[变电所]

变电所智能巡检小车系统设计

文/重庆三峡学院电子与信息工程学院　谢　辉　魏　斌　殷梓涓　万　恒　罗云丰　罗棚文

针对变电所人工巡检存在工作量大、安全隐患多等难题，提出了一种基于RoboMaster机器人的变电所智能巡检小车系统的设计。巡检小车主要由底盘模块、云台总成和视觉模块三大部分组成，云台搭载WiFi模块和上位机进行通信，巡检小车按规定路线自主行走并具有自主避障功能，可完成现场仪表数据的图像采集并根据指令上传上位机进行后台处理。

随着我国电力系统的不断发展，国家能源战略的不断调整，超高压以及特高压输电设备正在分阶段投入使用。变电所作为电力系统的重要组成部分之一，为确保其供电的稳定性和可靠性，日常巡检、运维显得尤为重要。传统变电所多采用人工巡检的方式，存在工作量大、巡检点位分散、巡检效率低和危险系数大等诸多问题。研发变电站智能巡检机器人代替人工巡检，可大大提高变电所电力系统的可靠性，降低变电站巡检和运维的工作量，实现变电所无人值守。

系统设计

1. 系统总体架构

变电所巡检机器人基本组成如图1所示，主要包括底盘运动子系统、云台子系统、平台管理子系统、通信网络子系统、电池组及能源管理子系统。各子系统担任不同角色，协同工作，共同组成巡检机器人平台。

2. 子系统设计

（1）底盘运动子系统

底盘运动子系统负责巡检机器人的移动。底盘运动子系统由一块STM 32单片机独立控制，采用四组可独立驱动的麦克纳姆轮组，可适应不同地形，支持原地360° 转弯，通过对各轮组转速转向的精确控制，实现底盘灵活运动。

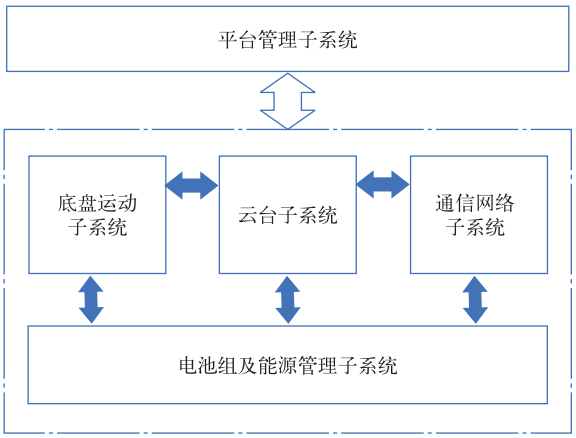

图1　系统架构

（2）云台子系统

二轴云台系统包括工业摄像头、PITCH轴电动机、YAW轴电动机和WiFi模块。通过一块STM 32单片机独立控制。工业摄像头用于采集仪器仪表指针位置及读数，并可识别地面巡检线路引导标志，指引机器人在规定路线巡检，并且在指定位置采集指定仪器仪表的读数、相关设备的工作状态。采集到的图像经STM 32单片机解析后，通过WiFi模块解析结果发送至平台管理系统。

（3）通信网络子系统

通信网络子系统由站端无线网络收发器和车载

无线网络收发模块组成，可实现信息实时传输，具有传输效率高、误码率低的特点。实现平台管理子系统与巡检机器人的信息实时交互。信息交互的主要内容有机器人摄像头实时画面数据、机器人工作状态数据（包括机器人续航里程、机器人姿态和当前巡检位置等）及预警信息等。

（4）电池组及能源管理系统

选用24 V 6 s锂电池为巡检机器人提供动力，并且配置一个能源管理模块。能源管理模块可实时采集锂电池组单体电池的端电压、回路电流，实现实时在线估算电池组的荷电状态，预估机器人的续航时间，防止锂电池过冲过放，对电池组造成伤害。

