

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.05.045

基于 Arduino 单片机与 LabVIEW 的消防机器人设计

王斌¹, 冯爽¹, 陈祥²

(1. 云南农业大学 机电工程学院, 云南 昆明 650201; 2. 宁波财经学院 数字技术与工程学院, 浙江 宁波 315175)

摘要:以 Arduino UNO 单片机为核心控制单元, 基于 LabVIEW 开发平台设计一款消防机器人。该机器人分为上位机控制系统与下位机控制系统, 上位机控制系统由 LabVIEW 开发环境设计, 下位机控制系统由 Arduino 控制单元、传感器信息采集模块、运动模块、无线通信模块、灭火模块、自动避障模块组成。根据行业标准建立消防机器人原型机并进行测试, 测试结果表明: 设计的机器人能够稳定实现各项功能, 具有一定的实际应用价值。

关键词:消防机器人; Arduino; LabVIEW; 控制系统; 设计

中图分类号: TP273⁺.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2024)05-0213-05

Design of Fire Fighting Robot Based on Arduino Single-chip and LabVIEW

WANG Bin¹, FENG Shuang¹, CHEN Xiang²

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Digital Technology and Engineering, Ningbo University of Finance And Economics, Ningbo 315175, China)

Abstract: With Arduino UNO being the core control unit, and based on LabVIEW development platform, designs a fire fighting robot, which is divided into upper computer control system and lower computer control system. The upper computer control system was designed by LabVIEW development environment, the lower computer control system was composed of single-chip microcomputer control unit, sensor information acquisition module, motion module, wireless communication module, fire fighting module and automatic obstacle avoidance module. According to the industry standards, the prototype system of fire fighting robot was established and tested. The results show that the designed robot can perform various functions and has certain practical application value.

Keywords: fire fighting robot; Arduino; LabVIEW; control system; design

0 引言

火灾现场存在着的高温、浓烟、各种具有剧毒性、爆炸性的化学品, 严重威胁着消防人员的生命安全。近年来, 消防人员在救灾过程中牺牲、致残的事件高发。因此, 研发一款能替代消防人员进入事故现场并能全面地完成侦察、灭火等任务的消防机器人 (fire fighting robot) 迫在眉睫。

在过去的二十几年中, 各种用途的消防机器人已相继问世。文献[1]设计了一种不仅具有强大的爬坡和越障能力还可远程控制灭火作业的消防灭火机器人。文献[2]设计了一种可向后方实时显示火灾情况、环境信息和幸存者分布的消防侦察机器人。文献[3]研发了一种排烟、照明、行走类消防救援机器人。文献[4]设计了一种具备循迹、路径规划^[5]与排爆功能的消防排爆机器人。上述机器人往往存在环境检测项目少、无线通信

功能不稳定、只有环境检测功能而无避障功能, 或者只能手动控制而无法自动控制、上位机控制系统接线杂乱、价格昂贵等诸多缺陷。

本文提出一种人机交互性强, 操作简单的集移动、环境检测、无线数据传输、自动避障、灭火等多功能于一体的消防机器人。

1 消防机器人总体设计

1.1 总体方案设计

本文设计的消防机器人总体结构如图 1 所示, 分为上位机控制系统 (简称上位机) 与下位机控制系统 (简称下位机) 两部分, 上位机由 LabVIEW 开发环境设计, 下位机程序由 Arduino IDE 开发环境设计。下位机由 Arduino 控制单元、传感器信息采集模块、运动模块、无线通信模块、避障模块、灭火模块组成。上位机与下位机通过无线通信模块进行通信。

基金项目: 浙江省教育厅一般科研项目 (Y202250729)

