



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104898720 B

(45)授权公告日 2017.07.14

(21)申请号 201510197336.6

(22)申请日 2015.04.24

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104898720 A

(43)申请公布日 2015.09.09

(73)专利权人 北京理工大学
地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 杨毅 周耿 张剑青 程思源
汪稚力 邱凡

(74)专利代理机构 北京理工大学专利中心
11120
代理人 张瑜 仇蕾安

(51)Int.Cl.
G05D 13/62(2006.01)

(56)对比文件

CN 102320223 A,2012.01.18,
CN 104503231 A,2015.04.08,
CN 102825988 A,2012.12.19,
US 2010076601 A1,2010.03.25,
US 3820497 A,1974.06.28,
CN 104443092 A,2015.03.25,
CN 102486648 A,2012.06.06,

宗民等.一种新型蛙板机器人动力学建模与运动特性分析.《第三十二届中国控制会议论文集》.2013,第5848—5853页.

审查员 唐捷

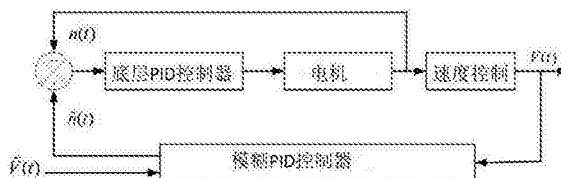
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种蛙板机器人的速度控制方法

(57)摘要

本发明提供一种蛙板机器人的速度控制方法,具体过程为:利用模糊PID算法控制蛙板机器人在地面行进时的前进速度的稳定,在坡度较大的路面通过控制刹车实现机器人在下坡自由滑行过程中的速度稳定。本发明针对蛙板机器人系统的非线性、滞后性以及时变性的特征带来的速度控制难的问题,利用模糊PID的算法与刹车装置的控制实现了蛙板机器人的速度平滑控制,避免了机器人在前进过程中的抖动、动力不足等问题,也解决了机器人在下坡过程中的速度太快导致危险情况发生的问题。



1. 一种蛙板机器人的速度控制方法, 蛙板机器人通过两个腿臂内摆、外摆交替实现前进, 且分别控制两个腿臂在内摆、外摆时相对于蛙板机器人的角速度从而控制蛙板机器人的前进加速度; 两个腿臂向蛙板机器人对称轴靠近的状态为内摆, 两个腿臂离开蛙板机器人对称轴的状态为外摆; 其特征在于, 速度控制方法包括以下内容:

(1) 蛙板机器人在下坡的运动情况时:

步骤1, 测量蛙板机器人的两个腿臂与蛙板机器人对称轴之间的摆角, 将两个腿臂的摆角转动到最大后保持恒定;

步骤2, 测量蛙板机器人的前轮转动速度, 根据该前轮转动速度获得蛙板机器人的前进速度, 当该前进速度大于或等于设定阈值时, 通过控制蛙板机器人的刹车舵机带动刹车片与前轮进行摩擦以实现减速, 直至蛙板机器人的前进速度小于设定阈值, 控制刹车舵机松开;

(2) 蛙板机器人在除下坡以外的其他运动情况时:

在两个腿臂外摆时, 保持两个腿臂相对于蛙板机器人的角速度即外摆速度 ω_{out} 恒定, 且 $\omega_{out} = 0.78 \text{rad/s}$;

在两个腿臂内摆时, 实时获取给定前进速度与实际前进速度之差作为前进速度误差, 根据前进速度误差与前进速度误差的误差变化率获得实时控制量; 根据该实时控制量实时控制蛙板机器人的内摆速度。

2. 如权利要求1所述的蛙板机器人的速度控制方法, 其特征在于, 蛙板机器人摆臂的内摆摆角和外摆摆角的范围均取为 $[3\pi/20, 11\pi/40]$, 摆幅均取为 $\text{Amp} = \pi/8$ 。

3. 如权利要求1所述的蛙板机器人的速度控制方法, 其特征在于, 蛙板机器人在内摆到规定最小位置时停止150ms。

4. 如权利要求1所述的蛙板机器人的速度控制方法, 其特征在于, 实时控制量的获取方法为:

将前进速度误差与前进速度误差的误差变化率作为模糊PID控制器的输入量, 进行模糊化处理和隶属度函数计算后获得模糊规则表里对应的PID参数; 对该PID参数进行模糊推理后得到实时控制量。

一种蛙板机器人的速度控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种蛙板机器人的速度控制方法,属于机器人技术领域。

