



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115230839 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 25

(21) 申请号 202211136590.1

B64C 27/20 (2006.01)

(22) 申请日 2022.09.19

B64C 27/52 (2006.01)

(71) 申请人 中国铁路设计集团有限公司
地址 300000 天津市滨海新区天津自贸试
验区(空港经济区)东七道109号
申请人 铁三院(天津)检测科技有限公司

(72) 发明人 崔庆国 王银 侯占林 刘世奇
张吉 季淞达 林川 刘文才
张子强 朱飞飞

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205
专利代理师 杨乾平

(51) Int. Cl.
B62D 57/024 (2006.01)
B64C 27/08 (2006.01)

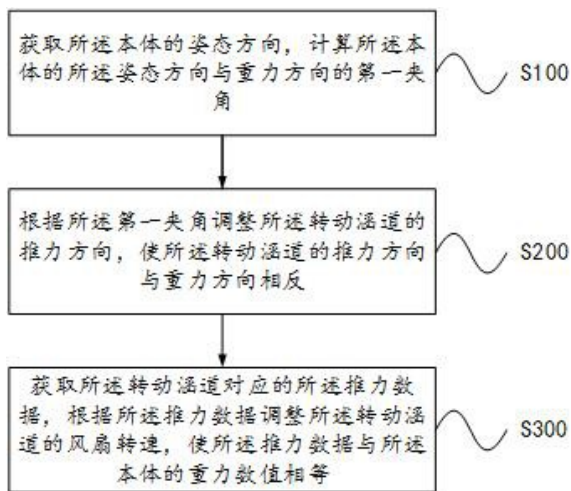
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

爬壁机器人推力控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种爬壁机器人推力控制方法,首先获取本体的姿态方向,姿态方向包括本体在竖直平面上的角度,计算本体的姿态方向与重力方向的第一夹角;根据第一夹角的数值转动转动涵道,调整转动涵道的推力方向,使推力的方向与本体的重力方向相反;获取第一压力传感器测量得到的推力数据,根据推力数据调整转动涵道的风扇转速,使推力数据与本体的重力数值相等,通过控制转动涵道的方向和推力,实时保持转动涵道的推力与机器人本体的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于墙面。



1. 一种爬壁机器人推力控制方法,其特征在于,所述爬壁机器人包括本体、用于提供推力的多个转动涵道、用于获取所述转动涵道对应推力数据的第一压力传感器,所述爬壁机器人还包括有用于获取所述本体加速度的加速度传感器,所述方法包括:

获取所述本体的姿态方向,计算所述姿态方向与重力方向的第一夹角;

根据所述第一夹角调整所述转动涵道的推力方向,使所述转动涵道的推力方向与重力方向相反;

获取所述转动涵道对应的所述推力数据,根据所述推力数据调整所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据与所述本体的重力数值相等;

获取所述本体加速度的方向,计算所述本体加速度在竖直方向上与所述本体重力方向的第二夹角;

根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述第一夹角调整所述转动涵道的推力方向,包括:

获取所述姿态方向对应的旋转角速度;

根据所述旋转角速度获得所述本体的转动方向;

根据所述第一夹角和所述本体的转动方向,沿着与所述本体的转动方向相反的方向转动所述转动涵道,所述转动涵道的转动角度为所述第一夹角度数。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零,包括:

在所述第二夹角为0度的情况下,增大所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零;

在所述第二夹角为180度的情况下,减小所述转动涵道的风扇转速,使所述加速度在竖直方向上数值为零。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述爬壁机器人还包括有用于向壁面提供压力的至少一个固定涵道和用于获取所述固定涵道对应压力数据的第二压力传感器,所述根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,包括:

获取所述固定涵道对应的所述压力数据;

在所述第二夹角为0度的情况下,增大所述固定涵道的风扇转速,使所述加速度在竖直方向上数值为零;

在所述第二夹角为180度的情况下,停止所述固定涵道的风扇转速。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述获取所述转动涵道对应的所述推力数据,根据所述推力数据调整所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据与所述本体的重力数值相等,包括:

获取多个所述第一压力传感器对应的所述推力数据;

