(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106193268 A
(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610550981.6

(22)申请日 2016.07.13

(71)申请人 长安大学
地址 710064 陕西省西安市雁塔区二环南路中段126号

(72)发明人 韩毅 胡宁 蒋拯民 黄帅 张明芳 刘通 邓明阳

(74)专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务所 61216
代理人 李郑建

(51)Int.Cl.
E03F 9/00(2006.01)

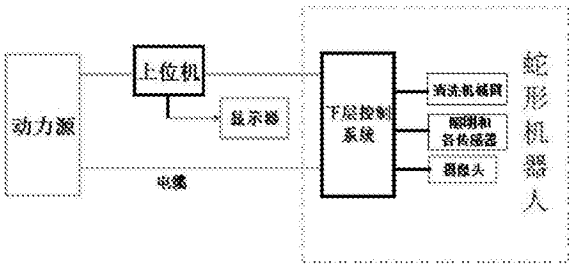
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统

(57)摘要

本发明涉及一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，包括蛇形机器人，该蛇形机器人由首节、车轮、偏转锥齿轮、抬升圆筒关节、驱动模块和尾节通过关节相互连接组成，在蛇形机器人还设有用于控制蛇形机器人行走的下层控制系统，该下层控制系统与清洗机械臂、CCD摄像头、照明和各传感器以及CCD摄像头分别相连接；下层控制系统通过电缆连接上位机，下层控制系统与上位机通信，上位机连接显示器，上位机和下层控制系统通过电缆与动力源相连接。具有运动灵活、水陆环境切换自如、有效解决下水道堵塞、对堵塞位置进行精确定位的特点，对机器人领域的应用有突破性的进展。



CN 106193268 A

1.一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，包括蛇形机器人(A)，其特征在于，所述的蛇形机器人(A)由首节(5)、车轮(6)、偏转锥齿轮(7)、抬升圆筒关节(8)、驱动模块(9)和尾节(10)通过关节相互连接组成，其中：

首节(5)外部上方安置有CCD摄像头(4)和两个高功率照明灯泡，首节(5)前端安装有清理机械臂(2)；

首节(5)内部安置有陀螺仪、GPS定位传感器、烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器，其中的烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器蛇形帮助机器人辨识下水道环境状况；

清理机械臂(2)由软轴(3)带动，软轴(3)的长度可人为加长且可以弯曲；

抬升圆筒关节(8)由偏转锥齿轮组(7)和舵机(1)实现抬升圆筒关节(8)之间的角度偏转；驱动模块(9)内部由无刷电机提供动力，驱动模块(9)装有6个车轮(6)，车轮(6)绕驱动模块(9)圆周均匀分布；

在尾节(10)外部有螺旋桨(11)，尾节(10)内部置有驱动电机，以带动螺旋桨(11)旋转，在积水的下水道环境中为蛇形机器人(A)提供行驶动力；

蛇形机器人(A)还设有用于控制蛇形机器人(A)行走的下层控制系统，该下层控制系统与清洗机械臂(2)、CCD摄像头(4)、照明和各传感器以及CCD摄像头分别相连接；下层控制系统通过电缆连接上位机，下层控制系统与上位机通信，上位机连接显示器，上位机和下层控制系统通过电缆与动力源相连接。

2.如权利要求1所述的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，其特征在于，所述驱动模块(9)内部结构包括轮轴(901)、从动锥齿轮(902)和主动锥齿轮(905)，其中从动锥齿轮(902)共有三个，呈圆周均匀分布；主动锥齿轮(905)由无刷电机带动运转，分别与三个从动锥齿轮(902)啮合，以此实现车轮(6)的运动。

3.如权利要求1所述的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，其特征在于，所述的首节(5)、车轮(6)、偏转锥齿轮(7)、抬升圆筒关节(8)、驱动模块(9)和尾节(10)关节之间安装角度传感器，实时检测关节相对转角。

4.如权利要求1所述的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，其特征在于，所述的GPS定位传感器采用GPS载波相位动态定位的卡尔曼滤波模型，以消除多方面的干扰。

5.如权利要求1所述的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，其特征在于，所述的螺旋桨(11)与尾节(10)内部的驱动电机之间连接有光电管，由光电管测得其转速来反馈给上位机。

水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统

技术领域

[0001] 本发明属于城市排水管道穿缆检测技术领域，尤其涉及一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统。

背景技术

[0002] 城市排水是现代化城市不可缺少的重要基础设施，对城市经济发展具有全局性、先导性影响。同时也是城市水污染防治和城市排渍、排涝、防洪的骨干工程。随着经济的发展以及城市人口的不断聚集，城市排水道的排水压力与日俱增，而新增和改建市政下水道工程又远远不能满足需求。城市排水领域所暴露出的问题日益凸显。排水不畅，小则影响居民日常生活，严重时会打乱整个城市的正常节奏。城市排水设施不仅是维护城市生态物质代谢功能的重要前提，也是保护城市水质资源和生活环境的重要措施。目前，我国疏通清理城市地下排水管道通常有两种方式：水力清通与机械清通。水力清通借助于水力对排水管内污物杂质进行冲洗，以达到清除淤泥的作用。机械清通即是利用机械驱动的绞车，以机械力清除下水道污泥。总的来说技术落后，效率低下，工作条件恶劣，清污效果不尽如人意。

[0003] 国外在这方面比较成熟的有两类技术手段，一种是高压水射流技术，即是以强大的水压冲刷下水管道，这种技术手段不符合我国大部分城市水资源匮乏的现状，况且我国的下水管道大部分是由水泥材料浇注而成，强大的水压也会损伤水泥材料，极大地降低下水管道的寿命和可靠性。另一种技术思路是自动化清理机器人，包括形式多样的轮式、履带式、蠕动式、爬行式管道检修机器人。国外对此研究多年，也屡有工业用产品问世，但是一旦引入中国，往往出现水土不服的现象。同时由于它们昂贵的成本，困难的售后服务也使得我国大部分市政部门无力承担。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术存在的缺陷或不足，本发明的目的在于，提供一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，该系统能够极大地提高市政管道检修效率，同时针对我国国情，加强了密封设计，提高了移动机器人的通过性和弯型管道过弯能力，减轻了市政工人的劳动强度。

[0005] 为了实现上述任务，本发明采取如下的技术解决方案：

[0006] 一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，包括蛇形机器人，其特征在于，所述的蛇形机器人由首节、车轮、偏转锥齿轮、抬升圆筒关节、驱动模块和尾节通过关节相互连接组成，其中：

[0007] 首节外部上方安置有CCD摄像头和两个高功率照明灯泡，首节前端安装有清理机械臂；

[0008] 首节内部安置陀螺仪、GPS定位传感器、烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器，其中的烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器蛇形帮助机器人辨识下水道环境状况；