背景技术

[0002] 机器人技术是涉及机械学、传感器技术、驱动技术、控制技术、通信技术和计算机技术的一门综合性的高新技术,随着时代的变迁,经济的发展与科技的进步日益显著。如今,机器人技术得到了迅猛的发展,在军事、社会生产、医疗、服务等领域得到了广泛的应用。机器人一般都由执行机构、驱动装置、检测装置、控制系统和复杂机械等构成。

[0003] 随着机器人技术的发展,机器人系统也变得越来越复杂,这给机器人的控制带来了困难。尤其是当机器人系统具备非线性、强耦合、滞后性及变性等特征时,常规的控制算法很难取得好的控制效果,因此目前出现了好多智能控制算法,如模糊控制、最优控制、鲁棒控制及神经网络控制算法等。蛙板机器人双摆臂的运动方式使机器人系统具有非线性、滞后性及变性的特点,驱动电机速度不变时,机器人的前进速度往往波动较大,影响机载传感器的测量,不利于以后的应用,因此如何找到合适的控制算法对其前进速度进行稳定控制成为必须解决的问题。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提供了一种蛙板机器人的速度控制方法,可以有效的解决机器人前进速度波动较大以及难以控制的问题。

[0005] 本发明的蛙板机器人的速度控制方法,其包括以下内容:

[0006] 蛙板机器人通过两个腿臂内摆、外摆交替实现前进,且分别控制两个腿臂 在内摆、外摆时相对于蛙板机器人的角速度从而控制蛙板机器人的前进加速度;两个腿臂向蛙板机器人对称轴靠近的状态为内摆,两个腿臂离开蛙板机器人对称轴的状态为外摆;

[0007] (1) 蛙板机器人在下坡的运动情况时:

[0008] 步骤1,测量蛙板机器人的两个腿臂与蛙板机器人对称轴之间的摆角,将两个腿臂的摆角转动到最大后保持恒定;

[0009] 步骤2,测量蛙板机器人的前轮转动速度,根据该前轮转动速度获得蛙板机器人的前进速度,当该前进速度大于或等于设定阈值时,通过控制蛙板机器人的刹车舵机带动刹车片与前轮进行摩擦以实现减速,直至蛙板机器人的前进速度小于设定阈值,控制刹车舵机松开;

[0010] (2) 蛙板机器人在除下坡以外的其他运动情况时:

[0011] 在两个腿臂外摆时,保持两个腿臂相对于蛙板机器人的角速度即外摆速度 ω_{out} 恒定,且 $\omega_{out}=0.78\text{rad/s}$;

[0012] 在两个腿臂内摆时,实时获取给定前进速度与实际前进速度之差作为前进速度误差,根据前进速度误差与前进速度误差的误差变化率获得实时控制量;根据该实时控制量实时控制蛙板机器人的内摆速度。

[0013] 进一步的,蛙板机器人摆臂的内摆摆角和外摆摆角的范围均取为 $[3\pi/20, 11\pi/40]$,摆幅均取为 $Amp = \pi/8$ 。

[0014] 进一步的,其特征在于,蛙板机器人在内摆到规定最小位置时停止150ms。

[0015] 进一步的,实时控制量的获取方法为:

[0016] 将前进速度误差与前进速度误差的误差变化率作为模糊PID控制器的输入量,进行模糊化处理和隶属度函数计算后获得模糊规则表里对应的PID参数;对该PID参数进行模糊推理后得到实时控制量。

[0017] 本发明的有益效果:

[0018] 1、对蛙板机器人系统进行了建模、仿真和实验,得到了影响机器人速度的决定因素。

[0019] 2、利用模糊PID算法实现了机器人前进速度的稳定控制,为机器人以后的应用奠定了基础。

[0020] 3、解决了机器人下坡时速度不受控的问题,使机器人在下坡时速度可以保持在某一给定速度范围内。

附图说明

[0021] 图1是蛙板机器人整体结构图;

[0022] 图2是蛙板机器人的整体受力分析图;

[0023] 图3是速度控制系统整体框图;

[0024] 图4是模糊PID控制器原理框图;

[0025] 图5是模糊PID控制算法仿真与实验结果图;

[0026] 图6是速度阶跃响应及稳态速度变化图。

[0027] 其中,1-反偏向轮、2-角度传感器、3-电机、4-转向舵机、5-刹车舵机、6-刹车片、7-码盘、8-腿臂、9-前轮,10-中央支撑平台。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图举例说明本发明的内容。

[0029] 机器人的质心加速度只与腿臂摆角与反偏向角有关,因此通过控制机器人的摆动幅度和摆动速度可以实现加速度的控制,进而控制机器人的前进速度。本发明的蛙板机器人的速度控制方法在控制中采取恒定的外摆速度 ω_{out} ,效果较佳的 $\omega_{out} = 0.78\text{rad/s}$,在内摆过程中利用模糊PID控制机器人的速度。原因如下:

