

| | |
|------|--|
| 项目编号 | |
|------|--|

大学生创新创业训练计划

项目申请书

项目名称 矿井救援机器人

项目负责人 芦**

联系电话

所在学院 国际软件学院

学 号 2017*

专 业 软件工程

指导教师 蔡**

申请日期 2019 年 1 月 14 日

教务处制

填 写 说 明

1、本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达严谨，简明扼要。

2、申请人可以是个人，也可以是创新团队，“项目编号”不填。

3、本申请书为 A4 纸双面打印，左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。

4、负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，由学院统一将申请书（一式 3 份）报送教务处。

承诺书

我保证填报内容的真实性，不存在知识产权争议。如果获得资助，我与本项目组成员将严格遵守学校的有关规定，并按计划认真开展研究工作，在项目研究过程中或结束时，接受学校对本项目的中期检查和结题验收，并按时提交工作总结和结题报告。

负责人（签名）：

成员（签名）：

年 月 日

一、基本情况

| | | | | | | | |
|--------|---|---------------------------|-------|-------|-------------|--------|----|
| 项目名称 | | 矿井救援机器人 | | | | | |
| 项目级别 | | | | | 项目类型 | 创新训练项目 | |
| 学科一级门 | | 工学 | | | 学科二级类 | 计算机类 | |
| 项目起止时间 | | 2019 年 03 月 至 2020 年 03 月 | | | | | |
| 负责人姓名 | 芦** | 学号 | | 学院/专业 | 国际软件学院/软件工程 | 联系电话 | |
| 指导教师 | 蔡** | 职称 | 副教授 | 所在单位 | 计算机学院 | 联系电话 | |
| 项目组成员 | 姓名 | 学号 | 学院/专业 | | 联系电话 | | 邮箱 |
| | 石** | | | | | | |
| | 姜** | | | | | | |
| | 陈** | | | | | | |
| 项目简介 | <p>我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国,但煤矿行业危险岗位多,事故时有发生,仅2018年上半年,全国煤矿事故死亡就有155人。为此,国家煤矿安监局于1月2日制定公布了2019年一号文件:《煤矿机器人重点研发目录》(以下简称《目录》),重点研发应用掘进、采煤、运输、安控和救援5类、38种煤矿机器人,并对每种机器人的功能提出了具体要求。</p> <p>以此为背景,我们团队着重《目录》第五类之第三十七项:矿井救援机器人,研发适用于煤矿井下水、火及瓦斯的灾后救援机器人,完成自主行走与搜索、导航定位与地图绘制、被困人员检测与人类生命探测、音视频录制与交互、气体识别与密度检测、紧急救护物资输送等功能,以实现灾后恶劣环境被困人员自主搜寻与救助。</p> | | | | | | |



《煤矿机器人重点研发目录》公布

2019-01-11 15:38

来源：煤监局行管司

字体：【大 中 小】

打印

分享

日前，国家煤矿安监局召开新闻通气会，正式公布《煤矿机器人重点研发目录》（以下简称《目录》）。

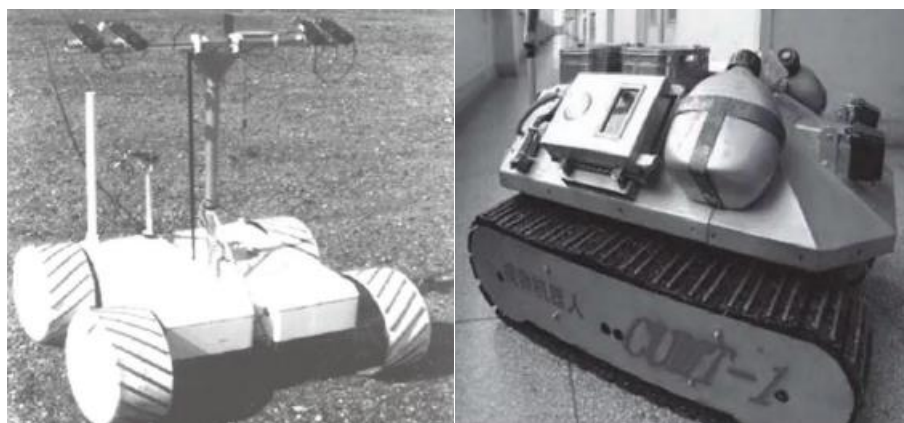
《目录》结合煤矿机器人研究现状，将重点研发的煤矿机器人分为掘进、采煤、运输、安控和救援共5类、38种，聚焦关键岗位、危险岗位，对每种机器人的功能提出了具体要求。《目录》的发布，在于引导更多煤炭企业、科研机构及机器人制造企业参与进来，集中力量，从煤矿安全生产实际出发，提出切实可行的技术路径，尽快在煤矿机器人研发技术中有所突破，力争把煤矿工人从恶劣环境与危险繁重的劳动中解放出来，对煤矿机器人研发应用具有重要的指导作用。