（5）平台管理子系统

平台管理子系统由一台PC和相关软件组成。可通过软件实时查看巡检机器人的工作状态和摄像头采集到的工作画面，收取各设备工作状态信息，并对不正常工作的设备发出预警。

核心系统实现

云台和底盘是该巡检机器人的核心部分，其上搭载着不同功能的硬件设备，控制不同任务有序进行，其连接关系如图2所示。

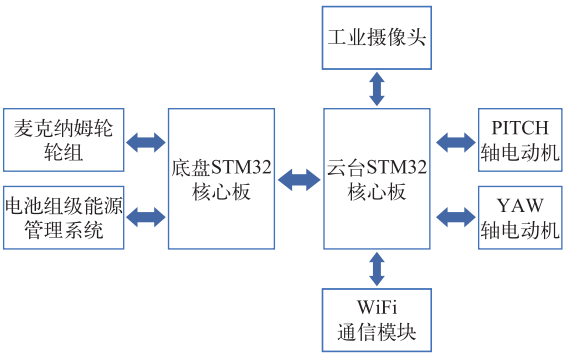

图2　核心系统组成示意图

1. 底盘运动子系统

底盘运动子系统选用RoboMaster C型开发板作为主控模块，该模块采用STM 32F407IGH6单片机作为主控芯片，集成了BMI088高精度六轴陀螺仪，支持8～28 V宽电压电源输入，并引出了2路CAN、8路PWM、3路UART以及众多其他接口与硬件资源，168 MHz的主频可以满足机器人的控制需求。

底盘使用了麦克纳姆轮来实现全向移动功能，四个驱动轮组可分别由32单片机独立驱动，其中两个左旋，两个右旋，按O形装配方式安装。它可通过调整不同机轮的方向和速度在不改变机轮自身方向的情况下实现前行、横移、斜行、旋转及其组合等运动方式，实现底盘的复合运动。

使用四枚直流无刷减速电动机直驱轮子，并为每个电动机搭配一枚电子调速器，可持续输出4N·m转矩，最高转速可达490 r/min，自带编码器与温度传感器，支持通过CAN控制电流输出值。

2. 二轴云台子系统

二轴云台由一个工业摄像头、一个PITCH轴电动机、一个YAW轴电动机以及配套机械结构组成。主要负责控制安装于云台上的工业摄像头PITCH轴和YAW轴的角度，保证摄像头可精确对准目标，采集到想要的画面。

摄像头主要用来采集地面引导线标识和仪器仪表读数，并将采集到的图像回传到单片机进行图片处理，通过地面引导标识来判断当前机器人与巡检规划路径的相对位置，并将运动控制指令发给底盘32单片机，从而控制底盘电动机；识别仪器仪表指针读数，并作相应判断，将判断结果通过WiFi模块发送到上位机PC，实现故障预警。

云台YAW轴的减速电动机，通过齿轮组构成的传动路线，将动力传送至云台YAW轴。该传动路线的减速比是恒定不变的。因此利用M3508 P19减速电动机的转速乘以传动路线的减速比，便可得到云台YAW轴的角速度，从而具备实现云台YAW轴角速度闭环控制的硬件条件。云台YAW的角度闭环，则是通过云台板载陀螺仪的输出数据，换算得到云台的姿态，从而得到闭环反馈数据。

3. 机器人软件系统架构

机器人的软件系统分两部分，分别下载在底盘RoboMaster C型开发板和云台RoboMaster C型开发板上。

（1）底盘系统软件架构

底盘主控板的主控芯片为STM32F407IGH6。使用HAL构建工程，可以很方便地集成FreeRTOS系统，考虑到底盘主控板对实时性要求较高，借助CubeMX直接引入FreeRTOS v2系统，主控芯片各个任务的执行受该系统的统一调度。根据该框架创建出各项任务。底盘系统软件框图如图3所示。