对多个所述推力数据进行矢量计算,获得多个所述推力数据的推力合力的数值及方向;

根据所述推力合力的数值及方向,调整多个所述转动涵道的风扇转速。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述根据所述推力合力的数值及方向,调

整多个所述转动涵道的风扇转速,包括:

获取多个所述转动涵道对应预设的安装力臂;

根据杠杆平衡,用所述安装力臂计算出多个所述转动涵道对应的目标推力;

根据所述转动涵道对应的所述目标推力和所述推力数据,调节所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据达到计算的所述目标推力。

7.根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述根据所述转动涵道对应的所述目标推力和所述推力数据,调节所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据达到计算的所述目标推力,包括:

计算所述本体的姿态方向与水平方向的水平夹角;

根据所述水平夹角,调节所述转动涵道的风扇转速,使多个所述转动涵道在同一水平线上。

8.根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述推力数据的控制采用PID控制算法。

9.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述转动涵道的推力方向的控制采用PD控制算法。

爬壁机器人推力控制方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及但不限于机器人领域,特别是涉及一种爬壁机器人推力控制方法。

背景技术

[0002] 随着技术进步,空中作业领域越来越多的由机器人代替人工作业,现有的机器人多用于轻量化的空中作业领域,在消费领域例如用于拍摄的无人机,吸附于光滑表面用于擦窗的擦窗机器人,工业领域例如磁吸的船舶检修机器人。而在工程隧道领域中,由于墙面为粗糙的混凝土甚至混凝土喷浆,现有的负压吸附、磁吸附等技术方案的机器人无法正常的工作于粗糙隧道墙面。在隧道测量作业中,需要携带沉重的测量设备在隧道中行进测量,同时,需要在拱形隧道侧壁等高测量,现有的螺旋桨飞行方案的机器人无法携带大载重,同时由于隧道特殊的曲面空间环境,对机器人的外形和运动方式亦有限制,螺旋桨无法安全飞行和有效测量。进一步,在隧道中,机器人自重较大,同时要携带沉重的测量设备,相关技术中使用负压技术方案的机器人吸附于隧道墙面,通过控制固定于机器上的增压风扇,使机器受负压固定于墙面,但若使重型的机器人能够稳定于隧道曲面,甚至负角度的墙面,增压风扇需要很大的推力,使机器人与墙面之间产生摩擦力足以抵消重力而稳定于墙面,如此大的推力对供电的电压和电流要求极高,无论是机器人有线连接电源,还是机器人携带电池,在实际的工程实践中,难以实现,而且成本高,难度大,同时会严重磨损机器人与墙面的接触面。因此,在机器人推力控制的相关技术中,仅通过控制机器人与拱形墙面的负压难以使机器人稳定保持在墙面上。

发明内容

[0003] 以下是对本文详细描述的主题的概述。本概述并非是为了限制权利要求的保护范围。

[0004] 本发明实施例提供了一种爬壁机器人推力控制方法,通过控制转动涵道的方向和推力,实时保持转动涵道的推力方向与机器人本体的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于拱形墙面的任意位置。

[0005] 本发明实施例提供了一种爬壁机器人推力控制方法,所述爬壁机器人包括本体、用于提供推力的多个转动涵道、用于获取所述转动涵道对应推力数据的第一压力传感器,所述方法包括:获取所述本体的姿态方向,计算所述本体的所述姿态方向与重力方向的第一夹角;根据所述第一夹角调整所述转动涵道的推力方向,使所述转动涵道的推力方向与重力方向相反;获取所述转动涵道对应的所述推力数据,根据所述推力数据调整所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据与所述本体的重力数值相等。

[0006] 根据本申请的上述实施例,至少具有如下有益效果:首先获取所述本体的姿态方向,计算所述本体的所述姿态方向与重力方向的第一夹角;根据所述第一夹角的数值转动所述转动涵道,调整所述转动涵道的推力方向,使所述推力的方向与所述本体的重力方向

相反;获取所述第一压力传感器测量得到的所述推力数据,根据所述推力数据调整所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据与所述本体的重力数值相等,通过控制转动涵道的方向和推力,实时保持转动涵道的推力方向与机器人本体的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于拱形墙面的任意位置。

