



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108189040 A

(43)申请公布日 2018.06.22

(21)申请号 201810192734.2

(22)申请日 2018.03.09

(71)申请人 成都圭目机器人有限公司

地址 610000 四川省成都市市辖区高新西
区西芯大道5号(汇都总部园)6栋1层3
号

(72)发明人 马云峰 杨辉 桂仲成 贺骥
邓勇军 张宪文

(74)专利代理机构 成都天嘉专利事务所(普通
合伙) 51211

代理人 徐进

(51)Int.Cl.

B25J 9/16(2006.01)

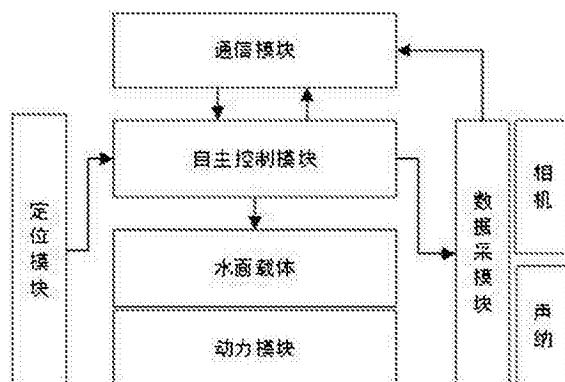
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种污水管线检测机器人系统

(57)摘要

本发明涉及一种污水管线检测机器人系统，
包括机器人本体、通信系统及地面控制系统；地
面控制系统通过通信系统与机器人本体相连；通
过地面控制系统下发控制指令到机器人本体，机器
人本体将监控数据及自身状态数据传回地面
控制系统，本发明的机器人检测之前不需要排干
管道内部的水，因此可以在任意时间进行检测，
大大提升效率。



1. 一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：包括机器人本体、通信系统及地面控制系统；地面控制系统通过通信系统与机器人本体相连；通过地面控制系统下发控制指令到机器人本体，机器人本体将监控数据及自身状态数据传回地面控制系统；机器人本体包括水面载体、动力模块、定位模块、自主控制模块和数据采集模块；动力模块、定位模块、自主控制模块和数据采集模块均安装于水面载体；动力模块用于水面载体行进，定位模块用于水面载体在管线中的横向定位和空间定位，数据采集模块用于采集管线内部情况并形成采集信号；自主控制模块用于接收和处理数据采集模块采集到的信号，并转化为控制指令。

2. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述水面载体为船型或皮筏型；所述动力模块为水下螺旋桨或喷气式推进器。

3. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述定位模块通过超声、红外测距模块或激光雷达进行横向定位；通过脐带线缆或无线基站进行空间定位。

4. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述自主控制模块包括微型计算机和控制板卡。

5. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于所述数据采集模块包括光学图像模块、声纳模块、气体检测传感器、液体检测传感器的任一或组合；所述光学图像模块为工业相机或CCTV监控系统，用于采集水面以上管线表观情况；声纳模块用于采集水面以下管线情况。

6. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于所述地面控制系统包括计算机、监控显示器及控制软件。

7. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于所述自主控制模块包括数据核心控制模块、信息交互模块、避障模块；所述数据核心控制模块分别与信息交互模块、定位模块、避障模块及数据采集模块连接。

8. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：还包括电源系统；所述电源系统是锂电池、燃料电池、蓄电池或通过脐带电缆连接外部电源的任一种。

9. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述自主控制模块通过特定算法处理数据；所述特定算法包括：

$$\text{状态方程 } X(k|k-1) = A \cdot X(k-1) + B \cdot U(k) + W(k)$$

$$\text{观测方程 } Z(k) = H \cdot X(k) + V(k)$$

$$X = [s \ v]^T, U = [0 \ a]^T, Z = [s \ 0]^T$$

其中s为机器人本体位置，v为机器人本体速度，a为惯性传感器输出的加速度；根据具体的机械结构即可列出矩阵A、B、H，通过实验得到状态方程的噪声W和测量系统的噪声V；

