

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802246

智能安防机器人控制系统设计与研究

刘云楷¹ 邵昌尧¹ 李杰¹ 姜珍华¹ 薛天格² 周法政¹ 王勇帅¹

(1.山东盛安贝新能源有限公司 济宁 272000; 2.青岛科技大学 青岛 266000)

摘要:进入21世纪以来利用机器人代替人工作业的理念已经在全世界范围内得到了广泛认可,机器人技术的发展水平已成为一个国家高新技术产业的代表,而智能安防机器人作为众多机器人中的一员更是受到了广泛的关注。针对智能安防机器人设计了一套功能强大、性能稳定的控制系统,首先采用模块化的设计思路,对智能安防机器人控制系统的总体架构进行了设计;其次对机器人控制系统主控器进行了设计研发,并对机器人运动控制子系统、传感器子系统以及摄像头控制子系统进行了研究设计;最后利用机器人平台对控制系统进行了实验测试,并对实验结果进行了分析总结。可以预见,安防机器人在降低人工操作危险性、减少企业成本等方面具有重要意义。

关键词:安防机器人;控制系统;Linux

中图分类号: TN242.2 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.8050

Design and research of the master controller of intelligent security robot

Liu Yunkai¹ Shao Changyao¹ Li Jie¹ Jiang Zhenhua¹ Xue Tian'ge² Zhou Fazheng¹ Wang Yongshuai¹

(1. Shandong Sheng An Bei New Energy Company Limited, Jining 272000, China;

2. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract: Since the beginning of the 21st century, the concept of using robots to replace manual work has been widely recognized all over the world. The development level of robotics technology has become a representation of a country's high-tech industry, and intelligent security robots as a member of many robots has been widely concerned. In this paper, a powerful and stable control system is designed for the intelligent security robot. Firstly, the overall structure of the intelligent security robot control system is designed by using modular design ideas. Secondly, the main controller of the robot control system is designed and developed, and the motion control subsystem of the robot is also designed. Besides, sensor subsystem and camera control subsystem are researched and designed. Finally, the control system is tested by the robot platform, and the experimental results are analyzed and summarized. It can be foreseen that the security robot is of great significance in reducing the risk of manual operation and the cost of enterprises.

Keywords: security robot; control system; Linux

0 引言

随着人类进入信息化时代,集信息技术、机械工程、电力电子技术于一体的机器人产业正迅速发展,用智能机器人代替人工完成高危、繁重的工作有着显著的优势。在智能变电站等工业领域,由智能安防机器人代替人工来完成设备检测、危险报警、环境监控、数据采集等各种工业活动,既是一项前景广阔的高新技术产业,同时又是智能机器人现下研发的重要发展方向^[1]。主控器作为智能安防机器人的“大脑”,起着重要的枢纽作用。机器人通过主控制器实现与机器人各运动控制子系统之间的通讯与控制,调整机器人的运动状态、行走路线等;并通过搭载操作系统对机器

人的巡检任务进行多线程分级管理;还可以搭载4G无线通信模块,实现与上位机的远程通信功能。因此,对于主控器的研发是机器人研发设计的重心。国外研究机构对于主控器的研发起步较早,ABB公司研发的工业机器人IRC5^[2]控制系统,由一个控制模块和一个驱动模块组成,各模块间只需要两根衔接电缆,模块衔接简单易行,并具有完备的通信功能。KUKA公司研发的KeMotionr 5000^[3]系列控制系统是一套面向多轴运动控制的模块化控制系统,经过主控器运动规划设计和机器人运动控制单元可以完成对伺服电动机的控制,从而到达对工业机器人的准确控制^[4]。国内机器人运动控制器发展十分迅速,但仍然存在设计理念不成熟、控制器开放性差、容错性差等缺点^[5]。本文在前人

研发的基础上对机器人控制系统进行了研发与设计,通过理论分析设计了主控器、运动控制、传感器等各子系统,并对机器人的电机控制进行了实验,实验表明安防机器人可以精确运动至工作位置对工业设备的工作状态、外部环境等数据进行采集,显著提高了对设备运行状态检测的可靠性、及时性和准确性。

