文章编号：2096-1472(2019)-09-05-03
DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2019.09.002

消防辅助救援机器人群设计研究

陈伟哲[1,2]，黄梦醒[1,2]，吴 迪[2,3]，肖 瑾[1,2]，丁一寅[1,2]，张晨宇[1,2]
(1.海南大学信息与通信工程学院，海南 海口 570228；
2.南海海洋资源利用国家重点实验室，海南 海口 570228；
3.海南大学计算机与网络空间安全学院，海南 海口 570228)

摘 要：高科技机器人已开始代替人类在一些特殊场合的工作，“机器换人”已然成为现有科技发展的主流趋势。本文针对消防辅助救援机器人群开展研究。在分析消防辅助救援机器人应用现状的基础上，设计了由一台领航机器人和两台跟随机器人组成的消防辅助救援机器人群，并分别讨论了每台机器人的工作原理和实现方法，最后给出了可实现的功能和下一步的研究工作，为消防机器人完成团队化工作提供了一个新的方向。

关键词：消防；辅助救援机器人群；领航机器人；工程机器人；信息检测机器人
中图分类号：TP242.6 **文献标识码**：A

Design and Research of the Fire-Fighting Assistant Rescue Robot Group

CHEN Weizhe[1,2],HUANG Mengxing[1,2],WU Di[1,3],XIAO Jin[1,2],DING Yiyin[1,2],ZHANG Chenyu[1,2]
(1.*The College of Information and Communication Engineering*,*Hainan University*,*Haikou* 570228,*China*;
2.*State Key Laboratory Marine Resource Utilization in South China Sea*,*Haikou*,570228,*China*;
3.*The College of Computer and Cyberspace Security*,*Hainan University*,*Haikou* 570228,*China*)

Abstract: High-tech robots have begun to take the place of human beings in some special occasions,and *Machine Replacement* has become the mainstream trend of the current development of science and technology.In this paper,fire rescue robots are studied.Based on the analysis of the application status of fire rescue robots,a group of fire rescue robots consisting of a pilot robot and two random robots are designed.The working principle and implementation method of each robot are discussed separately.Finally,the realizable functions and the following research work are given to the fire rescue robots,providing a new direction to accomplish team work.

Keywords:fire-fighting;assistant rescue robot group;pilot robot;engineering robot;information detection robot

1 引言(Introduction)

据应急管理部消防救援局的统计，2018年全国共接报火灾23.7万起，死亡1407人，伤798人，消防队每天平均出队救火就达到650次，任务繁重且危险性高。因火灾现场各种不确定性因素可能导致消防人员做出错误决断，当我们听到消防员因为救人而不幸牺牲的时候，无不为他们感到心痛。因此消防辅助型机器人[1]的设计与应用[2]显得尤为重要，而一个完整的救援系统需要拥有自主巡航和手动操控两种控制模式，具有自主建图导航[3,4]、危险物品自动抓取[5]、周围环境实时图传、环境监测等功能。本文提出了消防辅助救援机器人群的设计研究方案。

2 消防辅助救援机器人的应用现状(Application status of the fire-fighting assistant rescue robot)

相比于国内救援辅助消防机器人仍处于起步阶段的情况，国外救援辅助机器人已经慢慢走向成熟化。例如日本科学家们已经研发出了可以在复杂地形运动的小型机器人，可以在地震灾后在废墟中寻找生命。希腊科学家则针对情况复杂的水上救援设计出了海上救援机器人。国外救援机器人已经开始在各个领域发挥重要作用。而国内现状主要是受两个方面因素[6]影响，第一是因为国内当前的特种救援机器人主要是服务于政府和军队，它们的主要技能都是为危险性特大的灾难而设计的；另一方面是由于消防机器人仍处于试用实验阶段，国家在消防机器人上的资金投入上存在不足，还不能投入到大规模的生产中，使得大部分地区无法使用。

消防辅助救援机器人在灭火救援[7]中具有广阔发展空间：一是消防机器人的辅助系统可以在火灾现场情况不明时，利用自身的传感器进行辅助，对周围的复杂地形进行扫描构图，能够辅助消防员进入火场，并利用其自带的红外成像系

基金项目：国家自然科学基金资助项目(61462022)，海南省自然科学基金资助项目(617062)，海南省重大科技计划项目(ZDKJ2016015).

www.rjgcz.com

统，让消防员能够在最短时间内找到被困人员。二是在消防救援活动中，在面对消防人员无法工作的高温危险区域，可以进行近距离的灭火作战，这极大程度上提高了其在灭火救援中的战斗力。三是随着我国经济社会的发展，社会生产生活活动越来越特殊化，消防火灾出现的原因越发复杂，影响范围广。经常会出现消防火灾事故，在许多情况下事故对于消防人员的生命危险较大，而消防辅助机器人则能在保障消防人员的安全下，以最快速度营救被困人员，并控制现场火灾。

3 消防辅助救援机器人群的设计原理(Design principle of the fire-fighting assistant rescue robot group)

