

文章编号: 1002-0446(2006)03-0350-05

# 救灾机器人的研究现状与煤矿救灾的应用\*

钱善华, 葛世荣, 王永胜, 王勇, 柳昌庆

(中国矿业大学可靠性工程与救灾机器人研究所, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 综述了救灾机器人的国内外研究现状. 介绍了救灾机器人的移动机构、探测技术、导航定位、通讯系统、控制方式和能源供给等主要技术. 提出了救灾机器人今后的发展趋势, 分析了救灾机器人应用在煤矿救灾的可行性.

**关键词:** 救灾机器人; 探测; 煤矿救灾

**中图分类号:** TP24 **文献标识码:** B

## Research Status of the Disaster Rescue Robot and Its Applications to the Mine Rescue

QIAN Shan-hua, GE Shi-rong, WANG Yong-sheng, WANG Yong, LIU Chang-qing

(Institute of Reliability Engineering and Rescue Robots, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The research status of disaster rescue robot at home and abroad is summarized. Its main techniques are introduced, such as mobile configuration, detection technique, navigation and orientation technique, communication system, control technique and energy supply. Its development trends in the future are put forward, and the feasibility of its application to mine rescue is analyzed.

**Keywords:** disaster rescue robot; detection; mine rescue

### 1 引言 (Introduction)

在世界各地,由于自然灾害、恐怖活动和各种突发事件等原因,灾难经常发生.在灾难救援中,救援人员只有非常短的时间(约 48 小时)用于在倒塌的废墟中寻找幸存者,否则发现幸存者的几率几乎为零.在这种紧急而危险的环境下,救灾机器人可以为救援人员提供帮助.因此,将具有自主智能的救灾机器人用于危险和复杂的灾难环境下“搜索和营救”(SAR)幸存者,是机器人学中的一个新兴而富有挑战性的领域.

世界上许多国家都在研制军用机器人、扫雷机器人、排爆机器人和消防机器人等危险作业机器人.救灾机器人是机器人的一个新兴发展领域,属于危险作业机器人的一个分支,具有危险作业机器人的特点.因此,可以将危险作业机器人成熟的核心技术移植到救灾机器人上,来进行救灾机器人的研究.本文综述了国内外救灾机器人的研究现状、主要技术、

发展趋势并展望了在煤矿救灾中的应用.

### 2 国内外的研究现状 (Research status at home and abroad)

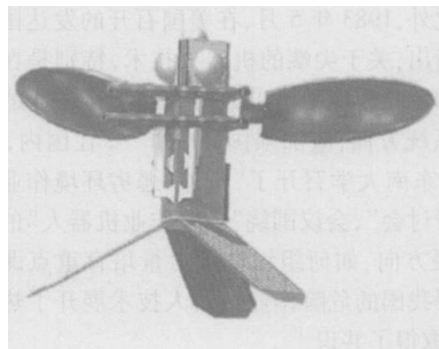
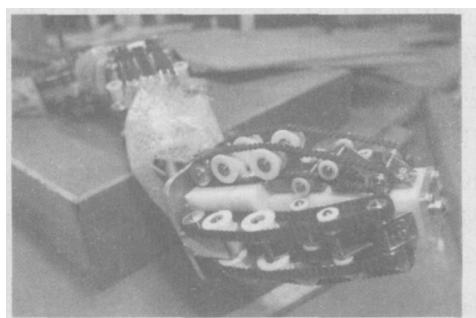
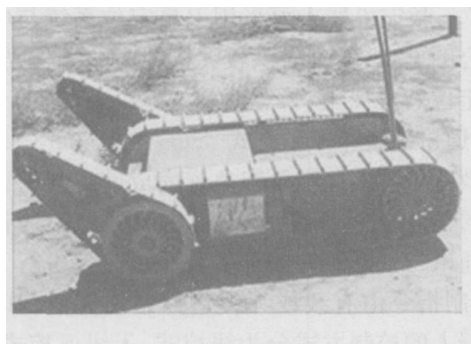
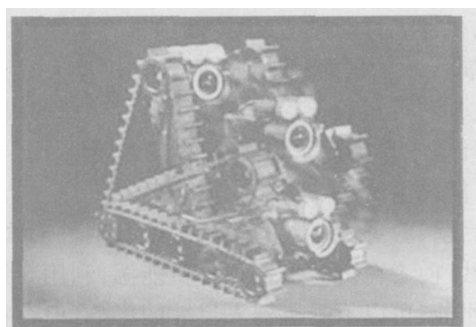
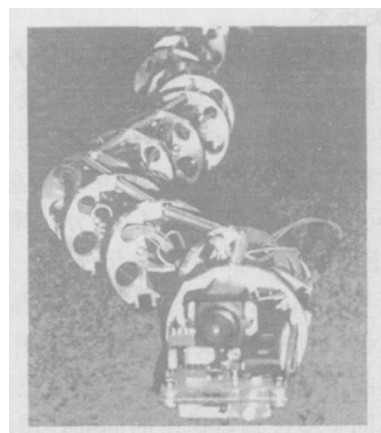
#### 2.1 国外的研究现状