1 控制系统总体设计

基于模块化的设计思想^[6],对智能安防机器人控制系统进行总体设计^[7],智能安防机器人控制系统总体设计如图 1 所示。该控制系统主要由主控器、运动控制子系统、传感器控制子系统、摄像头控制子系统以及上位机 APP 等部分组成。主控器是控制系统的“大脑”,将信息、命令在主控制器中进行汇总、处理,并发送到各子系统中,进而完成各种命令。运动控制子系统根据相应的命令,通过控制电机的运行速度和运行方向,来实现前进、后退、转向姿态调整等运动。传感器控制子系统负责收集电机运动、周围环境的各种数据,如电机运行速度、环境温湿度等,并将数据发送到机器人主控器中进行汇总、分析^[8]。摄像头传输子系统可以用来对现场环境进行实时监控,具有录像以及录像回放功能,并可以利用其中的红外相机探测环境温度,当设备温度过高时具有报警功能^[9]。

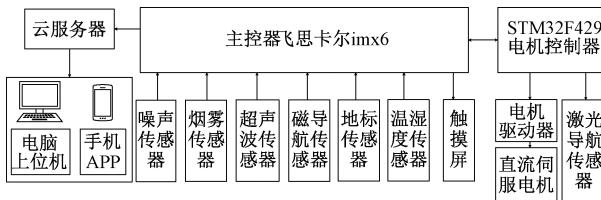


图 1 控制系统总体设计

2 主控器设计

根据安防机器人运动控制系统总体设计方案,本节将展开对安防机器人运动控制系统的主控器进行设计。主控器作为智能安防机器人中央控制系统的中心,起着重要的枢纽作用,其需要实现的功能主要包括:1)与机器人各子系统进行通信和控制;2)通过搭载操作系统对机器人同一时间需要进行的工作进行多线程分级管理;3)与上位机以及手机 APP 等进行远程通信^[10]。因此主控制器的性能优劣和工作的稳定性对智能安防机器人起着至关重要的作用。

主控制器的硬件部分是由核心芯片及其相关外围扩展电路构成。其中核心芯片选用飞思卡尔的工业级处理器 imx6,如图 2 所示,其包含 2 个 ARM® Cortex™-A9 内核^[11],每个内核运行频率高达 1.2 GHz,带有 1 MB L2 缓存和 1 GB DDR3,支持搭载 Linux、安卓等操作系统。该款处理器在电动汽车领域被大量使用,其具有性能优越、可靠性高、能耗低的特点。本文通过该款处理器搭载嵌入式

Linux 操作系统,同时结合 QT 框架进行智能安防机器人开发界面设计,可以很好的实现各项功能需求。

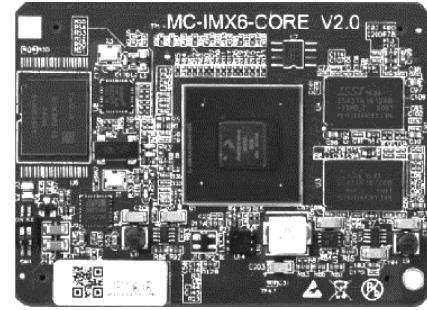


图 2 飞思卡尔 AR® Cortex™-A9 双核处理器 imx6d

主控制器外围扩展电路设计是根据智能安防机器人功能需求进行确定的,其 PCB 线路板上的元件主要包括 4G 通信模块、WiFi 通信模块、2.4 GHz 通信模块、以太网通信模块、LVDS 通信口、232 通信口及 485 通信口等,具体如图 3 所示。

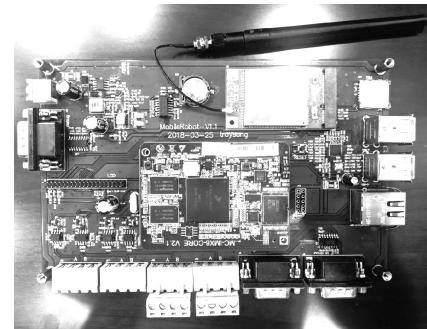


图 3 主控制器 PCB 线路板

3 运动控制子系统设计

根据运动控制系统总体设计方案,本节将展开对巡检机器人运动控制系统的具体设计。由于该运动控制系统整体采用模块化的设计思想,因此该方案在增强系统容错能力的同时,还能提高系统的可扩展性,使智能安防机器人在执行工作任务时表现出优异的适应性与稳定性。