第一作者简介: 王斌 (1993—), 男, 浙江舟山人, 博士研究生, 研究方向为机电一体化技术, 2573782855@qq.com。

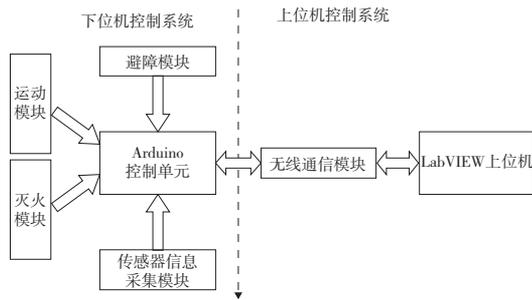


图1 消防机器人总体设计框图

1.2 功能模块设计

该机器人下位机控制系统由 Arduino 控制单元、运动模块、无线通信模块、避障模块、传感器信息采集模块、灭火模块组成。上位机控制系统由运动控制模块、通信模块、控制方式选择模块、灭火控制模块与环境信息显示模块组成。该机器人具有运动(直行、转弯、爬坡、越障、速度档位调节)、灭火、环境参数采集(一氧化碳浓度、粉尘浓度、光照强度、温度、湿度)、无线通信、自动避障等功能。

本课题目标为一种能够替代消防人员进入高温高压、地形复杂、含有大量有毒有害气体的火灾事故现场,集移动、环境检测、无线数据传输、灭火等多功能于一体的智能消防机器人。根据消防机器人行业标准,本课题设计的消防机器人应具有的性能指标如表1所示。

表1 消防机器人性能指标

性能指标	行业标准指标	本课题设计指标
机器人质量	无	总质量 ≤ 10 kg
行进速度	在水平地面上的直行速度应不小于 0.5 m/s	在水平地面上的直行行进最大速度应 ≥ 0.5 m/s
爬坡越障	行走功能应满足消防机器人在灾害现场实现直行、转弯、爬坡、越障等要求	最大爬坡角度 $\geq 25^\circ$,且爬坡时最小速度 ≥ 0.1 m/s;最大越障高度 ≥ 5 cm
遥控距离	≥ 130 m,动作应可靠	既能实现自动控制,也可实现人工遥控控制且遥控距离应 ≥ 130 m
环境参数采集	应满足消防机器人采集环境参数要求	能检测 CO 浓度、粉尘浓度、光照强度、温度、湿度值,并实现无线数据传输

2 下位机控制系统设计

2.1 下位机硬件结构总体设计

综合考虑,本机器人选用 Arduino UNO 单片

机为控制单元。下位机控制系统各模块通过不同的引脚接口与 Arduino UNO 单片机连接完成后组成了该消防机器人的硬件结构。

1) Arduino 单片机数字 I/O 口的 0、1 端口分别连接 APC220 无线通信模块的 TX 与 RX 端。

2) 数字 I/O 口的 2 端口连接温湿度传感器 DATA 端;数字 3、模拟 I/O 口的 A1 端口分别连接粉尘浓度传感器的 LED、OUT 端。

3) 数字 I/O 口的 10、11、12、13 端口分别连接 L298P 电机驱动器的 E1、M1、E2、M2 端口;L298P 电机驱动器的 M1+、M1-、M2+、M2-端分别连接左电机的正极与负极、右电机的正极与负极。

4) 数字 I/O 口的 4、5 端口分别连接车体左侧超声波传感器的 Echo、Trig 端;8、9 端口分别连接车体右侧超声波传感器 Echo、Trig 端;模拟 I/O 口的 A2 端口连接车头左侧红外测距传感器的 V0 端;A3 端口连接车头右侧红外测距传感器 V0 端。

5) 数字 I/O 口的 6 端口连接灭火模块继电器模块的 IN 端,继电器模块的 COM 端与 NO 端分别连接压力泵的正极与单片机的+5V 端,压力泵的负极接地。