[0007] 根据本发明的一些实施例,所述根据所述第一夹角调整所述转动涵道的推力方向,包括:获取所述姿态方向对应的旋转角速度;根据所述旋转角速度获得所述本体的转动方向;根据所述第一夹角和所述本体的转动方向,沿着与所述本体的转动方向相反的方向转动所述转动涵道,所述转动涵道的转动角度为所述第一夹角度数。

[0008] 根据本发明的一些实施例,所述爬壁机器人还包括有用于获取所述本体加速度的加速度传感器,所述方法包括:获取所述本体加速度的方向,计算所述本体加速度在竖直方向上与所述本体重力方向的第二夹角;根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零。

[0009] 根据本发明的一些实施例,所述根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零,包括:在所述第二夹角为0度的情况下,增大所述转动涵道的风扇转速,使所述本体加速度在竖直方向上数值为零;在所述第二夹角为180度的情况下,减小所述转动涵道的风扇转速,使所述加速度在竖直方向上数值为零。

[0010] 根据本发明的一些实施例,所述爬壁机器人还包括有用于向壁面提供压力的至少一个固定涵道和用于获取所述固定涵道对应压力数据的第二压力传感器,所述根据所述第二夹角调整所述转动涵道的风扇转速,包括:获取所述固定涵道对应的所述压力数据;在所述第二夹角为0度的情况下,增大所述固定涵道的风扇转速,使所述加速度在竖直方向上数值为零;在所述第二夹角为180度的情况下,停止所述固定涵道的风扇转速。

[0011] 根据本发明的一些实施例,所述获取所述转动涵道对应的所述推力数据,根据所述推力数据调整所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据与所述本体的重力数值相等,包括:获取多个所述第一压力传感器对应的所述推力数据;对多个所述推力数据进行矢量计算,获得多个所述推力数据的推力合力的数值及方向;根据所述推力合力的数值及方向,调整多个所述转动涵道的风扇转速。

[0012] 根据本发明的一些实施例,所述根据所述推力合力的数值及方向,调整多个所述转动涵道的风扇转速,包括:获取多个所述转动涵道对应预设的安装力臂;根据杠杆平衡,用所述安装力臂计算出多个所述转动涵道对应的目标推力;根据所述转动涵道对应的所述目标推力和所述推力数据,调节所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据达到计算的所述目标推力。

[0013] 根据本发明的一些实施例,所述根据所述转动涵道对应的所述目标推力和所述推力数据,调节所述转动涵道的风扇转速,使所述推力数据达到计算的所述目标推力,包括:计算所述本体的姿态方向与水平方向的水平夹角;根据所述水平夹角,调节所述转动涵道的风扇转速,使多个所述转动涵道在同一水平线上。

[0014] 根据本发明的一些实施例,所述推力数据的控制采用PID控制算法。

[0015] 根据本发明的一些实施例,所述转动涵道的推力方向的控制采用PD控制算法。

[0016] 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、权利

要求书以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

附图说明

[0017] 附图用来提供对本发明技术方案的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明的技术方案,并不构成对本发明技术方案的限制。

[0018] 图1是本发明一个实施例提供的一种爬壁机器人推力控制方法的主流程图;

图2是本发明一个实施例提供的一种爬壁机器人的示意图。

具体实施方式

[0019] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0020] 应了解,在本发明实施例的描述中,多个(或多项)的含义是两个以上,大于、小于、超过等理解为不包括本数,以上、以下、以内等理解为包括本数。竖直方向是指与重力方向相同或者相反的方向,根据具体情况确定属于相同或者相反,如果有描述到“第一”、“第二”等只是用于区分技术特征为目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量或者隐含指明所指示的技术特征的先后关系。