通过状态方程可以计算出预测值 $X(k|k-1)$ ，通过机器人本体定位模块可以获取测量值 $Z(k)$ ，然后通过以下公式得到最优化估算值，该值即为机器人当前的位置；

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g \cdot (Z(k) - H \cdot X(k|k-1))$$

$$\text{其中 } K_g \text{ 为卡尔曼增益，通过以下公式计算： } K_g = \frac{P(k|k-1) \cdot H^T}{H \cdot P(k|k-1) \cdot H^T + R}$$

上式中，R为测量系统的协方差矩阵，

$P(k|k-1)$ 为状态方程的协方差矩阵；

$$P(k|k-1) = A \cdot P(k-1|k-1) \cdot A^T + Q$$

上式中Q为状态方程的协方差矩阵；最终得到了k状态下最优的估算值 $X(k|k)$ ；同时更新k状态下 $X(k|k)$ 的协方差矩阵： $P(k|k) = (I - K_g \cdot H) P(k|k-1)$ 。

10. 根据权利要求1所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述自主控制模块通过自主避障算法实现机器人本体避障功能；所述自主避障算法包括：机器人运动过程中通过定位模块获取周围障碍物的距离信息，当机器人本体前进方向存在障碍物且距离小于某一个阈值时，调整机器人的前进方向以绕过障碍物。

11. 根据权利要求3所述的一种污水管线检测机器人系统，其特征在于：所述激光雷达横向定位的方法是：

求取机器人本体距离管线两个侧壁的垂直距离，以及相对管线中心的航向角；

激光雷达以固定频率获取周围的数据，管道侧壁的雷达数据表现为两条直线，从雷达数据中搜索这两条直线数据，搜索采用随机采样一致性算法，并拟合出两条直线的方程，分别为：

$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2 = 0 \end{cases}$$

其中A1、B1、C1和A2、B2、C2是方程的系数；

机器人本体距离两侧壁的距离为：

$$\begin{cases} L_1 = \left| \frac{C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \right| \\ L_2 = \left| \frac{C_2}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}} \right| \end{cases}$$

机器人本体的航向角为： $\theta = -\arctan\left(\frac{A_1 \cdot B_2 + A_2 \cdot B_1}{2 \cdot B_1 \cdot B_2}\right) - \frac{\pi}{2}$ 。

一种污水管线检测机器人系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种检测系统,具体说是一种污水管线检测机器人系统。

背景技术

[0002] 城市排水管网是城市的重要基础设施之一,随着城市发展,排水管网的安全管理工作显得日益重要,对排水管网的管理要求也逐渐提高。内窥检测技术为城市排水管道的运行管理提供可靠的手段,通过内窥检测可以及时发现管道的腐蚀,破损,接口错位,淤积,结垢等不良状况,及时修复,从而提升管道的使用年限。目前市面上的管道检测机器人为轮式结构,使用时需要把管道内的水抽干,但是管道排水涉及的工程量非常浩大,给检测工作带来了极大的不便。

发明内容

[0003] 为克服现有技术存在的以上问题,本发明提供了一种污水管线检测机器人系统,该系统不仅检测效率高,检测结果的准确度高,而且降低了工作人员的劳动强度,可有效保障工作人员的人身安全。

[0004] 本发明由以下技术方案实现:

一种污水管线检测机器人系统,包括机器人本体、通信系统及地面控制系统;地面控制系统通过通信系统与机器人本体相连;通过地面控制系统下发控制指令到机器人本体,机器人本体将监控数据及自身状态数据传回地面控制系统;机器人本体包括水面载体、动力模块、定位模块、自主控制模块和数据采集模块;动力模块、定位模块、自主控制模块和数据采集模块均安装于水面载体;动力模块用于水面载体行进,定位模块用于水面载体在管线中的横向定位和空间定位,数据采集模块用于采集管线内部情况并形成采集信号;自主控制模块用于接收和处理数据采集模块采集到的信号,并转化为控制指令。