国家煤矿安监局鼓励支持煤矿企业与国内外科研单位、机器人制造企业开展合作，大力研发应用煤矿机器人，同时，在协调指导、政策支持、标准制定等方面积极发挥作用，为煤矿机器人研发应用营造良好环境，推进煤炭工业高质量发展，推进煤矿安全发展。煤矿机器人协同推进中心将及时了解并发布煤矿机器人研发应用最新进展，为煤矿机器人研发应用的企业（单位）提供相关政策和信息服务，协调解决研发应用过程中遇到的问题和困难。

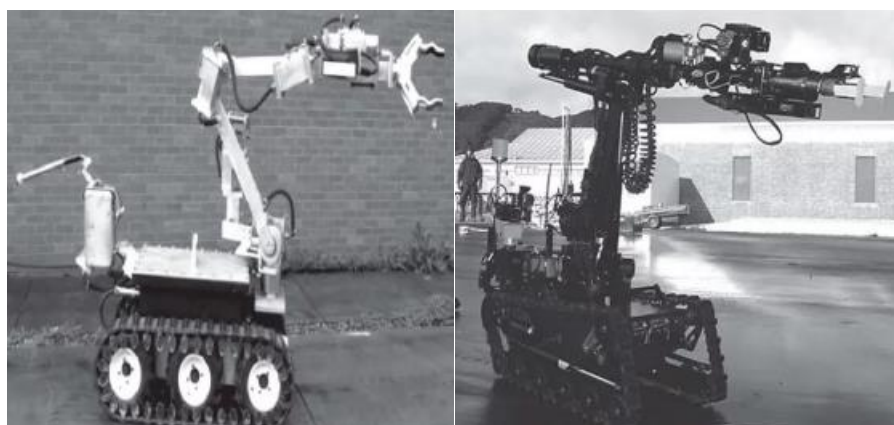
二、立项依据（可加页）

（一）申请理由（1000 字左右，包括自身/团队具备的知识、条件、特长、兴趣、前期准备、项目研究的国内外研究现状和发展动态等）

我们团队共有五人，其中四名同学来自计算机学院，一名同学来自动力与机械学院。团队中，有接触过树莓派主板与系统经验的成员，有在嵌入式开发工程师助理岗位实习过的成员，有在实验室大半年经历的成员，半数也对 Tensorflow 充满兴趣，再加上来自动力学院的成员无人救援车移动与物资运输等硬件实现的理论支持，加上老师的帮助与指导，我们相信本团队一定能出色地完成本项目，做出具有实用功能与现实意义的矿井救援机器人出来。



世界上第 1 台矿山救援机器人是由美国智能系统与机器人中心于 1998 年研发的“RATLER 矿井探索机器人”（上图左）。中国第 1 台矿山救援机器人是由中国矿业大学于 2006 年 6 月研制的“CUMT-I 型矿山救援机器人”（上图右），至今已发展到第 4 代，做到了集环境探测、给养运输、灭火、救运伤员于一体。



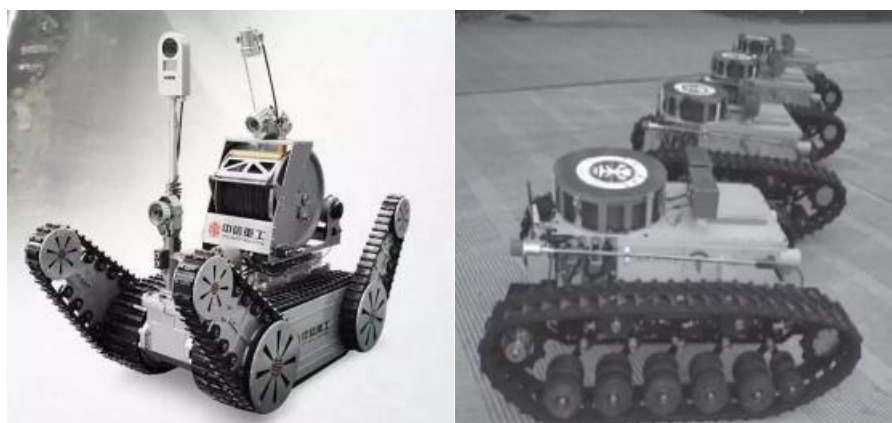
2006 年年初，美国西弗吉尼亚 Sago 煤矿发生矿难，造成 12 名矿工死亡。美国劳工部矿山安全健康局通过深孔向井下派出了 V2 救援机器人（上图左），但最终因机器人行进过程中陷入泥潭而受阻。V2 救援机器人是世界上最早并且也是唯一在美国投入使用的煤矿救灾机器人。