[0009] 清理机械臂由软轴带动，软轴的长度可人为加长且可以弯曲；

[0010] 抬升圆筒关节由偏转锥齿轮组和舵机实现抬升圆筒关节之间的角度偏转；驱动模块内部由无刷电机提供动力，驱动模块装有6个车轮，车轮绕驱动模块圆周均匀分布；

[0011] 在尾节外部有螺旋桨，尾节内部置有驱动电机，以带动螺旋桨旋转，在积水的下水道环境中为蛇形机器人提供行驶动力；

[0012] 蛇形机器人还设有用于控制蛇形机器人行走的下层控制系统，该下层控制系统与清洗机械臂、CCD摄像头、照明和各传感器以及CCD摄像头分别相连接；下层控制系统通过电缆连接上位机，下层控制系统与上位机通信，上位机连接显示器，上位机和下层控制系统通过电缆与动力源相连接。

[0013] 根据本发明，所述的清理机械臂能够根据杂物的种类更换。

[0014] 进一步的，所述驱动模块内部结构包括轮轴、从动锥齿轮和主动锥齿轮，其中从动锥齿轮共有三个，呈圆周均匀分布；主动锥齿轮由无刷电机带动运转，分别与三个从动锥齿轮啮合，以此实现车轮的运动。

[0015] 所述驱动模块按照实际情况增加串联的数量，以提供更强的动力。

[0016] 所述的螺旋桨的直径为10cm。

[0017] 所述的首节、车轮、偏转锥齿轮、抬升圆筒关节、驱动模块和尾节关节之间安装角度传感器，实时检测关节相对转角。

[0018] 所述的GPS定位传感器采用GPS载波相位动态定位的卡尔曼滤波模型，以消除多方面的干扰，有效解决定位不准确问题。

[0019] 所述的螺旋桨与尾节内部的驱动电机之间连接有光电管，由光电管测得其转速来反馈给上位机。

[0020] 所述的舵机实现相对的横向转动和纵向旋转，而转动的最大极限设置为30度。

[0021] 所述的上位机和下位机的通信协议是RS-485。

[0022] 本发明的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，采用蛇形机器人，由舵机和螺旋桨两种驱动方式，锥齿轮和舵机控制转向。既解决了轮式机器人在湿滑有水的下水道中运动不良的问题，又很好的弥补了轮式和爬行式机器人弯曲管道通过性不良的缺点。蛇形机器人运动采用了分层模糊控制，设计了硬件控制系统，分别基于ARM920T和Atmega8设计了上位机和下位机控制算法。基于U-T参数变换改进的卡尔曼滤波方法提高了蛇形机器人的定位精度。

[0023] 和现有技术相比，本发明的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统带来的技术效果在于：

[0024] 第一，由于很多地下管道都存在积水，轮式机器人行走时的效率不高，水陆两栖多单元管道机器人探测系统在尾节安装了螺旋桨，有效提高了运行效率。

[0025] 第二，采用可替换软轴清洗机械臂，可以按照实际应用条件的不同，更换合适的清洗臂，软轴本身也可以加长和清理反水弯管。

[0026] 第三，安装了多种传感器，在清理市政管道的同时，可以有效探明下水道的杂物位置、数量，有害气体浓度。

[0027] 第四，蛇形机器人能够准确定位其所在的位置，这样如果遇到蛇形机器人自身无法解决的状况，工人可以准确知道具体的地点来开展挖掘，降低对道路的破坏程度。

[0028] 第五，基于蛇形机器人的结构和运动学分析，设计了分层模糊控制方法，有效提高了控制精度。

[0029] 第六，采用舵机和锥齿轮组联合的关节偏转方法，能够使得蛇形机器人在弯管中良好偏转，同时降低了单一偏转方法失灵导致机器人卡在管道中的风险。

附图说明

[0030] 图1为本发明的蛇形机器人的模型示意图(主视图)；

[0031] 图2为蛇形机器人机械结构示意图；

[0032] 图3为蛇形机器人驱动模块结构示意图；

[0033] 图4为蛇形机器人关节的圆筒模型图；

[0034] 图5为蛇形机器人系统的简化模型图；

[0035] 图6为单个关节的力学模型如图；

[0036] 图7为本发明的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统总体控制原理图；

[0037] 图8为本发明的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统工作流程图；

[0038] 图9为烟雾浓度检测电路图；

[0039] 图10为一氧化碳浓度检测电路图；

[0040] 图11为上位机软件系统框图；

[0041] 图12为下位机软件系统框图；

[0042] 图13为电机模糊控制流程框图；

[0043] 其中的标记分别表示：1、舵机，2、清理机械臂，3、软轴，4、摄像头，5、蛇形机器人首节，6、小车轮，7、偏转锥齿轮，8、抬升圆筒关节，9、驱动模块，10、尾节，11、螺旋桨，901、轮轴、902、从动锥齿轮，905、主动锥齿轮。

[0044] 以下结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

具体实施方式

[0045] 本发明为了实现上述目的，所采取的技术方法和理论如下。

[0046] 参见图1至图4，图7，本实施例给出一种水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统，主要用于城市主排水管道穿缆检修，包括蛇形机器人A，该蛇形机器人A由首节5、车轮6、偏转锥齿轮7、抬升圆筒关节8、驱动模块9和尾节10通过关节相互连接组成，其中：

[0047] 首节5外部上方安置有CCD摄像头4和两个高功率照明灯泡，首节5前端安装有清理机械臂2；

[0048] 首节5内部安置陀螺仪、GPS定位传感器、烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器，其中的烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器和照明传感器蛇形帮助机器人辨识下水道环境状况；

[0049] 清理机械臂2由软轴3带动，软轴3的长度可人为加长且可以弯曲；

[0050] 抬升圆筒关节8由偏转锥齿轮组7和舵机1实现抬升圆筒关节8之间的角度偏转；驱动模块9内部由无刷电机提供动力，驱动模块9装有6个车轮6，车轮6绕驱动模块9圆周均匀分布；

[0051] 在尾节10外部有螺旋桨11，尾节10内部置有驱动电机，以带动螺旋桨11旋转，在积

水的下水道环境中为蛇形机器人A提供行驶动力；

[0052] 蛇形机器人A还设有用于控制蛇形机器人A行走的下层控制系统，该下层控制系统与清洗机械臂2、CCD摄像头4、照明和各传感器以及CCD摄像头分别相连接；下层控制系统通过电缆连接上位机，下层控制系统与上位机通信，上位机连接显示器，上位机和下层控制系统通过电缆与动力源相连接。