2.2 各硬件模块选材与设计

1) 运动模块

消防机器人行进的动力由运动模块提供。该模块保证了机器人能够完成除前进、后退、左右转、速度档位调节等基本动作外,还能够完成越障、爬坡等复杂运动。本模块设计主要分为行进机构设计和电机及其驱动器选择两部分。

a) 行进机构设计

火灾事故现场往往存在杂草丛生、大角度陡坡、多障碍物等地形。综合考虑,履带式行进机构可满足本消防机器人设计要求,另外采用直流电机作为该行进机构的动力输入。消防机器人行进机构模型如图2所示。该机构由电机与支架、主动轮、从动轮、履带、底盘组成。

b) 电机及其驱动器选择

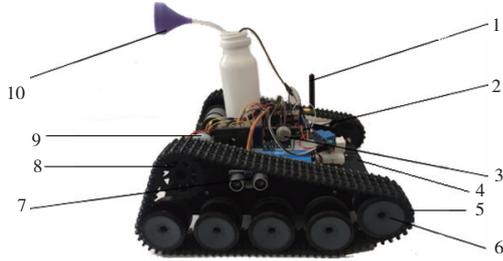
根据行业标准,机器人直行最大速度 v 应不小于 0.5 m/s(取 $v=0.5$ m/s);能以不低于 0.1 m/s 的爬坡速度爬上至少 25° 的斜坡(取坡角为 30°),此处取消防机器人总质量 $m=10$ kg。所需的电机功率计算如下(取履带与地面的滚动摩擦因数为 0.2,滑动摩擦因数 μ 为 0.5)。

①机器人若要爬上 30° 的斜坡,所需牵引力 F_1 (单位:N)为

$$F_1 = G \cdot \sin 30^\circ + \mu \cdot G \cdot \cos 30^\circ = 10 \times 9.8 \times 0.5 + 0.5 \times 10 \times 9.8 \times \cos 30^\circ = 91.4 \quad (1)$$

机器人若要以不低于 0.1 m/s 的爬坡速度爬上该斜坡,电机所需的最小功率 P_1 (单位:W)为

$$P_1 = F_1 \cdot v_1 = 91.4 \times 0.1 = 9.14 \quad (2)$$



1—无线通信模块;2—Arduino 控制单元;
3—传感器信息采集模块;4—底盘;5—履带;
6—从动轮;7—避障模块;8—主动轮;
9—电机及支架;10—灭火模块。

图 2 行进机构模型图

②当机器人在平地上做匀速直线运动时,机器人所需牵引力 F_2 (单位:N)为

$$F_2 = \mu \cdot G = 0.2 \times 10 \times 9.8 = 19.6 \quad (3)$$

机器人若要以 $v_2 = 0.5$ m/s 速度保持该运动,所需电机功率 P_2 (单位:N)为

$$P_2 = F_2 \cdot v_2 = 9.8 \quad (4)$$

综上,机器人电机功率需要至少 9.8 W,牵引力达到 91.4 N 才能满足设计要求。由于机械设计中存在较大的机械磨损,对实际参数进行选型时一般取 2 倍的安全系数,故取 20 W 为最低功率。本设计根据机器人机械特性和设计要求选择了两台 25 W 的 37GB520 直流减速电机。该减速电机输出的力矩 T (单位: $N \cdot m$)为

$$T = 2.5 \times 9.8 \times 0.01 \times 30 = 7.35 \quad (5)$$

由力矩公式 $T = F \cdot r$ (r 为主动轮半径,测得主动轮直径为 4.5 cm, F 为推动主动轮的力),可计算出电机经过主动轮带动履带的牵引力(单位:N)为

$$F = T/r = 7.35 \div (4.5 \div 2 \times 0.01) = 326.67 > 91.4 \quad (6)$$

由上述计算可知,37GB520 直流减速电机满足设计要求。由于电机额定功率较大,单片机无法直接控制,本设计选用可同时驱动两台额定功率 25 W 减速电机的 L298P 为电机驱动器。

2) 无线通信模块

上下位机之间的相互通信由无线通信模块实现。根据行业标准,此机器人可实现消防人员遥控控制且遥控距离应 ≥ 130 m,因此设计无线通信模块时必须对传输距离加以考虑。从传输距离和