[0030] 如图1所示,为蛙板机器人的整体结构图,主要由反偏向轮1、角度传感器2、电机3、转向舵机4、刹车舵机5、刹车片6、码盘7、腿臂8、前轮9和中央支撑平台10构成。反偏向轮1的作用是在腿臂8的摆动下产生推力,腿臂8的摆动靠电机3的正反转进行带动,角度传感器2用于检测腿臂的实时摆动位置,转向舵机用于带动前轮9进行转弯,刹车舵机5用于带动刹车片6实现进行刹车,中央支撑平台10用于支撑和连接各构件。

[0031] 两个电机3的电机轴分别与一端两个腿臂8连接,两个反偏向轮1分别与两个腿臂8另一端连接,在蛙板机器人的中央支撑平台10与腿臂8的连接处设置角度传感器2,转向舵机4穿过中央支撑平台10的前端与前轮9连接,刹车舵机5设置在前轮9一侧,码盘7和刹车片

6均设置在前轮9的端面处,且刹车片6与刹车舵机5活动连接。

[0032] 如图2所示,为蛙板机器人的整体受力分析图,各参数所代表的含义如下: N_{front} -前轮受到地面的支持力、 N_l, N_r -左右两腿臂受到地面的支持力、 G_p -机器人支撑平台的重量、 G_l, G_r -机器人左右腿臂的重量、 F_l, F_r -左右腿臂万向轮受到地面的反偏向力、 f_{front} -前轮与地面之间的滚动摩擦力、 f_l, f_r -左右反偏向轮与地面间的滚动摩擦力、 ω_l, ω_r -两腿臂相对于支撑平台的角速度、 β_l, β_r -万向轮偏离腿臂平衡位置角度、 λ -万向轮倾斜轴与竖直方向的夹角、 θ_{l1}, θ_{r1} -机器人有关角度变量、 ϕ_l, ϕ_r -两腿臂与机器人整体前进方向的夹角、 Ψ_1 -中央支撑平台尺寸参数、 Ψ_2 -中央支撑平台尺寸参数、 L_1 -中央支撑平台尺寸参数、 L_2 -腿臂长度、 L_G -中央支撑平台重心与前轮的距离、 l_l, l_r -前轮作用点到两腿臂万向轮作用点水平直线距离、 h -腿臂与中央支撑平台重心距离地面的高度、 V_p -中央支撑平台相对地面的速度。

[0033] 为了便于机器人模型的简化,在前进模型的研究中,主要做以下几点假设及考虑:反偏向轮受到地面的反偏向力 F 、支持力 N 和滑动摩擦力 f 以及两腿臂的重力和支持力的作用点位于同一点,都位于万向轮与地面的接触点上;由于滚动摩擦力 f_l 和 f_r 远远小于前轮的滚动摩擦力 f_{front} ,所以在此忽略 f_l 和 f_r 的力矩作用;机器人在进行腿臂摆动换向时,外向轮偏离角度 β 值瞬间变换且达到预定的值;前进模型只考虑机器人在水平面上的运动情况。

[0034] 建模方法过程如下:

[0035] 1. 进行动力学分析

[0036] 结合正余弦定理对机器人进行受力分析,建立力和力矩平衡方程式,可以得到:

$$\begin{aligned} [0037] \quad & l_l N_l \cdot \cos(\Psi_2 + \theta_{2l}) + l_r N_r \cdot \cos(\Psi_2 + \theta_{2r}) = \\ [0038] \quad & G_p L_G + G_l l_l \cdot \cos(\Psi_2 + \theta_{2l}) + G_r l_r \cdot \cos(\Psi_2 + \theta_{2r}) \quad (1) \\ [0039] \quad & + F_l h \cdot \sin(\phi_l + \beta_l) + F_r h \cdot \sin(\phi_r + \beta_r) \end{aligned}$$

[0040] 机器人直线前进时,腿臂主要做开合运动,并且为了保证其运动性能的稳定性和运动的合理性,机器人的腿臂作对称运动。因此这里进行变量的统一:

$$[0041] \quad N_l = N_r = N, G_l = G_r = G, \theta_{2l} = \theta_{2r} = \theta_2$$

$$[0042] \quad \theta_{l1} = \theta_{r1} = \theta_1, l_l = l_r = l, \omega_l = \omega_r = \omega$$

$$[0043] \quad \phi_l = \phi_r = \phi, \beta_l = \beta_r = \beta, F_l = F_r = F, f_l = f_r = f_{leg}$$

