锁紧装置、滑块、导轮安装块、支座固定块、力传感器和导轮支架;

其中,所述伺服电机、所述减速机、所述联轴器、所述支座支持块、所述丝杆、所述支座固定块依次连接,所述伺服电机与所述减速机连接后与所述固定板固定连接,所述支座支持块与所述前面板固定连接,所述支座固定块与所述后面板固定连接;

所述丝杆的一端通过所述支座支持块固定在所述前面板上,所述丝杆的另一端通过所述支座固定块固定在后面板上,所述光杆的两端分别固定在所述前面板和所述后面板上,所述光杆与所述丝杆平行设置;

所述滑块套装在所述丝杆和所述光杆上,所述导轮安装块固定设置在所述后面板上,

所述力传感器的一侧与所述导轮安装块连接,所述力传感器的另一侧与所述导轮支架连接;

所述机械臂模块固定设置在所述后面板上,所述钢丝绳的一端穿过所述后面板中间的孔与所述机械臂模块的关节连接,所述钢丝绳的另一端依次经过所述导轮支架和所述导轮安装块后,与所述锁紧装置固定连接,所述锁紧装置固定设置在所述滑块上。

6.根据权利要求5所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述力传感器的一侧固定在导轮安装块上,所述力传感器的另一侧与所述导轮支架连接,钢丝绳的一端固定在所述机械臂模块的关节上,所述钢丝绳的另一端依次通过所述导轮支架底部的第一定滑轮、所述导轮安装块底部的第二定滑轮、所述导轮安装块顶部的第三定滑轮后,与所述锁紧装置固定连接。

7.根据权利要求5所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述锁紧装置包括固定螺柱、夹紧头和夹紧螺母;

其中,所述固定螺柱的一端通过螺纹固定在所述滑块上,所述夹紧螺母与所述固定螺柱的另一端螺纹连接,所述夹紧头设置在所述夹紧螺母与所述固定螺柱之间,所述钢丝绳依次穿过所述固定螺柱、所述夹紧头和所述夹紧螺母,所述夹紧头的楔形装置将所述钢丝绳夹紧。

8.根据权利要求4-7任一所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述视觉模块包括多个设置在后面板上的相机,多个所述相机分两组设置,两组相机分别分布在两个同心圆上。

9.根据权利要求2所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述机械臂模块包括多个串联的关节,相邻的两个关节之间通过连接块连接。

10.根据权利要求9所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,每个关节相对相邻关节绕两个转轴转动,一个所述连接块提供两个自由度,所述机械臂模块自由度数是该关节数量的两倍。

11.根据权利要求9所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述关节包括机械臂体,所述机械臂体的两端设有过渡连接结构,所述过渡连接结构包括环形本体,所述机械臂体与所述环形本体过盈配合,所述环形本体上还相对设置有两个连接部,所述连接部上设置有连接孔;

所述连接块上沿周向设置有多安装孔,通过销钉将连接块的安装孔与两个关节的过渡连接结构的连接孔固定。

12.根据权利要求11所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述机械臂体采用碳纤维管。

13.根据权利要求11所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,多个所述安装孔包括第一安装孔、第二安装孔、第三安装孔和第四安装孔,所述第一安装孔和所述第三安装孔相对设置,所述第二安装孔和所述第四安装孔相对设置。

14.根据权利要求11所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述环形本体上沿周向设置有多通孔,所述通孔的数量等于钢丝绳的数量,所述通孔的数量是关节数量的三倍,每组钢丝绳包括三根,三根钢丝绳的一端与尾端关节连接。

15.根据权利要求11所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,其特征在于,所述

机械臂体上还设置有多个关节孔,若干所述关节孔上设置有反光标记点,所述反光标记点与关节孔螺纹连接,一个关节上的多个反光标记点形成一个反光标记点组,通过每个反光标记点组中的反光标记点之间的距离不同区分不同关节。

一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于机械臂技术领域,特别涉及一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法。

背景技术

[0002] 绳驱动超冗余机械臂是一种在机械臂领域的新技术,绳索驱动的超冗余机械臂的驱动模块和机械臂模块分离,通过带动钢丝绳运动进而控制机械臂运动,这种方法具有很大的灵活性,减小了机械臂体积和重量,能够适应复杂的工作环境和非结构化的任务,避免了环境对驱动模块产生的影响,相比于传统机械臂关节数目更多,冗余度更高,自由度远远大于任务空间维数,使机械臂可以更加高效的规避障碍物,以适应各种复杂的工作环境和难以预测的工作场景。绳驱动超冗余机械臂已广泛应用于拾取、装配、医疗等场景。

[0003] 绳驱动超冗余机械臂通过伺服电机拉动绳索进而带动机械臂进行运动,由于绳索存在弹性形变,仅采用位置闭环控制难以保证控制精度。

[0004] 例如,专利文献CN116038662A中,在钢丝绳末端采用力传感器反馈绳中的拉力,提出采用力位结合的方式控制,对于此种机械臂,钢丝绳与机械臂直接接触相对运动,之间存在较大的滑动摩擦力,此部分摩擦力无法准确进行计算,且钢丝绳之间存在差异性,每根钢丝绳的弹性系数不同,与机械臂之间的摩擦力也不同。由于以上原因,对绳驱动超冗余机械臂采用力位混合控制的方式难以实现精确控制。

[0005] 例如,专利文献CN107363820A公开了一种可检测关节姿态的高冗余柔性机械臂装置,通过检测连接铰内两个相互垂直的转轴的相对转角来唯一确定当前关节的姿态,通过闭环反馈实现对机械臂的精确控制。通过此种方法可以进行机械臂零位标定,但在每个关节都需要安装两个传感器,结构繁琐,且需要多路接口接受反馈的数据,控制复杂。

[0006] 综上,现有的绳驱动超冗余机械臂存在以下问题:

[0007] 1、使用机械工装进行绳驱动超冗余机械臂的零位标定,成本高,操作复杂。

[0008] 2、由于钢丝绳具有弹性形变,且无法准确计算钢丝绳与机械臂之间存在较大的滑动摩擦力,位置闭环控制和拉力闭环控制精度差。

发明内容

[0009] 针对上述问题,本发明提供一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法,采用以下技术方案:

[0010] 一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,包括驱动固定模块、驱动模块、视觉模块、机械臂模块和反光标记点组;

