

doi: 10.7690/bgzdh.2016.05.022

## 预警勘探机器人的设计与试验

杨磊, 宋欣, 胡文韬, 李冰  
(天津农学院工程技术学院, 天津 300384)

**摘要:** 针对矿井勘探过程中的环境参数检测问题, 设计一款预警勘探机器人用于井下数据检测。该机器人采用一系列的传感器作为数据采集设备, 通过 Wi-Fi 实现视频实时监测与实地场景的同步显示。机身采用越野性能较好的轮式小车, 搭载三自由度的机械手作为末端执行机构, 在末端机构上对所需要的样本信息进行采集, 并由无线 Wi-Fi 回传给上位机, 对信号进行反馈处理。结果表明: 该机器人能减少人员伤亡, 为工作人员的健康安全提供保障。

**关键词:** 勘探机器人; 传感器; 无线 Wi-Fi 控制; 预警系统  
**中图分类号:** TP241.3 **文献标志码:** A

## Design and Experimental on Early Warning Exploration Robot

Yang Lei, Song Xin, Hu Wentao, Li Bing  
(Engineering Technology Institute, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** In view of the environmental parameters detection in the mine exploration process, the design of an early warning exploration robot is used to detect the underground data. The robot uses a series of sensors as data acquisition equipment, through the Wi-Fi to achieve real-time video monitoring and field synchronization display. Body with better off-road performance of wheeled vehicle, equipped with three degrees of freedom manipulator as the terminal actuator, on the end effect or of required sample information collection, and by the Wi-Fi wireless backhaul to the host computer and the signal of feedback processing. The results show that the robot can reduce casualties and provide security for the health and safety of the staff.

**Keywords:** exploration robots; intelligent; remote controlling; early-warning system

### 0 引言

由于矿井勘探作业任务繁重致使移动平台需要承受较大的压力, 同时勘探环境较差, 对移动平台的稳定性提出了要求<sup>[1]</sup>。传统的移动平台多为履带式, 在复杂地貌特征的情况下, 数字摄像头的震动较大, 这就降低了采集数据的准确性。

现在的矿井中环境检测设备多为手持式及结点式, 而在有可能威胁到人身安全的工作区域, 往往要借助机器人来代替人完成工作<sup>[2]</sup>。针对机器人体积小、行动安静又易于操控的特点, 在智能跟踪、远程监控、能源开发和抢险救援等方面的工作中具有重大作用, 也常常用于在自然保护区开展动植物的研究工作, 减少了对保护区的人为干扰和破坏<sup>[3]</sup>。

对于可以远程监控, 功耗低, 数据传输快速、安全的智能机器人的研发一直是当前机器人研究的热点。Arduino MEGA2560 平台功能强大, 易于使用, 有多种高效成熟的功能函数, 并拥有大量 I/O 接口。笔者选择 Arduino MEGA2560 平台作为控制器, 来快速、安全地传输并存储数据, 并采用 Wi-Fi 模块来构建通信媒介, 设计了一种远程操控井下预

警机器人<sup>[4]</sup>。

### 1 机器人整体系统组成

#### 1.1 整体系统设计

预警勘探机器人主要由行走模块、抓取模块、目标识别模块、避障模块、环境参数模块、Wi-Fi 模块以及报警模块组成, 形成环境参数检测—内部接收并发送—上位机显示的框架。预警勘探机器人的系统简图如图 1 所示。

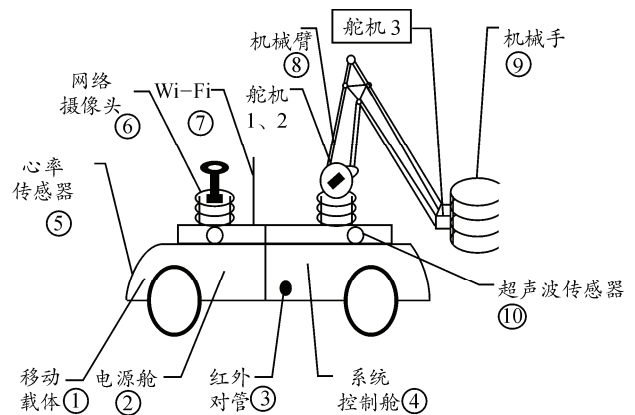


图 1 机器人的系统简图

收稿日期: 2016-01-14; 修回日期: 2016-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51305299)