[0044] 2. 对机器人前进过程中的推力进行分析

[0045] 机器人前进时所受到的推力:

$$[0046] \quad F_{forward} = 2F \cdot \sin(\phi + \beta) = 2N \cdot \tan\lambda \cdot \sin\beta \cdot \sin(\phi + \beta) \quad (2)$$

[0047] 这里设定, β 偏离平衡位置向内,为负值;偏离平衡位置向外,为正值。

[0048] 综合式(1)和式(2)可得:

$$[0049] \quad N = \frac{G_p L_G + 2GL_1 \cdot \cos\Psi_2 + 2GL_2 \cdot \cos\phi}{2L_1 \cdot \cos\Psi_2 + 2L_2 \cdot \cos\phi - 2\tan\lambda \cdot \sin\beta \cdot \sin(\phi + \beta)} h \quad (3)$$

[0050] 3. 对机器人受到的阻力进行分析

[0051] 机器人在前进时,主要受到前后轮与地面产生的滚动摩擦力 f_{roll} 以及机器人与空气摩擦产生的阻力 f_{air} ,机器人受到总的阻力为:

$$[0052] \quad f = f_{roll} + f_{air} = (G_p + 2G - 2N) \mu_{roll} + 2N \mu_{roll} \cdot \cos(\phi + \beta) + K_{air} V_p \quad (4)$$

[0053] 这里给定滚动摩擦系数 $\mu_{roll} = 0.02$,空气阻力系数 $K_{air} = 0.1$ 。

[0054] 4. 进行质心加速度的计算

[0055] 假设机器人运动过程中的质心加速度为 a_o ,则由冲量定理可得:

$$[0056] \quad F_{forward} - f = \frac{G_p + 2G}{g} a_o \quad (5)$$

[0057] 联立式(4)和式(5)可得:

$$[0058] \quad N = \frac{\frac{G_p + 2G}{g} a_o + (G_p + 2G)\mu_{roll} + K_{air}V_p}{2\mu_{roll} - 2 \cdot \cos(\phi + \beta)\mu_{roll} + 2\tan\lambda \cdot \sin\beta \cdot \sin(\phi + \beta)} \quad (6)$$

[0059] 联立式(3)和式(6)可得:

$$[0060] \quad a_o = \left[\frac{(G_p L_G + 2GL_1 \cdot \cos\Psi_2 + 2GL_2 \cdot \cos\phi) \cdot (2\mu_{roll} - 2 \cdot \cos(\phi + \beta)\mu_{roll} + 2\tan\lambda \cdot \sin\beta \cdot \sin(\phi + \beta))}{(2L_1 \cdot \cos\Psi_2 + 2L_2 \cdot \cos\phi - 2\tan\lambda \cdot \sin\beta \cdot \sin(\phi + \beta)h) \cdot (G_p + 2G)} - \frac{K_{air}V_p}{G_p + 2G} - \mu_{roll} \right] g \quad (7)$$

[0061] 5. 得到质心加速度的影响因素

[0062] 由式(7)可以看出,只有腿臂摆角 ϕ 和反偏向角 β 为两个变化量,即机器人前进的加速度可由摆角 ϕ 和反偏向角 β 决定。而摆角 ϕ 与腿臂摆速 ω 有关,反偏向角 β 主要与万向轮与地面产生的摩擦力相关,因此控制时可以通过控制摆速 ω 来实现加速度的控制,从而控制机器人前进的速度。该式为机器人的控制提供可行性,为机器人的控制指明了方向。

[0063] 6. 对机器人受到的摩擦力的情况进行分析:

[0064] 机器人前进时的反偏向力:

$$[0065] \quad F = N \cdot \tan\lambda \cdot \sin\beta \quad (8)$$

[0066] 而此力主要来源于万向轮与地面产生的摩擦力,这个摩擦力与万向轮滚动方向正交,即它与滚动摩擦力方向垂直。根据腿臂摆动的不同情况,摩擦力具有静摩擦和滑动摩擦两种不同的存在形式,滑动摩擦时,有:

$$[0067] \quad F = N \cdot \mu_{slide} = N \cdot \tan\lambda \cdot \sin\beta \quad (9)$$

[0068] 其中 μ_{slide} 为滑动摩擦系数。

[0069] 于是

$$[0070] \quad \mu_{slide} = \tan\lambda \cdot \sin\beta \quad (10)$$

[0071] 取 $\mu_{slide} = 0.25$, $\lambda = 19.5^\circ$,可以得到 $\beta = \pi/4$ 。

[0072] 由于最大静摩擦力比滑动摩擦力稍大,且地面越光滑,大得越多。本发明机器人实验时主要是在瓷砖上行走,经过测试最大静摩擦约为滑动摩擦的1.225倍,于是得到 $\beta_{max} = \pi/3$,这是 β 所能达到的最大值。

