



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116293192 B

(45) 授权公告日 2025. 09. 05

(21) 申请号 202310158958.2

G06F 17/11 (2006.01)

(22) 申请日 2023.02.13

F16L 55/28 (2006.01)

F16L 101/30 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116293192 A

(56) 对比文件

CN 204472946 U, 2015.07.15

(43) 申请公布日 2023.06.23

审查员 蒯雪娇

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 徐华峰 曹建农 梁志焯 程志钦

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务所(普通合伙) 44268

专利代理师 谢松

(51) Int. Cl.

F16L 55/32 (2006.01)

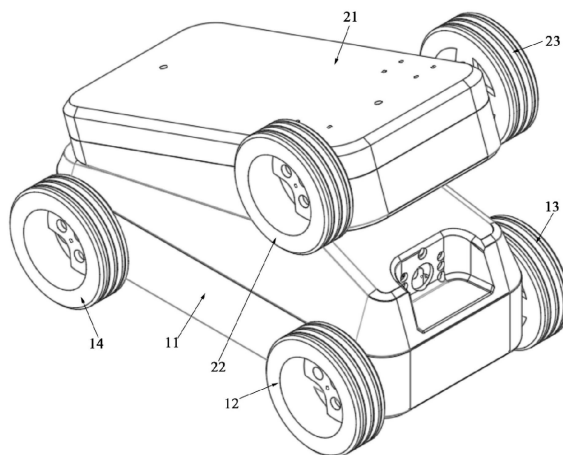
权利要求书4页 说明书15页 附图5页

(54) 发明名称

一种自适应可形变的管道机器人

(57) 摘要

本发明公开了一种自适应可形变的管道机器人,包括:主车;辅车,与主车转动连接;弹性组件,设置于主车,并用于提供弹性力以使辅车垂直于主车;惯性测量单元,设置于主车;电源,设置于主车或辅车;控制器,设置于主车或辅车,并用于控制主车和辅车移动;惯性测量单元、电源均与控制器电连接。当机器人放入管道中后,主车和辅车之间的夹角为锐角或钝角,在弹性组件提供的弹性力的作用下,使得主车和辅车紧贴于管道的内壁,增加了主车和辅车对管道的内壁的压力,且机器人对管道的内壁的相对两侧均有压力,不仅增大车轮与管道的内壁之间的摩擦力,使得车轮不容易打滑,而且在竖直方向的管道内,机器人仍可以移动,适用于不同形状的管道。



1. 一种自适应可形变的管道机器人的控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

确定主车和辅车之间的夹角的类型;其中,所述主车和辅车之间的夹角的类型包括锐角和钝角;

通过惯性测量单元获取主车的位姿信息;

根据所述位姿信息,确定机器人所在管道的类型;其中,所述管道的类型包括弯管、直管中的至少一种;

根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型,确定机器人的动力学方程;

根据所述动力学方程,控制所述主车和所述辅车移动;

所述主车包括:

主车体;

左后轮和右后轮,设置于所述主车体远离所述辅车的一端;

左后驱动器和右后驱动器,设置于所述主车体;

左中轮和右中轮,设置于所述主车体靠近所述辅车的一端;

左中驱动器和右中驱动器,设置于所述主车体;

其中,所述左后驱动器与所述左后轮连接,所述右中驱动器与所述右中轮连接,所述左中驱动器与所述左中轮连接,所述右后驱动器与所述右后轮连接;

所述辅车包括:

辅车体,与所述主车体转动连接;

左前轮和右前轮,设置于所述辅车体远离所述主车的一端;

左前驱动器和右前驱动器,设置于所述辅车;

其中,所述左前驱动器与所述左前轮连接,所述右前驱动器与所述右前轮连接;

所述左前轮和所述右前轮之间的间距、所述左中轮和所述右中轮之间的间距、所述左后轮和所述右后轮之间的间距均相同;所述主车体的宽度和所述辅车体的宽度相同;

当所述管道的类型为直管时,所述动力学方程为:

$$\begin{bmatrix} v \\ \tan \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{v_R + v_L}{2} \\ \frac{k_+}{2} \cdot \frac{v_R - v_L}{v_R + v_L} \cdot \frac{1}{\arcsin \frac{W + 2d}{D}} \end{bmatrix}$$

$$\phi = \arctan \frac{v_s}{v}$$

其中, v 表示机器人沿管道轴线的速度, v_s 表示滑动速度, ϕ 表示角度, k_+ 表示比例因子, v_R 表示右轮的速度, v_L 表示左轮的速度, W 表示主车体的宽度, d 表示轮的宽度, D 表示管道的直径, \arcsin 表示反正弦函数, \arctan 表示反正切函数;

当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,

$$v_L = v_{lm} = v_{lb} = -v_{lu}$$

$$v_R = v_{rm} = v_{rb} = -v_{ru};$$

当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,

$$v_L = v_{lm} = -v_{lb} = v_{lu}$$

$$v_R = v_{rm} = -v_{rb} = v_{ru};$$

v_{lm} 表示左中轮的速度, v_{lb} 表示左后轮的速度, v_{lu} 表示左前轮的速度, v_{rm} 表示右中轮的速度, v_{rb} 表示右后轮的速度, v_{ru} 表示右前轮的速度;

当所述管道的类型为弯管时,所述动力学方程为:

$$\begin{aligned} v_{lu} &= v_{ru} = \omega R_{i,min} \\ v_{lm} &= v_{rm} = \omega R_{i,max} \\ v_{lb} &= v_{rb} = \omega R_{i,max} \\ \begin{cases} R_{i,min} = R_{min} + \frac{1}{2}D(1 - \cos \arcsin \frac{W+2d}{D}) \\ R_{i,max} = R_{i,min} + D_i \end{cases} \end{aligned}$$

其中, ω 表示机器人绕弯管圆心移动的角速度, $R_{i,min}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最小半径, $R_{i,max}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最大半径, \cos 表示余弦函数, D_i 表示机器人在管道中的高度。

2.根据权利要求1所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,其特征在于,所述控制方法还包括步骤:

根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型,确定机器人的几何约束条件;

根据所述几何约束条件和所述位姿信息,确定所述主车和所述辅车之间的夹角;

根据所述主车和所述辅车之间的夹角,确定所述管道内是否存在障碍物或凹陷。

3.根据权利要求2所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,其特征在于,当所述管道的类型为直管,且所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$\begin{aligned} \theta &= \alpha + \beta \\ D_i &= 2r - h \cos\alpha + l_1 \sin\alpha + l_3 \sin\beta + h \cos\beta \\ D_i^2 + (W + 2d)^2 &= D^2; \end{aligned}$$

当所述管道的类型为直管,且所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$\begin{aligned} \pi - \theta &= \alpha + \beta \\ D_i &= 2r + l_3 \sin\beta \\ D_i &= 2r + h \cos\beta - l_2 \sin\beta + l_1 \sin\alpha + h \cos\alpha \\ D_i^2 + (W + 2d)^2 &= D^2; \end{aligned}$$

其中, θ 表示主车和辅车之间的夹角, α 表示辅车与管道轴线之间的夹角, β 表示主车与管道轴线之间的夹角, r 表示轮的半径, l_1 表示连接处与前轮中心在辅车长度方向的距离,所述连接处为主车和辅车转动连接处, l_2 表示连接处与中轮中心在主车长度方向的距离, l_3 表示连接处与后轮中心在主车长度方向的距离, h 表示车体与轮中心在车体高度方向的距离, \sin 表示正弦函数。

4.根据权利要求3所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,其特征在于,所述根据所述几何约束条件和所述位姿信息,确定所述主车和所述辅车之间的夹角,包括:

当所述管道的类型为弯管时,根据所述几何约束条件和所述位姿信息,确定连接处的

位置信息;

根据所述位置信息,确定确定所述主车和所述辅车之间的夹角;

其中,当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,所述几何约束条件为:

$$\begin{aligned}d_{OO_u} &= R_{i,min} + r \\d_{OO_m} &= R_{i,max} - r \\d_{OO_b} &= R_{i,max} - r \\d_{PO_u}^2 &= h^2 + l_1^2 \\d_{PO_m}^2 &= h^2 + l_2^2 \\d_{PO_b}^2 &= h^2 + l_3^2 \\d_{O_mO_b} &= l_3 - l_2\end{aligned}$$

当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,所述几何约束条件为:

$$\begin{aligned}d_{OO_u} &= R_{i,min} + r \\d_{OO_m} &= R_{i,max} - r \\d_{OO_b} &= R_{i,min} + r \\d_{PO_u}^2 &= h^2 + l_1^2 \\d_{PO_m}^2 &= h^2 + l_2^2 \\d_{PO_b}^2 &= h^2 + l_3^2 \\d_{O_mO_b} &= l_3 - l_2\end{aligned}$$

d_{00_u} 表示弯管圆心0与前轮中心 O_u 的距离, d_{00_m} 表示弯管圆心0与中轮中心 O_m 的距离, d_{00_b} 表示弯管圆心0与后轮中心 O_b 的距离, d_{P0_u} 表示连接处P与前轮中心 O_u 的距离, d_{P0_m} 表示连接处P与中轮中心 O_m 的距离, d_{P0_b} 表示连接处P与后轮中心 O_b 的距离, d_{0m0_b} 表示中轮中心 O_m 与后轮中心 O_b 的距离;