作者简介: 杨磊(1980—), 女, 内蒙古人, 讲师, 从事力学及机械结构设计研究。

### 1.2 机器人机械系统设计

为了满足灵活性、平稳性的要求，该车基于悬浮式底盘，使得小车的平稳性能较高。摄像头能够实时地采集数据，传递给中央处理器，对环境变化做出合理的调整，以适应井下各种复杂的路况<sup>[5]</sup>。图 2 为预警勘探机器人实物图<sup>[6]</sup>。

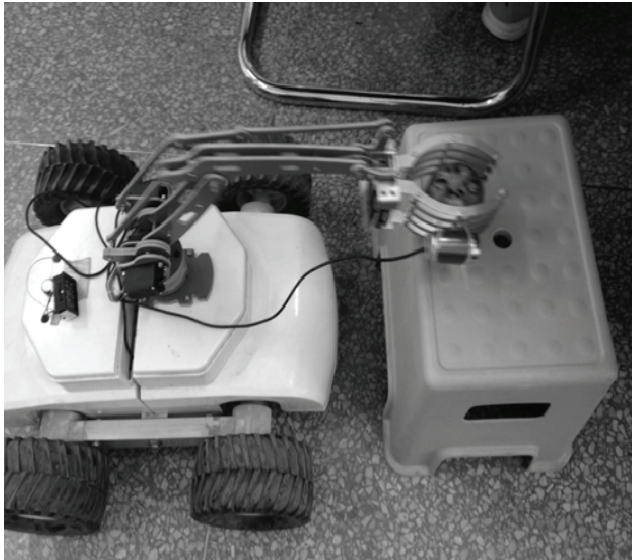


图 2 勘探机器人实物

车身上搭载有机械臂、配置有 Wi-Fi 网络摄像头以及各种环境参数传感器等。4 个电机分别驱动 4 个车轮，电机驱动均为脉宽调制 (pulse width modulation, PWM) 控制，速度可随意调整。车身内部有前后 2 个舱室，分别为电源舱和系统控制舱<sup>[7]</sup>。

与传统四轮小车转向采用差速机构不同，该轮式机器人的转向方式是将控制同侧前后轮转动的电机并联在一起：转向时，同侧的前后两轮同步转动，而另一侧的 2 个轮按相反方向转动，从而使得小车可以原地转向。这种差速转向的方式可以减小转弯半径，更加适合在井下狭小空间工作，更快捷地为工作人员服务。

### 1.3 末端执行器

抓取机构采用三自由度机械臂设计，选用 13 kg/cm 的工作扭矩舵机，控制机械臂的伸展和末端执行器的开合。如图 1 所示，舵机底盘处为旋转自由度，舵机盘带动机械臂旋转，连杆机构带动机械臂抬升和伸出；机械手的舵机移动自由度，控制末端执行器的开合<sup>[8]</sup>。末端执行器为简单的两指式机械手，如图 3 所示。