[0005] 进一步的,所述水面载体为船型或皮筏型;所述动力模块为水下螺旋桨或喷气式推进器。

[0006] 进一步的,所述定位模块通过超声、红外测距模块或激光雷达进行横向定位;通过脐带线缆或无线基站进行空间定位。

[0007] 进一步的,所述自主控制模块包括微型计算机和控制板卡。

[0008] 进一步的,所述数据采集模块包括光学图像模块、声纳模块、气体检测传感器、液体检测传感器的任一或组合;所述光学图像模块为工业相机或CCTV监控系统,用于采集水面以上管线表观情况;声纳模块用于采集水面以下管线情况。

[0009] 进一步的,所述地面控制系统包括计算机、监控显示器及控制软件。

[0010] 进一步的,所述自主控制模块包括数据核心控制模块、信息交互模块、避障模块;所述数据核心控制模块分别与信息交互模块,定位模块,避障模块及数据采集模块连接。

[0011] 进一步的,还包括电源系统;所述电源系统是锂电池、燃料电池、蓄电池或通过脐带电缆连接外部电源的任一种。

[0012] 进一步的,所述自主控制模块通过特定算法处理数据;所述特定算法包括:

$$\text{状态方程 } X(k|k-1) = A \cdot X(k-1) + B \cdot U(k) + W(k)$$

$$\text{观测方程 } Z(k) = H \cdot X(k) + V(k)$$

$$X=[s \ v]^T, U=[0 \ a]^T, Z=[s \ 0]^T$$

其中s为机器人本体位置,v为机器人本体速度,a为惯性传感器输出的加速度;根据具体的机械结构即可列出矩阵A、B、H,通过实验得到状态方程的噪声W和测量系统的噪声V;

通过状态方程可以计算出预测值 $X(k|k-1)$,通过机器人本体定位模块可以获取测量值 $Z(k)$,然后通过以下公式得到最优化估算值,该值即为机器人当前的位置;

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g \cdot (Z(k) - H \cdot X(k|k-1))$$

$$\text{其中 } K_g \text{ 为卡尔曼增益,通过以下公式计算: } K_g = \frac{P(k|k-1) \cdot H^T}{H \cdot P(k|k-1) \cdot H^T + R}$$

上式中,R为测量系统的协方差矩阵, $P(k|k-1)$ 为状态方程的协方差矩阵;

$$P(k|k-1) = A \cdot P(k-1|k-1) \cdot A^T + Q$$

上式中Q为状态方程的协方差矩阵;最终得到了k状态下最优的估算值 $X(k|k)$;

同时更新k状态下 $X(k|k)$ 的协方差矩阵; $P(k|k) = (I - K_g \cdot H) P(k|k-1)$ 。

[0013] 进一步的,所述自主控制模块通过自主避障算法实现机器人本体避障功能;所述自主避障算法包括:机器人运动过程中通过定位模块获取周围障碍物的距离信息,当机器人本体前进方向存在障碍物且距离小于某一个阈值时,调整机器人的前进方向以绕过障碍物。

[0014] 进一步的,所述激光雷达横向定位的方法是:

求取机器人本体距离管线两个侧壁的垂直距离,以及相对管线中心的航向角;

激光雷达以固定频率获取周围的数据,管道侧壁的雷达数据表现为两条直线,从雷达数据中搜索这两条直线数据,搜索采用随机采样一致性算法,并拟合出两条直线的方程,分别为:

$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2 = 0 \end{cases}$$

其中 A_1, B_1, C_1 和 A_2, B_2, C_2 是方程的系数;

机器人本体距离两侧壁的距离为:

$$\begin{cases} L_1 = \frac{|C_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \\ L_2 = \frac{|C_2|}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}} \end{cases}$$

$$\text{机器人本体的航向角为: } \theta = -\arctan\left(\frac{A_1 \cdot B_2 + A_2 \cdot B_1}{2 \cdot B_1 \cdot B_2}\right) - \frac{\pi}{2}.$$