所述位置信息为:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{OP} \cos(\varepsilon + \gamma + \delta) \\ 0 \\ d_{OP} \sin(\varepsilon + \gamma + \delta) \end{bmatrix}$$

P_x 表示连接处的x坐标, P_y 表示连接处的y坐标, P_z 表示连接处的z坐标, d_{0P} 表示弯管圆心0与连接处P的距离, ε 表示中轮中心、弯管圆心、后轮中心形成的夹角, γ 表示后轮中心、弯管圆心、竖直方向形成的夹角, δ 表示连接处、弯管圆心、中轮中心形成的夹角;

当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$\theta = -\theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

其中, θ_1 表示弯管圆心、连接处、前轮中心形成的夹角, θ_2 表示弯管圆心、连接处、后轮中心形成的夹角;

$$d_{OO_u}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_u}^2 - 2d_{OP}d_{PO_u} \cos \theta_1$$

$$d_{OO_b}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_b}^2 - 2d_{OP}d_{PO_b} \cos \theta_2.$$

$$\alpha_y = \varepsilon + \epsilon + \gamma$$

$$\frac{\sin \varepsilon}{d_{O_m O_b}} = \frac{\sin \epsilon}{d_{OO_b}}$$

$$d_{O_m O_b}^2 = d_{OO_m}^2 + d_{OO_b}^2 - 2d_{OO_m}d_{OO_b} \cos \varepsilon$$

$$\frac{\sin \delta}{d_{PO_m}} = \frac{\sin \left(\arctan \frac{l_2}{h} + \frac{\pi}{2} - \epsilon \right)}{d_{OP}}$$

$$d_{OP}^2 = d_{PO_m}^2 + d_{OO_m}^2 - 2d_{PO_m}d_{OO_m} \cos \delta$$

α_y 表示主车与垂直方向的夹角, 且根据所述位姿信息确定, ϵ 表示弯管圆心、中轮中心、后轮中心形成的夹角, π 表示圆周率。

5. 根据权利要求1所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法, 其特征在于, 所述主车上还设置有照明装置和摄像装置;

所述辅车上设置有轴孔, 所述主车上设置有转轴, 所述转轴转动设置于所述轴孔内; 弹性组件包括:

扭簧, 套设在所述转轴外, 两端分别连接所述主车和所述辅车;

弹片, 设置于所述主车;

其中, 当所述辅车向所述主车转动接触到所述弹片时, 所述弹片用于阻止所述辅车继续朝所述主车转动。

6. 一种计算机设备, 包括存储器和处理器, 所述存储器存储有计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至5中任一项所述方法的步骤。

7. 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至5中任一项所述的方法的步骤。

一种自适应可形变的管道机器人

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人领域,尤其涉及的是一种自适应可形变的管道机器人。

背景技术

[0002] 城市内存在各种错综复杂的管道,但是由于管道长期使用,不可避免的会出现多种管道缺陷的问题,如有裂缝、缺口和老化等。因此,如何有效的在不同形状的管道检测并发现管道内的缺陷,成为现在城市建设和维护中急需解决的问题。

[0003] 现有技术中,通过遥控四轮的管道检测小车在形变量特别小的水平管道内移动和收集数据,再通过网线将收集到的视频图像信息通过有线传输的方式传输给外面的监视器,由管道检测人员进行缺陷诊断。但是检测小车难以适应不同形状的管道的检测,管道存在竖直管道部分,检测小车就无法移动,也就无法进行检测。

[0004] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种自适应可形变的管道机器人,旨在解决现有技术中检测小车难以适应不同形状的管道的检测的问题。

[0006] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0007] 一种自适应可形变的管道机器人,其中,包括:

[0008] 主车;

[0009] 辅车,所述辅车与所述主车转动连接,并转动至所述主车的上方;

[0010] 弹性组件,设置于所述主车,并用于提供弹性力以使所述辅车垂直于所述主车;

[0011] 惯性测量单元,设置于所述主车;

[0012] 电源,设置于所述主车或所述辅车;

[0013] 控制器,设置于所述主车或所述辅车,并用于控制所述主车和所述辅车移动;

[0014] 其中,所述惯性测量单元、所述电源均与所述控制器电连接。

[0015] 所述的自适应可形变的管道机器人,其中,所述主车包括:

[0016] 主车体;

[0017] 左后轮和右后轮,设置于所述主车体远离所述辅车的一端;

[0018] 左后驱动器和右后驱动器,设置于所述主车体;

[0019] 左中轮和右中轮,设置于所述主车体靠近所述辅车的一端;

[0020] 左中驱动器和右中驱动器,设置于所述主车体;

[0021] 其中,所述左后驱动器与所述左后轮连接,所述右中驱动器与所述右中轮连接,所述左中驱动器与所述左中轮连接,所述右后驱动器与所述右后轮连接;

[0022] 所述辅车包括:

[0023] 辅车体,与所述主车体转动连接;

[0024] 左前轮和右前轮,设置于所述辅车体远离所述主车的一端;

- [0025] 左前驱动器和右前驱动器,设置于所述辅车;
- [0026] 其中,所述左前驱动器与所述左前轮连接,所述右前驱动器与所述右前轮连接。
- [0027] 所述的自适应可形变的管道机器人,其中,所述主车上还设置有照明装置和摄像装置;
- [0028] 所述辅车上设置有轴孔,所述主车上设置有转轴,所述转轴转动设置于所述轴孔内;所述弹性组件包括:
- [0029] 扭簧,套设在所述转轴外,两端分别连接所述主车和所述辅车;
- [0030] 弹片,设置于所述主车;
- [0031] 其中,当所述辅车向所述主车转动接触到所述弹片时,所述弹片用于阻止所述辅车继续朝所述主车转动。
- [0032] 一种如上任意一项所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,其中,包括如下步骤:
- [0033] 确定主车和辅车之间的夹角的类型;其中,所述主车和辅车之间的夹角的类型包括锐角和钝角;
- [0034] 通过惯性测量单元获取主车的位姿信息;
- [0035] 根据所述位姿信息,确定机器人所在管道的类型;其中,所述管道的类型包括弯管、直管中的至少一种;
- [0036] 根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型,确定机器人的动力学方程;
- [0037] 根据所述动力学方程,控制所述主车和所述辅车移动。
- [0038] 所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,其中,所述主车包括:
- [0039] 主车体;
- [0040] 左后轮和右后轮,设置于所述主车体远离所述辅车的一端;
- [0041] 左后驱动器和右后驱动器,设置于所述主车体;
- [0042] 左中轮和右中轮,设置于所述主车体靠近所述辅车的一端;
- [0043] 左中驱动器和右中驱动器,设置于所述主车体;
- [0044] 其中,所述左后驱动器与所述左后轮连接,所述右中驱动器与所述右中轮连接,所述左中驱动器与所述左中轮连接,所述右后驱动器与所述右后轮连接;
- [0045] 所述辅车包括:
- [0046] 辅车体,与所述主车体转动连接;
- [0047] 左前轮和右前轮,设置于所述辅车体远离所述主车的一端;
- [0048] 左前驱动器和右前驱动器,设置于所述辅车;
- [0049] 其中,所述左前驱动器与所述左前轮连接,所述右前驱动器与所述右前轮连接;
- [0050] 所述左前轮和所述右前轮之间的间距、所述左中轮和所述右中轮之间的间距、所述左后轮和所述右后轮之间的间距均相同;所述主车体的宽度和所述辅车体的宽度相同;
- [0051] 当所述管道的类型为直管时,所述动力学方程为:

$$[0052] \quad \begin{bmatrix} v \\ \tan \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{v_R + v_L}{2} \\ \frac{k_{\pm}}{2} \cdot \frac{v_R - v_L}{v_R + v_L} \cdot \frac{1}{\arcsin \frac{W + 2d}{D}} \end{bmatrix}$$

$$[0053] \quad \phi = \arctan \frac{v_s}{v}$$

[0054] 其中, v 表示机器人沿管道轴线的速度, v_s 表示滑动速度, ϕ 表示角度, k_+ 表示比例因子, v_R 表示右轮的速度, v_L 表示左轮的速度, W 表示主车体的宽度, d 表示轮的宽度, D 表示管道的直径, \arcsin 表示反正弦函数, \arctan 表示反正切函数;