[0011] 其中,多组所述驱动模块沿所述驱动固定模块周向设置,所述机械臂模块设置在所述驱动固定模块的一端,每组所述驱动模块通过钢丝绳与所述机械臂模块连接,所述反光标记点组设置在所述机械臂模块上;所述视觉模块靠近所述机械臂模块设置在所述驱动固定模块上,所述视觉模块用于获取所述反光标记点组的图像,所述视觉模块还用于识别

障碍物信息。

[0012] 进一步的,还包括滑台和支撑架,所述支撑架的底部与所述滑台的上端滑动连接,所述驱动固定模块设置在所述支撑架的顶部。

[0013] 进一步的,所述驱动固定模块包括固定板、前面板和后面板;

[0014] 其中,所述固定板、所述前面板、所述后面板依次以设定间距相互平行固定在所述支撑架的顶部,所述固定板与所述前面板之间通过多个螺栓固定连接。

[0015] 进一步的,所述驱动模块还包括伺服电机、减速机、联轴器、支座支持块、丝杆、光杆、锁紧装置、滑块、导轮安装块、支座固定块、力传感器和导轮支架;

[0016] 其中,所述伺服电机、所述减速机、所述联轴器、所述支座支持块、所述丝杆、所述支座固定块依次连接,所述伺服电机与所述减速机连接后与所述固定板固定连接,所述支座支持块与所述前面板固定连接,所述支座固定块与所述后面板固定连接;

[0017] 所述丝杆的一端通过所述支座支持块固定在所述前面板上,所述丝杆的另一端通过所述支座固定块固定在后面板上,所述光杆的两端分别固定在所述前面板和所述后面板上,所述光杆与所述丝杆平行设置;

[0018] 所述滑块套装在所述丝杆和所述光杆上,所述导轮安装块固定设置在所述后面板上,所述力传感器的一侧与所述导轮安装块连接,所述力传感器的另一侧与所述导轮支架连接;

[0019] 所述机械臂模块固定设置在所述后面板上,所述钢丝绳的一端穿过所述后面板中间的孔与所述机械臂模块的关节连接,所述钢丝绳的另一端依次经过所述导轮支架和所述导轮安装块后,与所述锁紧装置固定连接,所述锁紧装置固定设置在所述滑块上。

[0020] 进一步的,所述力传感器的一侧固定在导轮安装块上,所述力传感器的另一侧与所述导轮支架连接,钢丝绳的一端固定在所述机械臂模块的关节上,所述钢丝绳的另一端依次通过所述导轮支架底部的第一定滑轮、所述导轮安装块底部的第二定滑轮、所述导轮安装块顶部的第三定滑轮后,与所述锁紧装置固定连接。

[0021] 进一步的,所述锁紧装置包括固定螺柱、夹紧头和夹紧螺母;

[0022] 其中,所述固定螺柱的一端通过螺纹固定在所述滑块上,所述夹紧螺母与所述固定螺柱的另一端螺纹连接,所述夹紧头设置在所述夹紧螺母与所述固定螺柱之间,所述钢丝绳依次穿过所述固定螺柱、所述夹紧头和所述夹紧螺母,所述夹紧头的楔形装置将所述钢丝绳夹紧。

[0023] 进一步的,所述视觉模块包括多个设置在后面板上的相机,多个所述相机分两组设置,两组相机分别分布在两个同心圆上。

[0024] 进一步的,所述机械臂模块包括多个串联的关节,相邻的两个关节之间通过连接块连接。

[0025] 进一步的,每个关节相对相邻关节绕两个转轴转动,一个所述连接块提供两个自由度,所述机械臂模块自由度数是关节数量的两倍。

[0026] 进一步的,所述关节包括机械臂体,所述机械臂体的两端设有过渡连接结构,所述过渡连接结构包括环形本体,所述机械臂体与所述环形本体过盈配合,所述环形本体上还相对设置有两个所述连接部,所述连接部上设置有连接孔;

[0027] 所述连接块上沿周向设置有多安装孔,通过销钉将连接块的安装孔与两个关节

的过渡连接结构的连接孔固定。

[0028] 进一步的,所述机械臂体采用碳纤维管。

[0029] 进一步的,多个所述安装孔包括第一安装孔、第二安装孔、第三安装孔和第四安装孔,所述第一安装孔和所述第三安装孔相对设置,所述第二安装孔和所述第四安装孔相对设置。

[0030] 进一步的,所述环形本体上沿周向设置有多通孔,所述通孔的数量等于钢丝绳的数量,所述通孔的数量是关节数量的三倍,每组钢丝绳包括三根,三根钢丝绳的一端与尾端关节连接。

[0031] 进一步的,所述机械臂体上还设置有多关节孔,若干所述关节孔上设置有反光标记点,所述反光标记点与关节孔螺纹连接,一个关节上的多个反光标记点形成一个反光标记点组,通过每个反光标记点组中的反光标记点之间的距离不同区分不同关节。

[0032] 本发明还提供一种所述的关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂的控制方法,包括以下步骤:

[0033] 视觉模块将采集的机械臂模块上的反光标记点组图像发送给控制器;其中,视觉模块包括多个相机;

[0034] 控制器根据反光标记点组图像,确定图像中反光标记点组相对于相机坐标系的三维坐标信息;

[0035] 控制器根据反光标记点组相对于相机坐标系的三维坐标信息,确定机械臂模块的每个关节相对于前一关节在两个方向上的旋转角度;

[0036] 控制器根据机械臂模块的每个关节相对于前一关节在两个方向上的旋转角度,确定机械臂模块的每个关节的位姿。

[0037] 进一步的,控制器根据反光标记点组图像,确定图像中反光标记点组相对于相机坐标系的三维坐标信息,包括以下步骤:

[0038] 机械臂模块处于水平姿态,根据反光标记点组图像,获得每个反光标记点相对于相机坐标系的三维坐标信息;

[0039] 根据每个反光标记点相对于相机坐标系的三维坐标信息,将相互距离最近的4个反光标记点组合为一个反光标记点组,将一个反光标记点组作为一个整体,获得每个反光标记点组在相机坐标系的三维坐标信息;

[0040] 当机械臂模块运动时,将此时的图像和前几帧图像一起作为输入,判断运动趋势,实时跟踪反光标记点的位置,防止关节误判。

[0041] 本发明的有益效果:

[0042] 1、本发明可以反馈关节的位姿信息,使机械臂模块不必依赖于机械工装进行零位标定,操作便捷,节省成本。

[0043] 2、本发明通过视觉模块实时将关节位姿信息反馈给控制器,实现位姿的闭环控制,相比于位置闭环控制和拉力闭环控制,提高了控制精度。

[0044] 3、本发明的视觉模块可以识别环境中障碍物的信息,从而使机械臂模块有一定的避障能力。

[0045] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在说明书以及

附图中所指出的结构来实现和获得。

附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0047] 图1示出了根据本发明实施例的一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂的整体装配示意图;

[0048] 图2示出了根据本发明实施例的单个驱动模块的结构示意图;

[0049] 图3示出了根据本发明实施例的导轮安装块与力传感器的安装示意图;

[0050] 图4示出了根据本发明实施例的锁紧装置的结构示意图;

[0051] 图5示出了根据本发明实施例的视觉模块的多个相机安装示意图;

[0052] 图6示出了根据本发明实施例的机械臂模块的结构示意图;

[0053] 图7示出了根据本发明实施例的机械臂模块相邻关节之间连接爆炸示意图;

[0054] 图8示出了根据本发明实施例的关节的三维坐标信息示意图;

[0055] 图9示出了根据本发明实施例的一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂的控制方法流程示意图。

[0056] 图中:1、滑台;2、支撑架;3、驱动固定模块;4、驱动模块;5、视觉模块;6、机械臂模块;7、反光标记点组;31、固定板;32、前面板;33、后面板;41、伺服电机;42、减速机;43、联轴器;44、支座支持块;45、丝杆;46、光杆;47、锁紧装置;48、滑块;49、导轮安装块;410、支座固定块;411、力传感器;412、导轮支架;413、钢丝绳;414、第一定滑轮;415、第二定滑轮;416、第三定滑轮;471、固定螺柱;472、夹紧头;473、夹紧螺母;51、第一相机;52、第二相机;53、第三相机;54、第四相机;55、第五相机;56、第六相机;57、第七相机;61、关节;62、连接块;611、机械臂体;612、过渡连接结构;613、环形本体;614、连接部;615、安装孔;616、销钉;617、垫片;618、开口销;6111、关节孔;6121、通孔;71、反光标记点。

具体实施方式

[0057] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地说明,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0058] 需要说明的是,本申请中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本申请的实施例。在本申请中,术语“上”、“下”、“左”、“右”、“前”、“后”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“中”、“竖直”、“水平”、“横向”、“纵向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系。

[0059] 本发明提供一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂及其控制方法,可以反馈关节的位姿信息,使机械臂不必依赖于机械工装进行零位标定,操作便捷,节省成本。本发

明通过视觉实时将关节位姿信息反馈给控制器,实现位姿的闭环控制,相比于位置闭环控制和拉力闭环控制,提高了控制精度。

[0060] 如图1所示,一种关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂,包括滑台1、支撑架2、驱动固定模块3、驱动模块4、视觉模块5、机械臂模块6和反光标记点组7。

[0061] 其中,支撑架2的底部与滑台1的上端滑动连接,驱动固定模块3设置在支撑架2的顶部,多组驱动模块4沿驱动固定模块3周向均布设置。

[0062] 机械臂模块6设置在驱动固定模块3的一端,如图2所示,每组驱动模块4通过钢丝绳413与机械臂模块6连接,反光标记点组7设置在机械臂模块6上;视觉模块5靠近机械臂模块6设置在驱动固定模块3上,视觉模块5用于获取反光标记点组7的图像,视觉模块5还用于识别环境中障碍物信息,从而使机械臂模块6有一定的避障能力。

[0063] 如图1所示,例如,驱动固定模块3包括固定板31、前面板32和后面板33,其中,固定板31、前面板32、后面板33依次以设定间距相互平行固定在支撑架2的顶部,固定板31、前面板32、后面板33上的孔相互对应,组成驱动模块4的支撑;固定板31与前面板32之间通过多个螺栓固定连接,多组驱动模块4呈圆周布置固定在固定板31、前面板32和后面板33之间。

[0064] 如图2所示,例如,驱动模块4还包括伺服电机41、减速机42、联轴器43、支座支持块44、丝杆45、光杆46、锁紧装置47、滑块48、导轮安装块49、支座固定块410、力传感器411和导轮支架412。

[0065] 其中,伺服电机41、减速机42、联轴器43、支座支持块44、丝杆45、支座固定块410依次连接,其中,伺服电机41与减速机42连接后与固定板31固定连接,支座支持块44与前面板32固定连接,支座固定块410与后面板33固定连接。

[0066] 丝杆45通过支座支持块44和支座固定块410固定在前面板32和后面板33之间,丝杆45的一端通过支座支持块44固定前面板32上,丝杆45的另一端通过支座固定块410固定在后面板33上。光杆46的两端分别通过螺栓固定在前面板32和后面板33上,光杆46与丝杆45平行设置,后面板33与前面板32之间通过光杆46固定连接。

[0067] 滑块48套装在丝杆45和光杆46上,滑块48将伺服电机41带动丝杆45产生的旋转运动转换为直线运动。导轮安装块49固定设置在后面板33上,力传感器411的一侧与导轮安装块49连接,力传感器411的另一侧与导轮支架412连接。

[0068] 例如,机械臂模块6固定设置在后面板33上,钢丝绳413的一端穿过后面板33中间的孔与机械臂模块6的关节61连接,钢丝绳413的另一端依次经过导轮支架412和导轮安装块49改变钢丝绳413的方向后,与锁紧装置47固定连接,锁紧装置47固定设置在滑块48上。

[0069] 在伺服电机41的作用下,带动滑块48运动,滑块48与锁紧装置47固连,锁紧装置47随滑块48共同运动,钢丝绳413长度改变,带动机械臂模块6运动。

[0070] 如图3所示,导轮安装块49、导轮支架412和力传感器411三者共同组成测力装置,力传感器411的一侧通过螺纹固定在导轮安装块49上,力传感器411的另一侧通过螺纹连接导轮支架412,钢丝绳413的一端固定在机械臂模块6的过渡连接结构612上的通孔6121外,钢丝绳413的另一端依次通过导轮支架412底部的第一定滑轮414、导轮安装块49底部的第二定滑轮415、导轮安装块49顶部的第三定滑轮416后,与锁紧装置47固定连接。通过此种方式,力传感器411可以测量钢丝绳413中的拉力。