[0053] 蛇形机器人A整个机体材料为铝合金ZALSI7Mg。关节之间的连接橡胶块采用的是氯丁橡胶，材料本身具有优良的抗氧、抗臭氧性，耐油、耐溶剂、耐酸碱以及耐老化性好等特点。轮子与机体之间的静密封采用了耐碱、耐水、气密性高的氯醇橡胶。此外，所有的紧固件、螺栓及螺母均为不锈钢材料以提高蛇形机器人的使用寿命。

[0054] 本实施例中，所述的清理机械臂2能够根据杂物的种类更换。

[0055] 所述驱动模块9内部结构包括轮轴901、从动锥齿轮902和主动锥齿轮905，其中从动锥齿轮902共有三个，呈圆周均匀分布；主动锥齿轮905由无刷电机带动运转，分别与三个从动锥齿轮902啮合，以此实现车轮6的运动。

[0056] 所述驱动模块9按照实际情况增加串联的数量，以提供更强的动力。

[0057] 所述的螺旋桨11的直径为10cm。

[0058] 所述的首节5、车轮6、偏转锥齿轮7、抬升圆筒关节8、驱动模块9和尾节10关节之间安装角度传感器，实时检测关节相对转角。

[0059] 所述的GPS定位传感器采用GPS载波相位动态定位的卡尔曼滤波模型，以消除多方面的干扰，有效解决定位不准确问题。

[0060] 所述的螺旋桨11与尾节10内部的驱动电机之间连接有光电管，由光电管测得其转速来反馈给上位机。

[0061] 所述的舵机1实现相对的横向转动和纵向旋转，而转动的最大极限设置为30度。

[0062] 所述的上位机和下位机的通信协议是RS-485。

[0063] 参见图8，本实施例的水陆两栖多单元轮式管道机器人检修系统的工作过程为：

[0064] 在检查井附近放有起吊装置，保护现场，打开井盖，将蛇形机器人从垂直的检查井口送入水平的排水管道入口处。上位机、显示器，动力源以及电缆收放盘放置在路面进行作业。动力源可为蛇形机器人的移动、控制系统及传感器提供动力；电缆内包含控制信号线、电源线、视频线，具有足够的牵引力，为蛇形机器人提供安全保障。显示器通过安装在蛇形机器人的CCD摄像头，实时地将管道内的环境传输到显示屏上以便操作者掌握。

[0065] 蛇形机器人作业时，给蛇形机器人上的清洗机械臂2加装合适的清洗工具，首先不带清理工具由施工人员从井盖下放置管道内，在上位机控制下，蛇形机器人以车轮或螺旋桨驱动的方式在管道内运动；蛇形机器人首节5内置的烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器探测管道内气体状况，摄像头4拍摄管道内场景并由电缆线传送到上位机界面上；待初步探明污物种类和数量，从井盖中退回并有选择的安装相应清理工具；随后，管道机器人第二次进入管道并清理，如果工作达标，即可结束清洗，若遇到超出清理能力范围的污物，则发送GPS坐标置上位机，由人工垂直掘进清理。直至工作达标。

[0066] 清洗机械臂2是利用机械装置带动软轴(弹簧软管)旋转，深入管道进行管道疏通。软轴3为分段结构，两端有接头，可以多根软轴3接在一起使用，从而疏通较长距离的管道。根据疏通管道的直径配备不同的钻具(刀头)进行管道疏通，软轴3采用65Mn特质弹簧钢丝

为原材料，经特殊工艺加工而成。坚固而有韧性，可以顺利通过180度弯道或连续180度返水弯管。

[0067] 地下水道的环境比较恶劣，由于长时间通风不够流畅等系列因素的影响，管道内含有大量的有毒气体，给管道的维修工作带来了很大的麻烦，为此设计了烟雾传感器、一氧化碳浓度传感器以及烟雾检测电路(图9)和一氧化碳检测电路(图10)。

[0068] 烟雾传感器为离子型烟雾传感器EG-YW12，它是基于放射性射线电离空气所产生的微电流原理来探测烟雾浓度；一氧化碳传感器为电化学式NAP-505，它的作用是探知管道内的有害气体情况，以此来判别该处管道是否适合管道维修人员下井对管道进行维修，为维修人员提供安全的施工环境。

[0069] 在首节5圆筒外部正上部安装有CCD摄像头4，鉴于阴暗的下水道环境，照明由安装于首节5的两个高功率灯泡提供。并且设置照明传感器，能够在光照比较低的情况下自动打开高功率灯泡。

[0070] 参见图5和图6，蛇形机器人是一个具有内在非线性的非完整约束动力学系统，其在弯道内的运动是通过轮子转动来完成的。基于模型的传统设计方法都难以得到理想的控制效果，相反，基于学习的智能控制方法对移动机器人的路径跟踪控制则具有很多优点，由于蛇形机器人采用了大量传感器，其已经成为了一个高维输入控制系统。

[0071] 本实施例中，蛇形机器人采用分层模糊控制方法将整个模糊控制器分解成两层低维子控制器：即模糊速度控制器、模糊驾驶控制器。

[0072] 蛇形机器人的动力学建模如下：

[0073] 以蛇形机器人几何中心为原点，{O,X,Y}代表蛇形机器人的惯性坐标系，蛇形机器人上的固定坐标系为$\{O_c,X_c,Y_c\}$，Y_c轴平行于关节运动方向，$P=(xy\theta)^T$表示蛇形机器人的位置，空间参数x和y分别表示蛇形机器人的位置坐标，θ代表X和X_c之间的夹角。在X_c轴方向上的力平衡方程是

[0074] $$m\frac{V_c^2}{R_c}=mv_c\omega=F_3+F_4-F_1-F_2 \qquad (1)$$

[0075] 蛇形机器人的约束方程：

[0076] $$\dot{X}\cos(\theta+\beta)+\dot{Y}\sin(\theta+\beta)=0 \qquad (2)$$

[0077] 系统动力学方程为：$\dot{Z}=AZ+BU$，这里$Z=(XY\theta v_0\omega)^T$，$U=(\alpha\xi)^T$，这里的

$$A=\begin{bmatrix}0&0&0&-\sin(\theta+\beta)&0\\0&0&0&\cos(\theta+\beta)&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}\text{和}B=\begin{bmatrix}0&0\\0&0\\0&0\\\sqrt{1+\rho^2\omega^4}&\dfrac{2v_o\rho^2\omega^3}{\cos\beta\sqrt{1+\rho^2\omega^4}}\\0&1\end{bmatrix}。$$

[0078] 定义蛇形机器人的驱动单元9为一节，抬升圆筒关节8处装置有舵机1和偏转锥齿轮7，通过舵机1的旋转和偏转锥齿轮7的啮合来控制抬升圆筒关节8的旋转角度，并以此来改变蛇形机器人的总体线形。假设蛇形机器人具有n个连杆，也即n-1个关节，则在蛇形机器人做平面上运动时，这个蛇形机器人将有n-2个自由度，其中n-2个时蛇形机器人形状也即各关节之间的相对角度，另外为蛇形机器人在平面上的位置(x,y)，还有一个表示方位。