经济角度考虑,本设计最终选用 APC220-43 无线数传模块为无线传输方式。

3) 传感器信息采集模块

根据设计要求,消防机器人应能检测火灾事故现场的一氧化碳(CO)浓度、粉尘浓度、光照强度、温度、湿度等信息。为了检测这些环境信息,本设计选用可同时检测温度和湿度的 DHT11 数字温湿度传感器;MQ-5 型一氧化碳传感器检测事故现场的 CO 浓度信息;GP2Y1010AU0F 粉尘浓度传感器检测现场粉尘浓度;GY-30 数字光照强度传感器来检测事故现场的光照强度信息。

4) 避障模块

根据设计要求,当消防人员在上位机控制方式选择自动控制模式时,机器人无需后方消防人员遥控控制,将会自动避障。而自动避障功能的实现由避障模块完成。本模块选择 Sharp GP2D12 红外测距传感器和 HC-SR04 超声波传感器。

如图 3 所示,两个红外测距传感器(以三角形表示)布置于机器人车头左右两侧,两个超声波测距传感器(以长方形表示)布置于车体左右两侧。

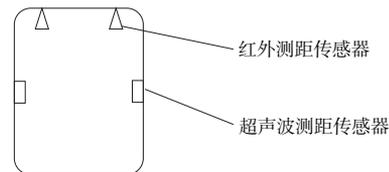


图 3 传感器的配置

5) 灭火模块

消防机器人的灭火功能由灭火模块实现,该模块由继电器模块、压力泵、导管、喷嘴、灭火罐组成。其中,压力泵为 5 V 立式压力泵,继电器选用 1 路 5 V 继电器驱动模块,灭火罐中装有灭火剂。此外,压力泵与喷嘴通过导管连接。当上位机向灭火模块发出灭火指令,继电器接通,压力泵运行,将灭火罐中的灭火剂喷出,完成灭火过程。

2.3 下位机软件设计

1) 上下位机通信协议

前文已经讨论过,该机器人不仅可以实现自动控制也可以实现消防人员远程人工控制。为了更好地实现上下位机通信,制定指令以如下的通信协议形式发送,即

帧头+命令码+操作码

此处规定 0x55 为帧头,0xAA 为人工控制模式命令码,0xFF 为自动控制模式命令码,完整指

令如表 2 所示。

表 2 指令表

指令代码	指令内容	指令代码	指令内容
0x55FF	自动控制模式	0x55AA60	速度档 2
0x55AA	人工控制模式	0x55AA70	速度档 3
0x55AA11	前进	0x55AA80	速度档 4
0x55AA10	停止前进	0x55AA90	速度档 5
0x55AA21	后退	0x55AA81	CO 浓度采集
0x55AA20	停止后退	0x55AA82	温度采集
0x55AA31	左转	0x55AA83	湿度采集
0x55AA30	停止左转	0x55AA84	粉尘浓度采集
0x55AA41	右转	0x55AA85	光照强度采集
0x55AA40	停止右转	0x55AA86	灭火开启
0x55AA50	速度档 1	0x55AA87	灭火关闭

2) 下位机程序工作流程

当下位机控制单元收到上位机发送的“0x55AA”指令,表示消防机器人人工控制模式开启。当下位机控制单元收到上位机发送的“0x55FF”指令,表示消防机器人自动控制模式开启,机器人将开启自动避障功能。人工控制模式需要消防人员通过上位机控制按钮远程控制机器人运动模块完成前进、后退、转弯、速度档位调节动作,控制灭火模块执行灭火等动作,同时下位机也将自动采集环境参数上传至上位机,具体程序流程如图 4 所示。