[0021] 在隧道测量作业的相关技术中,仅通过控制机器人与拱形墙面的负压难以使机器人稳定保持在墙面上。因此,针对现有问题,本发明实施例提供了一种爬壁机器人推力控制方法,通过控制转动涵道200的方向和推力,实时保持转动涵道200的推力方向与机器人本体100的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于墙面。本发明实施例提供的爬壁机器人推力控制方法应用于爬壁机器人,爬壁机器人包括本体100、用于提供推力的多个转动涵道200、用于获取转动涵道200对应推力数据的第一压力传感器,首先获取本体100的姿态方向,姿态方向包括本体100在竖直平面上的角度,计算本体100的姿态方向与重力方向的第一夹角;根据第一夹角的数值转动转动涵道200,调整转动涵道200的推力方向,使推力的方向与本体100的重力方向相反;获取第一压力传感器测量得到的推力数据,根据推力数据调整转动涵道200的风扇转速,使推力数据与本体100的重力数值相等,通过控制转动涵道200的方向和推力,实时保持转动涵道200的推力方向与机器人本体100的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于墙面。

[0022] 如图1所示,图1是本发明一个实施例提供的一种爬壁机器人推力控制方法的流程图。爬壁机器人推力控制方法包括但不限于如下步骤:

步骤S100,获取本体100的姿态方向,计算本体100的姿态方向与重力方向的第一夹角;

步骤S200,根据第一夹角调整转动涵道200的推力方向,使推力的方向与本体100的重力方向相反;

步骤S300,获取推力数据,根据推力数据调整转动涵道200的风扇转速,使推力数据与本体100的重力数值相等。

[0023] 可以理解的是,如图2所示,图2为本实施例提供的一种爬壁机器人的示意图,首先获取本体100的姿态方向,姿态方向包括本体100在竖直平面上的角度,计算本体100的姿态

方向与重力方向的第一夹角;根据第一夹角的数值转动转动涵道200,调整转动涵道200的推力方向,使推力的方向与本体100的重力方向相反;获取第一压力传感器测量得到的推力数据,根据推力数据调整转动涵道200的风扇转速,使推力数据与本体100的重力数值相等,通过控制转动涵道200的方向和推力,实时保持转动涵道200的推力方向与机器人本体100的重力方向相反,大小相同,使机器人可以稳定悬浮于墙面。具体的,转动涵道200固定于机器人本体100,在本实施例中,转动涵道200为一轴转动,即转动涵道200固定在本体100上,在本实施例中,本体100上设置有一个承重机架,承重机架为一字型,旋转涵道200固定于一字型的承重机架上,旋转涵道200设置有多个,在本实施例中,旋转涵道200有4个,对称设置于机器人本体100重心的两侧,即左侧设置2个旋转涵道200,右侧设置2个旋转涵道200,旋转涵道200的转动方向与承重机架的轴线垂直,承重机架的轴线与机器人沿水平方向前进的方向平行。当机器人在墙面时,承重机架的轴线呈水平方向,首先获取机器人本体100的姿态方向,姿态方向由本体100的现时姿态方向对比参照初始姿态方向获得,初始姿态方向为机器人放置于水平地面时,由安装于本体100内的陀螺仪测量得到的机器人姿态方向,设立此姿态方向后,当机器人处于隧道曲面的不同位置时,根据初始姿态方向,可以计算出机器人在曲面上的姿态方向的变化,设置初始姿态方向与重力的方向夹角,可根据此夹角计算出本体100的姿态方向与重力方向的第一夹角,可以理解的是,通过陀螺仪检测机器人的俯仰角,根据俯仰角,计算出本体100的姿态方向与重力方向的第一夹角,由于旋转涵道200同样固定于机器人本体100,根据机器人本体100姿态方向的变化,旋转涵道200具有同样的变化,因此,根据本体100的姿态方向,可以理解的是,旋转涵道200沿着与本体100姿态变化方向相反的方向,以相同角度转动转动涵道200,使得转动涵道200的出风方向与重力方向相同,即旋转涵道200的推力方向与重力方向相反。在本实施例中,第一压力传感器设置于机器人本体100与旋转涵道200相连接的位置,可以实时检测到旋转涵道200与本体100之间的压力。因此,根据第一压力传感器监测到的推力数据,知道旋转涵道200的实时推力,机器人的重力可以是预设的值,也可以是实时测量值,调整旋转涵道200的推力,使得推力数据与重力方向相反,大小相同。