[0015] 与现有技术相比,本发明的有益效果如下:

现有的管道机器人检测之前需要排干管道内部的水,但是排水是一项需要多部门配合的浩大工程,还可能影响居民正常用水。本发明的机器人检测之前不需要排干管道内部的水,因此可以在任意时间进行检测,大大提升效率。

[0016] 本发明通过特定算法进行数据融合,进一步提高了机器人系统的定位精度,从而

精准确定管线内部各种缺陷,可以进行高效、精准的自主无损检测,该机器人系统工作可靠,完全替代了通过人工检测的高强度工作和检测结果的不准确性。

附图说明

- [0017] 图1为本发明整体组成示意图。
- [0018] 图2为本发明整体逻辑连接示意图。
- [0019] 图3为本发明机器人本体自主核心控制模块信号框图。
- [0020] 图4为本发明机器人本体的横向定位算法示意图。

具体实施方式

- [0021] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。
- [0022] 如图1、图2所示,一种污水管线检测机器人系统包括机器人本体、通信系统及地面控制系统;操作者通过地面控制系统指定检测任务或者使用遥控模式直接操控并查看实时监控图像;通信系统连接地面控制系统与机器人本体,承担数据通信功能,将控制系统的指令下发给机器人本体,机器人本体将监控图像以及自身状态数据回传给地面控制系统;机器人本体搭载各类传感器(即数据采集模块)在管道中行进,拍摄管道内部图像并采集数据。
- [0023] 所述机器人本体包括水面载体、动力模块、定位模块、自主控制模块和数据采集模块。水面载体可设计为船型或者皮筏型,其余模块安装在水面载体适当的位置;动力模块采用水下螺旋桨或者喷气式推进器;定位模块采用超声、红外测距模块或者激光雷达在管道中进行横向定位,同时使用牵引线缆或者无线基站进行空间定位;控制模块包括微型计算机以及控制板卡。计算机接收地面控制系统的任务数据,经过处理之后,转化为相应的控制指令,指令通过控制板卡转换为电信号,驱动动力模块的运动单元;数据采集模块包括光学图像模块、声纳模块、气体检测传感器、液体检测传感器。光学图像模块主要是工业相机或者CCTV监控系统,用于采集水面以上部分管道表观情况,声纳模块负责采集水面以下部份管道情况,数据采集模块相对独立,可根据不同检测需求分别独立搭载。机器人本体可以搭载锂电池、燃料电池或者蓄电池等给自身提供电源,也可以使用脐带电缆外部供电。
- [0024] 如图3所示,自主控制模块包括数据核心控制模块、信息交互模块、避障模块;所述数据核心控制模块分别与信息交互模块,定位模块,避障模块及数据采集模块连接;核心控制模块接收信息交互模块的控制指令和向信息交互模块上报状态信息;定位模块向核心控制模块提供准确的纵向和横向定位信息,用于导航控制;避障模块为核心控制模块的自主避障算法提供障碍信息;通过核心控制模块控制数据采集模块采集数据,检测数据通过数据交互模块上传至远程控制端,最终实现管线检测任务。
- [0025] 所述污水管线检测机器人的检测方法如下:
 - 1)工程车将整套机器人系统运输至管线检测入口窨井处,给机器人本体连接脐带电缆以及安全绳,打开机器人电源(机器人通过电缆或者车载电池供电),操作员手动将机器人通过窨井投入管道中;
 - 2)操作员使用地面控制系统制定检测任务,包括设定检测距离,检测的项目(使用图像、声呐数据)等;控制系统将检测任务发送给机器人本体,通信方式基于TCP/IP网络协议;

3)控制系统下发检测指令,机器人开始自主运动并采集数据。机器人的自主控制模块将检测任务数据通过特定算法转换为每一个时刻的位置和速度,然后向动力模块的运动控制器发送速度指令,最终控制电机转动,通过螺旋桨或者喷气式推进器推动水上载体向前运动。