2010 年 11 月，新西兰派克河煤矿瓦斯爆炸事故导致 29 名矿工遇难。在救援中，救援人员使用国防部提供的机器人（上图右）监测井下空气质量，但因机器人在巷道勘测时进水短路使救援工作难以快速进行。随后来自澳大利亚的特种机器人协助救援，但在机器人下井之前矿井发生了第二次爆炸，使救援工作彻底瘫痪。

2010 年山西王家岭矿“3•28”透水事故造成 38 名矿工遇难。在救援时，中科院沈阳自动化研究所研制的水下机器人曾被带到现场，最终因井下水源浑浊且杂物太多、井下巷道地形复杂等原因而无法应用。

综上所述：矿山救援机器人的研发难度大，相比于其他救援机器人，其应用情况相对滞后。

2011 年，由唐山市质监局、唐山开诚集团组织编写了我国第一个关于矿用井下机器人的省级地方标准——《矿用井下机器人技术规范》，填补了国内空白。



中信重工开诚智能装备有限公司是国内最早进行煤矿救灾机器人研发和产业化的公司。该公司研发的“灾区探测机器人”（上图左）主要用于对具有潜在危险区域或人员无法进入区域的探测，代替抢险人员及时进入现场并实时传回现场数据。该机器人具有良好的地面适应性和通行能力，防爆、防水双重设计，同时具备运动控制、图像采集、双向对讲、环境探测、网络传输、辅助运输等功能。

目前，国内取得煤安证书的矿用救援机器人仅为中信重工开诚智能装备有限公司研制的 KQR48 型矿用探测机器人，以及中国矿业大学研制的 CUMT-V（上图右）型煤矿救援机器人，获得了进入矿井进行救援的许可。

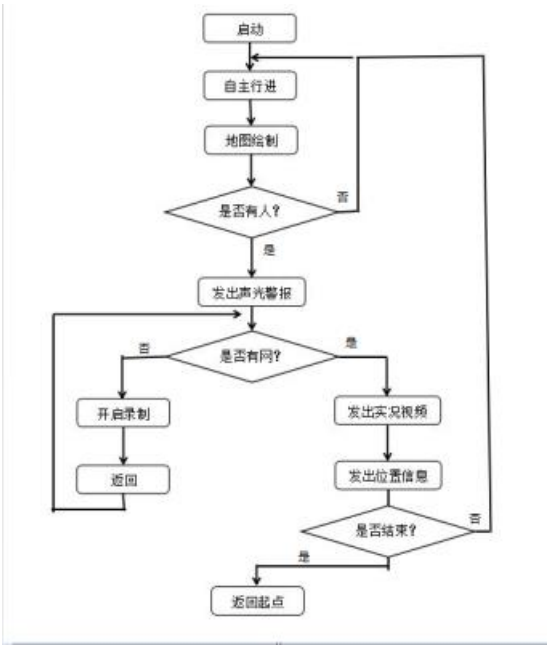
由此可见，目前伴随着国内外矿用救援机器人迫切需要的是市场上合格产品的巨大空缺。为此，我国国家煤矿安监局 2019 年一号文件即为《煤矿机器人重点研发目录》（以下简称《目录》）。

《目录》的发布，在于引导更多煤炭企业、科研机构及机器人制造企业参与进来，集中力量，从煤矿安全生产实际出发，提出切实可行的技术路径，尽快在煤矿机器人研发技术中有所突破，力争把煤矿工人从恶劣环境与危险繁重的劳动中解放出来，对煤矿机器人研发应用具有重要的指导作用。

为此，值此大学生创新训练申报之际，我们团队想要响应国家与学校的号召，在本科期间科学文化理论知识学习的同时学以致用，努力探索，制造出一款满足矿井救援基本功能的机器人出来。