[0024] 可以理解的是,再另一个实施例中,爬壁机器人还包括有用于获取本体100加速度的加速度传感器,通过加速度传感器获取本体100的加速度的方向,计算加速度在竖直方向上的分量与本体100重力方向的第二夹角;根据第二夹角调整转动涵道200的风扇转速,使加速度在竖直方向上数值为零,具体的,机器人在墙面运动时,当出现意外情况,例如旋转涵道200的供电电压或电流发生瞬间变化时,使得旋转涵道200的风扇转速发生突变,使得机器人出现跌落或者飞起,此时加速度传感器可以检测到机器人姿态发生异常,通过计算加速度传感器获得的加速度方向在竖直方向上的分量与重力方向的第二夹角,可以根据第二夹角的变化判断机器人是否处于异常运动状态。当机器人跌落或者飞起的时候,加速度传感器测量的加速度都不为零,通过反向控制旋转涵道200的风扇转速,使得加速度在竖直方向上数值为零,竖直方向可以理解为与重力方向在一条直线的方向。

[0025] 可以理解的是,根据第二夹角调整转动涵道200的风扇转速,使加速度在竖直方向上数值为零,当第二夹角为0度时,增大转动涵道200的风扇转速,使加速度在竖直方向上数值为零;当第二夹角为180度时,减小转动涵道200的风扇转速,使加速度在竖直方向上数值为零。具体的,当第二夹角为0度时,即加速度的方向与机器人的重力方向相同,即机器人正

在忽然向下跌落,此时需要增大转动涵道200的风扇转速,增大转动涵道200的推力大小,使用推力抵御机器人快速跌落的趋势,使得机器人跌落的速度减慢,逐渐减速,逐渐使加速度在竖直方向上的数值为零;当第二夹角为180度时,即加速度的方向与机器人的重力方向相反,即由于旋转涵道200的推力过大,机器人正在向上飞起,此时需要减小转动涵道200的风扇转速,降低旋转涵道200的推力,使得机器人停止上升,即使加速度在竖直方向上数值为零。

[0026] 可以理解的是,在另一个实施例中,爬壁机器人还包括有用于提供压力的至少一个固定涵道300和用于获取压力数据的第二压力传感器,根据第二夹角调整转动涵道200的风扇转速,获取压力数据;当第二夹角为0度时,增大固定涵道300的风扇转速,使加速度在竖直方向上数值为零;当第二夹角为180度时,停止固定涵道300的风扇转速。具体的,机器人本体100上设置有至少一个固定涵道300,在本实施例中,设置有2个固定涵道300,且对称设置于机器人本体100重心的两端,当机器人位于墙面时,固定涵道300的出风方向垂直且远离于墙面,第二压力传感器设置于机器人本体100与固定涵道300的连接处,可以实时检测到固定涵道300对本体100的压力,因此,在本实施例中,当第二夹角为0度时,即机器人发生意外跌落,迅速下降,此时需要启动紧急模式,增大固定涵道300的风扇转速,增加固定涵道300对本体100的压力,使得机器人吸附于墙面,增加墙面对机器人的摩擦力,减缓机器人下跌的趋势,通过摩擦力辅助旋转涵道200减缓跌落,逐渐使加速度在竖直方向上数值为零,即使得机器人停止下跌,悬浮于空中。当第二夹角为180度时,即机器人处于向上飞起的状态,即旋转涵道200的推力过大,或者机器人正在向上运动,此时不属于安全问题的紧急模式,不需要通过固定涵道300调节摩擦力来影响旋转涵道200的运动状态,因此,停止固定涵道300的风扇转速,使摩擦力为零。

[0027] 可以理解的是,在本实施例中,获取多个第一压力传感器对应的推力数据;对多个推力数据进行矢量计算,获得多个推力数据的推力合力的数值及方向;根据推力合力的数值及方向,调整多个转动涵道200的风扇转速。由于多个旋转涵道200固定于机器人本体100,因此,多个旋转涵道200产生多个推力,根据受力分析,将多个推力进行矢量计算,具体的,在本实施例中,旋转涵道200对称的设置于本体100的重心的两侧,因此推力的合力即为多个推力的累加。