[0079] 假设蛇形机器人为刚性连杆，且各连杆的质心均位于连杆的中心。连杆的质量为m_i，长度为$2L_i$，因此其转动惯量为$J=m_i*l_i^2/3$。连杆与X轴的夹角为θ_i，定义逆时针方向为θ_i的正方向，其中心坐标为(x_i,y_i)由于连杆质量分布均匀，这也是连杆的质心。连杆i与连杆i+1之间的夹角为$\varphi_i=\theta_i-\theta_{i+1}$。定义分别以$x_i$、$y_i$，以及$\theta_i$为基本元素的n维矩阵x、y和θ。

[0080] 定义矩阵$A_{(n-1)*n}=\begin{bmatrix}1&1&&&\\&\ddots&\ddots&&\\&&\ddots&\ddots&\\&&&1&1\end{bmatrix}$，$D_{(n-1)*n}=\begin{bmatrix}1&1&&&\\&\ddots&\ddots&&\\&&\ddots&\ddots&\\&&&1&1\end{bmatrix}$，$E=\begin{bmatrix}e&0\\0&e\end{bmatrix}$，

[0081] $e=[1\ldots1]_{n*1}^T$，$m=\sum_{i=1}^{n}m_i$，则相对转角$\Phi=D\theta$。

[0082] 定义$S_\theta=\mathrm{diag}(\sin\theta_1,\ldots,\sin\theta_n)$，$C_\theta=\mathrm{diag}(\cos\theta_1,\ldots,\cos\theta_n)$，$J=\mathrm{diag}(J_1,\ldots,J_n)$，$M=\mathrm{diag}(m_1,\ldots,m_n)$，$L=\mathrm{diag}(l_1,\ldots,l_n)$，$H=LA^T(DM^{-1}D^T)^{-1}AL$，$N=M^{-1}D^T(DM^{-1}D^T)^{-1}AL$。

[0083] 蛇形机器人的控制内容共分为：紧急控制、常态行走控制、作业控制、远程监控控制。根据蛇形机器人操作特点，上下位机均采用顺序结构的流程进行软件设计。

[0084] 蛇形机器人所用驱动电机的模糊PID控制系统，主要是基于下位机控制板采集到的驱动电机的转动信号，它将这种转动信号转换成了电信号而被系统加以利用，利用该电信号可以反算出驱动电机的转动情况，用计算出的转动值与给定的转动值做比较，两者的差值提供给模糊PID控制系统，通过模糊控制器得出控制量U，将此控制量施加到L293D芯片上从而改变脉宽调制波的占空比，最终实现了对驱动电机的速度的控制。

[0085] 模糊PID参数的整定的目标是找出K_p，K_i，K_d三个参数，然后计算出这三个参数和误差绝对值以及变化率之间的关系，在不断检测误差绝对值和变化率绝对值的大小，在根据

相应的模糊控制规则在线调整K_p,K_i,K_d这三个参数的以保证与误差实时相吻合,使得被控对象有很好的动态特性。将输入量的误差和定位记为E和EC,将输出量定为K_p,K_i,K_d,将E和EC的子集记为:{NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB},并将误差和误差变化率进行量化,量化区间为-3到3之间;同理将K_p,K_i,K_d也进行量化,记为{ZO,PS,PM,PB},量化区间为0到3之间。

[0086] 水陆两栖多单元轮式管道机器人的控制系统分为上位机控制系统和下位机控制系统,两者的通信基于RS-485协议,采用串行异步通信方式。上位机主要是以ARM920T处理器为核心的硬件平台,实现控制系统对操作人员的指令采集与转换以及显示管道内的视频图像、读取定位参数等;下位机是以两片Atmega8单片机为核心处理器的硬件平台,实现从上位机得到控制命令对爬行器进行的姿态和照明系统的控制以及将传感器采集的数据传递给上位机。

[0087] 上位机软件工作如图11所示,下位机软件工作如图12所示。

[0088] 蛇形机器人的抬升圆筒关节8之间由舵机1和偏转锥齿轮7实现角度偏转,舵机1的旋转使得连接杆与模块的夹角发生改变。差动驱动机构类似于汽车的差速器的架构设计,以便于蛇形机器人在转向时更合理的分配驱动力,使得转向灵活。

[0089] 当蛇形机器人在水中处于螺旋桨状态工作时,可将车轮6替换成螺旋桨,此时两侧螺旋桨相连的电机转速不同而造成蛇形机器人所受的侧向力的改变,把电机转速差值作为控制水中转向的主要因变量。极端情况,紧急转弯时可以设置外侧螺旋桨转速为最大值,内侧螺旋桨转速为零,必要时也可以设置成反向,这样使得转向方便,容易控制。

[0090] 蛇形机器人A的工作原理为舵机工作,带动抬升圆筒关节偏转、偏转锥齿轮啮合改变蛇形机器人整体的线型,因此蛇形机器人可以灵活通过复杂路况。同时,当蛇形机器人在下水道充满积水的路况下运动时,蛇形机器人又可以启动螺旋桨工作模式,在末端模块的螺旋桨的推动下前进,在两侧螺旋桨的差速运行下摆动。两种工作模式可自由切换。