（二）项目方案（1500 字左右，包括项目研究的主要问题、拟解决的途径、人员分工、预期成果等，创业训练项目和创业实践项目还需包括商业策划、运行、实践等内容）

产品介绍与预期成果：



我们团队最终拟做出一个基于树莓派的矿井救援机器人，其能够实现自主行走与搜索、联网状态下后台遥控行走、导航定位与地图绘制、被困人员检测与人类生命探测、音视频录制与交互、气体识别与密度检测、紧急救护物资输送等功能，以实现

灾后的矿井下恶劣环境下对被困人员的救援。

救援机器人启动后，会有两种运行模式。一种是联网状态下人为操控救援，救援人员可登陆客户端且连接成功后，可根据机器人在井下传输回来的画面直接操控机器人的行走进行搜寻。

另一种是当井下无网时候的自主救援模式。机器人可根据内置的路径搜索算法及避障模块自主行进，并利用红外感应器实时监控人体发出的特殊波长的信号，辅以基于红外摄像和普通摄像结合的视频检测模块，自动搜寻被困人员。当检测到被困人员时，机器人会发出声光信号，并在救援物资留下后立刻返回报告给救援人员；若一直未检测到被困人员，其也会定时或在电量不足时返回报告当前搜寻信息。

根据产品预期功能与个人兴趣，我们团队的分工如下：

| 模块分工 | 人员 |
|--------------------------------|---------|
| 机器人组装与自主移动、气体识别与密度检测、导航定位与地图绘制 | 芦光锋、？？？ |
| 后台服务器搭建、客户端交互界面 | 石亮禾 |
| 被困人员图像识别与检测 | 姜德纶、陈家威 |

根据目前所学知识 with 预期产品功能，我们团队的主要问题有井下无网络覆盖的通信、井下无 GP 信号下的路径规划和定位导航、被困人员生命检测及视频中人类识别的问题。

主要问题 1：井下无网络覆盖

由于井下存在瓦斯浓度较高区域，安装矿井内的通信设备时主干光缆等容易出现过高温度，引起安全隐患；另外矿井内粉尘多、巷道狭窄、信号源干扰强。因此，大多数井下并没有网络覆盖，且个别有网络覆盖的矿井在发生安全事故后也会断电断网，因此，救援机器人与外界的通信极为困难。

我们团队拟采用基于 nRF24L01 的无线通信模块。nRF24L01 是一款无线通信通信芯片，工作在 2.4GHZ~2.5GHZISM 频段，工作电压为 1.9~3.6 V，有多达 125 个频道可供选择。采用 FSK 调制，内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块，内部集成 Enhanced Short Burst 协议。可以实现点对点或是 1 对 6 的无线通信。无线通信速度可以达到 2 Mbps，并且有自动应答和自动再发射功能。芯片能耗非常低，以一 6 dBm 的功率发射时，工作电流只有 9 mA，接收时工作电流只有 12~13 mA，多种低功率工作模式(掉电模式和空闲模式)使节能设计更方便。且其在优化后带功放通信距离可达上千米，能基本满足我们的需求。



主要问题 2：井下环境路径规划

我国煤炭开采主要以井下为主，巷道可长达数十千米，矿井生产工序多，作业地点分散，无 GPS 信号进行定位，且井下环境错综复杂，因此救援路径的规划必不可少。

我们团队针对矿山灾后的非结构化的特殊环境，在参考相关文献后，拟基于栅格法的环境建模和基于改进的概率路径搜索算法，使用矿井救援机器人全局路径规划的方法。进行矿井救援机器人的自主避障和路径选择。

基于改进的概率路径搜索的方法：首先按照一定的规则对栅格图进行编号，如图所示。第 h 行。第 w 列栅格的序号

$$I(w, h)=(h-1) \times W-w, (1 \leq h \leq H, 1 \leq w \leq W)$$

式中 H——总行数：

W——总列数。

对于某个栅格，如果其相邻没有障碍物，将在其周围的 8 个栅格中搜索。其搜索的方位 4 仿真分析

$$Next[i]:(-W+1, 1, W+1, W, W-1, -1, -W-1, -W) \quad 1 \leq i \leq 8$$

依次对应于从当前栅格右下角开始。逆时针顺序的 8 个栅格。路径寻优的目标是使到达目标点的路径最短，这就需要进行目标趋向评价。假设图 3 中当前栅格为 1。目标栅格为 100。则当前栅格的 8 个邻接方位，目标趋向评价