[0028] 可以理解的是,根据推力合力的数值及方向,调整多个转动涵道200的风扇转速,获取多个转动涵道200对应的预设安装力臂;根据杠杆平衡,用安装力臂计算出多个转动涵道200对应的推力大小;根据计算的多个转动涵道200对应的推力大小,调节风扇转速,使推力数据达到计算的多个转动涵道200对应的推力大小。具体的,由于机器人本体100上固定安装有多个旋转涵道200,产生多个推力,因此需要将此多个推力进行矢量计算,当推力对称分布于机器人重心的两侧时,只需把各个旋转涵道200的推力设置为相同的推力,同时等量调节各个旋转涵道200的推力数值,即可迅速使得旋转涵道200的推力合力与机器人的重力相等;当旋转涵道200没有均匀对称分布于机器人重心两侧时,根据杠杆平衡原理,需要根据各个旋转涵道200的力臂比例,计算出各个旋转涵道200的推力分配比例,进而计算出推力大小,当然,可以有多种分配方法,因为在机器人重心两侧设置不止一个旋转涵道200,可以通过多种推力组合达到推力合力与机器人的重力大小相等,方向相反。

[0029] 可以理解的是,多个转动涵道200对应的安装力臂沿本体100的重心对称且相等设

置,具体的,即多个旋转涵道200对称设置与机器人重心两侧,且旋转涵道之间的距离相同,此种安装方法可以简化系统对推力的计算,降低算法控制的复杂度和难度。

[0030] 可以理解的是,计算本体100的姿态方向在水平方向的风量与水平线的夹角,根据水平方向的夹角,调节转动涵道200的风扇转速,使多个转动涵道200在同一水平线上。具体的,当本体100的姿态方向的水平分量与水平线有夹角,即一字型的承重机架不在水平状态,承重机架上安装的转动涵道200没有平衡的处于水平线上,这样会使得机器人姿态歪斜,因此,需要根据歪斜的夹角调节对应的转动涵道200的风扇转速,使机器人姿态恢复水平。即机器人姿态偏向哪一侧,相同一侧的转动涵道200的风扇转速提高,使得机器人姿态矫正。

[0031] 可以理解的是,推力数据的控制采用PID控制算法,具体的,采用如下控制算法:

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \sum_{n=0}^t e(n) + k_d (e(t) - e(t-1))$$

其中:

$r(t)$:计算的推力。

[0032] $c(t)$:当前转动涵道200对应的推力合力。

[0033] $e(t)$:计算的推力与当前推力合力的误差。

[0034] $u(t)$:根据计算的推力与当前推力合力计算出推力合力的调整值。

[0035] 通过PD控制算法,可以即时调整转动涵道200的风扇转速,即时根据机器人实时的变化,调整推力,使机器人保持稳定悬浮在隧道拱形墙面的任意位置,保证机器人的精确测量要求。

[0036] 可以理解的是,转动涵道200的推力方向的控制采用PD控制算法,具体的,采用如下控制算法:

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

$$u(t) = k_p e(t) + k_d (e(t) - e(t-1))$$

其中:

$r(t)$:期望姿态。

[0037] $c(t)$:当前姿态。

[0038] $e(t)$:期望姿态与当前姿态的误差。

[0039] $u(t)$:根据期望姿态与当前姿态计算出的姿态调整值。

[0040] 通过PD控制算法,可以即时调整转动涵道200的朝向,即调整转动涵道200的推力方向,即时根据机器人姿态的实时变化,调整推力方向,使转动涵道200的推力方向始终与机器人重力方向相反,大小相同,使得机器人可以保持稳定悬浮在隧道拱形墙面的任意位置,保证机器人的精确测量要求。

[0041] 以上是对本发明的较佳实施进行了具体说明,但本发明并不局限于上述实施方式,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的共享条件下还可作出种种等同的变形或