[0073] 综上所述,影响机器人前进速度的主要影响因素有:

[0074] (1) 摆臂摆角范围

[0075] 结合机器人本身机械结构特性,当机器人摆角 ϕ 过小或过大时,都会使得机器人因为重心的不平衡问题摔倒,而且过大的摆角也会阻碍机器人的运动。经过测试选择,我们将机器人摆角 ϕ 的范围取为 $[3\pi/20, 11\pi/40]$,其摆臂摆幅 $Amp = \pi/8$,此时机器人运行较为稳定,下文进行分析时都采用这个摆幅,不再赘述。

[0076] (2) 摆臂摆速

[0077] 摆臂摆速是影响机器人运行速度的主要影响因素,摆臂摆速有内摆速和外摆速两种情况。

[0078] (3) 停止时间

[0079] 借鉴人体蛙泳时的技巧,当机器人腿臂内摆达到规定的最小位置时,需要停顿一定的时间。一定的停顿时间会使得机器人的运动更加稳定可靠,腿臂转换更加流畅,不再那么僵硬。经过测试,该停止时间选定为 StopTime150m较为合适,此时机器人的运行状况较好。

[0080] 机器人腿臂的内摆速度与外摆速度对机器人前进速度的影响不同,为了弄清楚两者对机器人速度的影响关系,进行了一系列的仿真和实验,最后通过函数拟合得到如下关系:

$$[0081] \quad RobotSpeed_{simulation} = 0.4017 \omega_{in} - 0.01561 \omega_{in}^2 + 0.01339 \omega_{out} + 0.004193 \omega_{out}^2 \quad (11)$$

$$[0082] \quad RobotSpeed_{experiment} = 0.3645 \omega_{in} - 0.01908 \omega_{in}^2 + 0.06387 \omega_{out} - 0.016930 \omega_{out}^2 \quad (12)$$

[0083] 从式(11)和式(12)可以发现机器人腿臂外摆速对其本身速度的影响较为微弱,实验中发现外摆速较小时会严重减慢机器人的运行速度;而过大的腿臂外摆速会使得万向轮与地面间的摩擦力从静摩擦变为滑动摩擦,这将会使得腿臂的摆动变得抖动,腿臂摆角的变化过程变得极为不稳定,不利于机器人的运行,对控制也增加了一些难题。而合适的腿臂外摆速,该摩擦力则是静摩擦,静摩擦情况下腿臂的摆动过程则是平滑的,这时候机器人的运动相对稳定,控制相对简单,很大程度上也保护了机器人的机械结构和执行机构,因此,在控制中采取一定的外摆速度 $\omega_{out} = 0.78 \text{rad/s}$ 。

[0084] 本发明的本发明的蛙板机器人的速度控制方法包括以下内容:

[0085] (1) 机器人下坡时速度控制方法如下:

[0086] 当机器人下坡时,如果不进行刹车控制,机器人的速度将无限增大,造成一定的危险。在下坡的过程中,电机3不需要进行转动来带动腿臂8进行摆动,通过角度传感器2可以测量蛙板机器人腿臂8的摆角,在下坡的过程中,可以通过电机3转动到较大的摆角然后保持不动,这样利于保持下坡的稳定性。在下坡滑行的过程中,前轮9的转动带动码盘7的转动,可以测量前轮9的转动速度,进而知道机器人的前进速度,当机器人的前进速度大于某个设定的阈值时,此时可以通过机器人的控制器控制刹车舵机5带动刹车片6与前轮9进行摩擦以实现减速,当蛙板机器人的速度减到这个阈值之下时,则控制刹车舵机5松开,这样机器人的速度就会稳定在这个预先设定的阈值范围内,机器人的速度不会因为太大而导致危险情况的发生。

[0087] (2) 机器人的速度平滑控制:

[0088] 如附图3所示,为速度控制系统的结构框图,其中 $\tilde{V}(t)$ 为给定速度, $V(t)$ 为机器人的实际运行速度, $\tilde{n}(t)$ 为机器人的目标转速, $n(t)$ 为机器人的实际转速。机器人的速度控制采用两个闭环回路进行控制,内环采用传统的PID控制器实现对机器人电机转速的控制,外环采用模糊PID算法实现对机器人整体速度的控制,其中由于机器人腿臂外摆速度对机器人的整体速度影响较小,因此机器人在运行过程中外摆速度保持恒定,由底层PID实现,只在机器人内摆过程中才使用模糊PID控制算法。如附图4所示,为模糊PID控制器的控制框图,模糊PID控制就是在传统的PID控制理论中引入了模糊控制的概念。控制器将速度误差e