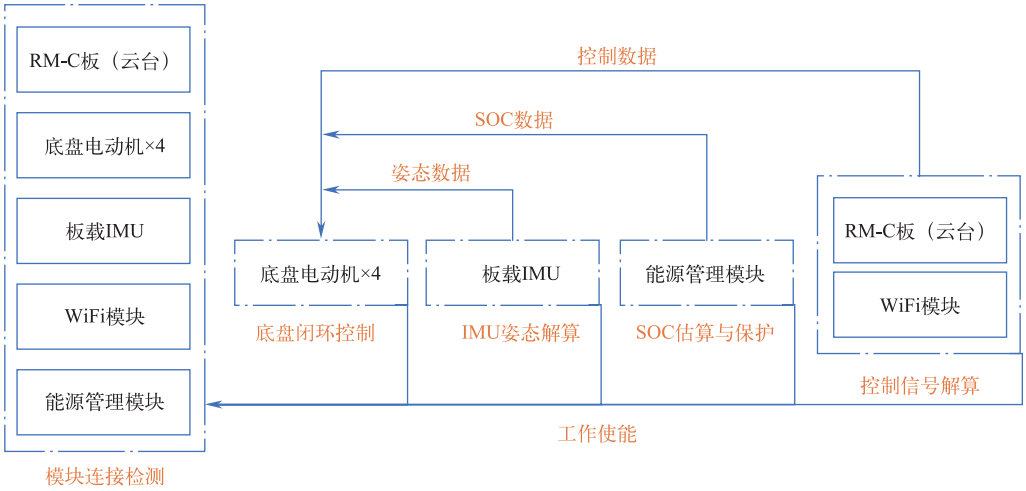

图3　底盘系统软件框图

模块连接检测任务：在一段时间内，没有收到某一模块发送的报文，则认为该模块异常断开连接。其他任务可以通过模块在线状态查询函数查询各模块的连接状态，并做出相应的响应。

底盘闭环控制任务：发送至该任务的控制信号是期望的运动状态（前进速度、平移速度以及旋转速度等）与底盘的控制模式。该任务将此数据解算为底盘四个电动机的控制量（电流值），并通过CAN总线发送至相应的电动机。

IMU姿态解算任务：读入IMU数据，进行滤波与数据融合，换算为欧拉角数据。欧拉角数据可以被其他任务读取。

控制信号解算任务：从遥控器DT7/DR16或云台C型开发板接收控制信号，转换为可读的信息，供其他任务读取。

心跳与提示任务：该任务控制一枚RGB灯泡，按照一定规律变化颜色。如果系统运行异常，该任务不能正常维护，灯泡的颜色变化将发生异常，可以方便地得知系统的运行状态。

（2）云台系统软件架构

云台RoboMaster C型开发板的软件架构和任务与底盘有部分相同之处，包括模块连接检测任务、IMU姿态解算任务、控制信号解算任务以及心跳与提示任务等功能，在此不再赘述，仅介绍相异的部分。

云台闭环控制任务：读入云台的期望控制值与控制模式，对云台进行闭环控制。将控制量解算为云台两个电动机的电流控制量，通过CAN总线发送给相应的电动机。

云台面向底盘的通信任务：将底盘的控制信息与云台的航向数据，通过CAN以100 Hz的频率发送给底盘RoboMaster C型开发板。发送云台的航向是为了实现底盘跟随云台动作。

系统功能

（1）数据精准采集

巡检机器人根据设定时间开始巡检，并且根据定位信息，在巡检路径上的特定位置，通过工业摄像头采集相应设备的信息，可采集仪器仪表指针读数、刀开关位置、开关状态和变压器液压油油位等信息。