[0071] 如图4所示,例如,锁紧装置47包括固定螺柱471、夹紧头472和夹紧螺母473,固定

螺柱471的一端通过螺纹固定在滑块48上,固定螺柱471的另一端装入夹紧头472,夹紧螺母473与固定螺柱471的另一端螺纹连接,夹紧头472设置在夹紧螺母473与固定螺柱471之间,钢丝绳413依次穿过固定螺柱471、夹紧头472和夹紧螺母473,夹紧头472的楔形装置将钢丝绳413夹紧。

[0072] 如图5所示,例如,视觉模块5包括多个设置在后面板33上的相机,多个相机分两组设置,两组相机分别分布在两个同心圆上,例如,相机设置7个,7个相机分布在两个同心圆上,内圆上设置4个相机,包括第一相机51、第二相机52、第三相机53、第四相机54分别与x轴呈 60° 、 120° 、 240° 、 300° ,外圆上设置3个相机,包括第五相机55、第六相机56、第七相机57分别与x轴呈 0° 、 90° 、 180° 。

[0073] 如图6所示,例如,机械臂模块6包括多个串联的关节61,相邻的两个关节61之间通过连接块62连接。

[0074] 如图7所示,关节61包括机械臂体611,例如,机械臂体611采用碳纤维管,机械臂体611的两端设有过渡连接结构612,过渡连接结构612包括环形本体613,机械臂体611与环形本体613过盈配合,环形本体613上还相对设置有两个连接部614,连接部614上设置有连接孔。

[0075] 连接块62上沿周向设置有多安装孔615,例如,多个安装孔615包括第一安装孔615、第二安装孔615、第三安装孔615和第四安装孔615,第一安装孔615和第三安装孔615相对设置,第二安装孔615和第四安装孔615相对设置,第一安装孔615的中心点和第三安装孔615的中心点之间的第一直线与第二安装孔615的中心点和第四安装孔615的中心点之间的第二直线垂直。

[0076] 通过销钉616、垫片617和开口销618将连接块62的安装孔615与两个关节61的过渡连接结构612的连接孔固定,每个关节61相对相邻关节61绕两个转轴转动,如图8所示,一个连接块62提供两个自由度,机械臂模块6自由度数是关节61数量的两倍。

[0077] 过渡连接结构612的环形本体613上沿周向设置有多通孔6121供钢丝绳413穿过,通孔6121的数量等于钢丝绳413的数量,是关节61数量的三倍。每组钢丝绳413包括三根,互相之间呈 120° ,三根钢丝绳413的一端与尾端关节61连接。

[0078] 钢丝绳413通过环形本体613上的通孔6121,使关节61可以因钢丝绳413长度的变化发生转动,进而控制机械臂运动,每个关节61间钢丝绳413的数量从机械臂模块6的首端向尾端逐渐减少,经过一个关节61减少三根钢丝绳413,钢丝绳413的数量是关节61数量的三倍。

[0079] 例如,机械臂体611上还设置有多关节孔6111,若干关节孔6111上设置有反光标记点71,反光标记点71与关节孔6111螺纹连接,一个关节61上的多个反光标记点71形成一个反光标记点组7,每个反光标记点组7中的反光标记点71相互之间的距离不同区分不同关节61。

[0080] 例如,机械臂体611上设置有9个关节孔6111,每个反光标记点组7中包括4个反光标记点71,每个关节61的中间位置放置一个反光标记点71,其余的3个反光标记点71放置在其余的8个关节孔6111中,共有56种放置方式,随机选择与机械臂模块6中的关节61数相等的方式,通过每个反光标记点组7中的反光标记点71之间的距离不同区分不同关节61。

[0081] 如图9所示,本发明还提供一种上述关节位姿自感知的绳驱动超冗余机械臂的控

制方法,包括以下步骤:

[0082] S0、在机械臂模块6首端关节61的中心点处建立相机坐标系,机械臂模块6置于水平姿态。

[0083] S1、视觉模块5将采集的机械臂模块6上的反光标记点组7图像发送给控制器,具体如下:

[0084] 通过内圆的4个相机采集机械臂模块6尾端关节61上的反光标记点组7图像,通过外圆的3个相机采集机械臂模块6首端关节61上的反光标记点组7图像。

[0085] 通过内外圆的7个相机保证视野可以完全覆盖机械臂模块6,当机械臂模块6处于任意姿态时,保证一个反光标记点组7至少可被2个相机采集到图像。

[0086] S2、控制器根据反光标记点组7图像,确定反光标记点组7图像中反光标记点组7相对于相机坐标系的三维坐标信息,具体如下:

[0087] S21、将机械臂模块6置于水平状态,根据反光标记点组7图像,获得每个反光标记点71相对于相机坐标系的三维坐标信息。

[0088] S22、根据每个反光标记点71相对于相机坐标系的三维坐标信息,机械臂处于水平姿态时,将相互距离最近的4个反光标记点71组合为一个反光标记点组7,将一个反光标记点组7作为一个整体,获得每个反光标记点组7在相机坐标系的三维坐标信息。

[0089] S23、当机械臂模块6运动时,将当前图像和前几帧图像一起作为输入,判断运动趋势,实时跟踪反光标记点71的位置,防止关节61误判。

[0090] 通过多个相机同时同步进行图像采集,根据双目成像技术原理,获取不同相机对同一反光标记点组7对应点成像的像素差,获取反光标记点组7深度信息,进而获得反光标记点组7的三维坐标信息。

[0091] 每个关节61上固定相同数量反光标记点71,组成一个反光标记点组7,每个反光标记点组7中的反光标记点71相互之间的距离不同,组成多种形式,用于区分不同关节61。

[0092] 本步骤中,对采集的反光标记点组7图像进行分析,识别到反光标记点71,进而得到各个反光标记点71相对于相机坐标系的三维坐标信息,相机坐标系是以机械臂末端中心为原点的笛卡尔坐标系,设为坐标系A。

[0093] 将相互距离最近的四个反光标记点71组成为一个反光标记点组7,得到各个反光标记点组7相对于相机坐标系的三维坐标信息,以每个反光标记点组7内中心反光标记点71的球心作为坐标原点建立笛卡尔坐标系,设为坐标系 B_1-B_8 ,在每个反光标记点组7坐标系中反光标记点71的坐标是已知的,由空间中的四个反光标记点71对应点可求解出每个反光标记点组7坐标系与相机坐标系之间的齐次变换矩阵。

[0094] 例如,通过其中一个反光标记点组7进行说明,其他反光标记点组7同理。设四个反光标记点71点的坐标点分别为 $(A1, B1)$, $(A2, B2)$, $(A3, B3)$, $(A4, B4)$,求解公式可表示为:

[0095] 设在坐标系A中,四个点的三维坐标分别为 (x_{A1}, y_{A1}, z_{A1}) , (x_{A2}, y_{A2}, z_{A2}) , (x_{A3}, y_{A3}, z_{A3}) , (x_{A4}, y_{A4}, z_{A4}) 。

[0096] 设在坐标系B中,四个点的三维坐标分别为 (x_{B1}, y_{B1}, z_{B1}) , (x_{B2}, y_{B2}, z_{B2}) , (x_{B3}, y_{B3}, z_{B3}) , (x_{B4}, y_{B4}, z_{B4}) 。

[0097] 齐次变换矩阵形式,具体如下:

$$[0098] \quad T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0099] 其中, R 是一个 3×3 的旋转矩阵, t 是一个 3×1 的平移向量。

[0100] 使用最小二乘法求解旋转矩阵 R , 具体如下:

$$[0101] \quad U, S, Vt = \text{svd}(P_A^T \cdot P_B)$$

$$[0102] \quad R = Vt^T \cdot U^T$$

[0103] 其中, svd 是奇异值分解, P_A 和 P_B 分别是在齐次坐标中表示的坐标系 A 和 B 中的四个点, $\cdot$ 表示矩阵乘法。

[0104] 将平移向量 t 设置为坐标系 B 中第一个点和坐标系 A 中对应点之间的差, 得到齐次变换矩阵 T , 具体如下:

$$[0105] \quad t = P_{B1} - R \cdot P_{A1}$$

[0106] 根据预设的反光标记点组 7 排布方式与机械臂模块 6 的关节 61 的对应关系, 得到对应的机械臂序号, 机械臂模块 6 的尾端关节 61 的三维坐标信息计算可参照图 8。反光标记点组 7 的中心反光标记点 71 的球心的位置相对于机械臂体 611 上关节孔 6111 的位置是已知的, 机械臂体 611 上关节孔 6111 的位置相对于机械臂体 611 尾端关节 61 的位置也是已知的, 根据机械臂模块 6 尾端关节 61 轴孔线和机械臂模块 6 中心线的交点为坐标原点建立坐标系, 设为坐标系 C_1 - C_8 , 确定相对应反光标记点组 7 坐标系和机械臂模块 6 尾端关节 61 坐标系转换的齐次变换矩阵 T_1 。

[0107] 通过反光标记点组 7 相对于相机坐标系的三维坐标信息, 计算出机械臂模块 6 尾端关节 61 相对于相机坐标系的三维坐标信息。求解公式可表示为:

$$[0108] \quad \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \\ 1 \end{bmatrix} = T^{-1} \times T_1^{-1} \times \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0109] $S3$ 、控制器根据反光标记点组 7 相对于相机坐标系的三维坐标信息, 确定机械臂模块 6 的每个关节 61 相对于前一关节 61 在两个方向上的旋转角度。

[0110] 根据机械臂模块 6 尾端关节 61 在相机坐标系中的三维坐标信息, 将机械臂模块 6 尾端关节 61 记为第 1 关节 61, 以此类推, 机械臂模块 6 首端关节 61 为第 8 关节 61。设第 1 关节 61 与第 2 关节 61 之间的中心点坐标为 $(x_{AC1}, y_{AC1}, z_{AC1})$, 第 0 关节 61 与第 1 关节 61 之间中心点的坐标为 $(x_{AC0}, y_{AC0}, z_{AC0})$, 机械臂模块 6 第 1 关节 61 在两个垂直方向上的旋转角度 θ_1 和 ϕ_1 , 求解公式可表示为:

$$[0111] \quad \Delta x = x_{A1} - x_{A0}$$

$$[0112] \quad \Delta y = y_{A1} - y_{A0}$$

$$[0113] \quad \Delta z = z_{A1} - z_{A0}$$

$$[0114] \quad \theta_1 = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

$$[0115] \quad \phi_1 = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}\right)$$

[0116] 设第2关节61与第3关节61之间的中心点坐标为 (x_{A2}, y_{A2}, z_{A2}) , 已求得机械臂模块6第1关节61在两个垂直方向上的旋转角度 θ_1 和 φ_1 , 故可以求得相机坐标系A与机械臂模块6第1关节61末端坐标系 C_1 之间的齐次变换矩阵 0A_1 , 根据其次变换矩阵可求解出点 $(x_{AC2}, y_{AC2}, z_{AC2})$ 在坐标系中的坐标 (x_{c2}, y_{c2}, z_{c2}) , 求解公式可表示为:

$$[0117] \quad {}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1)\cos(\varphi_1) & -\cos(\theta_1)\sin(\varphi_1) & \sin(\theta_1) & l\cos(\theta_1)\cos(\varphi_1) \\ \sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & l\sin(\theta_1)\sin(\varphi_1) \\ -\sin(\theta_1)\cos(\varphi_1) & \sin(\theta_1)\sin(\varphi_1) & \cos(\theta_1) & l\sin(\varphi_1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0118] \quad P_{C2} = {}^0A_1 \times P_2$$

[0119] 故第2个关节61在两个垂直方向上的旋转角度 θ_2 和 φ_2 与第1关节61同理, 求解公式可表示为:

$$[0120] \quad \Delta x = x_{C2}$$

$$[0121] \quad \Delta y = y_{C2}$$

$$[0122] \quad \Delta z = z_{C2}$$

$$[0123] \quad \theta_2 = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

$$[0124] \quad \varphi_2 = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}\right)$$

[0125] 通过上述方式, 可以求得所有关节61坐标系之间的其次变换矩阵和机械臂模块6关节61在两个垂直方向上的旋转角度 θ_i 和 φ_i 。

[0126] S4、控制器根据机械臂模块6的每个关节61相对于前一关节61在两个方向上的旋转角度, 确定机械臂模块6的每个关节61的位姿。

[0127] 本发明通过视觉模块5实时将关节61位姿信息反馈给控制器, 实现位姿的闭环控制, 相比于位置闭环控制和拉力闭环控制, 提高了控制精度。

[0128] 尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明, 本领域的普通技术人员应当理解: 其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改, 或者对其中部分技术特征进行等同替换; 而这些修改或者替换, 并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