[0055] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,

$$[0056] \quad v_L = v_{lm} = v_{lb} = -v_{lu}$$

$$[0057] \quad v_R = v_{rm} = v_{rb} = -v_{ru};$$

[0058] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,

$$[0059] \quad v_L = v_{lm} = -v_{lb} = v_{lu}$$

$$[0060] \quad v_R = v_{rm} = -v_{rb} = v_{ru};$$

[0061] v_{lm} 表示左中轮的速度, v_{lb} 表示左后轮的速度, v_{lu} 表示左前轮的速度, v_{rm} 表示右中轮的速度, v_{rb} 表示右后轮的速度, v_{ru} 表示右前轮的速度;

[0062] 当所述管道的类型为弯管时, 所述动力学方程为:

$$[0063] \quad v_{lu} = v_{ru} = \omega R_{i,min}$$

$$[0064] \quad v_{lm} = v_{rm} = \omega R_{i,max}$$

$$[0065] \quad v_{lb} = v_{rb} = \omega R_{i,max}$$

$$[0066] \quad \begin{cases} R_{i,min} = R_{min} + \frac{1}{2}D(1 - \cos \arcsin \frac{W+2d}{D}) \\ R_{i,max} = R_{i,min} + D_i \end{cases}$$

[0067] 其中, ω 表示机器人绕弯管圆心移动的角速度, $R_{i,min}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最小半径, $R_{i,max}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最大半径, \cos 表示余弦函数, D_i 表示机器人在管道中的高度。

[0068] 所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法, 其中, 所述控制方法还包括步骤:

[0069] 根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型, 确定机器人的几何约束条件;

[0070] 根据所述几何约束条件和所述位姿信息, 确定所述主车和所述辅车之间的夹角;

[0071] 根据所述主车和所述辅车之间的夹角, 确定所述管道内是否存在障碍物或凹陷。

[0072] 所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法, 其中, 当所述管道的类型为直管, 且所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时, 所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0073] \quad \theta = \alpha + \beta$$

$$[0074] \quad D_i = 2r - h \cos \alpha + l_1 \sin \alpha + l_3 \sin \beta + h \cos \beta$$

$$[0075] \quad D_i^2 + (W + 2d)^2 = D^2;$$

[0076] 当所述管道的类型为直管, 且所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时, 所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0077] \quad \pi - \theta = \alpha + \beta$$

$$[0078] \quad D_i = 2r + l_3 \sin \beta$$

$$[0079] \quad D_i = 2r + h \cos \beta - l_2 \sin \beta + l_1 \sin \alpha + h \cos \alpha$$

$$[0080] \quad D_i^2 + (W + 2d)^2 = D^2;$$

[0081] 其中, θ 表示主车和辅车之间的夹角, α 表示辅车与管道轴线之间的夹角, β 表示主车与管道轴线之间的夹角, r 表示轮的半径, l_1 表示连接处与前轮中心在辅车长度方向的距离, 所述连接处为主车和辅车转动连接处, l_2 表示连接处与中轮中心在主车长度方向的距离, l_3 表示连接处与后轮中心在主车长度方向的距离, h 表示车体与轮中心在车体高度方向的距离, \sin 表示正弦函数。

[0082] 所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法, 其中, 所述根据所述几何约束条件和所述位姿信息, 确定所述主车和所述辅车之间的夹角, 包括:

[0083] 当所述管道的类型为弯管时, 根据所述几何约束条件和所述位姿信息, 确定连接处的位置信息;

[0084] 根据所述位置信息, 确定确定所述主车和所述辅车之间的夹角;

[0085] 其中, 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时, 所述几何约束条件为:

$$[0086] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0087] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0088] \quad d_{OO_b} = R_{i,max} - r$$

$$[0089] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0090] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0091] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0092] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2$$

[0093] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时, 所述几何约束条件为:

$$[0094] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0095] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0096] \quad d_{OO_b} = R_{i,min} + r$$

$$[0097] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0098] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0099] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0100] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2$$

[0101] d_{00_u} 表示弯管圆心 O 与前轮中心 O_u 的距离, d_{00_m} 表示弯管圆心 O 与中轮中心 O_m 的距离, d_{00_b} 表示弯管圆心 O 与后轮中心 O_b 的距离, d_{p0_u} 表示连接处 P 与前轮中心 O_u 的距离, d_{p0_m} 表示连接处 P 与中轮中心 O_m 的距离, d_{p0_b} 表示连接处 P 与后轮中心 O_b 的距离, d_{0m0_b} 表示中轮中心 O_m 与后轮中心 O_b 的距离;

[0102] 所述位置信息为:

$$[0103] \quad \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{OP} \cos(\varepsilon + \gamma + \delta) \\ 0 \\ d_{OP} \sin(\varepsilon + \gamma + \delta) \end{bmatrix}$$

[0104] P_x 表示连接处的x坐标, P_y 表示连接处的y坐标, P_z 表示连接处的z坐标, d_{OP} 表示弯管圆心O与连接处P的距离, ε 表示中轮中心、弯管圆心、后轮中心形成的夹角, γ 表示后轮中心、弯管圆心、竖直方向形成的夹角, δ 表示连接处、弯管圆心、中轮中心形成的夹角;

[0105] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0106] \quad \theta = -\theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

[0107] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0108] \quad \theta = \theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

[0109] 其中, θ_1 表示弯管圆心、连接处、前轮中心形成的夹角, θ_2 表示弯管圆心、连接处、后轮中心形成的夹角;

$$[0110] \quad d_{OO_u}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_u}^2 - 2d_{OP}d_{PO_u} \cos \theta_1$$

$$[0111] \quad d_{OO_b}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_b}^2 - 2d_{OP}d_{PO_b} \cos \theta_2$$

$$[0112] \quad \alpha_y = \varepsilon + \varepsilon + \gamma$$

$$[0113] \quad \frac{\sin \varepsilon}{d_{O_m O_b}} = \frac{\sin \varepsilon}{d_{OO_b}}$$

$$[0114] \quad d_{O_m O_b}^2 = d_{OO_m}^2 + d_{OO_b}^2 - 2d_{OO_m}d_{OO_b} \cos \varepsilon$$

$$[0115] \quad \frac{\sin \delta}{d_{PO_m}} = \frac{\sin \left(\arctan \frac{l_2}{h} + \frac{\pi}{2} - \varepsilon \right)}{d_{OP}}$$

$$[0116] \quad d_{OP}^2 = d_{PO_m}^2 + d_{OO_m}^2 - 2d_{PO_m}d_{OO_m} \cos \delta$$

[0117] α_y 表示主车与竖直方向的夹角,且根据所述位姿信息确定, ε 表示弯管圆心、中轮中心、后轮中心形成的夹角, π 表示圆周率。

[0118] 一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其中,所述处理器执行所述计算机程序时实现如上中任一项所述方法的步骤。

[0119] 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其中,所述计算机程序被处理器执行时实现如上任一项所述的方法的步骤。

[0120] 有益效果:当机器人放入管道中后,主车和辅车之间的夹角为锐角或钝角,在弹性组件提供的弹性力的作用下,使得主车和辅车紧贴于管道的内壁,增加了主车和辅车对管

道的内壁的压力,且机器人对管道的内壁的相对两侧均有压力,不仅有利于增大车轮与管道的内壁之间的摩擦力,使得车轮不容易打滑,而且在竖直方向的管道内,机器人仍然可以移动,可以适用于不同形状的管道。

附图说明

- [0121] 图1是本发明实施例中机器人在展开状态的结构示意图。
- [0122] 图2是本发明实施例中机器人的结构示意图。
- [0123] 图3是本发明实施例中机器人在折叠状态的结构示意图。
- [0124] 图4是本发明实施例中机器人在折叠状态下的后视图。
- [0125] 图5是本发明实施例中机器人在折叠状态(a)、展开状态(b)下的第一管道剖视图以及第二管道剖视图(c)。
- [0126] 图6是本发明实施例中机器人在折叠状态(a)、展开状态(b)下的直管剖视图。
- [0127] 图7是本发明实施例中机器人在折叠状态(a)、展开状态(b)下的第一弯管剖视图。
- [0128] 图8是本发明实施例中机器人在管道中的后视图(a)以及轨迹图(b)。
- [0129] 图9是本发明实施例中机器人在折叠状态(a)、展开状态(b)下的第二弯管剖视图。
- [0130] 附图标记说明:
- [0131] 10、主车;11、主车体;12、左后轮;13、右后轮;14、左中轮;15、右中轮;16、左后驱动器;17、右后驱动器;18、左中驱动器;19、右中驱动器;1a、轴孔;20、辅车;21、辅车体;22、左前轮;23、右前轮;24、左前驱动器;25、右前驱动器;2a、转轴;30、弹性组件;31、扭簧;32、弹片;40、摄像装置;50、控制器。