3 上位机控制系统设计

3.1 系统界面设计

上位机控制系统界面设计主要是指上位机前面板设计,也就是虚拟仪器面板设计。界面设计

是为了更好地实现人机交互功能。

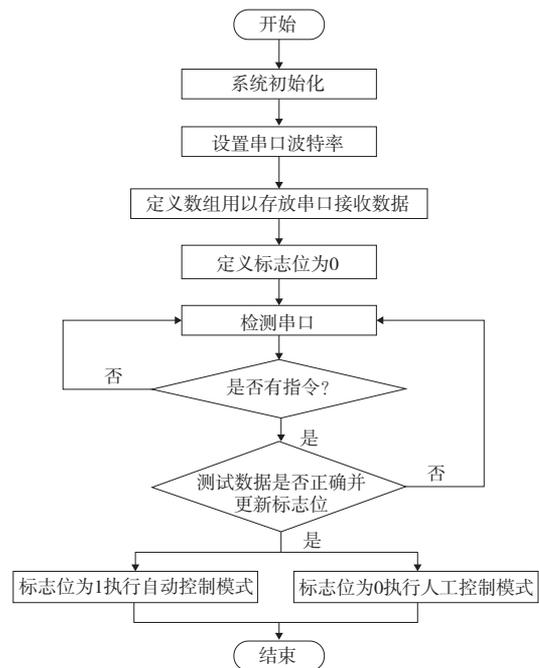


图 4 下位机程序工作流程图

图 5 所示为上位机前面板即虚拟仪器界面。界面左侧的 5 个仪表盘分别用来显示事故现场温度、湿度、粉尘浓度、一氧化碳浓度和光照强度数值,一氧化碳浓度变化趋势由波形图显示。运动控制模块的 4 个布尔按钮分别控制机器人前进、后退、左转、右转动作。运动控制模块右侧的速度档位调节旋钮可对机器人进行 5 档调速。界面右下角的控制方式选项框包含人工模式与自动模式按钮,用于切换机器人控制方式。控制方式选项框下面的灭火按钮用于灭火功能。另外串口号选项框用于选择上下位机通信的串口号,状态机显示栏显示当前检测何种环境参数。

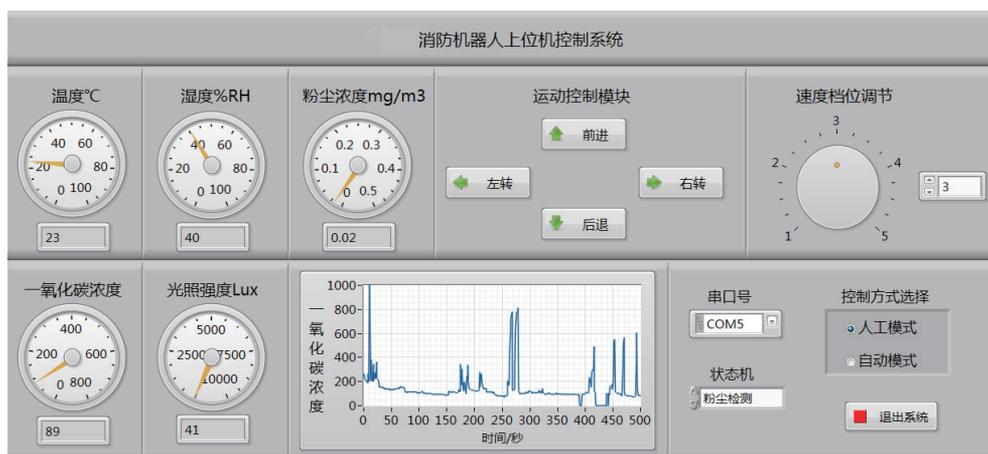


图 5 上位机控制系统界面

3.2 系统程序设计

图 6 为消防机器人上位机控制系统前面板对应的主程序框图。由图可知主程序的结构为顺序结构+条件结构+事件结构+While 循环。首先串口初始化,波特率为 9600 b/s;然后,程序进入 While 循环和事件结构,不断地检测是否有事件得到响应;事件结构有“模式切换”、“前进”、“后退”、“左转”、“右转”、“速度档位”、“超时”等。