与误差变化率 e_c 作为输入量,然后速度误差 e 与误差变化率 e_c 的大小进行模糊化处理,再经过隶属度函数的计算寻找到预先设定的模糊规则表对应的 k_p, k_i, k_d 参数,然后经过模糊推理和反模糊化计算出精确的控制量来控制电机,以实现机器人速度的控制,使机器人的速度一直稳定在给定速度 $V(t)$ 一定的范围内。

[0089] 实验验证:如附图5所示,是在给定机器人前进速度为0.5m/s的情况下,模糊PID控制器的控制效果,定义内摆速度为正,外摆速度为负,在实验过程中保持外摆速度不变,内摆速度根据模糊PID控制器的输出实时进行改变,可以看出,机器人可以再一个摆臂周期内达到给定的速度,机器人的实际速度可以对给定速度进行跟踪。如附图6所示,为给定速度变化时,机器人的阶跃响应以及稳态的速度变化情况,可以看出,当给定速度变化时,控制器可以做出快速响应,使机器人整体速度快速逼近给定速度,并在机器人给定速度附近波动。

[0090] 以上结合附图对本发明的具体实施方式作了说明,但这些说明不能被理解为限制了本发明的范围,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

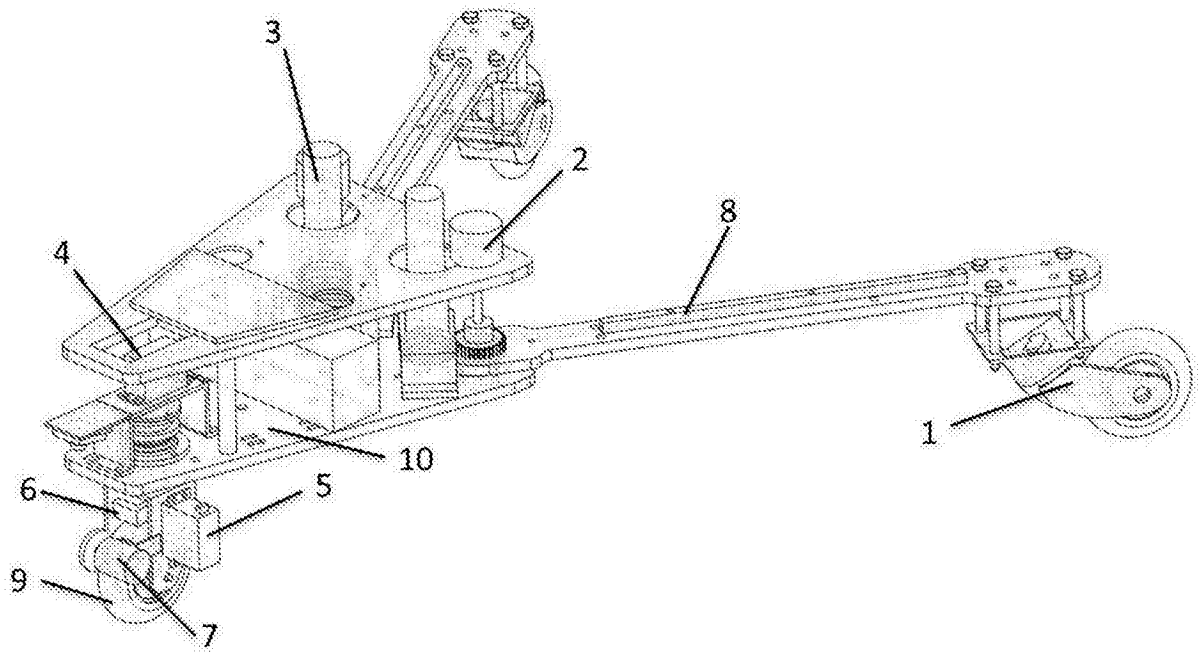


图1

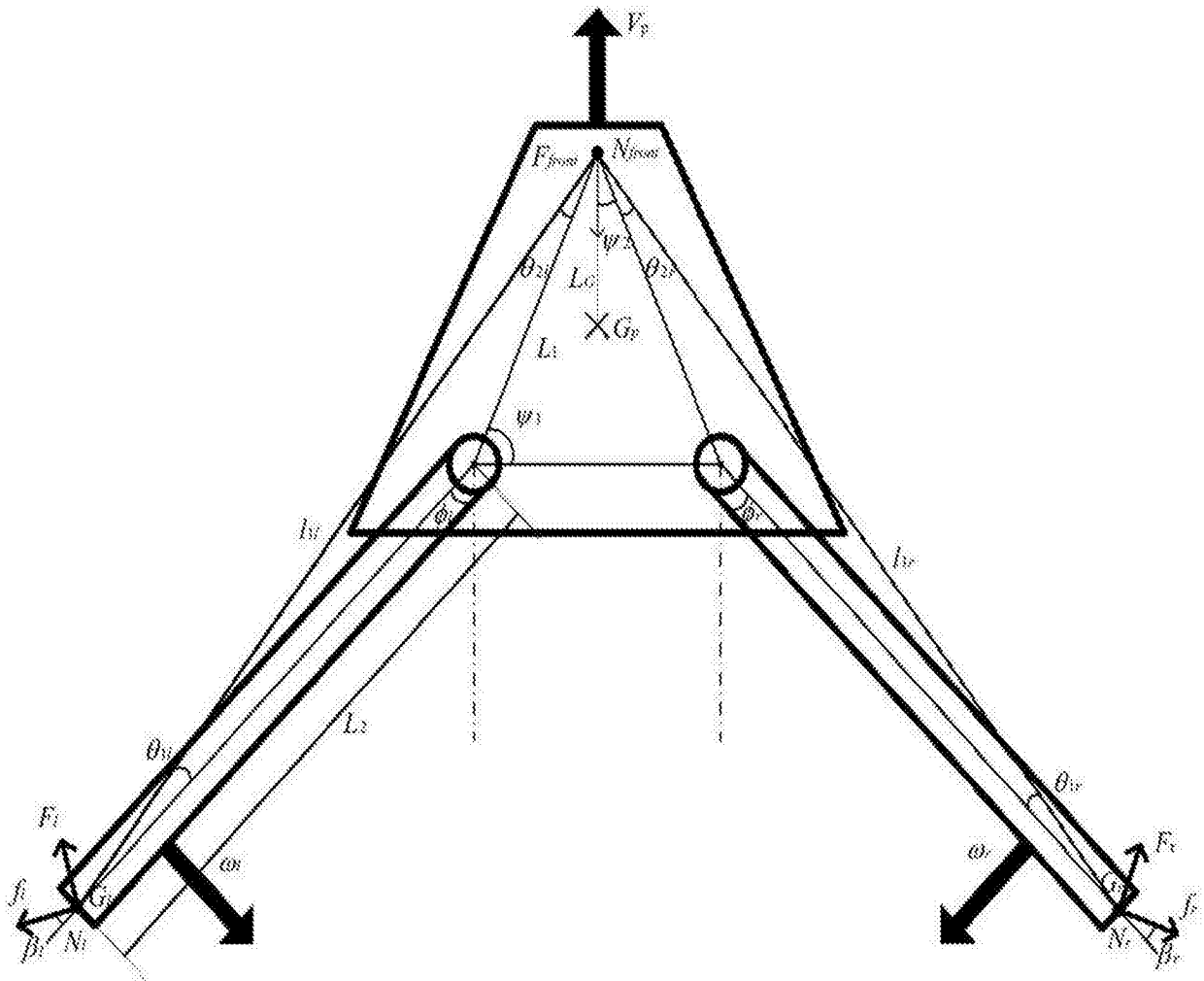


图2

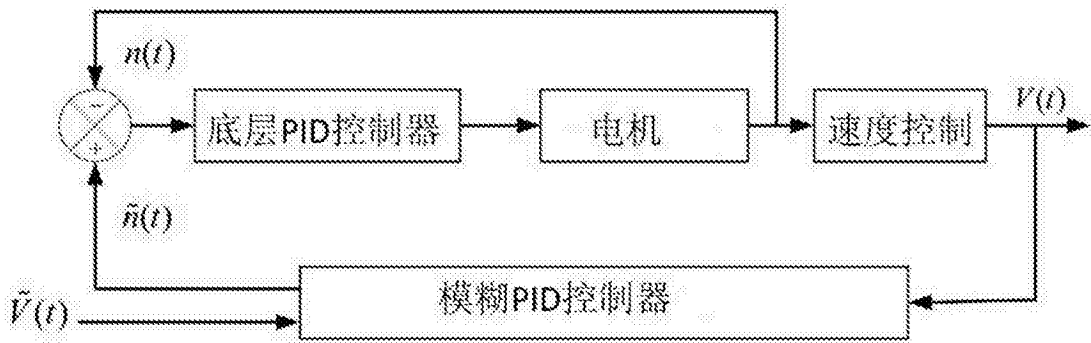


图3

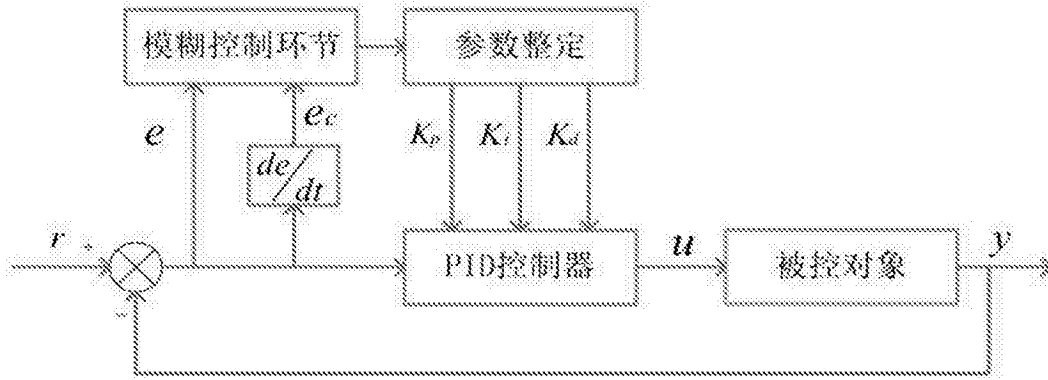


图4

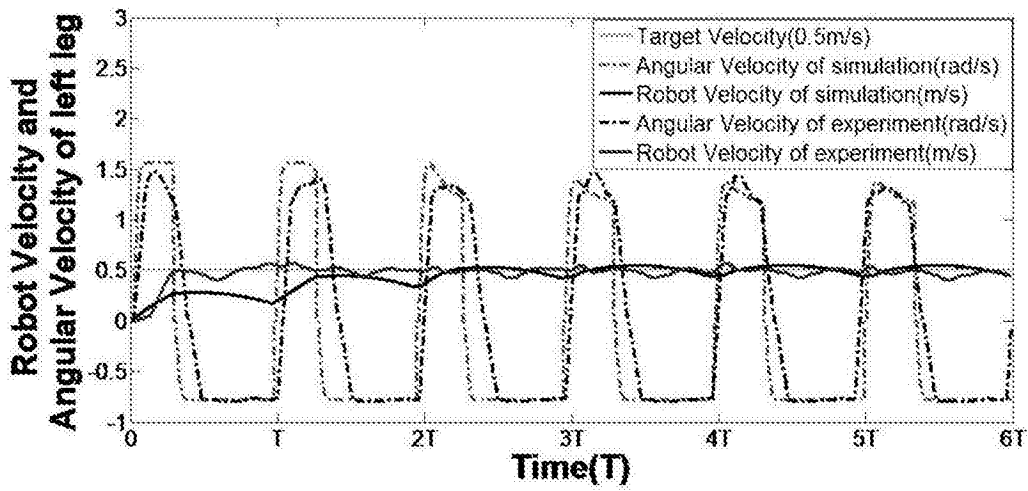


图5

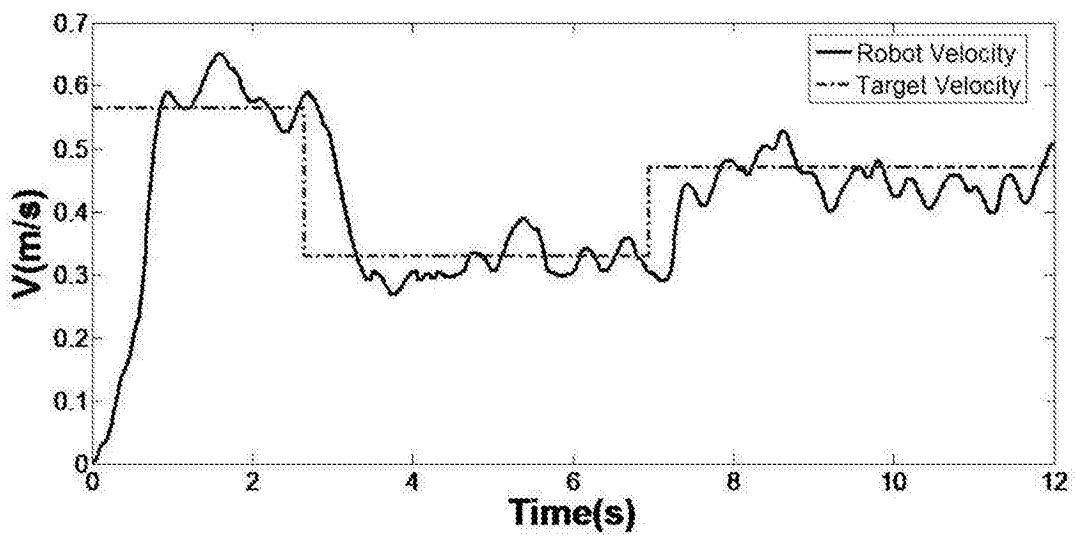


图6