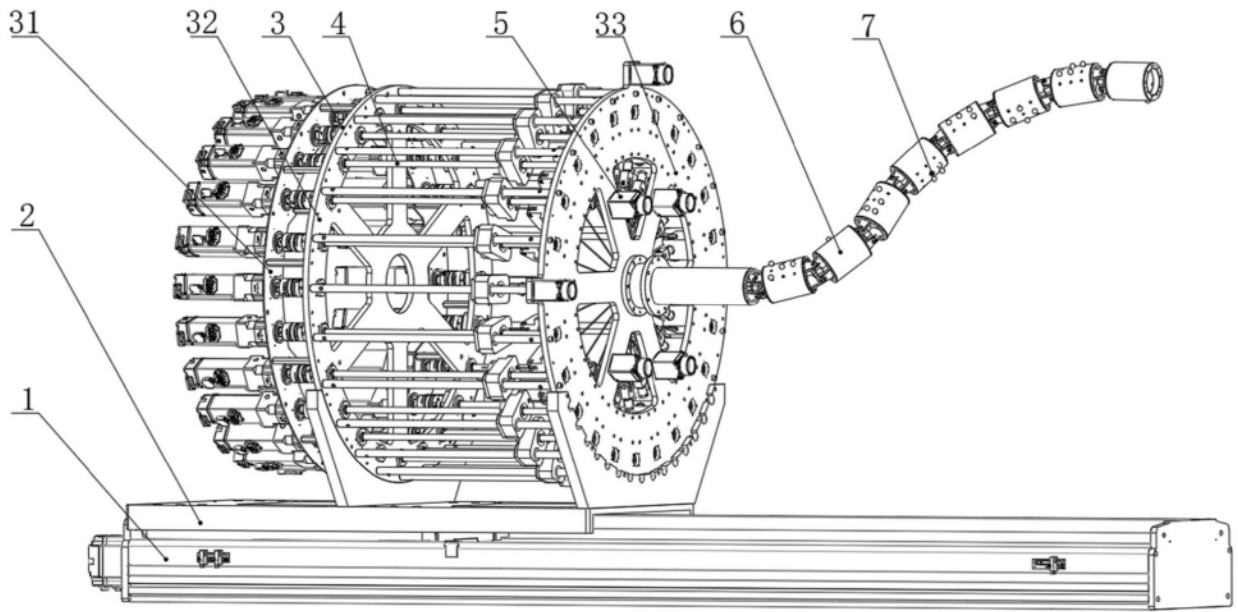


图1

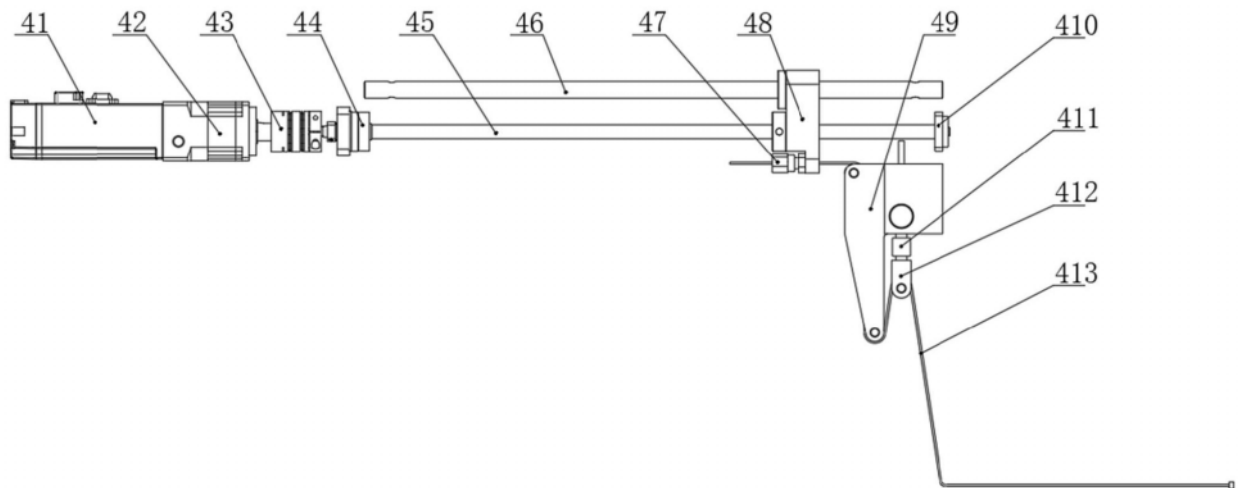


图2

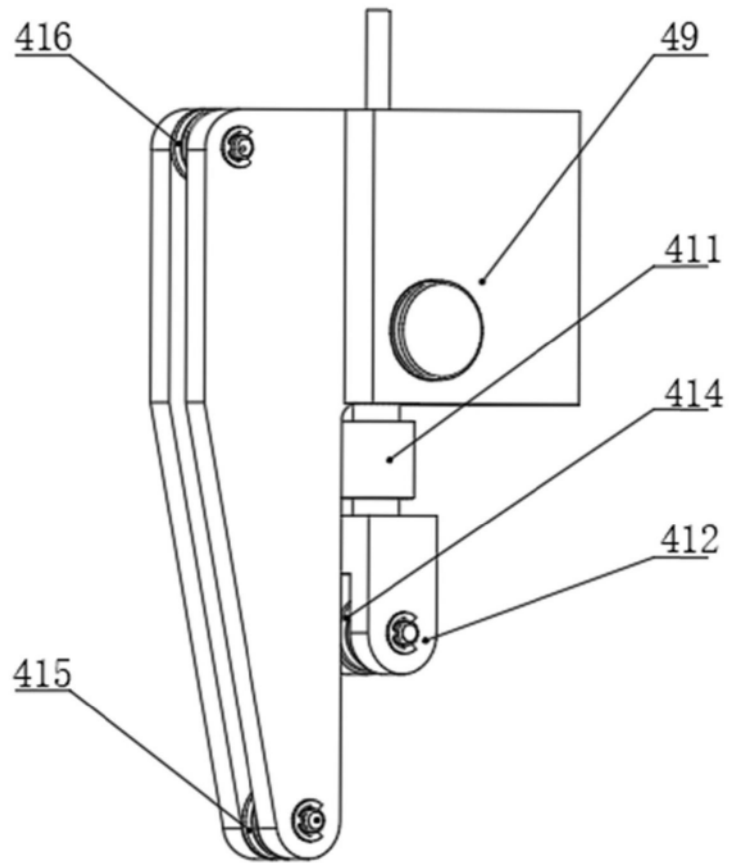


图3