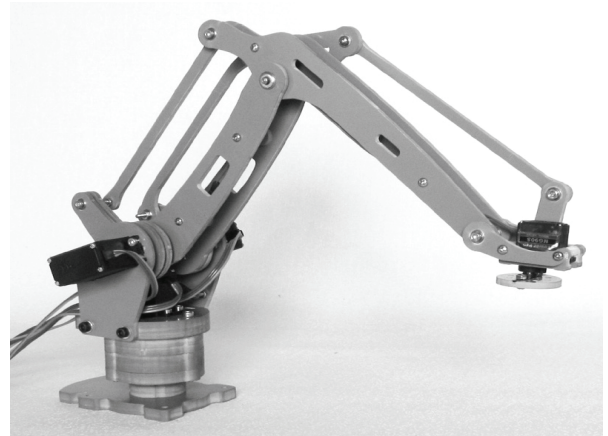


图 3 末端执行器示意图

## 2 行为系统设计

预警机器人行为设计的最终目标是通过设计和程序实现机器人的自主移动，准确无误地完成任任务。图 4 是机器人的行为系统框图。

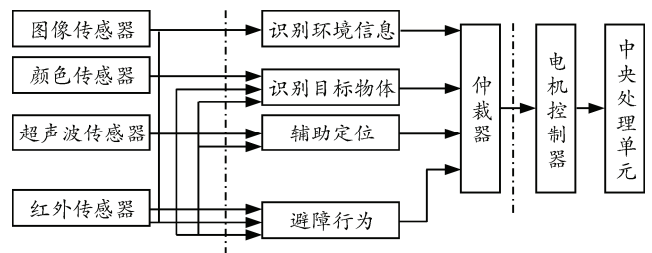


图 4 机器人的行为系统框图

### 2.1 行为传感器参数

摄像头模块采用 CMOS 图像传感器，其像素高达 30 万，帧率为 30 fps，用来采集周围环境的视频像，将其回传给中央处理单元，可实时地传递信息。

利用超声波测距的方式，在小车车身的周围安装有 5 个 HC-SR04 超声波传感器及红外测距传感器，通过不断采集距离参数，找到合适的行走路径，其技术参数如表 1 所示。

表 1 传感器参数

型号	说明
GP2D12 夏普 红外测距传感器	可测量射程范围为 10~80 cm
Grove-Ultrasonic Ranger 超声波传感器	工作电流 15 mA，超声频率为 42 Hz， 测量范围为 3~400 cm，PWM 输出制式 13 kg/cm 扭力的舵机进行控制，旋转角 度为 360°，俯仰角度为 150°
CMOS 图像传感器	

### 2.2 环境传感器参数

采用 DHT11 温湿度传感器和夏普光学粉尘传感器，播报当前环境的温度、湿度以及空气质量。其温湿度传感器温度测量范围 0~50 °C，湿度范围 20%~90% RH，如图 5 所示。

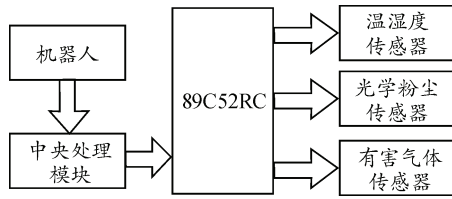


图 5 环境参数采集示意图

Wi-Fi 模块用于上位机和手机与机器人之间的数据交流。Wi-Fi 模块通过串口与主控芯片相连，把接收到的命令发送给下位机进而执行相应的指令。Wi-Fi 还连接一个通用 USB 摄像头，摄像头所采集的数据不经单片机处理就传给上位机或手机，进而对环境进行实时监控。