消防辅助救援机器人群是由一台领航机器人和两台跟随机器人组成的多智能体编队，如图1所示，整个系统有自主巡航和手动操控两种控制模式，具有自主建图导航、危险物品自动抓取、周围环境实时图传、环境监测等功能。

3.1 领航机器人

领航机器人外形图和内部结构图分别如图2和图3所示。领航机器人搭载激光雷达对周围环境进行扫描、建模，并规划出机器人群经过的优化路径。双电机驱动机器人沿着路径行驶，通过对电机的通断电和机器人内部的差速装置实现机器人的启停和转弯。用户可设置地图中的起点和终点，领航机器人会带领编队达到所指定的目的地。控制方式有两种，一种通过ROS环境电脑与树莓派进行局域网互联，一种是手机app与树莓派进行连接，控制机器人进行雷达的扫描建图及导航。除此外，还加入了USB摄像头模块，供远距离操控时的实时图传。

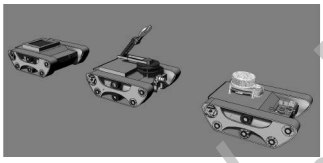

图1 消防辅助救援机器人群模型

Fig.1 Models of the fire-fighting assistant rescue robot group

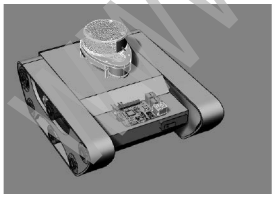

图2 领航机器人外形图

Fig.2 Outline drawing of the pilot robot

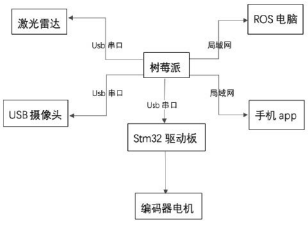

图3 领航机器人内部结构图

Fig.3 Internal structure of the pilot robot

领航机器人的核心开发版采用树莓派3b+，配置环境为Linux系统ROS环境，底层驱动板为stm32F1开发板。用户可以通过ROS电脑与树莓派进行局域网互通，发送指令打开激光雷达，将激光雷达返回的点云数据进行tf树坐标系转换后，采用gmapping算法最终在PC端建立一个平面二维地图供操控者查看。建立好二维平面图进行保存后，可设置地图中的起点和终点，通过路径规划算法进行规划行驶路径，并且无须人员操作实时更新路径自行前往目的地，领航机器人的硬件连接如图4所示。

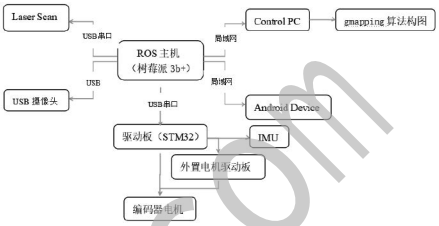

图4 领航机器人硬件连接图

Fig.4 Hardware connection of the pilot robot

3.2 工程机器人

第二台跟随机器人是一个工程机器人，其外形图和内部结构图分别如图4和图5所示。工程机器人的主要作用是主动识别自动抓取危险物品和跟随第一台领航机器人，其控制方式有两种分别为自动控制和蓝牙app控制。机器视觉基于openmv平台，可主动识别事先设定好的危险物品，通过机械臂逆运动学几何解法解算出各机器手关节舵机所需的转角，并将其输出至舵机控制板进行控制机械臂自主抓取。

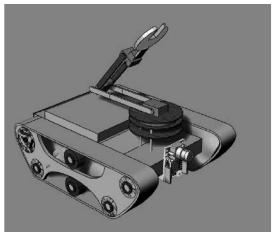

图5 工程机器人外形图

Fig.5 Outline drawing of the engineering robot

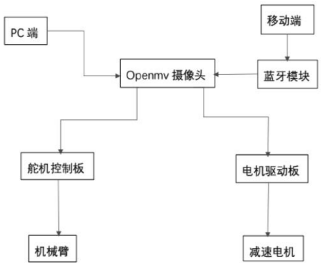

图6 工程机器人内部结构图

Fig.6 Internal structure of the engineering robot

跟随领航机器人自动控制实现途径为颜色识别算法。通过在领航机器人的末尾添加一条特殊彩带，并采用颜色识别算法找出领航机器人尾部中心点，将此摄像头与领航机器人之间的角度偏差值和距离插值输入到底层的pid控制输入端，经过公式转换成左右轮的速度值进行工程机器人的自动控

www.rlscz.com

制。当出现紧急情况需要单独控制时，可通过手机蓝牙远程中断系统并获取机器人控制权。

采用HSV颜色识别算法进行目标物体识别，由于光线等环境不确定因素影响，故采用颜色阈值范围作为目标物体的特征[3]。识别时，选取摄像头中对应像素点个数最多的阈值范围内的物体作为检测目标，对目标物体进行矩形显示。使用直方图相交法作为相似度量函数，在图像库中进行匹配，并给出仿真结果。算法公式如下：