替换,这些等同的变形或替换均包括在本发明权利要求所限定的范围内。

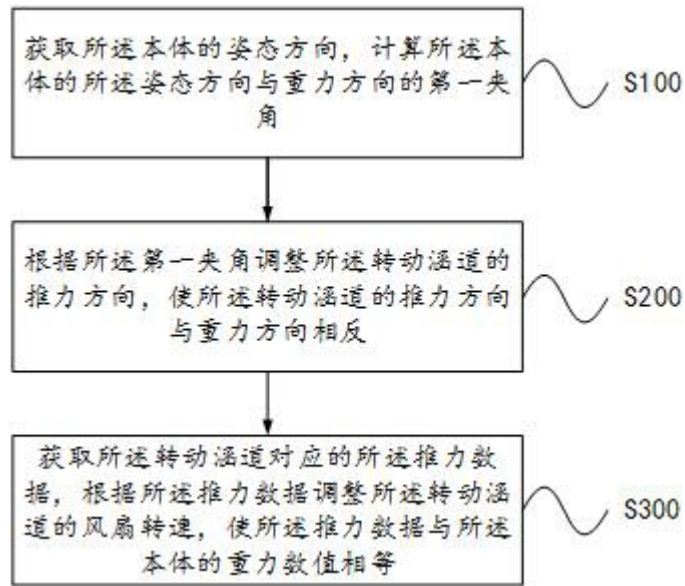


图1

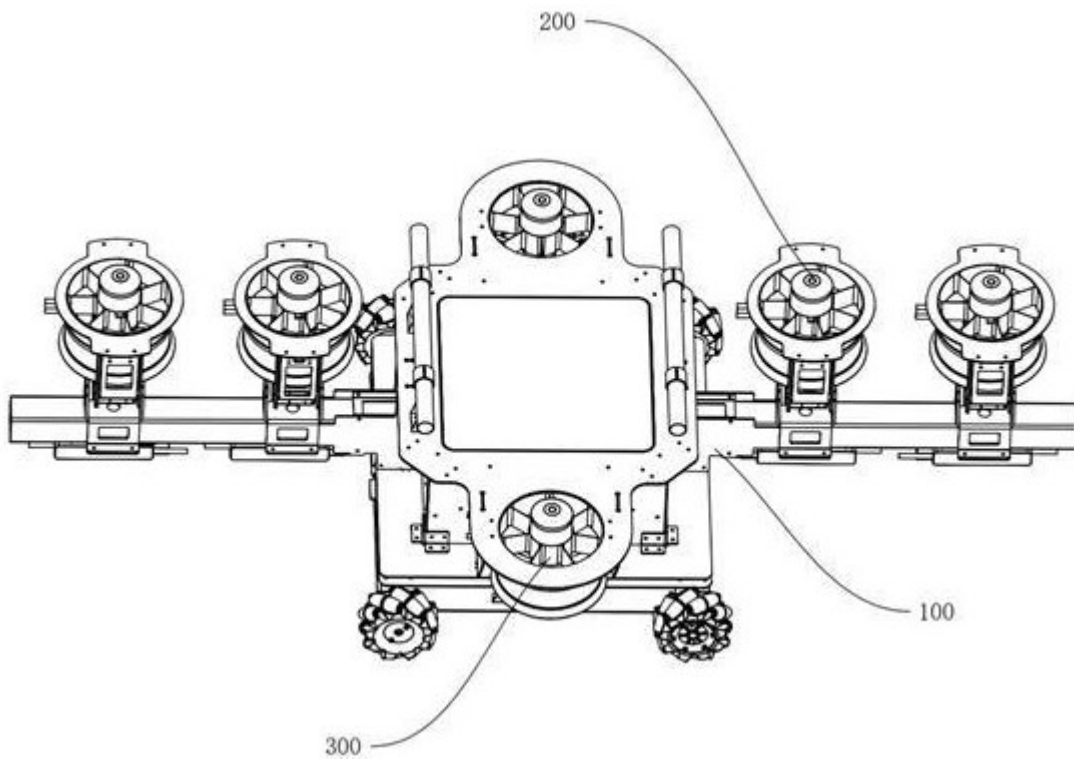


图2