

## 1. 研究意义：

煤矿井通常具有作业环境恶劣、危险系数高的特点，矿井灾难事故时有发生。由于矿井事故现场环境复杂，人工救援存在效率低、危险性高等问题。

为此，我们团队针对矿井环境中人工搜救困难的问题，从井下搜救的流程及可能遇到的困难出发，设计的具有行走、定位、探测、信息传输、物资输送等多种功能这款矿井救援机器人，能在矿井事故现场发挥搜救作用，同时也能为其他人的设计或改进提供经验。

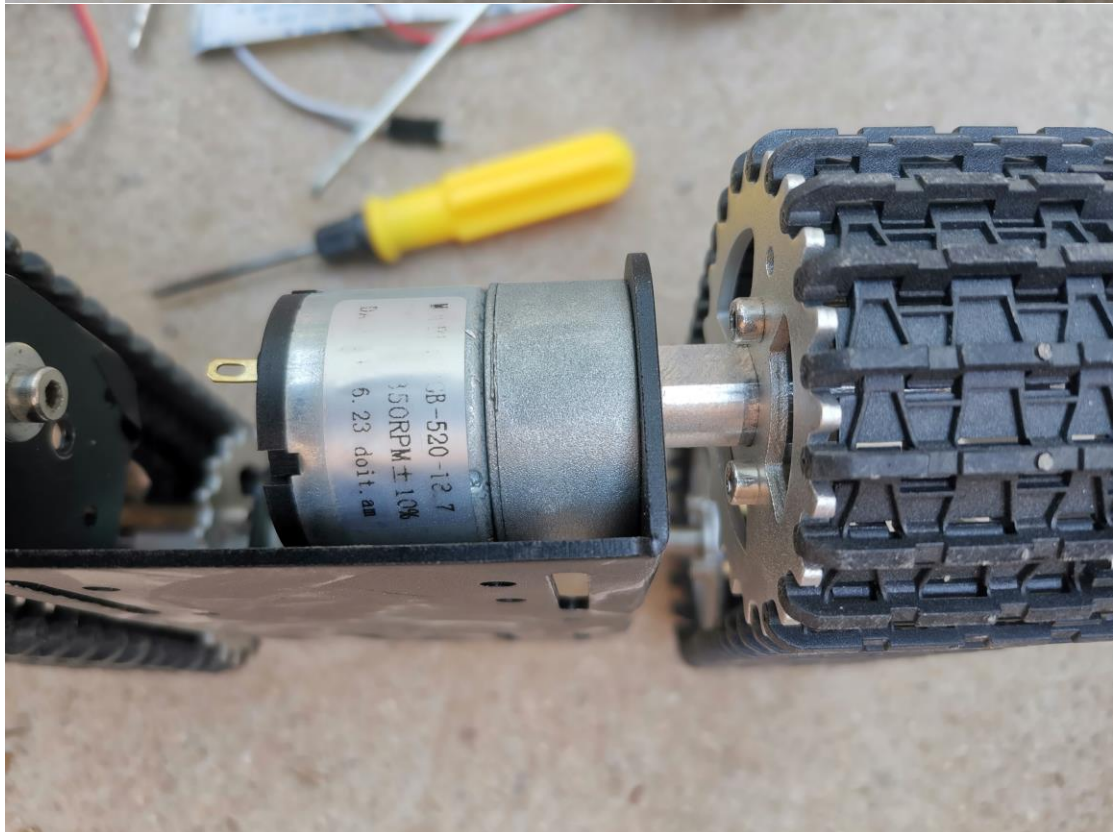
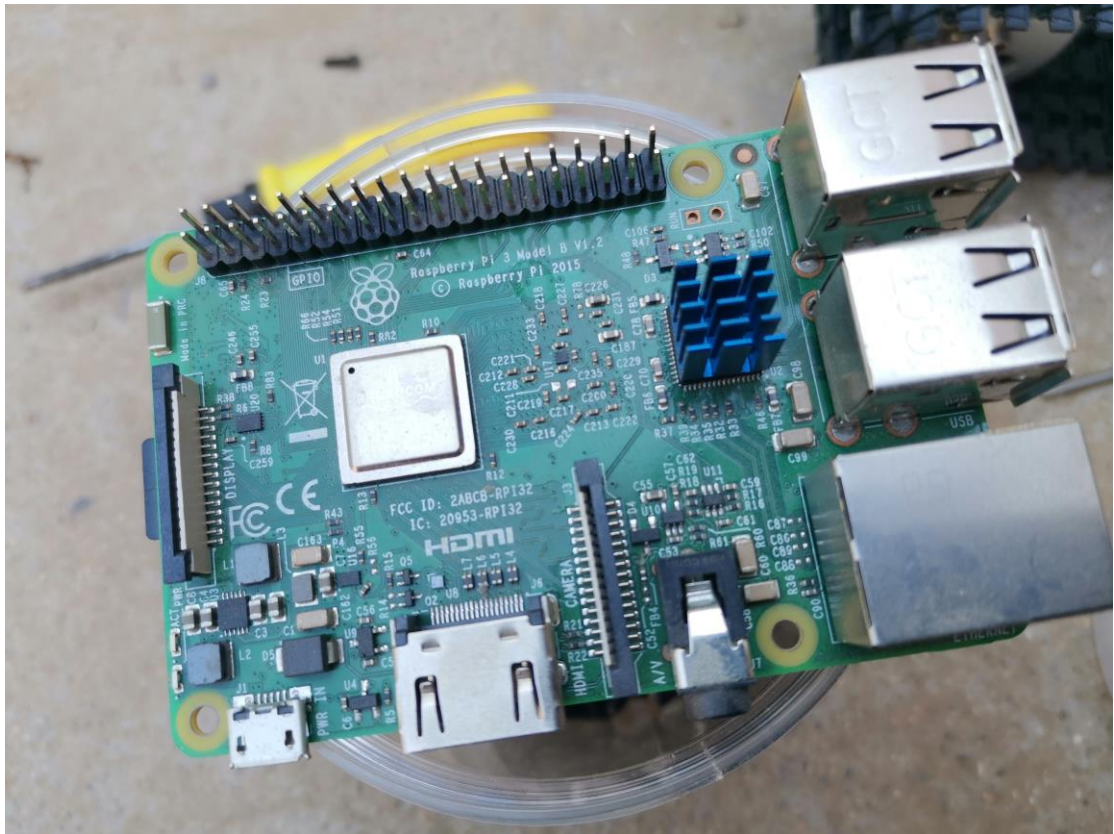
## 2. 项目计划内容与完成情况比对