### 3 控制系统设计

#### 3.1 软件设计

预警勘探机器人的软件设计分为执行程序的设计和操控软件的设计，软件系统分层次设计如图 6。

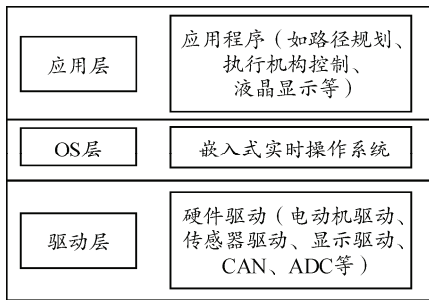


图 6 软件系统层次结构

执行程序的设计是当上位机发送通信数据后，机器人启动并执行相应的动作，程序流程图如图 7。

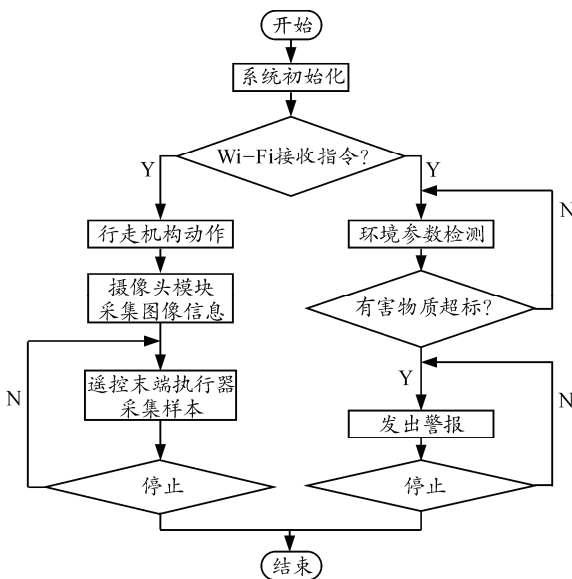


图 7 系统工作流程

根据流程图可以看出：机器人通过无线 Wi-Fi

接收指令信号，控制机器人的走行结构。机器人运行过程中，传感器模块检测环境中有害物质浓度，导致放大电路中的电压发生变化，经过数模转换，电压若超出限制则蜂鸣器发出警报，LED 灯闪烁，报告给矿井工作人员<sup>[9]</sup>。图 8 是输出电压与气体浓度百分比对应曲线。

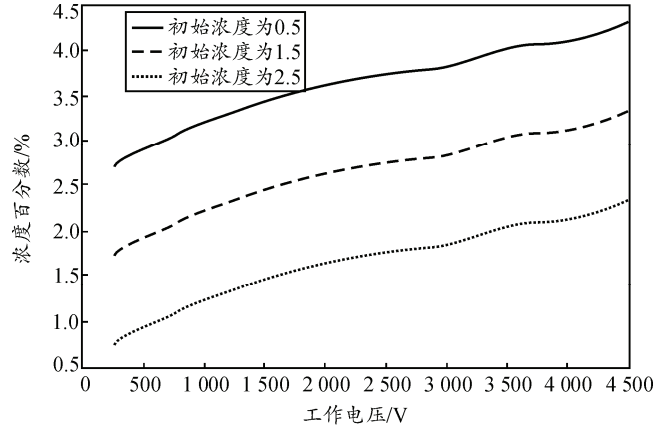


图 8 电压与气体浓度百分比对应曲线

根据报警电路设计，当有害浓度过高时，报警电路电压发生变化，当有害浓度超过限定值时，机器人发出警告信号。

### 4 操控软件设计

操控软件即为上位机软件，上位机发送指令后，各模块开始执行相应的动作，将采集的环境参数回传给上位机，同时主控会在内部进行比较，如果采集的数据有超出设定的范围则会报警。在 PC 机上的操作界面如图 9 所示。

从图中可以看出：操控软件设计是针对预警机器人而设计的上位机操控软件，包含了控制部分和显示界面。通过上位机界面，笔者可以对机器人传回的画面进行分析，作出进一步规划，执行程序设计根据传回的指令进行工作。

上位机操控软件以 PC 为平台，开展对轮式机器人的控制。作为机器人控制的工作界面，该软件是机器人实体与环境信息传递的桥梁，起到了重要的作用<sup>[10]</sup>。

### 5 结语

笔者针对勘探过程中的环境参数检测问题，设计了一款预警勘探机器人。该机器人能利用检测参数的信息，做出不同的反应。当数值超过预警限制时，机器人会发出警报告知矿井工作人员该物质超过警戒。通过提醒工作人员及时撤离可以减少人员伤亡，为工作人员的健康安全提供了保障。



图 9 上位机界面

参考文献：

[1] 宋健, 张铁中, 徐丽明, 等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 158-162.  
 [2] 刘少江, 朱俊楠, 王高亮, 等. 基于嵌入式的无线井下预警机器人[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(9): 124-127.  
 [3] 孙继刚. 序列图像红外小目标检测与跟踪算法研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2014: 8-10.  
 [4] 储开宇, 周金华, 张静, 等. 基于小波分析和神经网络的多传感器融合技术在机床刀具磨损失监测中的应用[J]. 煤矿机械, 2012(9): 261-263.