$$\eta(i)=(3, 6, 10, 6, 3, 2, 1, 2) \quad (1 \leq i \leq 8)$$

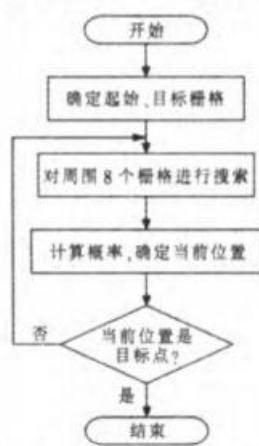
这 8 个值都是经验值，10 表示最高重要性，当前栅格应该朝右上方的方向行走

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 91 | 93 | | | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | |
| 81 | 82 | | | 85 | 86 | 87 | | | |
| 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | |
| 61 | | 63 | 64 | | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 |
| 51 | | 53 | 54 | | 56 | 57 | | 59 | 60 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | | 46 | 47 | | 49 | 50 |
| 31 | | | 34 | | 36 | | 38 | 39 | 40 |
| 21 | | | 24 | 25 | 26 | 27 | | 29 | 30 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

定义第 n 条路径中栅格 u 和 v 的关联程度为 $\text{map}_n(u, v)$ 。假设在第 n 条路径中寻到的当前栅格为 u，下一步可行栅格的集合为 V，v 为集合 V 一个结点。则 v 被选择的概率

$$P(u, v) = \frac{map_n(u, v) \times \eta(j_v) \times \delta(j_v)}{\sum_{\forall k \in V} map_n(u, v) \times \eta(j_k) \times \delta(j_k)}$$

其中， j_v 满足条件：Next[j_v]= $u-v$ ； j_k 满足条件：Next[j_k]= $u-v$ 。



基于改进的概率路径搜索的步骤：

Step 1 设置计数器 i 、 j 和循环次数 m 、 n ；从第 1 个栅格开始，根据上式寻找下一个栅格。

Step 2 如果当前栅格 M 为目标栅格，转到 Step 3。否则，根据上式计算结点 v 被选择的概率，循环执行此步。直到选出目标结点。

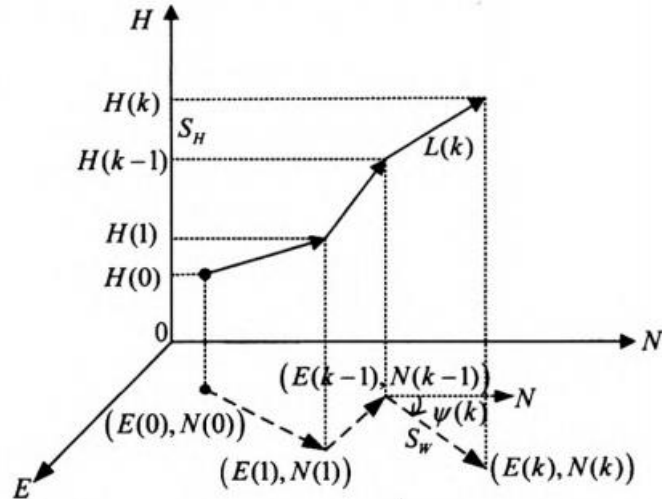
Step 3 $i \leq j+1$ 保存寻找到的路径。如果 $i < m$ ，转到 Step 2。否则，从保存的路径中寻找最优路径。并修正两相邻栅格的关联程度 $map(u, v) \leq map(u, v) + B$ ，其中， B 为常量。

Step 4 如果 $j < n$ ，转到 Step 2。否则，算法结束。路径搜索的流程图如右图所示。

主要问题 3：无 GPS 环境下定位问题

航迹推算（Dead Reckoning 简称 DR）是一种使用最广泛的定位手段。不需要外部传感器信息来实现对车辆位置和方向的估计，并且能够提供很高的短期定位精度。航迹推算定位技术的关键是要能测量出移动机器人单位时间间隔走过的距离，以及在这段时间内移动机器人航向的变化。根据传感器的不同，主要有基于惯性传感器的航迹推算定位方法以及基于码盘的航迹推算定位方法。