3.1 电机控制器设计

本文设计的电机控制器的芯片选取由意法半导体生产的 STM32F429IGT6。该控制器是基于 ARM Cortex-M4 32-bit 的 MCU,其运行频率最高可达到 180 MHz,拥有 2 MB Flash 和 256+4 KB RAM,带有单周期 DSP 乘法器、浮点运算单元以及 255DMIPS 整数运算能力(25.5 亿次整数运算),基于 ARM v7 结构,支持 Thumb-2(精简指令)指令集并且具有 8 个串口,17 个定时器,3 个 ADC 和 20 路通用接口等。根据智能安防机器人运动控制系统要求,在 STM32F429 核心版的基础上设计了针对 4 台永磁同步电机的外围电路,如图 4 所示。

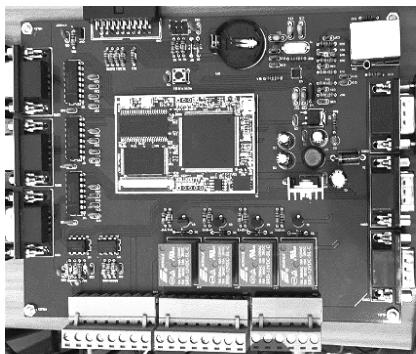


图4 STM32F429 电机控制器

3.2 电机驱动器设计

电机驱动器位于电机控制器与永磁同步电机之间,作为将电机控制器控制信号进行放大的中间电路。电机驱动器的设计是运动控制系统能否成功实现的关键,由于智能安防机器人采用了4个相同的电机,因此采用4个相同的电机驱动器。该电机驱动器不仅是电机调速、换向、刹车的实现方式,还是控制逻辑、保护电路的实现。电机驱动模块在完成输出PWM信号来控制电机的同时,还与电机主控制器进行实时通信。电机控制框图如图5所示。

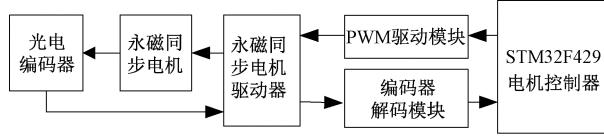


图5 电机控制框图

4 传感器子系统设计

智能安防机器人的作用是为了代替人工自主的完成进行一系列的安防、巡检任务,因此,智能安防机器人必须具有感知外界环境的功能,这便依赖于多种传感器的配合。采用多传感器融合技术可以结合多种传感器的功能,取长补短,从而具有更高的精度^[12]。本文设计的智能安防机器人传感器子系统具有传感器数据采集功能,采集各种传感器,主要包括导航信息和环境信息的采集;数据处理功能,将传感器采集的数据信息进行融合,判断出智能安防机器人接下来的行为。

4.1 导航传感器

为了保证智能安防机器人可以根据规划好的路线进行日常安防巡检任务以及能够对安防巡检路线上出现的障碍物进行避障,智能安防机器人装有磁导航传感器、超声波传感器以及地标传感器。

1) 磁导航传感器

磁导航传感器主要与磁条、磁道钉或者电缆等磁性物质搭配使用,使用磁条、磁道钉^[13]或者电缆等磁性物质的目的是对机器人所搭载的自主导航设备的前进方向、工作

位置或者其它巡检区域进行预先设计规划,磁导航传感器具有价格低廉、抗干扰能力强、对环境要求低的优点^[14]。本文设计的机器人控制系统中使用的磁导航传感器具有多组微型磁场检测传感器,在磁导航传感器上,每个磁场检测传感器均与一个磁场探测点相对应。当磁导航传感器运行到磁条上方时,与磁场探测点相对应的磁场检测传感器能够根据机器人所在的位置,将探测到的磁带强度转变为相应的电信号,并通过电路传输到磁导航传感器的控制芯片中,控制芯片对接收到的电信号进行数据处理、转换,进而测出每个探测点所在位置的磁场强度。根据磁条的磁场特性和磁导航传感器采集到的磁场强度信息,智能安防机器人主控制器就能够确定磁条相对磁导航传感器的位置,进而对智能安防机器人的运动姿态、运行路线等进行下一步的动作调整。

2) 超声波传感器

超声波传感器在智能安防机器人上用来检测机器人运行道路上的障碍物,超声波传感器的数量及分布位置可根据实际情况设定,安装在车体四周^[15]。当机器人运行道路上出现障碍物时,超声波传感器可以检测到机器人与障碍物的距离,进而把检测的距离数据传输至主控制器,在主控制器程序设定中,当1 m范围内出现障碍物时,机器人将停机等待,待障碍物移除后,机器人继续执行任务。