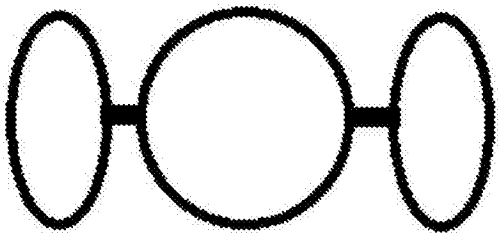


图1

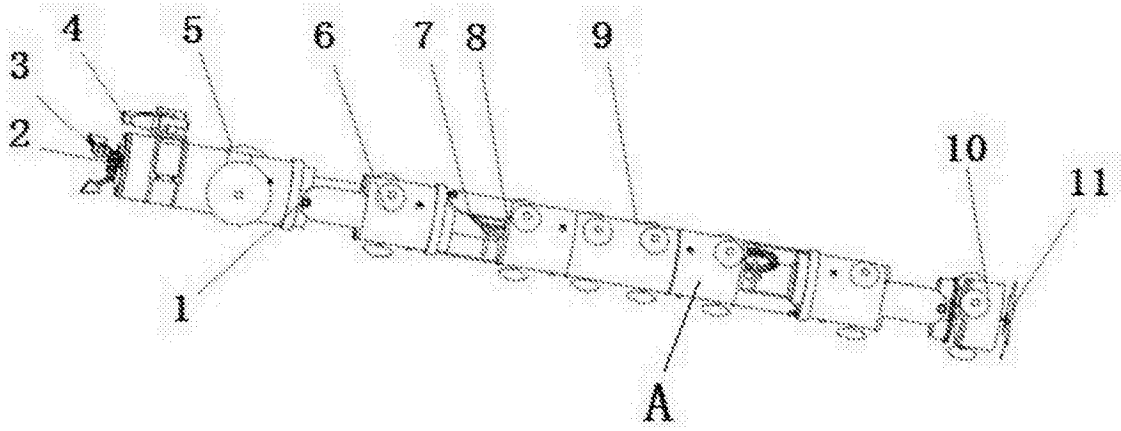


图2

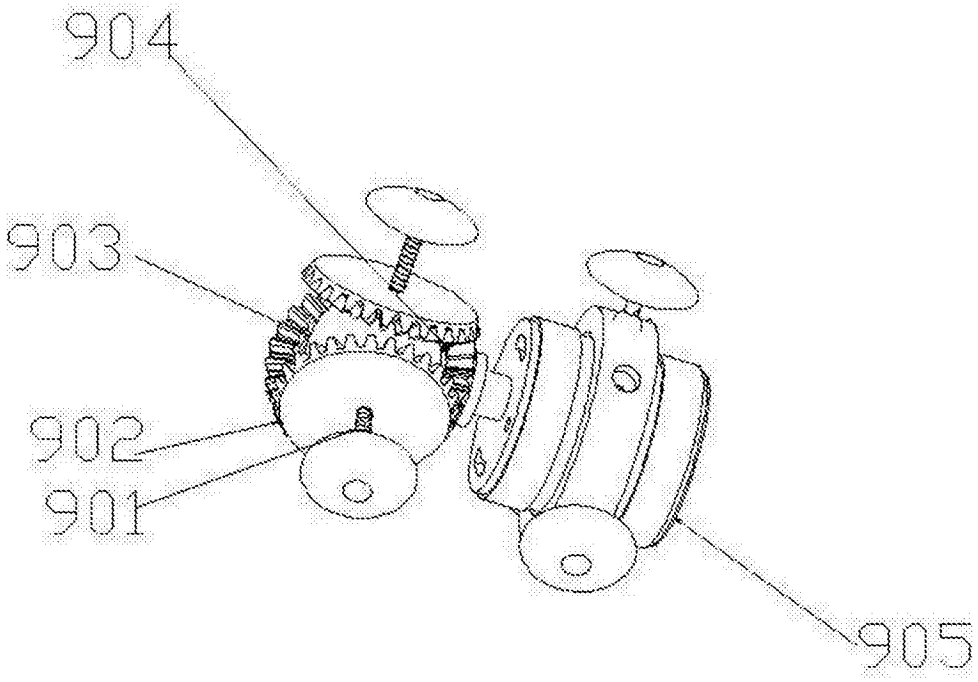


图3

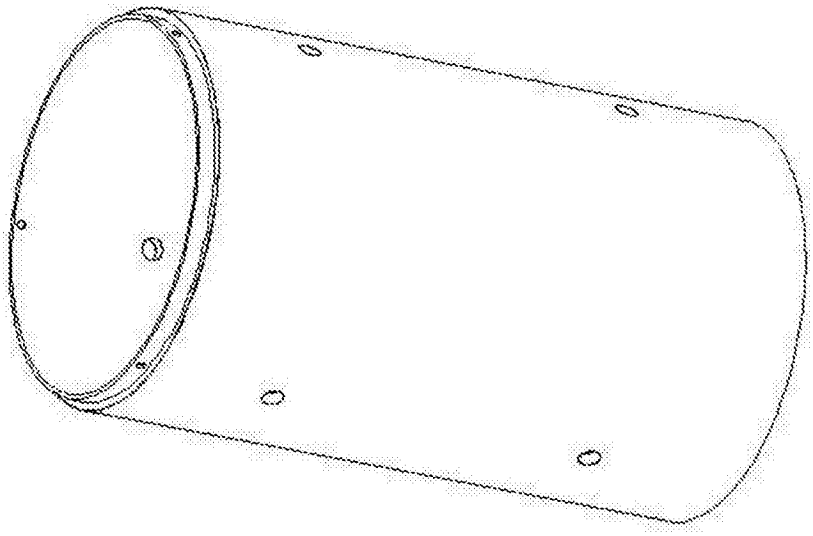


图4

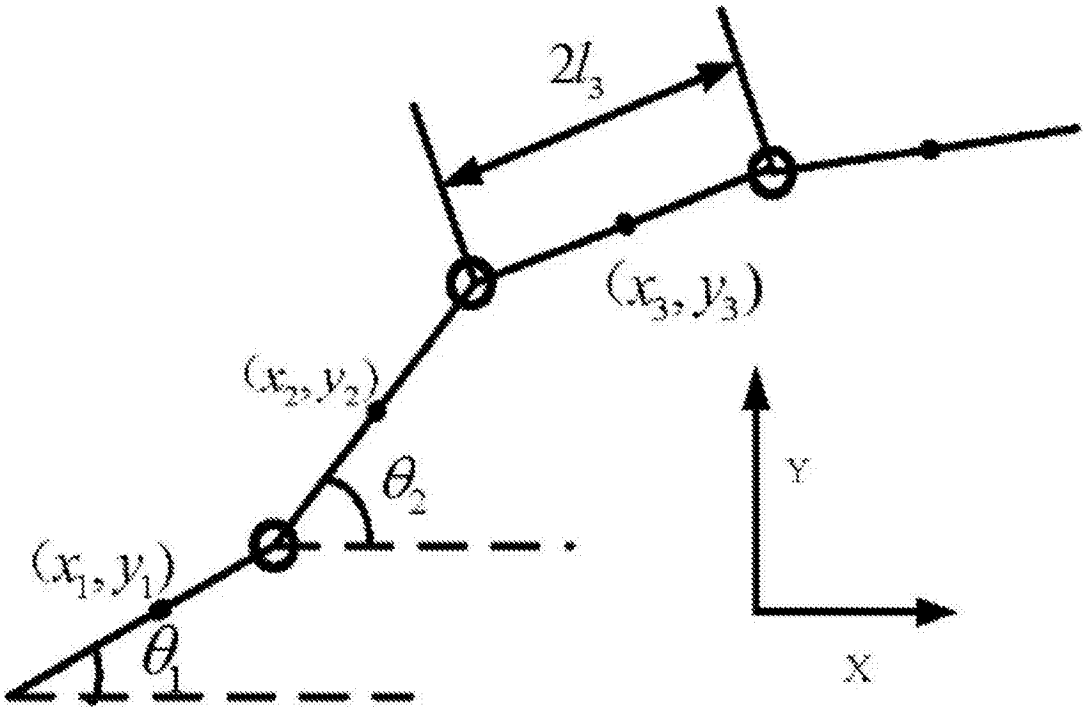


图5

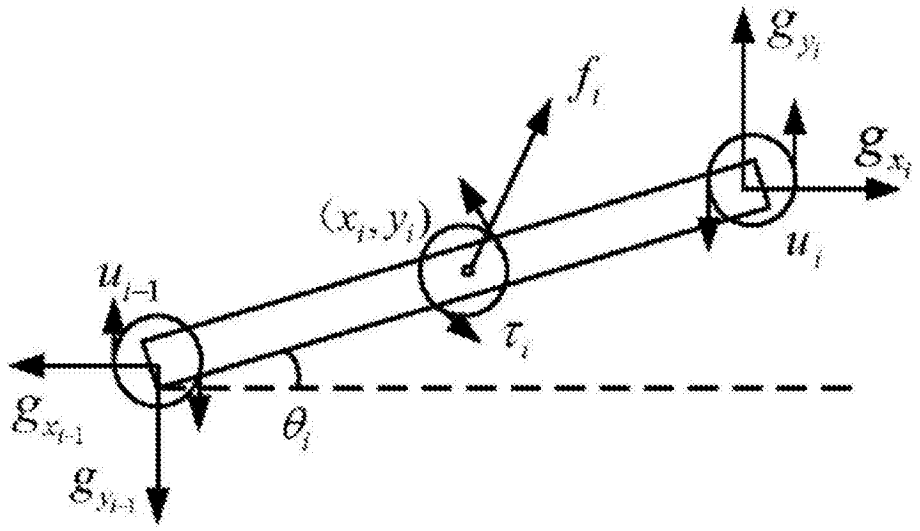

g_{y_i}
f_i