利用陀螺和加速度计分别测量出旋转率和加速率，在对测量结果进行积分，从而求解出移动机器人移动的距离以及航向的变化，再根据航迹推算的基本算法，求得移动机器人的位置以及姿态，这就是基于惯性器件的航迹推算定位方法。这种方法具有自包含优点，即无需外部参考。然而，随时间有漂移，积分之后，任何小的常数误差都会无限增长。因此，惯性传感器对于长时间的精确定位是不适合的。航迹推算定位技术常用码盘进行位置和姿态的估算。同样也具有航迹推算的共同特点，即是一种自包含的定位方法，方法简单、成本低并且容易实时完成。其原理如下图所示



其推到的方程为：

$$E(k) = E(k-1) + VS_w \sin \psi(k) + (1-L)S_i L(k) \sin \psi(k)$$

$$N(k) = N(k-1) + VS_w \cos \psi(k) + (1-L)S_i L(k) \cos \psi(k)$$

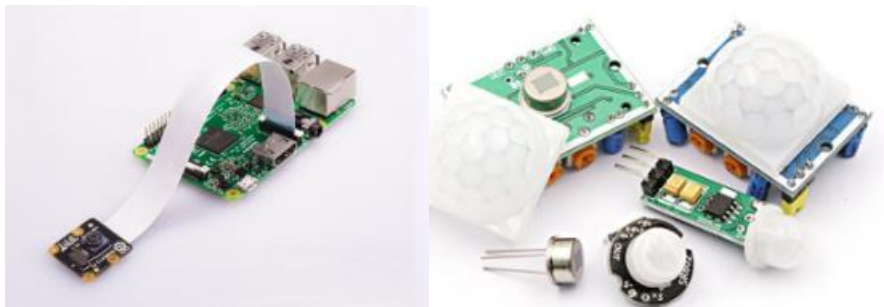
$$H(k) = H(k-1) + VUS_H$$

式中， $E(k)$ ， $N(k)$ ， $H(k)$ 为机器人当前时刻的位置， E 、 N 、 H 分别为东向、北向和垂直坐标值， ψ 为当前行进的航向角， L 、 S_w 、 S_H 为机器人在 $k-1$ 时刻到 k 时刻时间间隔所走过的路程、水平距离和高度。 V 指示是否发生了垂直方向的移动，是则为 1，否则为 0； U 指示垂直方向移动的方向，向上为 1，向下则为 -1； S_i 指示前进还是后退，前进为 1，后退为 -1。

主要问题 4：被困人员生命检测

由于井下环境错综复杂，各种被困人员生命检测模块容易发生误判漏判，因此我们团队拟采用视频检测+人体红外感应两大方式进行对被困人员的检测。

其中，视频生命检测模块分为普通视频+红外视频结合的方式。我们团队拟采用 Camera (E) 型树莓派红外摄像头，RPI Camera V2 树莓派原装摄像头。两者结合实时拍摄，并基于 TensorFlow 相应算法（见下问题）对视频画面实时检测是否有被困人员，并在有被困人员时报警。

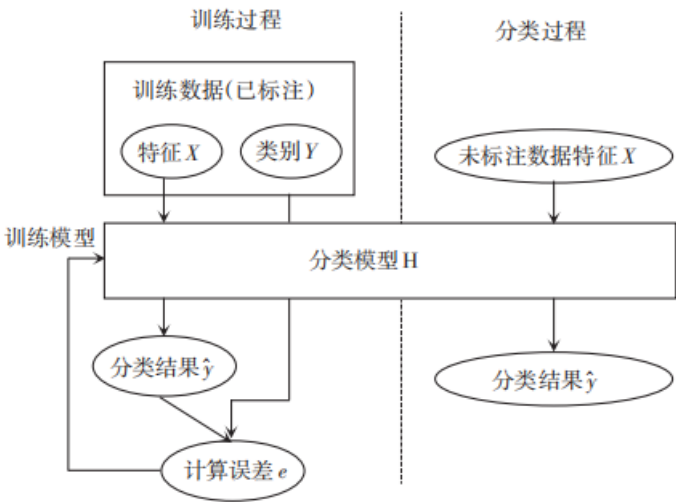


我们团队拟采用 HC-SR501 型人体红外感应模块，人体都有恒定的体温，一般在 37 度，所以会发出特定波长 10UM 左右的红外线，HC-SR501 型被动式红外探头就是靠探测人体发射的 10UM 左右的红外线而进行工作的。人体发射的 10UM 左右的红外线通过菲泥尔滤光片增强后聚集到红外感应源上。红外感应源通常采用热释电元件，这种元件在接收到人体红外辐射温度发生变化时就会失去电荷平衡，向外释放电荷，后续电路经检测处理后就能产生报警信号。