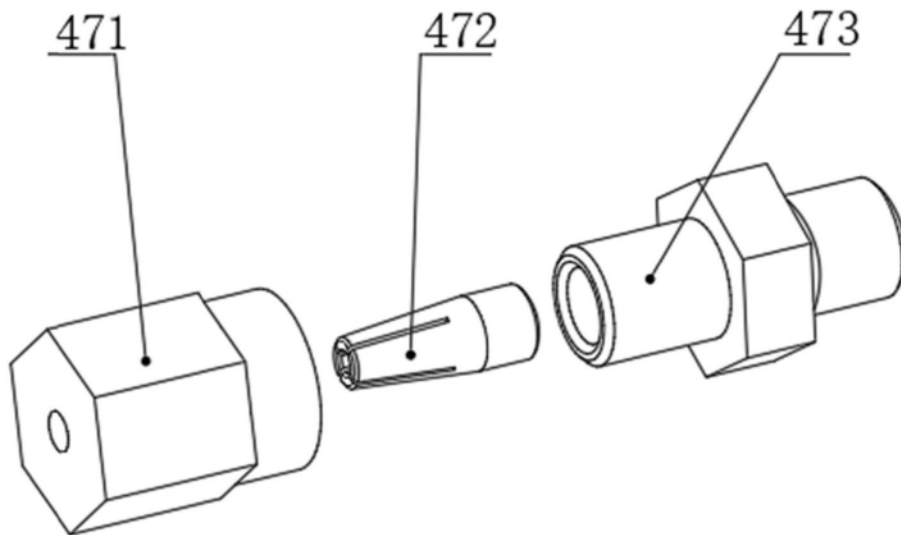


图4

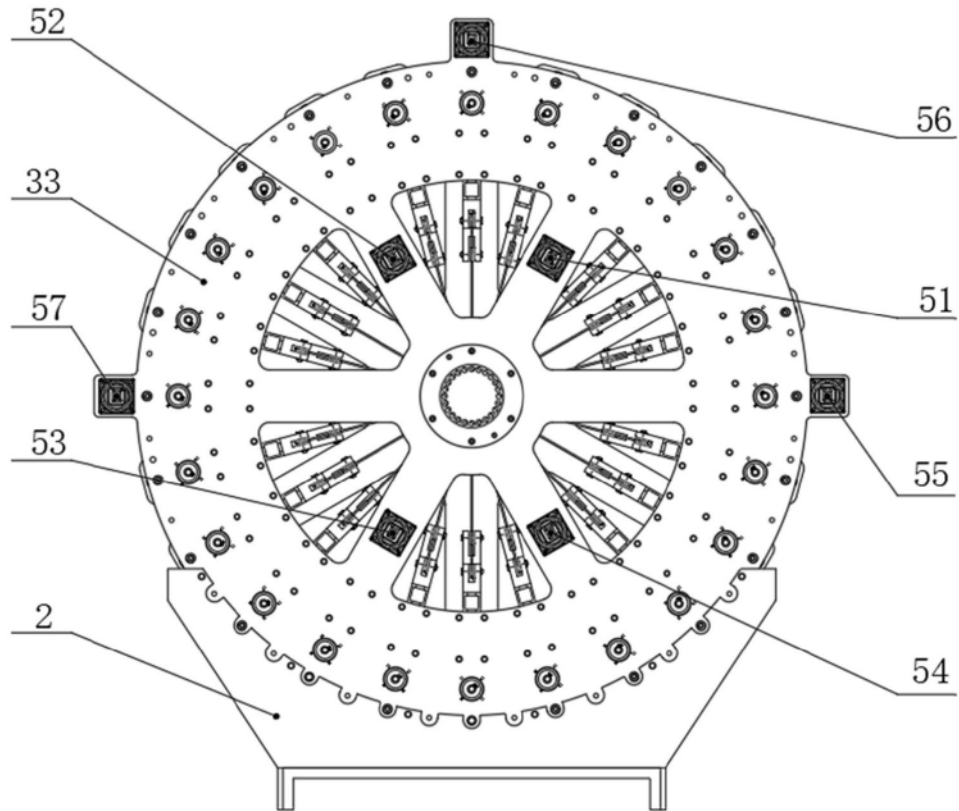


图5

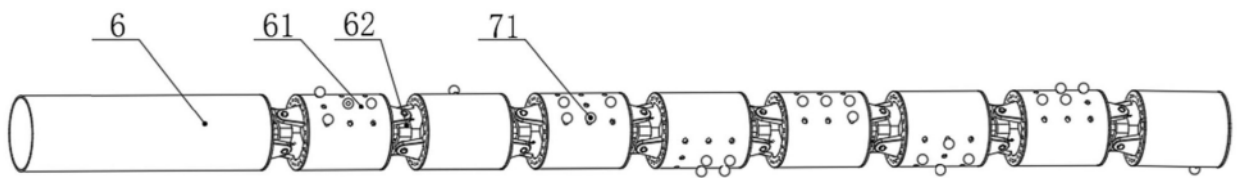


图6