g_{x_i}
(x_i, y_i)
u_i
u_{i-1}
τ_i
$g_{x_{i-1}}$
θ_i
$g_{y_{i-1}}$

图6

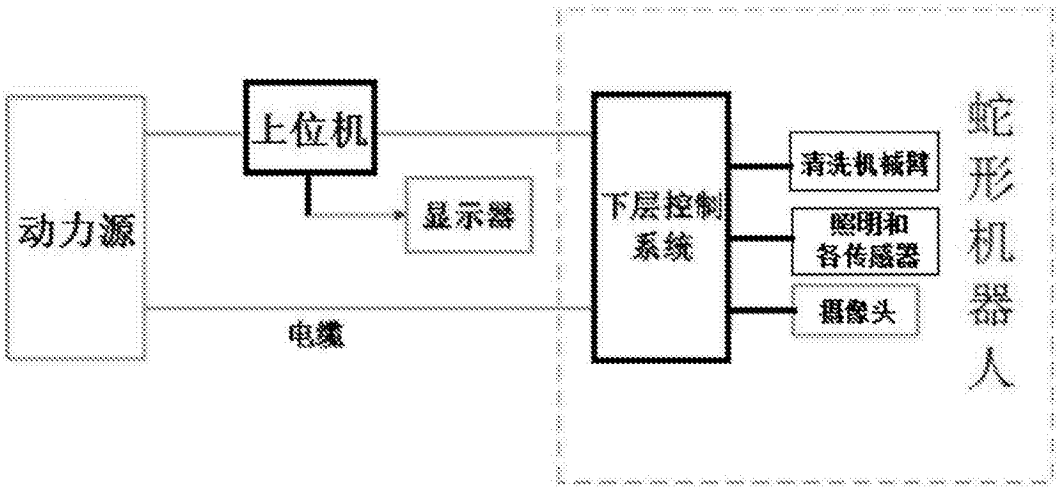

动力源
上位机
显示器
电缆
下层控制系统
清洗机械臂
照明和各传感器
摄像头
蛇形机器人

图7

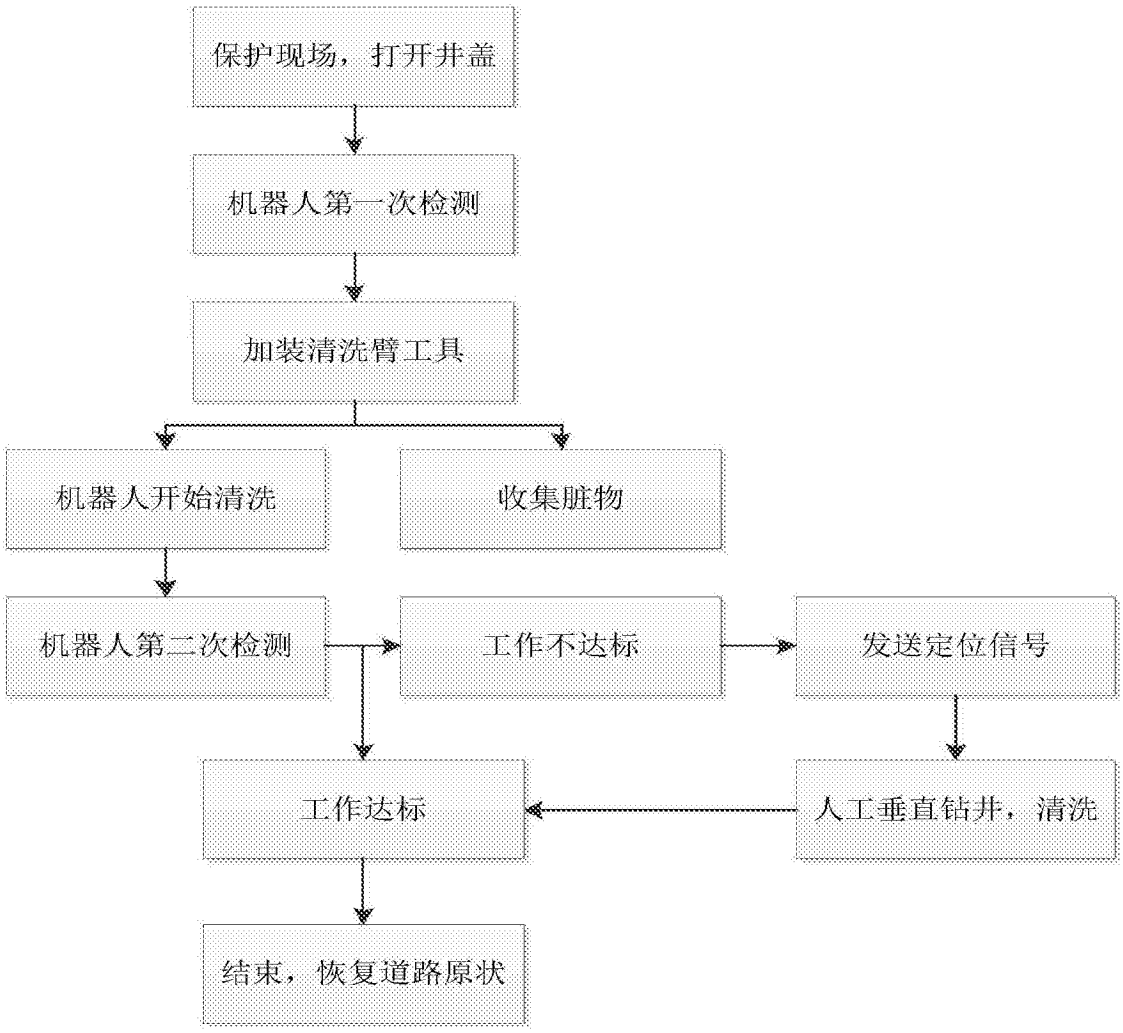

保护现场，打开井盖
机器人第一次检测
加装清洗臂工具
机器人开始清洗
收集脏物
机器人第二次检测
工作不达标
发送定位信号
工作达标
人工垂直钻井，清洗
结束，恢复道路原状