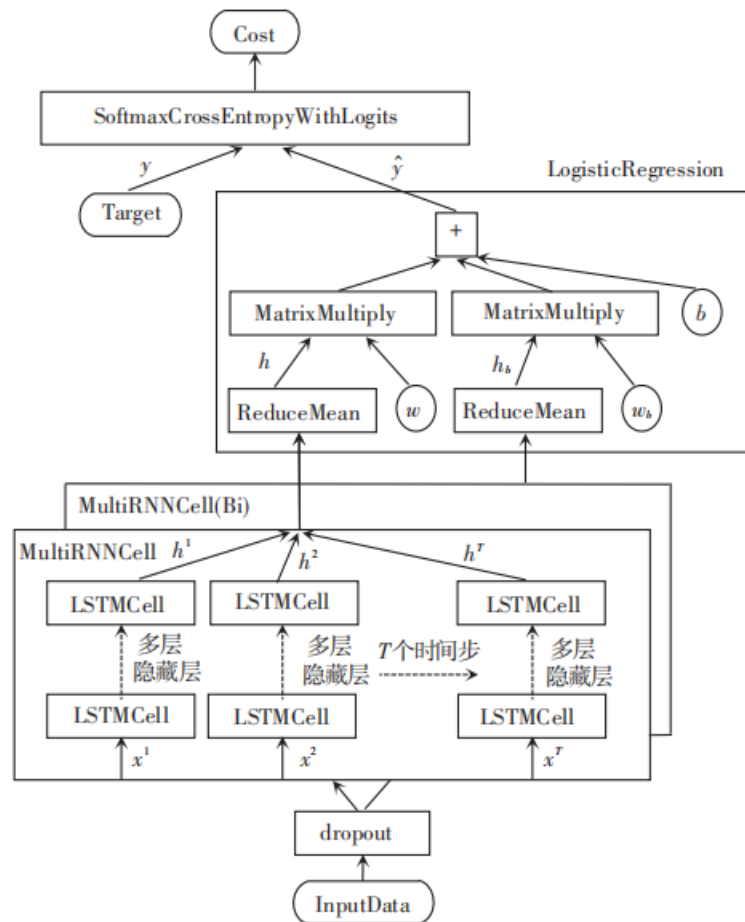
主要问题 5：视频中被困人员识别

TensorFlow 是谷歌开源的数值计算平台，其中集成了大量神经网络模型的代码实现，使其成为了一个强大的深度学习平台。我们团队拟先由 LSTM 神经网络和逻辑回归层构建人体整体及个别部位分类模型，并用 TensorFlow 平台实现视频检测模块的搭建和训练过程。

首先，我们基于各个方位的人体整体体型，及手部、足部、头部等人体部位赋以已标注类别的类型标签。其检测模块的训练和分类过程如图所示。



长短时记忆网络（LSTM）是一种特殊的循环神经网络（RNN）。在 TensorFlow 中提供了 LSTMCell 操作来支持 LSTM 模型的搭建。LSTMCell 相当于 LSTM 模型的隐藏层，在内部封装了 LSTM 隐藏层包含的遗忘门、输入门和输出门等结构，同时还可根据研究需要设置隐藏层结点个数。在用 TensorFlow 搭建神经网络的过程中，不再以神经网络中的节点为单位进行布局，而是以层为基础来考虑。因为像 LSTMCell 这样的 TensorFlow 操作直接代表了网络中的一个隐藏层。因此包含多个节点的输入层和输出层也都用向量的形式来表示，向量长度即为该层节点的个数。



研究构建的 TensorFlow 流图如上图所示。图中胶囊形单元表示模型的输入和输出，矩形单元表示 TensorFlow 中的操作，圆形单元表示可训练的模型参数。在该数据流图中，InputData 是一个含有人视频实例，即一个多元时间序列。输入数据 InputData 经过 dropout 操作，dropout 操作的目的是防止模型过于拟合。接下来，数据被传入 2 个 MultiRNNCell 中，MultiRNNCell 是 TensorFlow 提供的 RNN 的主要操作，相当于 RNN 的整个隐藏层。图中的 MultiRNNCell 中的内容是其按时间展开图，隐藏层用 MultiRNNCell 实现，其中可以包含多个隐藏层。在图中省略了反向 MultiRNNCell 的详细内容，因为 2 个 MultiRNNCell 的结构相同，只是在输入序列数据时一个按照正常顺序输入，另一个按照相反的顺序进行输入。2 个 MultiRNNCell 得到的输出序列分别经过 ReduceMean 操作得到与时间无关的平均向量 h 和 h_b ，向量的长度即为隐藏层节点个数。最后， h 和 h_b 经过一个手动构建的逻辑回归层和 softmax 激活函数，并用交叉熵损失函数来计算模型输出与真实的类别标签的误差。