[0026] 4)检测过程中,机器人通过定位模块获取自身的姿态和航向角度,调整前进的方向;且机器人拥有躲避管道中障碍物的功能。

[0027] 5)机器人本体使用脐带线缆或者辅助基站进行定位,获取自身相对于投放口的位置数据;使用电缆定位时,需要使用专门定制的线缆,线缆上每隔固定的距离做上标记,使用图像识别标记并计数,获取线缆已使用的长度,从而获取机器人本体的相对位置;使用无线基站+移动站定位时,基站安装在检测的起点和终点(也可以增加一些中间节点),基站之间互相的距离已知,移动站安装在机器人本体上,测量自身到每一个基站的距离,通过三角定位原理可以计算出机器人在管道中的位置;上述两种方式结合机器人内置的惯性传感器数据进行融合,可以进一步提高定位精度。

[0028] 6)机器人本体前进过程中,控制搭载的数据采集模块采集相关数据,数据附加上位置信息,保存在自身存储器上;同时,实时的图像数据通过光纤或者无线方式发送到地面控制端,操作员可以实时查看图像。

[0029] 7)检测完成之后,机器人自动返回,也可以手动收回。

[0030] 所述自主控制模块通过特定算法处理数据;所述特定算法包括:

$$\text{状态方程 } X(k|k-1) = A \cdot X(k-1) + B \cdot U(k) + W(k)$$

$$\text{观测方程 } Z(k) = H \cdot X(k) + V(k)$$

$$X=[s \ v]^T, U=[0 \ a]^T, Z=[s \ 0]^T$$

其中s为机器人本体位置,v为机器人本体速度,a为惯性传感器输出的加速度;根据具体的机械结构即可列出矩阵A、B、H,通过实验得到状态方程的噪声W和测量系统的噪声V;

通过状态方程可以计算出预测值 $X(k|k-1)$,通过机器人本体定位模块可以获取测量值 $Z(k)$,然后通过以下公式得到最优化估算值,该值即为机器人当前的位置;

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g \cdot (Z(k) - H \cdot X(k|k-1))$$

$$\text{其中 } K_g \text{ 为卡尔曼增益,通过以下公式计算: } K_g = \frac{P(k|k-1) \cdot H^T}{R + P(k|k-1) \cdot H^T + R}$$

上式中,R为测量系统的协方差矩阵。 $P(k|k-1)$ 为状态方程的协方差矩阵;

$$P(k|k-1) = A \cdot P(k-1|k-1) \cdot A^T + Q$$

上式中Q为状态方程的协方差矩阵;最终得到了k状态下最优的估算值 $X(k|k)$;

同时更新k状态下 $X(k|k)$ 的协方差矩阵: $P(k|k) = (I - K_g \cdot H) P(k|k-1)$ 。

[0031] 所述自主控制模块通过自主避障算法实现机器人本体避障功能;所述自主避障算法包括:机器人运动过程中通过定位模块获取周围障碍物的距离信息,当机器人本体前进方向存在障碍物且距离小于某一个阈值时,调整机器人的前进方向以绕过障碍物。

[0032] 根据图4所示,所述激光雷达横向定位的方法是:

求取机器人本体距离管线两个侧壁的垂直距离,以及相对管线中心的航向角;

激光雷达以固定频率获取周围的数据,管道侧壁的雷达数据表现为两条直线,从雷达数据中搜索这两条直线数据,搜索采用随机采样一致性算法,并拟合出两条直线的方程,分

别为：

$$\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2 = 0 \end{cases}$$

其中A1、B1、C1和A2、B2、C2是方程的系数；

机器人本体距离两侧壁的距离为：

$$\begin{cases} l_1 = \frac{|C_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \\ l_2 = \frac{|C_2|}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}} \end{cases}$$