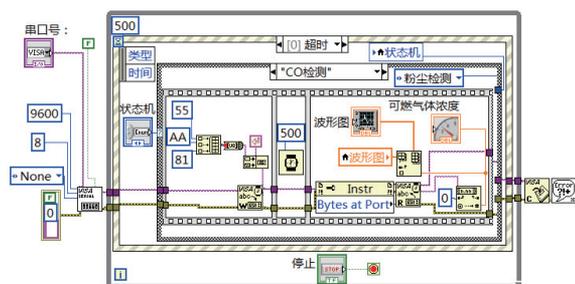


图 6 上位机控制系统主程序框图

4 消防机器人实现与性能测试

4.1 消防机器人实现

图 2 中也显示了消防机器人缩小版原型机下位机控制系统硬件总体结构。图 7 所示为消防机器人原型机上位机控制系统,下位机与上位机通过 APC220 无线通信模块实现无线通信。



图 7 消防机器人上位机控制系统

4.2 消防机器人性能测试

根据消防机器人行业标准中的测试方法,本设计对消防机器人原型机的运动(直行、转弯、爬坡、越障、速度档位调节)性能、环境信息检测(一氧化碳浓度、粉尘浓度、光照强度、温度、湿度)性能以及自动避障性能进行测试。因篇幅有限,本文只对消防机器人环境信息检测性能测试进行详细阐述。

图 5 中还显示了环境信息检测性能测试结果,由图可知:此时消防机器人所测温度为 23℃、湿度为 40%、粉尘浓度为 0.02 mg/m³、一氧化碳浓度数值为 89 mg/m³、光照强度为 41 Lux;波形图所示为 500 s 内的一氧化碳浓度数值变化趋势。

测试结果表明:机器人直线前进的最高速度约为 0.55 m/s;可实现 5 档调速,分别为第 1 档 0.15 m/s、第 2 档 0.25 m/s、第 3 档 0.35 m/s、第 4 档 0.45 m/s、第 5 档 0.55 m/s;能以 0.15 m/s 的速度爬上 30°的斜坡;可越过 5.3 cm 高的障碍;能检测 CO 浓度、粉尘浓度、光照强度、温度、湿度 5 种环境参数,并实现了实时无线数据传输,传输距离最远可达 300 m;能实现系统所设计的自动避障功能。因此所设计的消防机器人满足性能指标要求。

5 结语

本文基于 Arduino 单片机与 LabVIEW 开发环境,设计了一款能够替代消防人员进入事故现场,集移动、环境检测、无线数据传输、自动避障、灭火等多功能于一体的消防机器人。该机器人有效弥补了目前消防机器人普遍存在的环境检测项目少、无线通信功能不稳定、只可手动控制而不可自动控制、上位机控制系统接线杂乱、价格昂贵等诸多缺陷,同时该机器人的成功研制对于 Arduino 单片机与 LabVIEW 在其他领域的应用有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 黄小龙,郭一冉,高阳臻,等. 消防机器人研究进展与分析[J]. 消防科学与技术,2021,40(10):1501-1504.
- [2] 王勇,刘菲菲,傅建桥,等. 消防侦察机器人的设计与实现[J]. 东华大学学报(自然科学版),2018,44(4):630-634.
- [3] 吴俭涛,孙利,余慧,等. 消防救援机器人造型设计[J]. 机械设计,2021,38(11):9-12.
- [4] 刘孝贤,余江,郑徐凯,等. 基于 STM32 的全地形越障排爆机器人设计[J]. 机械,2022,49(9):76-80.
- [5] 张慧贤,杨海军,马利民,等. 消防机器人作业环境智能感知与识别关键技术[J]. 机械制造与自动化,2021,50(6):186-189.

收稿日期:2023-03-14