具体实施方式

- [0132] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。
- [0133] 请同时参阅图1-图3,本发明提供了一种自适应可形变的管道机器人的一些实施例。
- [0134] 如图1-图3所示,本发明的自适应可形变的管道机器人,包括:
- [0135] 主车10;
- [0136] 辅车20,所述辅车20与所述主车10转动连接,并转动至所述主车10的上方;
- [0137] 弹性组件30,设置于所述主车10,并用于提供弹性力以使所述辅车20垂直于所述主车10;
- [0138] 惯性测量单元,设置于所述主车10;
- [0139] 电源,设置于所述主车10或所述辅车20;
- [0140] 控制器50,设置于所述主车10或所述辅车20,并用于控制所述主车10和所述辅车20移动;
- [0141] 其中,所述惯性测量单元、所述电源均与所述控制器50电连接。
- [0142] 具体地,主车10和辅车20采用首尾转动连接,机器人可以展开形成“一”字形,也可以折叠形成“V”字形,弹性组件30为主车10和辅车20提供弹性力,若主车10和辅车20之间的

夹角为锐角,则弹性组件30表现为排斥力,使主车10和辅车20展开;若主车10和辅车20之间的夹角为钝角,则弹性组件30表现为收缩力,使主车10和辅车20折叠。总的来说,弹性组件30提供弹性力使主车10和辅车20趋于垂直。惯性测量单元用于采集主车10的位姿信息,当然,惯性测量单元还可以设置于辅车20,以采集辅车20的位姿信息。电源用于提供电能,具体为控制器50和惯性测量单元以及其他电子设备提供电能,则不需要采用电缆连接机器人。控制器50用于控制主车10和辅车20移动。

[0143] 当机器人放入管道中后,主车10和辅车20之间的夹角为锐角或钝角,在弹性组件30提供的弹性力的作用下,使得主车10和辅车20紧贴于管道的内壁,增加了主车10和辅车20对管道的内壁的压力,且机器人对管道的内壁的相对两侧均有压力,不仅有利于增大车轮与管道的内壁之间的摩擦力,使得车轮不容易打滑,而且在竖直方向的管道内,机器人仍然可以移动,可以适用于不同形状的管道。

[0144] 主车10和辅车20上均设置有车轮,车轮在管道的内壁上行驶。若管道的内壁不存在缺陷,则管道的内壁的直径是固定,机器人在该管道内行驶时,主车10和辅车20之间的夹角是固定的,不会变化。若管道的内壁存在缺陷,机器人在该管道内行驶时,主车10和辅车20之间的夹角并不是固定的,而是会发生变化。管道内可能存在障碍物、污垢、凹陷等缺陷,若主车10和辅车20之间的夹角为锐角,经过障碍物或污垢时,主车10和辅车20之间的夹角会减小,经过凹陷时,主车10和辅车20之间的夹角会增大;若主车10和辅车20之间的夹角为钝角,经过障碍物或污垢时,主车10和辅车20之间的夹角会增大,经过凹陷时,主车10和辅车20之间的夹角会减小。因此,通过主车10和辅车20之间的夹角可以辅助判断出管道内是否存在缺陷。

[0145] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图2所示,所述主车10上还设置有照明装置和摄像装置40。

[0146] 具体地,除了通过主车10和辅车20之间的夹角判断管道内是否存在缺陷,还可以设置摄像装置40,并通过摄像装置40拍摄图像,对拍摄的图像进行识别,从而确定管道内是否存在缺陷。为了获得较佳的图像,还配置有照明装置,向管道的内壁进行照明。

[0147] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图2所示,所述主车10包括:

[0148] 主车10体;

[0149] 左后轮12和右后轮13,设置于所述主车10体远离所述辅车20的一端;

[0150] 左后驱动器16和右后驱动器17,设置于所述主车10体;

[0151] 左中轮14和右中轮15,设置于所述主车10体靠近所述辅车20的一端;

[0152] 左中驱动器18和右中驱动器19,设置于所述主车10体;

[0153] 其中,所述左后驱动器16与所述左后轮12连接,所述右中驱动器19与所述右中轮15连接,所述左中驱动器18与所述左中轮14连接,所述右后驱动器17与所述右后轮13连接;

[0154] 所述辅车20包括:

[0155] 辅车20体,与所述主车10体转动连接;

[0156] 左前轮22和右前轮23,设置于所述辅车20体远离所述主车10的一端;

[0157] 左前驱动器24和右前驱动器25,设置于所述辅车20;

[0158] 其中,所述左前驱动器24与所述左前轮22连接,所述右前驱动器25与所述右前轮23连接。

[0159] 具体地,主车10具有4个车轮,辅车20具有2个车轮,一共6个车轮,分别命名为左前轮22、左中轮14、左后轮12、右前轮23、右中轮15以及右后轮13,6个车轮还可以按照前后位置,分为2个前轮、2个中轮以及2个后轮,还可以按照左右位置,分为3个左轮和3个右轮。每个车轮对应驱动器,分别为左前驱动器24、左中驱动器18、左后驱动器16、右前轮23驱动器、右中驱动器19以及右后驱动器17,通过控制各驱动器驱动对应的车轮转动,实现机器人的移动。当然,辅车20上可以设置3个或4个车轮。

[0160] 左前轮22和右前轮23之间的间距、左中轮14和右中轮15之间的间距、左后轮12和右后轮13之间的间距均相同;主车10体的宽度和辅车20体的宽度相同。左右两个车轮之间的间距均相同,主车10体的宽度和辅车20体的宽度也相同,采用相同间距和相同宽度时,便于后续模型的建立和数据的计算。

[0161] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,所述主车10或所述辅车20上还设置有蓝牙设备。

[0162] 具体地,机器人携带一个蓝牙设备,用于在机器人外部接收速度控制命令,该蓝牙设备连接到OpenCR。当OpenCR没有接收到其他命令时,机器人的默认速度是0.1m/s。驱动器由TTL通信控制,在OpenCR上有电路将UART信号转换为半双工。因此可以通过在控制器50中运行的程序控制这些驱动器。

[0163] 在本发明实施例的一个较佳实现方式中,如图1-图2所示,所述辅车20上设置有轴孔1a,所述主车10上设置有转轴2a,所述转轴2a转动设置于所述轴孔1a内;所述弹性组件30包括:

[0164] 扭簧31,套设在所述转轴2a外,两端分别连接所述主车10和所述辅车20;

[0165] 弹片32,设置于所述主车10;

[0166] 其中,当所述辅车20向所述主车10转动接触到所述弹片32时,所述弹片32用于阻止所述辅车20继续朝所述主车10转动。

[0167] 具体地,主车10和辅车20采用转轴2a转动连接,转轴2a具体设置于主车10体,并在辅车20体上设置轴孔1a,且转轴2a可在轴孔1a内转动。当然,还可以将转轴2a设置于辅车20体,并在主车10体上设置轴孔1a。采用扭簧31为主车10和辅车20提供弹性力,不论是主车10和辅车20相互展开还是折叠,扭簧31都会发生形变,而提供弹性力,使得主车10趋于垂直于辅车20。为了避免主车10和辅车20折叠时,过于靠拢而损坏,在主车10上设置弹片32,当辅车20转动到弹片32位置时,难以继续向主车10转动,避免两者过于靠近而损坏。

[0168] 基于上述任意一实施例所述的自适应可形变的管道机器人,本发明还提供了一种自适应可形变的管道机器人的控制方法的较佳实施例:

[0169] 本发明实施例的自适应可形变的管道机器人的控制方法,包括以下步骤:

[0170] 步骤S100、确定主车和辅车之间的夹角的类型;其中,所述主车和辅车之间的夹角的类型包括锐角和钝角。

[0171] 步骤S200、通过惯性测量单元获取主车的位姿信息。

[0172] 步骤S300、根据所述位姿信息,确定机器人所在管道的类型;其中,所述管道的类型包括弯管、直管中的至少一种。

[0173] 步骤S400、根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型,确定机器人的动力学方程。

[0174] 步骤S500、根据所述动力学方程,控制所述主车和所述辅车移动。

[0175] 具体地,在将机器人放入管道时,可以根据需要,将主车和辅车展开后放入管道,或者将主车和辅车折叠后放入管道,则可以确定主车和辅车之间的夹角的类型,若主车和辅车展开后放入管道,则主车和辅车之间的夹角的类型为钝角;若主车和辅车折叠后放入管道,则主车和辅车之间的夹角的类型为锐角。

[0176] 通过惯性测量单元获取主车的位姿信息,通过主车的位姿信息可以确定管道的类型,机器人在直管中行驶时,主车的位姿信息变化并不大(即使直管是竖直放置、水平放置、或者倾斜放置,位姿信息变化并不大)。机器人在弯管中行驶时,主车的位姿信息变化较大,因此,可以通过位姿信息,确定机器人所在管道是直管还是弯管。

[0177] 在直管或弯管中行驶,机器人的动力学方程不同,主车和辅车之间是锐角或钝角,机器人的动力学方程也略有差异。根据管道的类型和主车和辅车之间的夹角的类型,确定机器人的动力学方程,并基于该动力学方程控制主车和辅车移动,使得机器人可以顺利地管道内移动。