以上就是我们团队所用到的在 TensorFlow 平台上搭建的基于 LSTM 的人体检测模型。模型中的主要训练参数包括输入层到隐藏层的权重和偏斜、LSTMCell 中 3 个门的权重和偏斜、以及逻辑回归层的权重和偏斜。给出损失函数 Cost 后，使用 TensorFlow 提供的训练操作可以自动求 Cost 关于每个参数的微分导数并用梯度下降法对模型进行训练。

（三）简述特色与创新点

一、通信模块

井下环境一般无网络覆盖，因此我们拟采用基于 USB 无线网卡与 nRF24L01 无线通信相结合的通信模块，当机器人检测到无线网卡失效时，将自动启用基于 nRF24L01 的无线通信模块，进行现场近距离通信方式。

二、路径规划

路径规划是井下救援机器人实现抢险的先决条件和关键技术。路径规划是指在障碍物的环境中，机器人能够绕过所有障碍物，并且能够满足最短时间、耗能最少等优化指标，包括全局路径规划和局部路径规划。基于此，我们采用基于栅格法的全局路径规划，实现矿井救援机器人的自主避障和路径选择。

三、定位系统

航迹推算一种使用最广泛的定位手段。由于井下无 GPS 信号，且宅后也难以及时安装外部传感器，因此我们团队所使用的航迹推算这种不需要外部传感器信息来实现对车辆位置和方向的估计，较好满足了现实情况。

四、生命检测

由于井下环境错综复杂，各种被困人员生命检测模块容易发生误判漏判，因此我们团队拟采用视频检测+人体红外感应两大方式进行对被困人员的检测。前者是建立在红外摄像头和普通摄像头结合的方式，分别进行人类的识别；后者是利用红外探头时刻检测人体发出的特殊波长的红外线。两者结合实现对被困人员的生命检测。

五、视频识别

我们团队拟采用 LSTM 神经网络和逻辑回归层构建人体整体及个别部位分类模型，并用 TensorFlow 平台实现视频检测模块的搭建和训练过程，最终将程序移植到机器人端，实现对摄像视频中人类的识别。

六、结合实际

当前煤矿行业危险岗位多，事故时有发生，为此国家煤炭安监局 2019 年一号文件专门着力于推动应用煤矿行业机器人发展。我们团队保持着对社会热点与需求的关注，响应国家相关部门的号召，立项于研发一个矿井救援机器人。

（四）项目进度安排（包括详细的计划安排）

| 时间 | 事项 | |
|------------------|-------------|--|
| 2018.12——2019.01 | 立项 | 项目立意与团队成员分工 |
| 2019.01——2019.05 | 理论知识学习与材料准备 | 团队成员根据各自分工学习树莓派系统、Python 语言、Web、TensorFlow、机器人制作等知识，同时开始准备硬件材料。 |
| 2019.05——2019.08 | 第一个简易产品 | 硬件方面做出可后台操控与自主移动，且搭载好各个传感器的无人车； 软件方面搭建好后台，完成操控客户端，写出可识别人与主要人体部位的程序。 |
| 2019.09——2019.09 | 中期报告 | 团队成员对各自当前进度进行总结，并完成中期材料。 |
| 2019.09——2019.10 | 产品测试 | 完成团队成员各自功能模块的合并，并进行实地测试，检测各个模块实际效果并记录测试数据。 |
| 2019.10——2019.12 | 产品优化 | 在第一个产品测试数据结果的基础上，调整设计并完成第二个产品的设计与组装，并继续进行测试优化。 |
| 2019.12——2019.02 | 最终产品的优化与制作 | 在前两个产品的基础上完成最终产品的设计与制作，并进行各项功能模块测试。 |
| 2019.02——2019.03 | 结题报告 | 团队各成员对各自工作与收获进行总结，整理各项测试数据，完成结题报告材料。 |

其余已删除。