[5] Dehuai Z, Cunxi X, Xuemei L. Design of a Novel Robot Multisensor Data Acquisition System[C]. Dalian: China, 2005(4).  
 [6] 陈刚. 六足步行机器人位姿控制及步态规划研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2014: 3-5.  
 [7] 机器人技术与应用. 服务机器人科技发展“十二五”专项规划[J]. 机器人技术与应用, 2012(3): 1-5.  
 [8] 侯军, 邱顶, 王普杰, 等. 基于物联网的医用设备电气安全监控系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 91-92.  
 [9] 陶干强, 任青云, 马骄阳. 基于运动学模型的多漏口放矿规律[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 407-410.  
 [10] 刘方湖, 马培荪, 曹志奎, 等. 五轮铰接式月球机器人的运动学建模[J]. 机器人, 2001(6): 481-485.

\*\*\*\*\*

(上接第 79 页)

2) 选用 6061 铝合金重新设计时, 根据优化后的密度云图可知, 枪架大臂结构存在较多的强度富裕的区域, 对强度富裕的区域进行优化减重, 并对优化后的枪架大臂模型进行结构设计, 优化后的枪架大臂的质量减轻了 64%, 轻量化效果十分显著。

3) 对优化后的枪架大臂结构再次进行有限元分析, 得到优化后的枪架大臂结构的最大应力为 1.695 MPa, 较之优化前枪架大臂的最大应力有较大降低, 且远小于 6061 铝合金的许用应力; 因此, 优化后的枪架大臂结果满足强度要求。

综上所述, 优化后的结构不仅将其质量大幅降低了 64%, 还减小了其承受后坐力时的最大等效应力, 获得了更为合理、可靠、经济的大臂结构, 达到了预期优化目的。同时也可以为其他工程结构优化设计提供有价值的参考。

参考文献：

[1] 洪清泉, 赵康, 张攀. OptiStruct&HyperMesh 理论基础

与工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 18-19.  
 [2] 陈峙, 王铁, 张瑞亮, 等. 基于静动态特性的自卸车车架轻量化设计[J]. 太原理工大学学报, 2015(5): 577-582.  
 [3] 沈嵘枫. 基于轻量化的运材跑车齿轮减速机构设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012(S2): 98-101.  
 [4] 傅海龙, 郭保全, 蒋华剑, 等. 某无人作战平台翻转臂的结构优化设计[J]. 计算机仿真, 2015(4): 1-4.  
 [5] 杨良勇, 成传胜. 基于有限元技术的某微型车转向支架拓扑优化的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(9): 88-91.  
 [6] 陈杨. 95 式班用机枪动力学分析及优化设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2005: 37-38.  
 [7] 陈旭, 钱益明, 田云强, 等. 全地形车车架结构灵敏度分析及轻量化设计[J]. 重庆大学学报, 2013(6): 91-97.  
 [8] 王欣, 黄琳, 高媛, 等. 起重机伸缩臂截面拓扑优化[J]. 大连理工大学学报, 2009(3): 374-379.  
 [9] 谷正气, 臧晓蕾, 伍文广, 等. 矿用清障车托举机构疲劳寿命分析及结构优化[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2014(2): 58-63.  
 [10] 周铨, 刘浩, 范昊天. 基于模态和刚度的车门优化研究[J]. 制造业自动化, 2014(16): 27-31.