[0178] 机器人的具体几何参数汇总如下,如图4-图6所示,主车体的宽度和辅车体的宽度相同,记为 W ;所有车轮的宽度均相同,记为 d ;所有车轮的半径均相同,记为 r ;主车和辅车在连接处转动,该连接处即转轴的中心轴线,连接处与前轮中心在辅车长度方向的距离,记为 l_1 ;连接处与中轮中心在主车长度方向的距离,记为 l_2 ;连接处与后轮中心在主车长度方向的距离,记为 l_3 ;各车轮中心与对应车体在车体高度方向的距离均相同,记为 h ;主车和辅车之间的夹角,记为 θ 。

[0179] 如图5和图6所示,当机器人在管道内行驶时,机器人在管道中的高度,记为 D_i ;管道的直径,记为 D ;辅车与管道轴线之间的夹角,记为 α ;主车与管道轴线之间的夹角,记为 β 。特别地,如图7和图9所示,当机器人在弯管内行驶时,弯管可以是圆环形弯管,弯管的截面呈圆环形,则弯管圆心,记为 O ;基于弯管圆心 O 的位置建立坐标系,以竖直向下的方向为 x 轴,以水平面内垂直于车轮的方向为 y 轴,以水平面内垂直于 y 轴的方向为 z 轴;圆环形的弯管的内环半径,即弯管的管壁与弯管圆心的最小半径,记为 $R_{i,\min}$;圆环形的弯管的外环半径,即弯管的管壁与弯管圆心的最大半径,记为 $R_{i,\max}$;前轮中心,记为 O_u ;中轮中心,记为 O_m ;后轮中心,记为 O_b ;连接处,记为 P ;连接处 P 的 x 坐标,记为 P_x ;连接处 P 的 y 坐标,记为 P_y ;连接处 P 的 z 坐标,记为 P_z ;弯管圆心 O 与前轮中心 O_u 的距离,记为 d_{00u} ;弯管圆心 O 与中轮中心 O_m 的距离,记为 d_{00m} ;弯管圆心 O 与后轮中心 O_b 的距离,记为 d_{00b} ;连接处 P 与中轮中心 O_m 的距离,记为 d_{p0m} ;连接处 P 与后轮中心 O_b 的距离,记为 d_{p0b} ;中轮中心 O_m 与后轮中心 O_b 的距离,记为 d_{m0b} ; $\angle O_m O O_b$,即中轮中心 O_m 、弯管圆心 O 、后轮中心 O_b 形成的夹角,记为 ϵ ; $\angle O_b O x$,即后轮中心 O_b 、弯管圆心 O 、竖直方向 x 轴形成的夹角,记为 γ ; $\angle P O O_m$,即连接处 P 、弯管圆心 O 、中轮中心 O_m 形成的夹角,记为 δ ; $\angle O P O_u$,即弯管圆心 O 、连接处 P 、前轮中心 O_u 形成的夹角,记为 θ_1 ; $\angle O P O_b$,即弯管圆心 O 、连接处 P 、后轮中心 O_b 形成的夹角,记为 θ_1 ; $\angle O O_m O_b$,弯管圆心 O 、中轮中心 O_m 、后轮中心 O_b 形成的夹角,记为 ϵ ;主车与竖直方向 x 轴的夹角,记为 o_y 。

[0180] 如图4和图5所示,不论机器人在直管还是弯管内行驶,不论主车和辅车的夹角的类型是锐角还是钝角,根据勾股定理,需要满足如下几何约束条件:

$$[0181] \quad D_i^2 + (W + 2d)^2 = D^2。$$

[0182] 如图6所示,若管道的类型为直管,且主车和辅车的夹角的类型是锐角,则满足如下几何约束条件:

$$[0183] \quad \theta = \alpha + \beta$$

$$[0184] \quad D_i = 2r - h \cos\alpha + l_1 \sin\alpha + l_3 \sin\beta + h \cos\beta。$$

[0185] 需要注意的是,当中轮与管道的内壁接触时, $\beta = 0, \alpha = \theta$ 。

[0186] 若管道的类型为直管,且主车和辅车的夹角的类型是钝角,则满足如下几何约束条件:

$$[0187] \quad \pi - \theta = \alpha + \beta$$

$$[0188] \quad D_i = 2r + l_3 \sin\beta$$

$$[0189] \quad D_i = 2r + h \cos\beta - l_2 \sin\beta + l_1 \sin\alpha + h \cos\alpha。$$

[0190] 如图5和图7所示,若机器人在弯管中行驶,不论主车和辅车的夹角的类型是锐角还是钝角,弯管需要满足如下几何约束条件:

$$[0191] \quad \begin{cases} R_{i,min} = R_{min} + \frac{1}{2}D(1 - \cos \arcsin \frac{W+2d}{D}) \\ R_{i,max} = R_{i,min} + D_i \end{cases}$$

[0192] 若管道的类型为弯管,且主车和辅车的夹角的类型是锐角,则满足如下几何约束条件:

$$[0193] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0194] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0195] \quad d_{OO_b} = R_{i,max} - r$$

$$[0196] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0197] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0198] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0199] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2。$$

[0200] 若管道的类型为弯管,且主车和辅车的夹角的类型是钝角,则满足如下几何约束条件:

$$[0201] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0202] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0203] \quad d_{OO_b} = R_{i,min} + r$$

$$[0204] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0205] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0206] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0207] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2。$$

[0208] 在机器人中,没有执行器来控制主车和辅车之间的夹角 θ 。当机器人在管道中运动时,可以通过安装在连接处的扭簧或主车上的弹片来被动调整夹角 θ 。

[0209] 合适的弹性组件可以产生适当的力或扭矩,使机器人的6个车轮与管道内壁完全接触,提供足够的摩擦力。机器人具有六个轮子通过弯管和直管的能力。机器人是一个滑块驱动的机器人,由六个轮子的速度控制。然后分析了机器人在管道中运动时,机器人的位姿与六个轮子速度之间的关系。

[0210] 值得注意的是,如图8所示,在管道中运动时,由于管道内壁是一个曲面,因此一个车轮与管道的内壁之间只有一个接触点。因此,当这些车轮在管道中移动时,可能会在横向上滑动。滑动速度 v_s 沿管段圆周接触点的切线方向。我们定义角度 $\phi = \arctan(v_s/v)$,当机器人移动时, ϕ 不能太大。

[0211] 机器人在直管中运动时的参数和轨迹。直角坐标系的定义如下: z 轴为管道的方向, x 轴和 y 轴在管道截面上是正交的。 \odot 指的是方向垂直于纸面向外。 o_z 表示围绕 z 轴的方向角。那么围绕 z 轴 o_z 的位置 P_0 和取向可以表示为:

$$[0212] \quad \begin{bmatrix} P_{0x}^{t+1} \\ P_{0y}^{t+1} \\ P_{0z}^{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{0x}^t - d_{COM} \cos \frac{2v\Delta t \tan \phi}{D} \\ P_{0y}^t - d_{COM} \sin \frac{2v\Delta t \tan \phi}{D} \\ P_{0z}^t + v\Delta t \end{bmatrix}$$

$$[0213] \quad o_z^{t+1} = o_z^t + \frac{2v\Delta t \tan \phi}{D}$$

[0214] 其中, P_{0x}^{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的位置 P_0 的 x 轴坐标, P_{0y}^{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的位置 P_0 的 y 轴坐标, P_{0z}^{t+1} 表示 $t+1$ 时刻的位置 P_0 的 z 轴坐标, P_{0x}^t 表示 t 时刻的位置 P_0 的 x 轴坐标, P_{0y}^t 表示 t 时刻的位置 P_0 的 y 轴坐标, P_{0z}^t 表示 t 时刻的位置 P_0 的 z 轴坐标, d_{COM} 表示位置与管道轴线的距离, Δt 表示时间变化量, v 表示机器人沿管道轴线的速度, o_z^{t+1} 表示 $t+1$ 时刻围绕 z 轴的方向角, o_z^t 表示 t 时刻围绕 z 轴的方向角。

[0215] 当左右车轮速度取值不同时, $\phi \neq 0$ 。与地面上的滑移驱动机器人不同,本申请机器人的横向滑动是通过管道内壁由于机器人两侧的速度差而对机器人产生反作用来实现的。例如,如果右轮的速度大于左轮的速度,则横向方向为向右。如果右轮的速度小于左轮的速度,横向方向为向左。具体地说,如果 $v_l < v < v_r$,则右轮向后滑动,左轮向前滑动,则机器人有向右转的趋势,因此滑动速度 v_s 向右。