在国外,救灾机器人发展迅速,技术日益成熟,并进入实用化阶段,日本、美国、英国等已开始装备使用.

在灾难现场中,救灾机器人应能迅速找到幸存者的位置.日本大阪大学研制出蛇形机器人<sup>[1]</sup>,如图 1 所示,能在高低不平的模拟废墟上前进,其顶端带有一部小型监视器,身体部位安装传感器,可以在地震后的废墟里寻找幸存者.美国 iRobot 公司研制了 PackBot 系列机器人<sup>[2]</sup>,如图 2 所示,能适应崎岖不平的地形环境和爬楼梯,主要执行侦察任务、寻找幸存者、勘探化学品泄漏等任务. InuKun 公司研制了机器人 MicroVGTV<sup>[3]</sup>,如图 3 所示,机身可变位,采用

\* 收稿日期: 2005 - 11 - 14

电缆控制,含有直视的彩色摄像头,并带有微型话筒和扬声器,可用于与压在废墟中的幸存者通话,适用于在小的孔洞和空间中执行任务.除了前面的中小型救灾机器人,微型救灾机器人也正在研究中,美国加州大学伯克利分校研制出世界第一个苍蝇机器人<sup>[4]</sup>,如图 4 所示,通过装在它脑袋上的微型传感器与微型摄像机,可以到倒塌的建筑物废墟底下或其他灾难场所寻找幸存者.

图 4 苍蝇机器人<sup>[4]</sup>Fig 4 The fly robot<sup>[4]</sup>图 1 蛇形机器人<sup>[1]</sup>Fig 1 The snake-robot<sup>[1]</sup>图 2 Packbot 机器人<sup>[2]</sup>Fig 2 The Packbot robot<sup>[2]</sup>图 3 MicroVGTV 机器人<sup>[3]</sup>Fig 3 The robot of MicroVGTV<sup>[3]</sup>图 5 蛇形机器人<sup>[8]</sup>Fig 5 The snake-robot<sup>[8]</sup>

在灾难现场中,救护机器人能将幸存者转移到安全地点.日本已研究了一台救护机器人并于 1994 年第一次投入使用<sup>[5]</sup>,它采用橡胶履带,带有电视摄像机、易燃气体检测仪、超声波探测器等信息收集装置,还有最大抓力为 90kgf 的两只机械手,可将幸存者举起并送到救护平台上.此外,为了提高救灾效率,机器人还可以清理现场的障碍物,美国陆军工兵学校和无人地面车辆 (UGV) 联合计划办公室联合研制了遥控清理机器人 Panther<sup>[6]</sup>.

## 2.2 国内的研究现状

在国内,救灾机器人的研究刚刚起步,但进展很快.中科院沈阳自动化所在 2002 年研制了一种蛇形机器人<sup>[7]</sup>,由 16 个单自由度关节模块和蛇头、蛇尾组成,在监控系统的无线控制下可实现蜿蜒前进、后退、侧移、翻滚等多种动作,并能通过安装在蛇头上的微型摄像头将现场图像传回监控系统.国防科技大学在 2001 年也研制了一种蛇形机器人<sup>[8]</sup>,如图 5 所示.中国矿业大学在“211 工程”的支持下,已开始研制煤矿救灾机器人.