3) 地标传感器

智能安防机器人在执行任务时难免会遇到各种路况,此时机器人必须具有判断接下来动作的能力,另外,智能安防机器人在日常巡逻路线上需要对路线上的一些设备进行细致检测。此时地标传感器将发挥巨大的作用。本文将地标传感器安装在机器人底部,当地标传感器检测到射频卡时,会读取射频卡信息,读取的信息通过串口传入主控制器,从而控制机器人左转、右转、加速、减速、停车以及在特定地点进行特定任务等动作。

4.2 环境监测传感器

导航传感器保证了智能安防机器人可以顺利、安全地进行日常安防巡检任务。另外,由于智能安防机器人在工作时不仅需要监测工业设备的运行状态,而且需要收集外部环境数据,如温湿度、烟雾等,因此环境监测是机器人必须配备的功能,此时环境监测传感器的作用显得异常重要。本文设计的智能安防机器人主要利用了温湿度、烟雾以及噪声3种传感器来实现对机器人运行环境的监测,当外部环境变化超过允许范围时,机器人发出报警信息,提示操作人员进行处理。

5 摄像头控制子系统设计

智能安防机器人摄像头控制子系统是由包含可见光摄像机和红外热成像摄像机的双视摄像机构成。可见光摄像机用来对现场环境进行实时监控,并且具有录像以及录像回放功能;红外热成像摄像机用来对现场的设备温度进行

实时的检测,当设备温度过高时具有报警功能,不放过任何一处温度异常点,精度十分准确。同时,双视摄像机具有云台控制功能,可以通过后台控制实现对摄像机的控制,从而实现对现场环境 360°无死角的监控。智能安防机器人通过双视摄像机可以实现对巡检范围内事物的可见光与热成像图像的双重采集,并将数据通过 4G 远程传输到上位机和 APP,方便技术人员对现场场景进行实时监控与分析。在巡检机器人、电动汽车的自动充电以及等社会的方方面面发挥举足轻重的作用^[16]。

6 软件设计开发

6.1 QT 界面框架搭建及触摸屏界面显示

软件设计开发选用 QT 的开发环境进行开发,QT 是一款基于 Linux 的开发工具,具有功能强大、开放性高的优点^[17]。主要包括嵌入式 Linux 系统开发、QT 界面框架搭建,主控制器与底盘控制器及触摸屏的联机通讯、触摸屏界面显示以及主控器与云端服务器实时数据交互等,其中触摸屏主界面如图 6 所示。

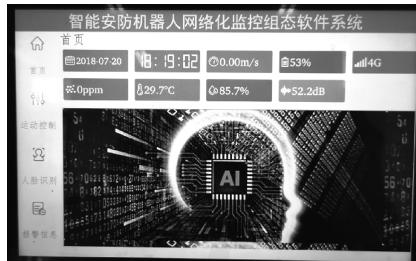


图 6 触摸屏主界面

6.2 APP 与 PC 上位机开发

APP 与 PC 上位机作为人机交互中非常重要的一部分,是机器人展现智能化程度的重要门窗,工作人员可通过手机端 APP 和 PC 端上位机对智能安防机器人的各项数据进行实时监测与显示,同时 APP 与上位机还可以显示智能安防机器人的实时及历史报警信息,方便工作人员进行相应处理。除此之外,工作人员还可以通过 APP 和上位机对机器人双视摄像机传输过来的可见光与热成像视频进行实时监测与录像回放,部分 APP 和上位机画面如图 7 和 8 所示。

7 试验及结果

当智能安防机器人控制系统设计完成后,需对其进行系统性测试、分析,确保所设计的各子系统能够满足智能安防机器人的性能指标。本文重点对安防机器人主控器与电机控制器、各传感器的通信进行了测试实验。

7.1 主控器与电机控制器通信实验

主控器与电机控制器之间通过串口进行通信,为保证主控器与电机控制器之间能够实时、优质通信,确保机器人



图 7 APP 界面



图 8 上位机首页界面

能够根据主控器发出的命令进行相应动作,本文主要针对主控器与电机控制器采集的电机的速度、电压、电流信息的传输进行了实验。智能安防机器人的电机设定转速为 250 r/s,额定电压为 48 V,电机控制器会将速度信息、电压信息、电流信息发送到主控器,主控器再将上述信息显示至触摸屏,如图 9 所示,为触摸屏所显示的电压、电流、速度信息,实验结果证明主控器和电机控制器通信良好。