[0216] 描述六轮驱动的 v 、 ϕ 和速度的动力学方程类似于滑移驱动。当 $\beta = 0$ 时,且所述管道的类型为直管时,所述动力学方程为:

$$[0217] \quad \begin{bmatrix} v \\ \tan \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{v_R + v_L}{2} \\ \frac{k_{\pm}}{2} \cdot \frac{v_R - v_L}{v_R + v_L} \cdot \frac{1}{\arcsin \frac{W + 2d}{D}} \end{bmatrix}$$

$$[0218] \quad \phi = \arctan \frac{v_s}{v}$$

[0219] 其中, v 表示机器人沿管道轴线的速度, v_s 表示滑动速度, φ 表示角度, $\varphi < 10^\circ$, $k+$ 表示比例因子, 具体为实际实验中测量的比例因子, v_R 表示右轮的速度, v_L 表示左轮的速度, W 表示主车体的宽度, d 表示轮的宽度, D 表示管道的直径, \arcsin 表示反正弦函数, \arctan 表示反正切函数。

[0220] 当机器人在直线管道中运动时, 我们通常设置 $v_r = v_l$, 以保证机器人能在直线上运动。然而, 机器人可以调整其 o_z , 准备通过 $v_r \neq v_l$ 通过下一个弯管, 当 o_z 上出现扰动时, 机器人还可以通过调整 v_r 和 v_l 来保持自己直线移动。

[0221] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,

$$[0222] \quad v_L = v_{lm} = v_{lb} = -v_{lu}$$

$$[0223] \quad v_R = v_{rm} = v_{rb} = -v_{ru};$$

[0224] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,

$$[0225] \quad v_L = v_{lm} = -v_{lb} = v_{lu}$$

$$[0226] \quad v_R = v_{rm} = -v_{rb} = v_{ru};$$

[0227] v_{lm} 表示左中轮的速度, v_{lb} 表示左后轮的速度, v_{lu} 表示左前轮的速度, v_{rm} 表示右中轮的速度, v_{rb} 表示右后轮的速度, v_{ru} 表示右前轮的速度。

[0228] 在移动到弯曲的管道之前, 机器人已经调整了它在直管中的方向。因此, 我们假设当我们的机器人在弯曲的管道中移动时, o_z 是固定的。因此, $v_{lb} = v_{rb}$, $v_{lm} = v_{rm}$ 和 $v_{lu} = v_{ru}$ 。此外, 当机器人在弯曲管道中运动时, 机器人的六个轮子的滑动更加复杂, 因此我们简化了在弯曲管道中的运动:

[0229] 机器人的COM以角速度 ω 绕管道曲线的中心 O 运动。因此, 当所述管道的类型为弯管时, 所述动力学方程为:

$$[0230] \quad v_u = v_{lu} = v_{ru} = \omega R_{i,\min}$$

$$[0231] \quad v_m = v_{lm} = v_{rm} = \omega R_{i,\max}$$

$$[0232] \quad v_b = v_{lb} = v_{rb} = \omega R_{i,\max}$$

[0233] 其中, ω 表示机器人绕弯管圆心移动的角速度, $R_{i,\min}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最小半径, $R_{i,\max}$ 表示弯管的管壁与弯管圆心的最大半径。

[0234] 所述控制方法还包括:

[0235] 步骤S600、根据所述管道的类型和所述主车和辅车之间的夹角的类型, 确定机器人的几何约束条件。

[0236] 步骤S700、根据所述几何约束条件和所述位姿信息, 确定所述主车和所述辅车之间的夹角。

[0237] 步骤S800、根据所述主车和所述辅车之间的夹角, 确定所述管道内是否存在障碍物或凹陷。

[0238] 具体地, 由于在不同管道的类型, 以及不同的主车和辅车之间的夹角类型下, 机器人的几何约束条件条件不同。在几何约束条件下, 基于位姿信息, 可以求解得到主车和辅车之间的夹角, 并根据主车和辅车之间的夹角, 确定管道内是否存在障碍物或凹陷等缺陷。

[0239] 若管道的类型为直管, 则可以直接根据几何约束条件和位姿信息, 确定主车和辅车之间的夹角。当所述管道的类型为直管, 且所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时, 所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0240] \quad \theta = \alpha + \beta$$

$$[0241] \quad D_i = 2r - h \cos\alpha + l_1 \sin\alpha + l_3 \sin\beta + h \cos\beta$$

$$[0242] \quad D_i^2 + (W + 2d)^2 = D^2。$$

[0243] 在求解时, $\beta = 0$, 可以联立以上方程求解 α , 则 $\theta = \alpha$ 。

[0244] 当所述管道的类型为直管, 且所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时, 所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0245] \quad \pi - \theta = \alpha + \beta$$

$$[0246] \quad D_i = 2r + l_3 \sin\beta$$

$$[0247] \quad D_i = 2r + h \cos\beta - l_2 \sin\beta + l_1 \sin\alpha + h \cos\alpha$$

$$[0248] \quad D_i^2 + (W + 2d)^2 = D^2。$$

[0249] 其中, θ 表示主车和辅车之间的夹角, α 表示辅车与管道轴线之间的夹角, β 表示主车与管道轴线之间的夹角, r 表示轮的半径, l_1 表示连接处与前轮中心在辅车长度方向的距离, 所述连接处为主车和辅车转动连接处, l_2 表示连接处与中轮中心在主车长度方向的距离, l_3 表示连接处与后轮中心在主车长度方向的距离, h 表示车体与轮中心在车体高度方向的距离, \sin 表示正弦函数。

[0250] 在求解时, 可以联立方程求解得到 θ 。

[0251] 若管道的类型为直管, 则可以先根据几何约束条件和位姿信息, 确定连接处的位置信息, 再根据确定连接处的位置信息, 确定主车和辅车之间的夹角。步骤S700具体包括:

[0252] 步骤S710、当所述管道的类型为弯管时, 根据所述几何约束条件和所述位姿信息, 确定连接处的位置信息。

[0253] 步骤S720、根据所述位置信息, 确定确定所述主车和所述辅车之间的夹角。

[0254] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时, 所述几何约束条件为:

$$[0255] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0256] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0257] \quad d_{OO_b} = R_{i,max} - r$$

$$[0258] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0259] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0260] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0261] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2$$

[0262] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时, 所述几何约束条件为:

$$[0263] \quad d_{OO_u} = R_{i,min} + r$$

$$[0264] \quad d_{OO_m} = R_{i,max} - r$$

$$[0265] \quad d_{OO_b} = R_{i,min} + r$$

$$[0266] \quad d_{PO_u}^2 = h^2 + l_1^2$$

$$[0267] \quad d_{PO_m}^2 = h^2 + l_2^2$$

$$[0268] \quad d_{PO_b}^2 = h^2 + l_3^2$$

$$[0269] \quad d_{O_m O_b} = l_3 - l_2$$

[0270] d_{00_u} 表示弯管圆心0与前轮中心 O_u 的距离, d_{00_m} 表示弯管圆心0与中轮中心 O_m 的距离, d_{00_b} 表示弯管圆心0与后轮中心 O_b 的距离, d_{p0_u} 表示连接处P与前轮中心 O_u 的距离, d_{p0_m} 表示连接处P与中轮中心 O_m 的距离, d_{p0_b} 表示连接处P与后轮中心 O_b 的距离, d_{0m0_b} 表示中轮中心 O_m 与后轮中心 O_b 的距离。

[0271] 所述位置信息为:

$$[0272] \quad \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{OP} \cos(\varepsilon + \gamma + \delta) \\ 0 \\ d_{OP} \sin(\varepsilon + \gamma + \delta) \end{bmatrix}$$

[0273] P_x 表示连接处的x坐标, P_y 表示连接处的y坐标, P_z 表示连接处的z坐标, d_{OP} 表示弯管圆心0与连接处P的距离, ε 表示中轮中心、弯管圆心、后轮中心形成的夹角, γ 表示后轮中心、弯管圆心、竖直方向形成的夹角, δ 表示连接处、弯管圆心、中轮中心形成的夹角。

[0274] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为锐角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0275] \quad \theta = -\theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

[0276] 当所述主车和辅车之间的夹角的类型为钝角时,所述主车和所述辅车之间的夹角为:

$$[0277] \quad \theta = \theta_1 + \theta_2 + \arctan \frac{h}{l_1} - \arctan \frac{h}{l_3}$$

[0278] 其中, θ_1 表示弯管圆心、连接处、前轮中心形成的夹角, θ_2 表示弯管圆心、连接处、后轮中心形成的夹角;

$$[0279] \quad d_{OO_u}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_u}^2 - 2d_{OP}d_{PO_u} \cos \theta_1$$

$$[0280] \quad d_{OO_b}^2 = d_{OP}^2 + d_{PO_b}^2 - 2d_{OP}d_{PO_b} \cos \theta_2$$