此外,1983年5月,在美国召开的发达国家首脑会议指出,关于尖端的机器人技术,特别是在困难条件下和危险环境中可以回避人的直接作业的尖端机器人系统方面,应加强国际合作<sup>[9]</sup>。在国内,2003年3月在东南大学召开了“危险、恶劣环境作业机器人技术研讨会”,会议围绕“危险作业机器人”的今后重点发展方向、如何组织全国力量培育重点课题和加快发展我国的危险作业机器人技术展开了热烈的讨论,并取得了共识<sup>[10]</sup>。

### 3 主要技术(Main techniques)

在设计救灾机器人时,应从系统总体要求出发,考虑救灾机器人的环境适应性,协调各分系统的技术关联,开展顶层设计,研究综合集成关键技术。在设计救灾机器人过程中应充分注重下列问题:

#### 3.1 移动机构

移动机构作为救灾机器人的移动载体,必须具备以下特点:一定的移动速度和低能耗;良好的姿态稳定性和高运动精度;能够适应各种各样的地理环境,有一定的爬坡和越障能力。现有的救灾机器人移动机构主要有:无肢运动(以蛇形机器人为主)、轮式、腿式、轮腿式和履带式等。蛇形机器人具有运动稳定性好、适应地形能力强和高的牵引力等特点,但多自由度的控制困难,运动速度低;轮式机器人具有结构简单、重量轻、轮式滚动摩擦阻力小和机械效率高特点,但越过壕沟、台阶的能力差;腿式机器人具有适应地形能力强的特点,能越过大的壕沟和台阶,其缺点是速度慢;轮腿式机器人融合腿式机构的地形适应能力和轮式机构的高速高效性能,其缺点是结构相对复杂;履带式机器人地形适应能力强,动载荷小,设计紧凑,其缺点是重量大,能耗大。

#### 3.2 探测技术

探测幸存者是一项非常困难的任务,幸存者的征兆只有呻吟声、体温、身体的气味以及其他体征等信息,这些都要借助于传感器来识别。作为救灾机器人的感觉器官,传感器必须具备拾取信息、传递信息的功能,同时还必须满足尺寸小、分辨率高、时间响应快、稳定性和可靠性好等特点。目前,常用的传感器有热红外传感器、嗅觉传感器、声波振动传感器、视频传感器(CCD摄像头)以及生命探测仪等。其次,多传感器的信息融合是把分布在不同位置的多个同类型或不同类型传感器提供的局部环境的不完整信息加以综合,消除信息之间的冗余和矛盾,以形成对环境相对完整和一致的描述,提高智能决策的速度

和准确性。多传感器融合的常用方法有:加权平均法、贝叶斯估计、卡尔曼滤波、神经网络和模糊推理法以及带置信因子的产生式规则<sup>[11]</sup>。

#### 3.3 导航、定位和路径规划

救灾机器人在执行任务过程中,应当避免危险的环境和防止产生更多的危险,这就要求机器人必须具有导航能力;其次,为了向救灾中心提供幸存者的位置,机器人必须能够确定自身位置,完成任务后回到救灾中心,这就要求机器人具有定位和路径规划能力。救灾机器人的导航方式可分为:基于环境信息的地图模型匹配导航、基于各种导航信号的陆标导航、视觉导航和味觉导航等<sup>[11]</sup>。定位能确定机器人在二维工作环境中相对于全局坐标的位置,可分为惯性定位、陆标定位和声音定位等。路径规划是根据机器人所感知到的工作环境信息,按照某一性能指标搜索一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰撞路径,并且实现所需清扫区域的合理完全路径覆盖,可分为两种类型:环境信息完全掌握的全局路径规划和环境信息完全未知或部分未知的局部路径规划。此外,GPS能对全球表面任何地点及近地空间提供实时高精度的三维位置、三维速度和时间信息<sup>[12]</sup>。救灾机器人可采用卫星定位系统与电子地图结合的方式,随时提供救灾机器人的方位,实现机器人定位的可视化。