机器人本体的航向角为： $\theta = -\arctan\left(\frac{A_1 \cdot B_2 + A_2 \cdot B_1}{2 \cdot B_1 \cdot B_2}\right) - \frac{\pi}{2}$ 。

[0033] 对于具体实施方式的理解的描述仅仅是为帮助理解本发明，而不是用来限制本发明的。本领域技术人员均可以利用本发明的思想进行一些改动和变化，只要其技术手段没有脱离本发明的思想和要点，仍然在本发明的保护范围之内。

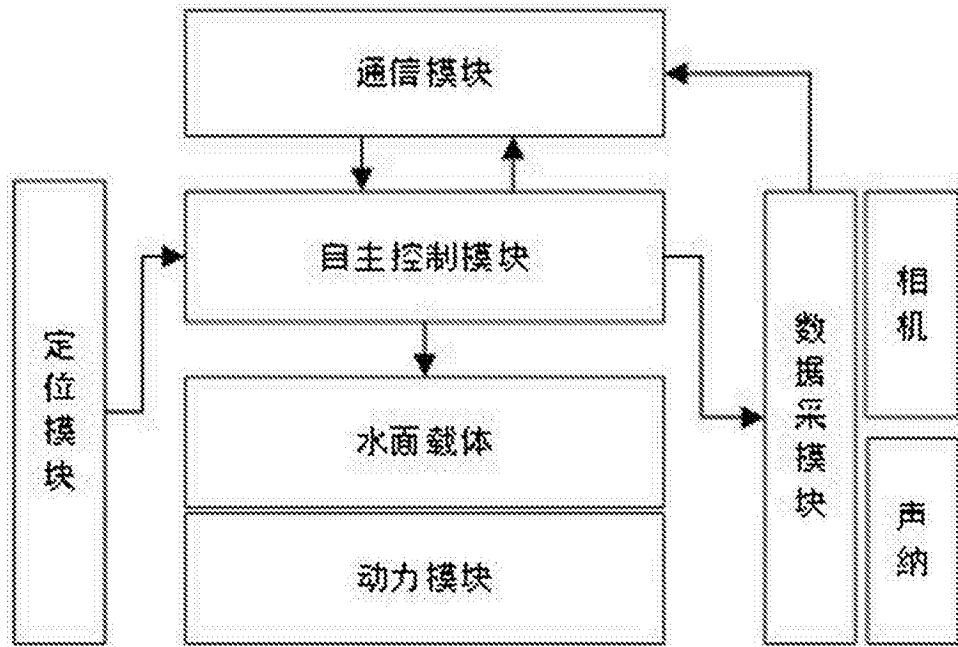


图1

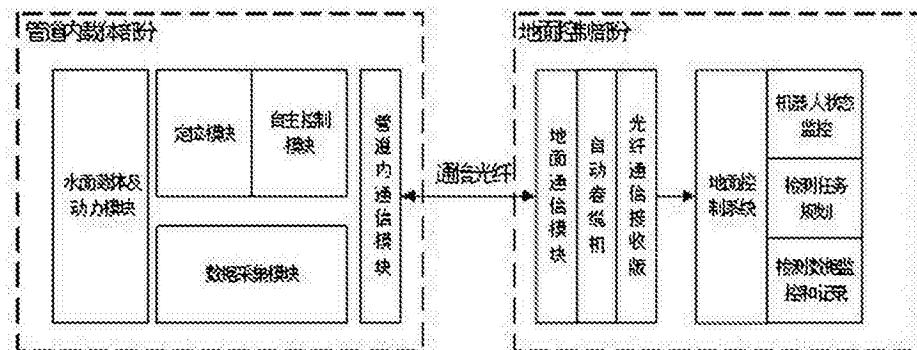


图2

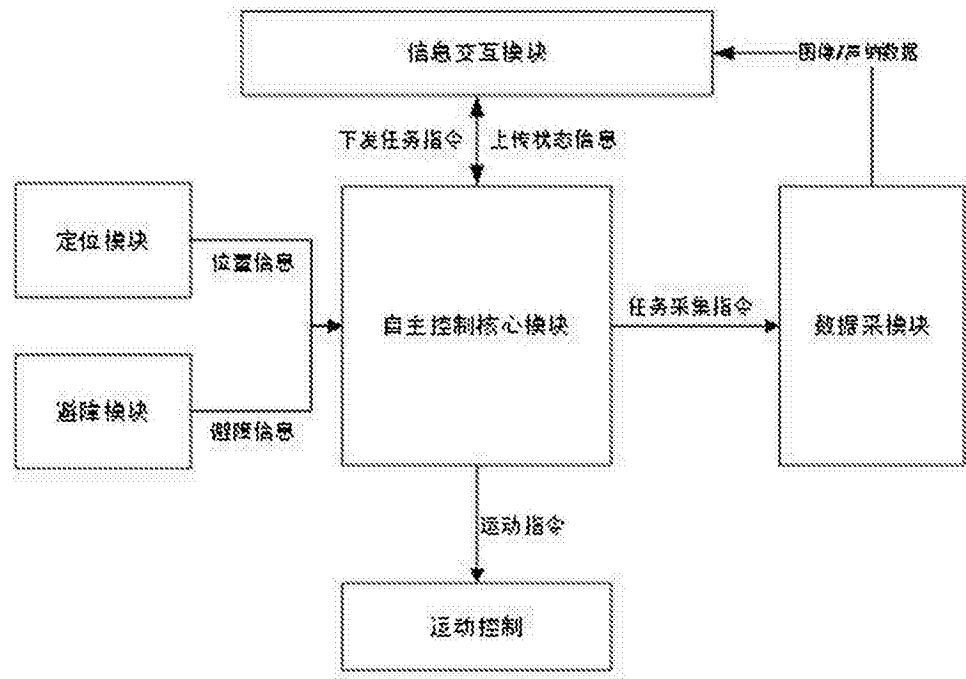


图3

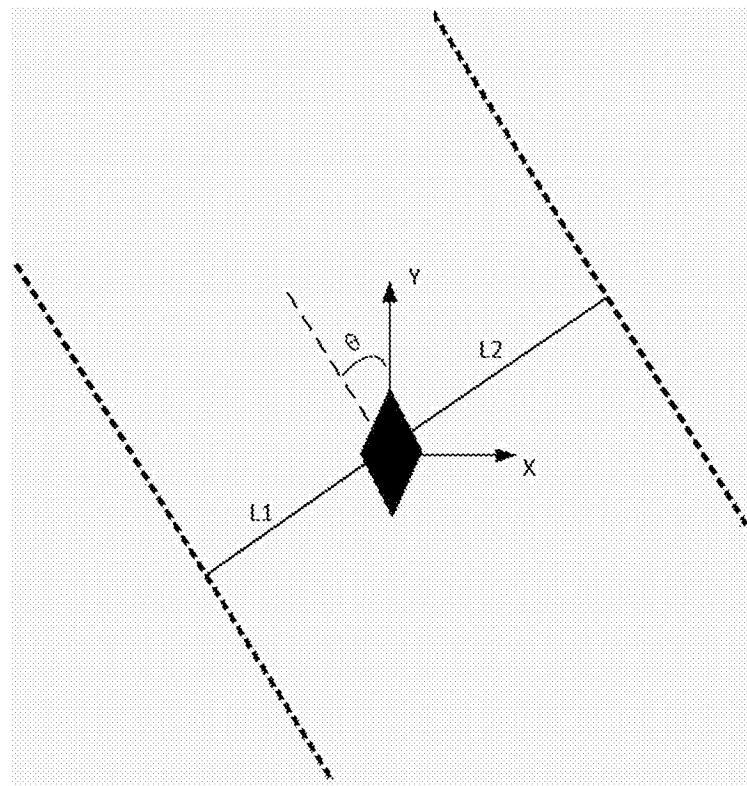


图4