[0281] 如图9所示,可以很容易地通过余弦和正弦定律得到如下关系:

$$[0282] \quad \alpha_y = \varepsilon + \epsilon + \gamma$$

$$[0283] \quad \frac{\sin \varepsilon}{d_{O_m O_b}} = \frac{\sin \epsilon}{d_{00_b}}$$

$$[0284] \quad d_{O_m O_b}^2 = d_{00_m}^2 + d_{00_b}^2 - 2d_{00_m}d_{00_b} \cos \varepsilon$$

$$[0285] \quad \frac{\sin \delta}{d_{PO_m}} = \frac{\sin \left(\arctan \frac{l_2}{h} + \frac{\pi}{2} - \epsilon \right)}{d_{OP}}$$

$$[0286] \quad d_{OP}^2 = d_{PO_m}^2 + d_{OO_m}^2 - 2d_{PO_m}d_{OO_m}\cos\delta$$

[0287] α_y 表示主车与竖直方向的夹角,且根据所述位姿信息确定, ϵ 表示弯管圆心、中轮中心、后轮中心形成的夹角, π 表示圆周率。

[0288] 因此, $\epsilon, \epsilon, \gamma, \delta, d_{OP}$ 被求解,则可以得到连接处P的坐标。并最终计算得到 θ 。

[0289] 基于上述任意一实施例所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,本发明还提供了一种计算机设备的实施例:

[0290] 本发明的计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如上述任意一实施例所述方法的步骤。

[0291] 基于上述任意一实施例所述的自适应可形变的管道机器人的控制方法,本发明还提供了一种计算机可读存储介质的实施例:

[0292] 本发明的计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如上述任意一实施例所述方法的步骤。