（2）数据实时传输

巡检机器人可将采集到的数据实时上传至系统控制平台，保证控制平台可第一时间得到巡检数据，避免因数据回传时延导致事故进一步扩大，错失最佳抢修时间。

（3）智能识别

巡检机器人可通过对采集到的图像进行的处理，提取图像中仪器仪表指针位置读数、刀开关位置。

（4）故障预警

系统可对采集到的数据进行分析，判断其是否存在故障，并根据判断作出相应预警提示。

（5）视觉避障

巡检小车可在巡检过程中通过视觉摄像头实现

（下转第87页）

准技术及开关量输入延时复选滤波技术，基于A/D转换和DSP数据处理技术的高精度测量技术。

（3）生产工艺措施

采用SMT自动贴装工艺、流焊工艺及“三防漆”处理工艺，有效确保产品在恶劣环境下安全、可靠的工作。

（4）硬件抗干扰设计措施

采用高频开关电源，低功耗，实现节能的同时还适应不同电源电压环境；高性能数字信号处理器，实现强大的实时信号处理能力；采用高速A/D转换芯片，实现高精度测量，能够快速响应；高性能电源滤波器，有效消除电源噪声，抑制传导骚扰；高性能热压敏器件，实现可恢复的PTC热敏保护功能。

（5）隔离保护措施

通信接口、交流输入、电源和I/O接口等各个环节均采用信号隔离保护设计。

（6）电磁兼容测试措施

智能型电动机保护控制器均已完成高频噪声抗扰度、浪涌冲击抗扰度、高低温交变湿热以及静电放电抗扰度等电磁兼容测试。

结束语

现代化大型水泥企业年运转率较高，高效、稳定、可靠和长周期运转的电气设备是保证生产过程连续不间断的基础，科学地配置智能型电动机保护控制器，不仅能提高电动机设备的运行能力，避免电动机设备的安全隐患，延长电动机设备的使用寿命，而且能提高企业生产效率，节约能源，为企业创造更高的经济效益。**EA**

（收稿日期：2021-09-24）

（上接第82页）

视觉避障，将摄像头采集到的图像进行解析，与标准引航线进行比对。若相似度小于95%，则认为巡检线路上存在疑似障碍物，影响继续行进，机器人会在距离疑似障碍物1 m远的位置停车，并再次确认障碍物的真实性，若相似度仍小于95%，则会向管理平台发出清除障碍物的请求，并一同发送障碍物坐标，请求工作人员尽快清理障碍物。若工作人员在10 min内没有响应请求，巡检机器人便会返回巡检起点，本次巡检结束。视觉避障可保证巡检小车自身的安全。

（6）特情处理

当设备出现突发故障时，巡检机器人可根据控制平台指令，在自动巡航与手动控制模式间快速切换，由工作人员手动操纵机器人，接近故障点，第一时间回传故障现场画面，有助于快速探明故障情况，做出合理处置。

系统仿真与实测情况

系统原型机经过仿真与实际测试，各模块工作正常。巡检机器人可在设定时间点自动开启巡检，二轴云台配合工业摄像头可自主识别引航线，可根据引航线精确巡检，偏航误差±5 cm，在允许误差范围内；麦克纳姆轮底盘运动灵活，减振机构可过滤85%以上来自底盘的振动，大大缓解了巡检机器人行进中摄像头抖动的现象；视觉摄像头可准确识别2 m视觉范围内的障碍物，并可及时将障碍物视觉图片和坐标上传到管理平台，请求清除障碍；无线通信模块可将采集到的数据实时回传至控制平台，控制平台可发指令控制机器人，数据交互流畅且传输可靠，无丢包现象；能源管理系统可实现在线估算电池荷电状态，预估巡航里程准确率可达94%。根据测试结果，该机器人可实现预定功能，具有一定应用价值。

结束语

变电所智能巡检小车系统以巡检机器人为核心，具有实时通信、图像采集、仪表识别和能源管理等功能。该系统可应用于变电所仪器设备巡检，可有效解决人工巡检方式工作量大、巡检点位分散、巡检效率低及危险系数大等问题，大大提高了变电所电力系统的可靠性，降低了变电站巡检和运维的工作量，实现了变电所的无人值守。**EA**

（收稿日期：2021-09-06）