$$d(M,N)=1-\sum_{i}^{pxd}\min(m_i,n_i) \tag{1}$$

当将阈值调整至目标物体阈值范围内时，摄像头中二进制图像如图7所示。

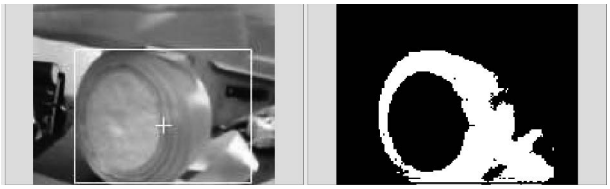

图7 颜色识别二进制图像

Fig.7 Color recognition binary image

在物体监测中，摄像头在识别到目标物体并将其矩形显示时，会直接在其中心点标注“+”，并可返回目标物体中心点像素坐标、横向像素宽度、竖向像素长度、拐角像素坐标等数据。摄像头中实际物体识别如图8所示。

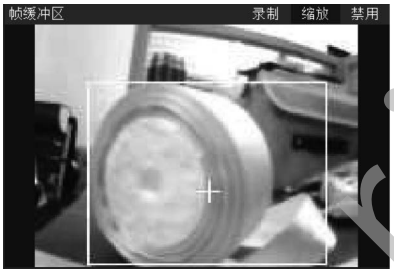

图8 摄像头中目标物体的检测

Fig.8 Detection of target objects in the camera

根据图9PID功能图，我们考虑在某个特定的时刻t，此时输入量为$rin(t)$，输出量为$rout(t)$，于是偏差就可计算为$err(t)=rin(t)-rout(t)$。于是PID的基本控制规律就可以表示为如公式(2)所示。

$$U(t)=kp(err(t)+\frac{1}{T_1}\int err(t)\mathrm{d}t+\frac{T_D\mathrm{d}err(t)}{\mathrm{d}t}) \tag{2}$$

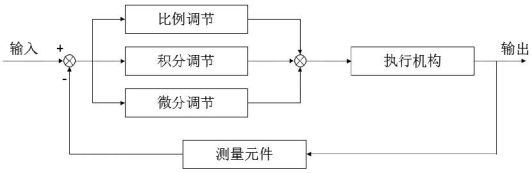

图9 PID功能图

Fig.9 PID functions

3.3 信息检测机器人

第三台跟随机器人是一个信息检测机器人，其外形图和内部结构图分别如图10和图11所示。

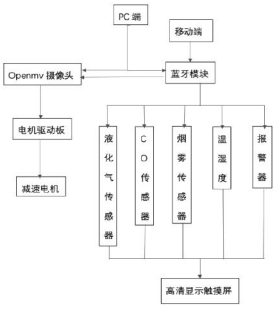

图10 信息检测机器人外形图

Fig.10 Outline drawing of the information detection robot

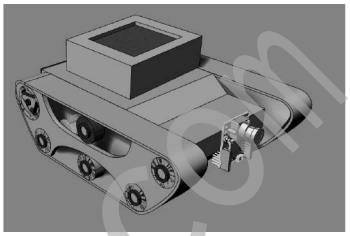

图11 信息检测机器人内部结构图

Fig.11 Internal structure of the information detection robot

信息检测机器人主要功能有跟随编队自动驾驶和信息的探测、实时显示及传输，其控制方式有两种分别为自动控制和蓝牙app控制。探测功能基于arduino板，通过将多种传感器进行融合，共同探测信息并将其传输到高清显示屏上进行显示，使用者可直接触摸高清显示屏进行查看周围环境信息和看到系统根据信息做出的对应提示。

4 消防辅助救援机器人群的功能(Functions of the fire-fighting assistant rescue robot group)

4.1 火情侦察

火情侦察，了解掌握火场情况。在火灾救援时，掌握火灾现场情况非常重要，起火建(构)筑物的结构特点、被困人员多少、地点、着火物品、燃烧的物质、范围、火势蔓延的途径和发展趋势、消防控制中心和内部消防设施启动及运行情况、有无爆炸、毒害、腐蚀、忌水、放射等危险物品。了解和掌握这些情况能对救人起到至关重要的作用。机器人群中的领航机器人可在短时间内快速建立火灾现场的二维平面图，帮助消防员熟悉起火建(构)筑物的结构特点，以便于更快找到被困者。领航机器人前端搭载摄像头可传输火灾现场情况至在上位机显示，通过控制领航机器人巡视火灾现场，消防员可了解火灾现场火势蔓延的途径和发展趋势、消防控制中心和内部消防设施启动及运行等情况，实现火情侦察。

4.2 实时监测

监测烟雾、毒气浓度，帮助消防员火场排烟。火灾救援应当首先保障消防员的安全，储存危险化学物品在遭遇火灾时会产生大量有毒烟雾，采用信息检测机器人巡检火灾现场，监测烟雾、毒气浓度，提醒并帮助消防员及时处理，防止其蔓延，迅速采取正确的排烟措施，防止烟气对人员构成威胁和火势扩大。机器人群查明并报告火源的位置、火势蔓

(下转第4页)

www.rigczz.com