图8

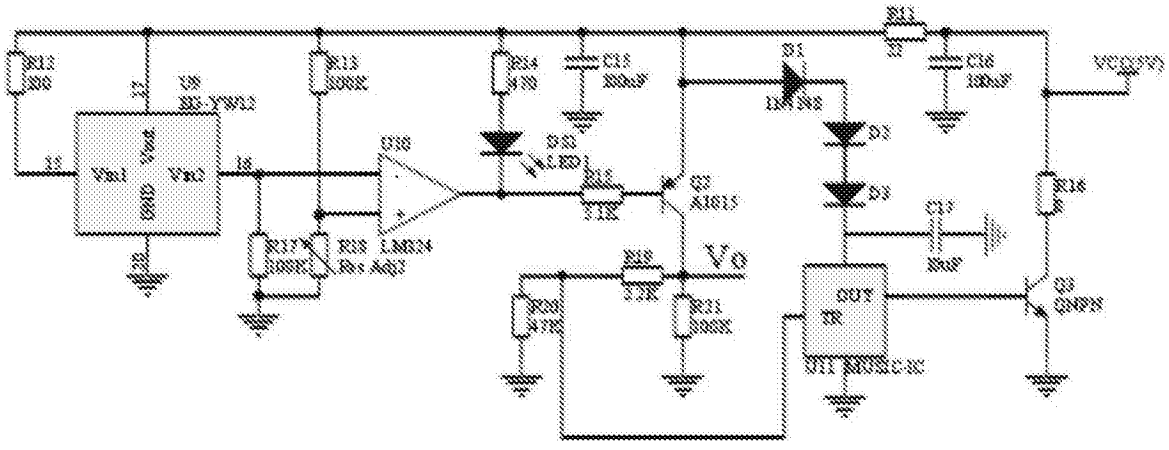

Vo

图9

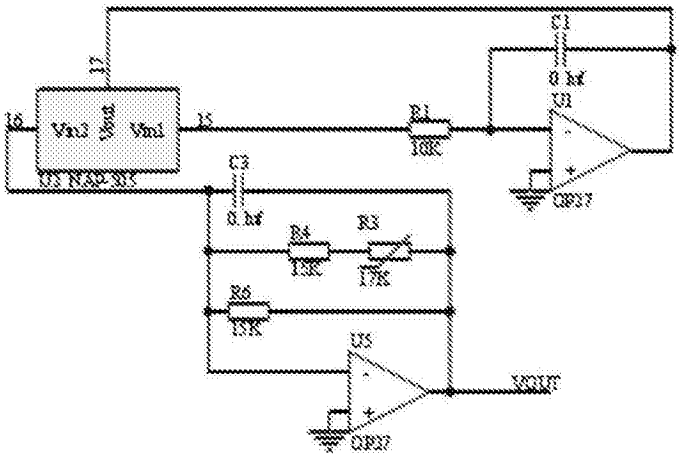


图10

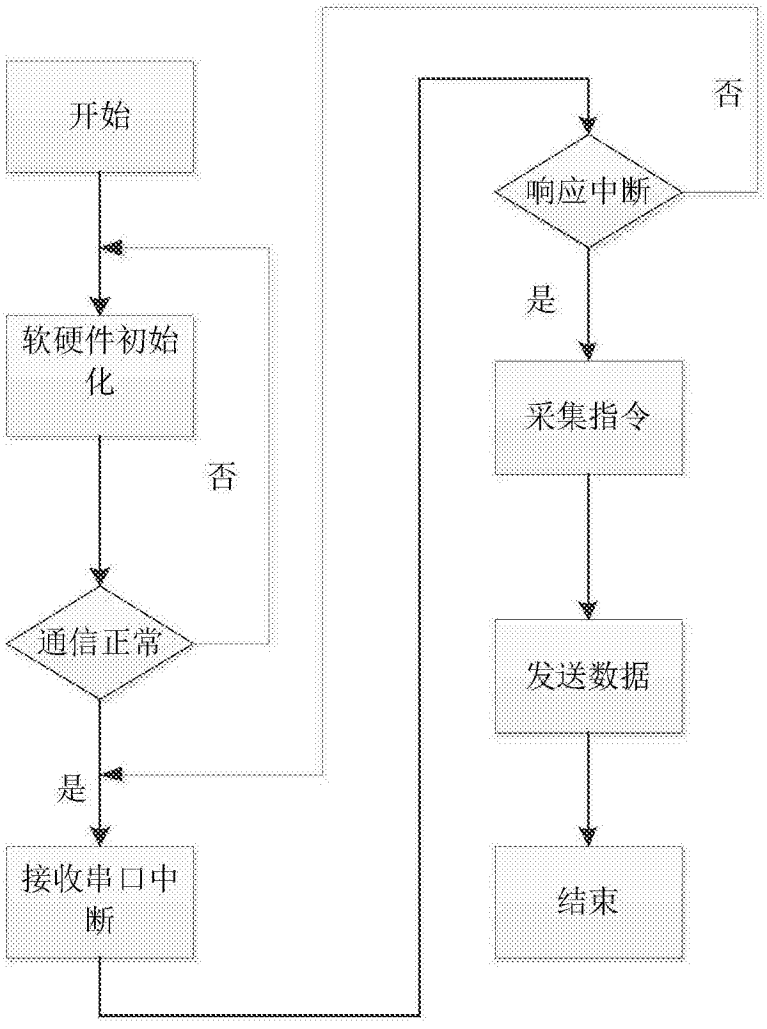


图11

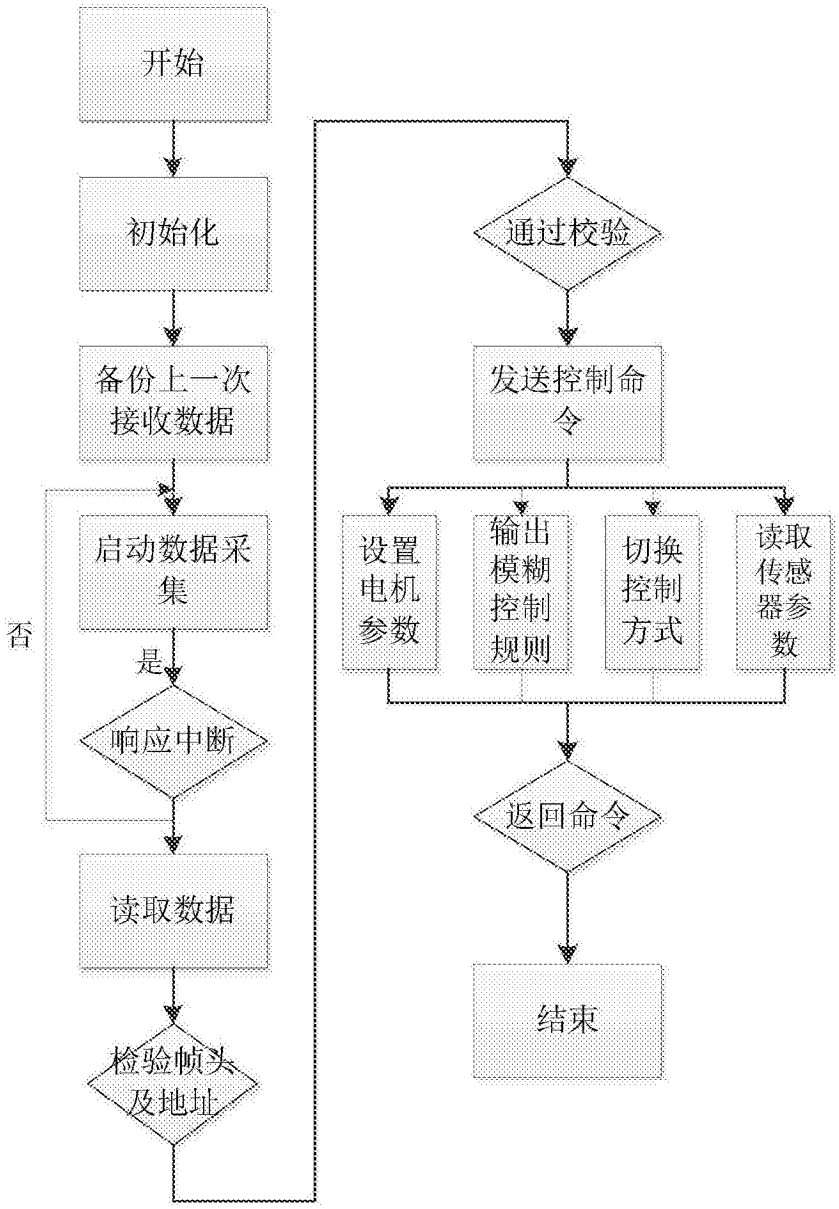

开始
初始化
备份上一次接收数据
启动数据采集
否