[0293] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

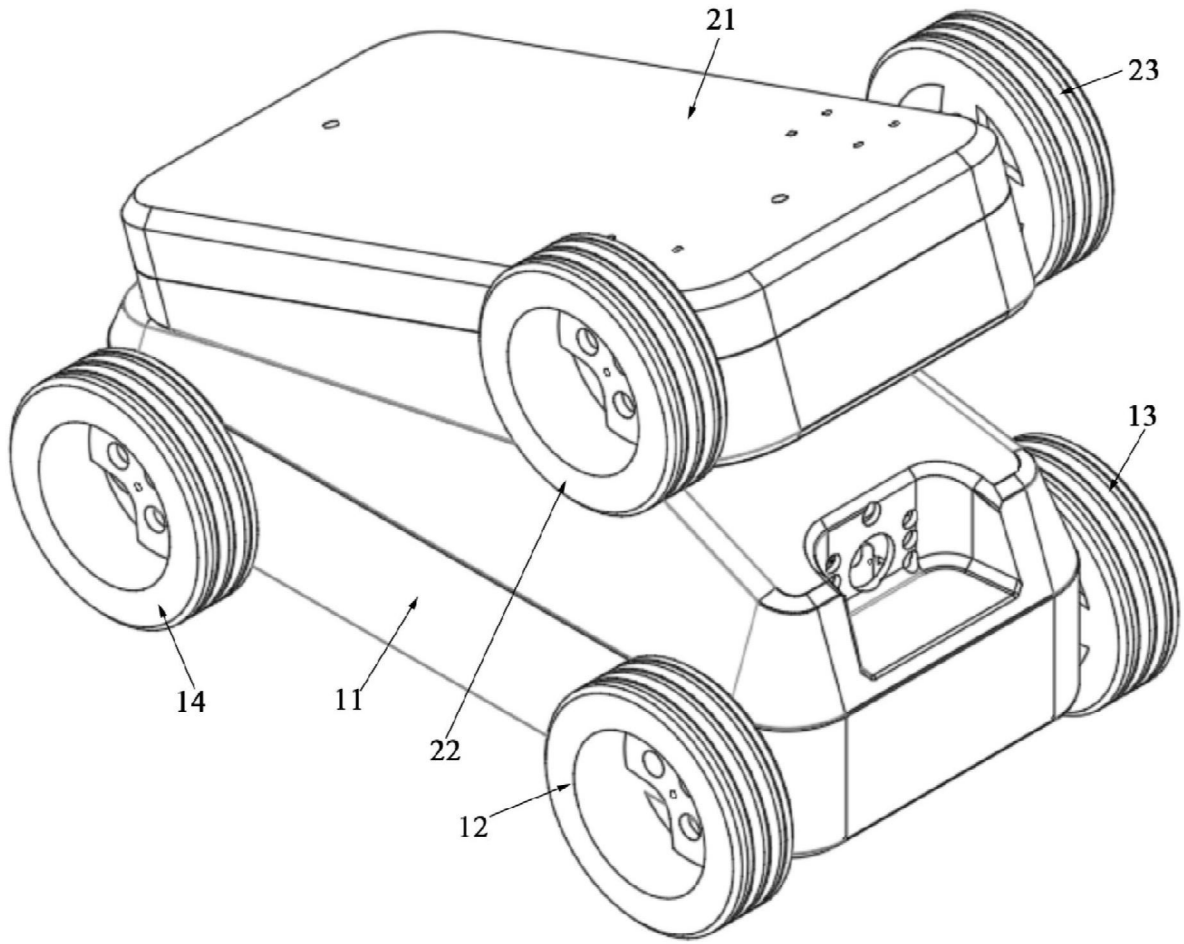


图3

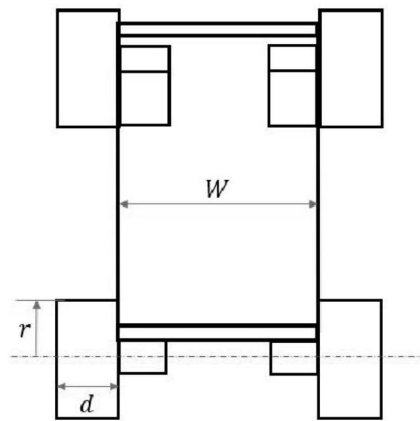


图4

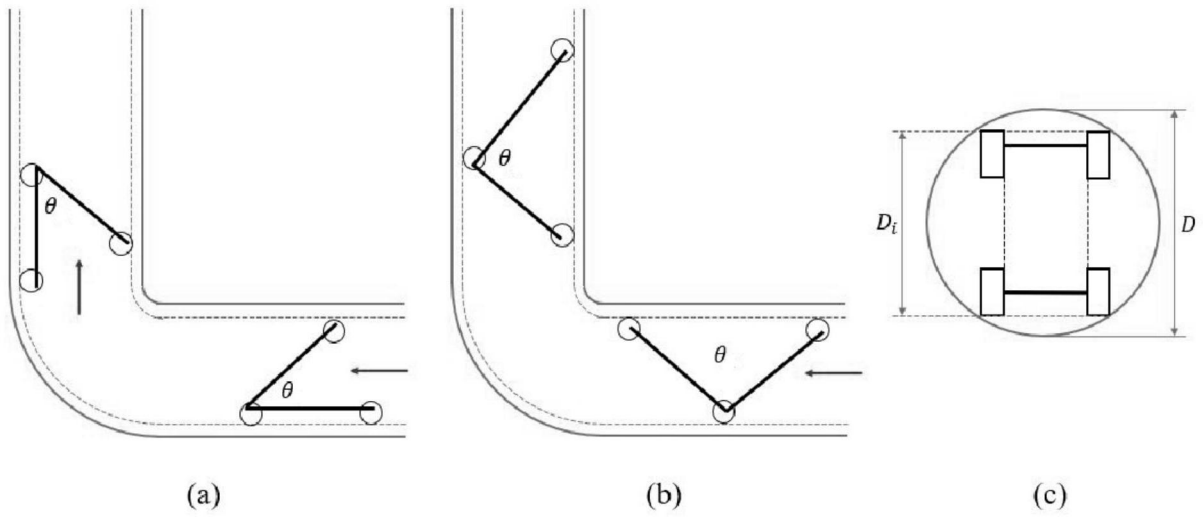


图5

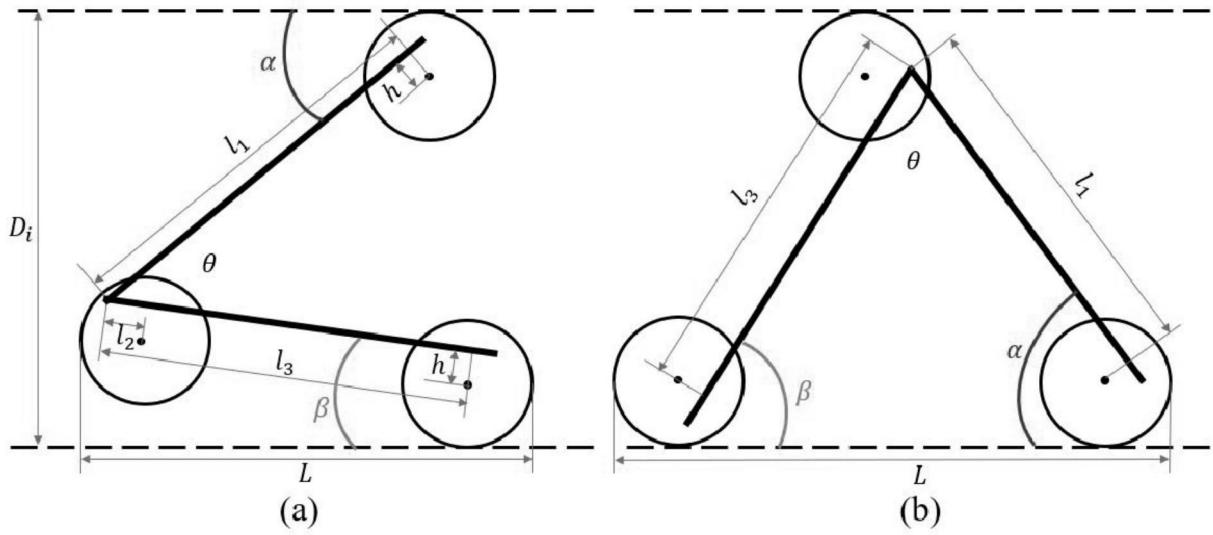


图6

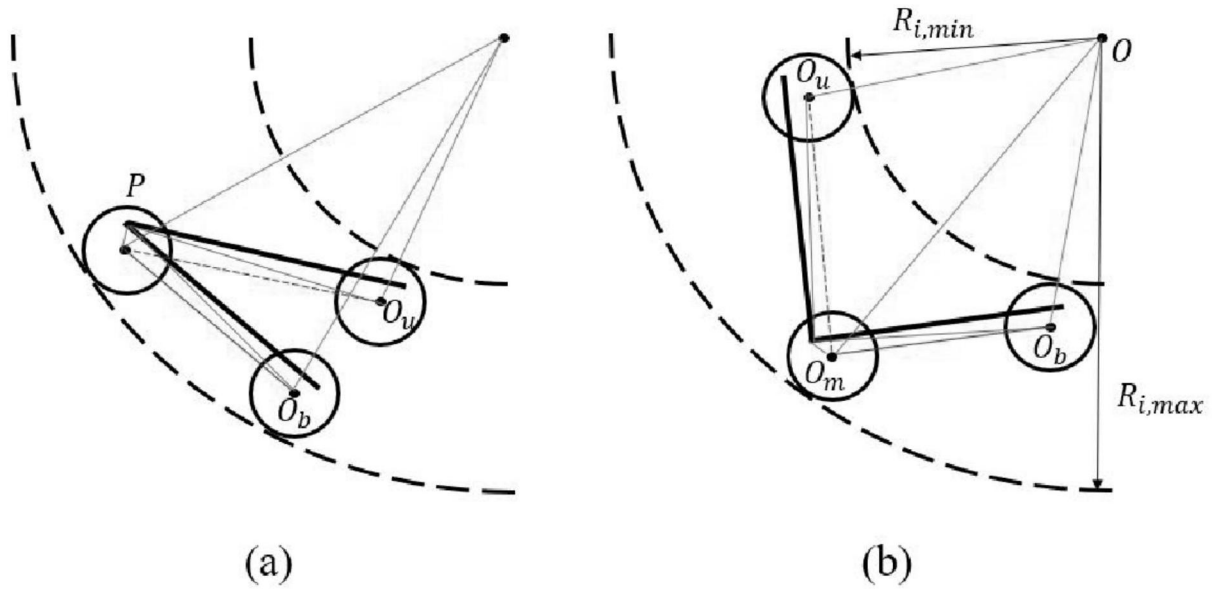


图7

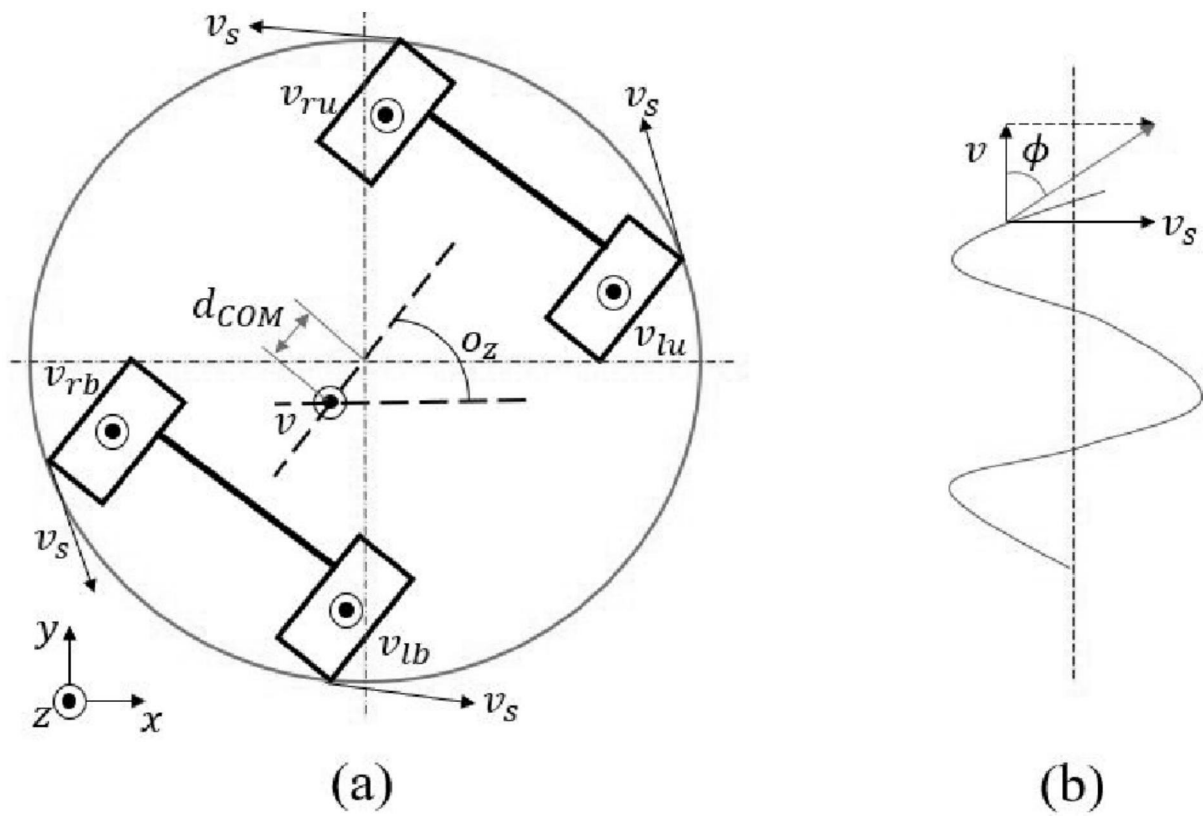


图8

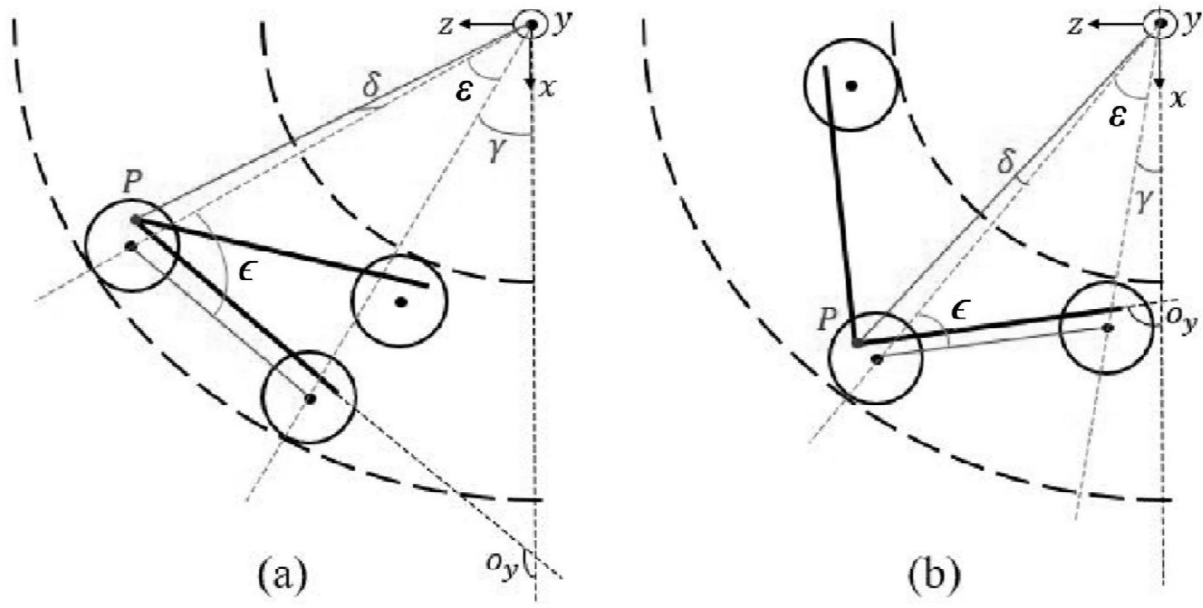


图9