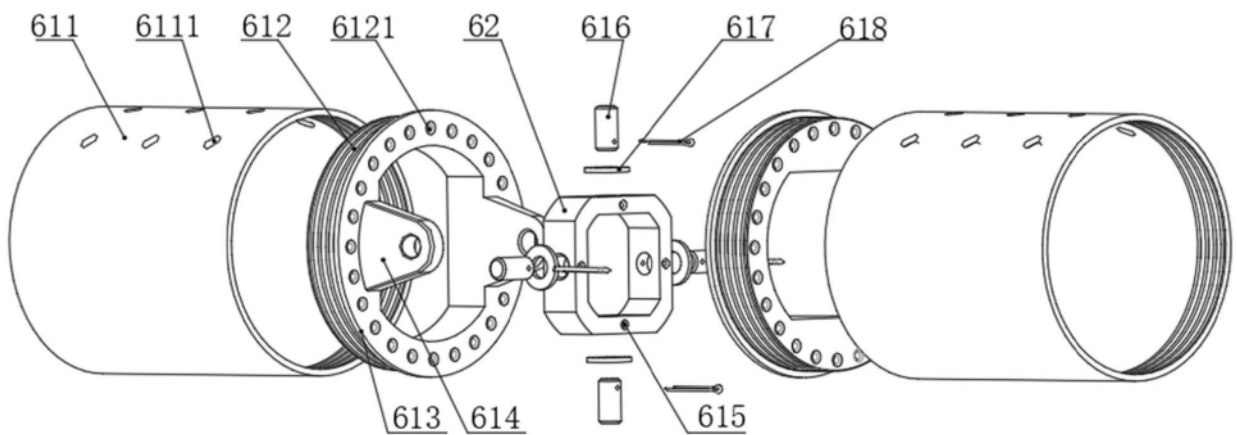


图7

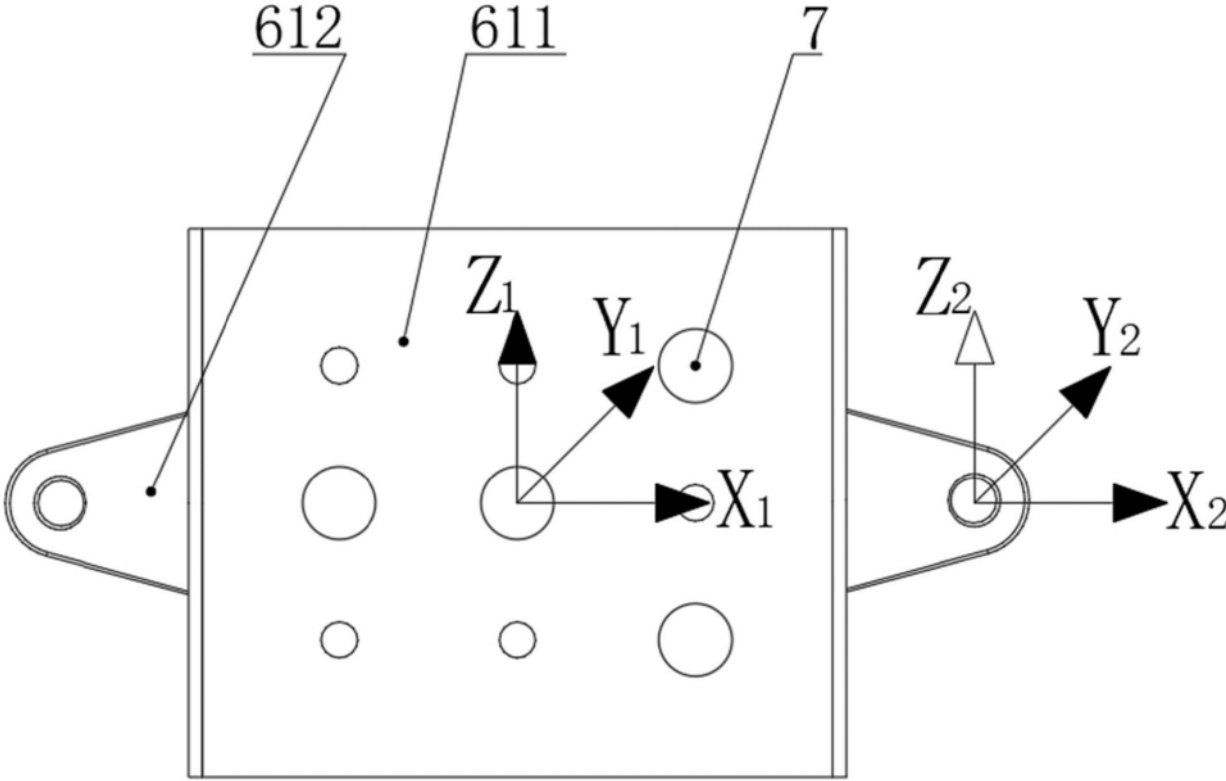


图8

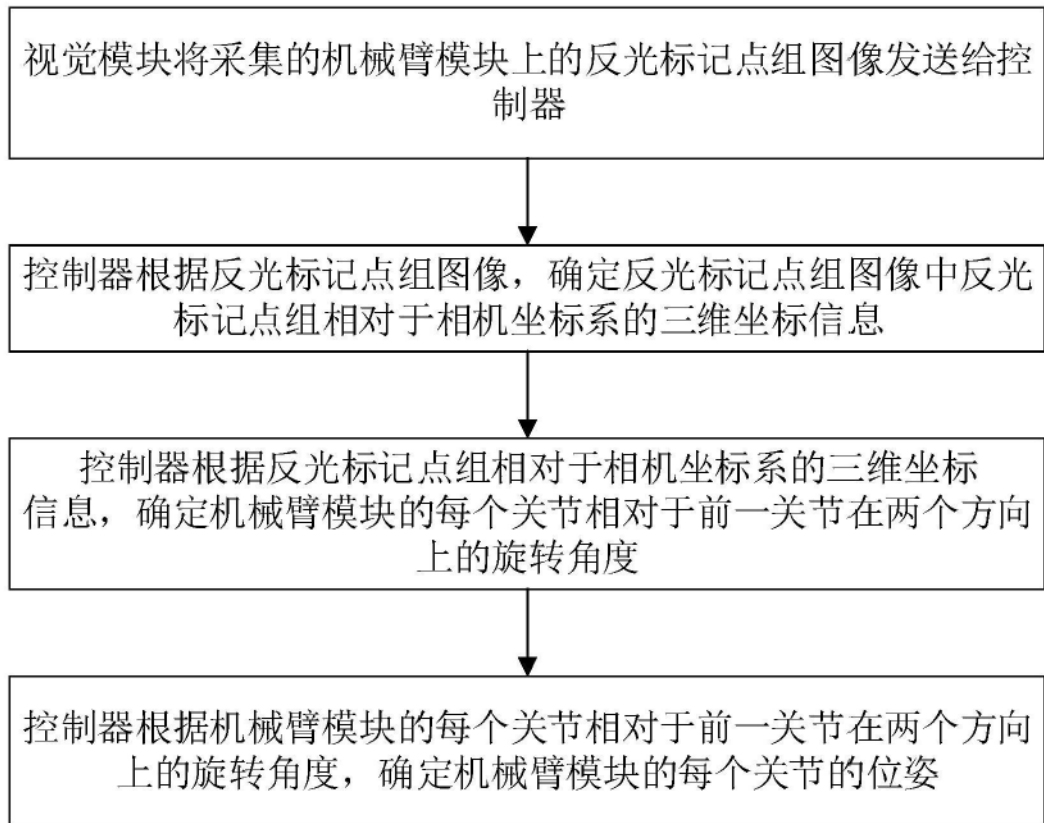


图9