智能安防机器人网络化监控组态软件系统					
功能	运动控制				
	名称	电压	电流	电量/转速	温度
首页	电池	48V	-1.90A	52600mAh	31°C
运动控制	电机1	48V	-0.95A	-246rpm	33°C
	电机2	48V	0.20A	257rpm	34°C
	电机3	48V	-0.22A	-252rpm	33°C
	电机4	48V	0.17A	258rpm	33°C

图 9 触摸屏电机运行信息

7.2 主控器与传感器通信实验

为保证智能安防机器人能够探测外部环境变化以及确保机器人按照固定路线进行巡检,本文对主控器与导航传感

器以及环境检测传感器之间进行了通信实验测试,以测试其实际功能,并测试当多个传感器工作时,能否实现正常通信。

1) 导航传感器通信测试

为验证智能安防机器人与导航传感器之间能够正常通信,本文对导航传感器进行了实验测试,实验结果证明智能安防机器人能够根据预先设置的轨道进行运动,并当行驶前方出现障碍物时,机器人能够自动停止,当障碍物移除后,机器人能够按照轨道继续前行。导航传感器实验如图10所示。



图10 导航传感器实验

2) 环境监测传感器通信测试

为了验证智能安防机器人与各环境监测传感器之间能正常通信,本文对环境监测传感器进行了实验测试。实验结果证明,智能安防机器人能够有效对温湿度、噪声值、烟雾浓度等环境信息进行监测,并且将各传感器发送的信息传送到触摸屏上,显示界面如图11所示,并且当周围环境发生异常时,机器人能够进行报警处理。



图11 环境监测信息

以上实验结果证明了智能安防机器人主控器能够与电机控制器、各传感器进行良好的通信,能够满足机器人的各项工作要求。

8 结 论

本文设计了一种安防机器人控制系统,该系统主要运用于控制机器人本体沿轨道运行,实现对厂房内工业设备的自动安防。控制系统基于模块化设计,包括控制器子系统、运动控制子系统、传感器子系统等。控制系统各子系统相互配合工作,能够准确完成工业设备数据地采集,并将采

集结果及时发送给操作人员。通过实验证明了所设计控制系统的可靠性和灵敏性,并为其他智能安防类机器人设计提供了参考。

参考文献

- [1] 周立辉,张永生,孙勇,等.智能变电站巡检机器人研制及应用[J].电力系统自动化,2011,35(19):85-88,96.
- [2] 周方伟. ABB 机器人弧焊系统的研究与分析[J]. 电气时代,2011(5): 112-113.
- [3] GLAMNIK A, ŠAFARIČ R. Control of KUKA KR 5 robot with a haptic device[C]. International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, IEEE, 2012:1-7.
- [4] 张红霞.国内外工业机器人发展现状与趋势研究[J].电子世界,2013,12(3):5-7.
- [5] 周胜付. 21世纪我国工业机器人技术展望[J].黑龙江科技信息,2016,23(1):2-3.
- [6] 宁志明. 基于嵌入式的模块化控制系统设计[D]. 大连:大连海事大学, 2009.
- [7] 罗永超. 基于模块化设计的服务机器人研究与实现[D]. 广州:广东工业大学, 2013.
- [8] 董晓庆, 黄杰贤, 张顺扬. 步进电机驱动器的关键技术研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008, 8(6): 14-17.
- [9] 王振中. 基于嵌入式 Linux 的视频采集与传输系统[D]. 南京:南京大学, 2006.
- [10] 张奔,卞新高,朱灯林.基于 ARM9 的四足机器人控制器设计[J].测控技术,2017,36(7):66-69,74.
- [11] 张通. 基于 ARM Cortex-A9 处理器的嵌入式实时控制平台的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2017.
- [12] 祖丽楠,张强,梁静,等. 变电站巡检机器人导航方法研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(9):198-201.
- [13] 白智慧. 磁导航传感器系统的设计与开发[D]. 武汉:武汉理工大学, 2008.
- [14] 刘笑,郑恩让.基于 STM32 的磁导航 AGV 控制系统设计[J].电子世界,2018(10):110-112.
- [15] 姚鹏程,李小坚,翁舟波,等.一种机器人超声波传感器系统[J].山西电子技术,2004(2):22-24.
- [16] 宋晓明.变电站智能巡检机器人关键技术研究[D].长沙:长沙理工大学, 2013.
- [17] 王茂森,陈浩然,戴劲松.基于 Linux 的某工业机器人控制系统设计[J].仪表技术,2015(7):7-9,14.

作者简介

薛天格(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为电力系统。

E-mail:617262638@qq.com