申请项目时，我们团队拟完成这样一款矿井救援机器人：机器人分为有网与无网两种运行模式，在两种模式下都能完成自主行走、定位与地图绘制、气体识别与密度检测、检测被困人员的人体特征与生命信号、音视频录制、输送紧急救援物资功能。此外无网情况下，机器人收集到信息会将其储存，并在检测到网络时时与后台交互；有网时可通过后台操作机器人。

基于实际情况，我们团队完成的内容如下：

### 1、机器人基本设计

底盘与驱动上，我们采用了 33GB-520 直流减速电机，其适用电压 6-12V，空载电流 100mA，空载速度 170-350 转/分钟，重量约 100g，履带约 4.5cm 宽，配套铝合金轮子与面板；主板与操作系统方面，我们采用了 Raspberry Pi 3 Model B 主板，安装适配于树莓派的 Win10 操作系统，具体硬件参数为 1GB 内存、64 位的 1.4GHz 四核 ARM Cortex-A53 处理器、802.11n WiFi 无线网卡以及计算能力 24 GFLOPs 的 GPU；此外，该机器人配备了红外探测寻迹、超声波测距、人体红外感应等传感器，以及摄像头、照明设备等外设。



## 2、通信模块

目前我们先后测试了主板自带 WiFi 无线网卡、酷翼 X9 联通 WiFi 版 USB 上网卡以及 nRF24L01 芯片（组）的方式进行通信。

对比发现，自带 WiFi 无线网卡传输带宽能满足视频的流畅传输，但通信距离较短，且容易受到墙壁等的信号干扰；酷翼 X9 联通 WiFi 版 USB 上网卡使用直插 SIM 卡时传输带宽能满足视频的流畅传输，且基本不受通信距离的限制，但不能规避井下 4G 信号差甚至无信号的缺点；nRF24L01 芯片（组）能够发射接收信号，但也有通信距离短、穿透弱，以及带宽不足以支撑视频实时传输的缺点。最后，我们决定采用酷翼 X9 联通 WiFi 版 USB 上网卡配置局域网的方式进行通信，这样能够规避 SIM 卡信号差的缺点，并利用该上网卡自带 WiFi 功能比主板 WiFi 穿透强的优势，从而达到最佳效果。



### 3、自主行进与定位

目前我们团队基于避障模块+陀螺仪+加速度计基本实现了无人操控状态下，机器人的避障自主行进。

避障模块我们先后测试了 HC-SR04 超声波测距模块与避障式红外小版。其中测试发现 HC-SR04 超声波测距模块有校探测距离能够达到 3.5m 及以上,且结合 SG90 舵机能够很方便的发现判断前方道路障碍物情况;而相比之下避障式红外小版有校探测距离最大仅约 0.1m, 安装在机器人前半测不能高效独立地完成避障。因此,我们以 HC-SR04 超声波测距模块为主,判断机器人行进的大的方向;以避障式红外小版为辅助,判断当前位置较近的地方的路况进行调整,最终实现了自主行进避障。

定位与路径规划则依赖于机器人的 MPU6050 模块传感器与加速度计。最终测试发现，该机器人能够实现短期内的精确位置推算，虽然随着时间推移，空间定位误差会逐渐增大，但考虑到矿井救援机器人最终要遍历矿道搜救被困人员，还算差强人意。

#### 4、人体识别

人体识别主要分为三个方面，基于红外线技术的 HC-SR501 人体红外感应模块、机器人本地图片中识别人体程序以及网络较好时后台实时查看的肉眼辅助识别。

其中，测试发现 HC-SR501 人体红外感应模块有效识别范围在 6m 以上，虽然感应范围一般不超过 120°，但在安装四个的情况下考虑到巷道宽度一般不超过 5m，加上机器人的持续行进移动，一般情况下基本能够发现被困人员生命信号。

此外我们团队参考开源教程设计了本地运行的的人体识别程序，最终人体正确识别率达到了 82%左右。具体是循环读取摄像头定时传回的照片内容，并装载训练好的模型文件，把照片作为输入值传入机器学习网络，获取输出（其中包含人数、人体位置等信息），如果照片中有人则将含人信息返回，如果无人就不返回。

此外该机器人最终将摄像头录制视频全部写入到了本地，故取消了独立的视频录制模块，并能够负载 5Kg 以上的物资。但由于缺乏相应的硬件设施与模拟环境，该机器人没有配备气体识别与检测模块。



### 1. 视频中的人体识别

传统矿井救援机器人由于时代原因，只是单纯的具有图像采集功能，并没有很好地利用起来摄像模块视频信息。我们团队将基于神经网络的人体识别程序移植到机器人本地上，能够在一定程度上代替人为完成对视频中对人类的识别。

### 2. 多维度生命检测

采用红外+视频识别的方式完成对人类的识别，既能弥补摄像头视角维度的局限性，又能完善人类生命体征较弱时，人体红外感应模块检测能力差的缺点。

### 3. 体积小，续航长

本机器人以探测巷道与搜救人员为主要目标，仅搭载核心功能组件后约 1.1kg，质量轻，体积小，行动快，充满电后续航可达 6h 及以上。

### 4. 自主搜寻与定位

采用避障+陀螺仪+加速度计结合的方式，能够实现无人操控下对巷道的自主搜寻功能。

### 5. 外挂式组件，易更换

本机器人无论是存储设备、各传感器还是电源电池等，多为外挂式组件，可根据实际情况进行针对性的更换、增添或削减(注意需要在指定 GPIO 引脚位置)。