是
响应中断
读取数据
检验帧头及地址
通过校验
发送控制命令
设置电机参数
输出模糊控制规则
切换控制方式
读取传感器参数
返回命令
结束

图12

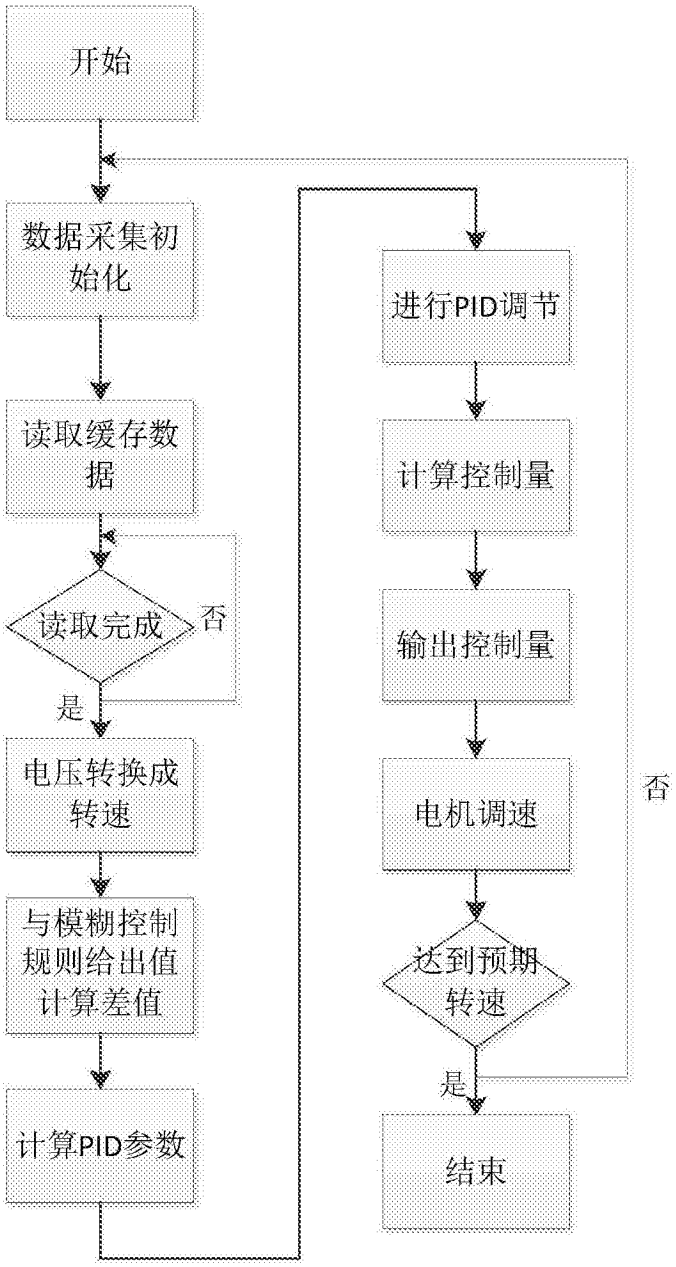

开始
数据采集初始化
读取缓存数据
读取完成
否
是
电压转换成转速
与模糊控制规则给出值计算差值
计算PID参数
进行PID调节
计算控制量
输出控制量
电机调速
达到预期转速
否
是
结束

图13