#### 3.4 通讯系统和控制方式

救灾机器人通讯系统负责完成前方与后方之间的双向信息交流,包括数据通讯、视频信号、音频信号的通讯,其视频、音频信号由微波设备进行无线传输,控制指令由有线或无线遥控系统完成。其次,救灾机器人的控制方式分为线控式、无线遥控式、自适应式。目前,大多数使用线控式和无线遥控式。线控式控制可靠性高,但控制线缆很容易被现场锋利的金属片划破、刺穿,甚至割断;无线遥控式控制操作方便,机器人行动灵活,但控制信号容易受到现场各种金属残片的屏蔽;而自适应救灾机器人具有多种感知功能,可进行复杂的逻辑推理、规划和决策,在作业环境中自主行动,具有很高的智能性。

#### 3.5 能源供给

目前,救灾机器人的能源供给有两种形式:有线和无线。前者在机器人体外提供能源,利用导线给机器人供能,可以不受机器人尺寸的影响,但存在导线的电压降和导线与被测表面的摩擦等,限制了机器人的救援距离;后者则不受导线的影响,理论上可以通过任何路线救援,关键是要找到能集成到救灾机

器人本体上的高能蓄电池,或利用微波等其它形式向机器人无线供能。

### 3.6 装备材料

现场的尘土、烟雾和散落的废墟都会增加救灾机器人执行任务的难度。同时,现场的高温也不利于机器人的使用,甚至可能出现履带或轮胎被高温熔化并发生燃烧等现象。因此,在设计过程中应注意机器人的防尘能力和耐热性,还要考虑它的防水、防爆、防腐蚀、防电磁干扰、抗热辐射等功能。此外,复杂的现场环境还对机器人的控制线提出了新的要求,锋利的金属残片或其它残骸对控制线产生了威胁,所以在选择控制线时必须考虑它的坚固性。

## 4 发展趋势 (Development trends)

目前,许多研究单位正致力于救灾机器人的多方面研究,以期救灾机器人的技术更加完善。在今后的一段时间内,救灾机器人的发展主要表现为:

### 4.1 移动机构

在灾难事故中,现场地理环境比较恶劣,要求救灾机器人具有多种灵活的移动机构,能适应不同的环境。移动机构从轮履式结构向仿生结构方向发展,尺寸上向微型化方向发展。

### 4.2 导航与定位

避障、越障是救灾机器人完成任务的前提,在完全未知或部分未知环境下,自然路标导航与定位技术、视觉导航中路标的识别、图像处理的快速算法以及专用数字信号处理器(DSP)的开发与研制等方面的研究,也可使救灾机器人的导航与定位取得突破性进展。

### 4.3 控制方式

救灾机器人的控制方式是机器人的性能指标之一。研究操作平台的视、听感知遥控操作技术,与实时探测结合,实现遥控控制。进一步研究用于处理复杂环境的计算机视觉技术,实现自适应多功能救灾机器人。

### 4.4 组建机器人救灾队

随着科技高速发展,机器人的自动化程度不断提高,将由机器人组成一支真正的救灾队伍。实现这一目标,可分为3个阶段:第一阶段,开发用于探测和嗅觉检测的搜救机器人,以寻找灾难现场的幸存者;第二阶段,开发用于挖掘的救护机器人,让幸存者脱离危险环境;第三阶段,开发用于急救的救援机器人,把幸存者搬运到安全地点进行急救。尽管距离创造出一支真正的救灾队伍的目标还差得很远,但

目前已经研制出来的搜救机器人已可随时前往灾难现场执行任务。

## 5 煤矿救灾的应用 (Applications to the mine rescue)

我国煤矿大多数为井工开采,不安全因素很多,瓦斯煤尘和火灾等灾害事故频繁发生,灾害事故危害严重,伤害人员多,中断生产时间长,损毁井巷工程或生产设备。然而,煤矿事故发生的原因极为复杂,是偶然性和必然性的结合,各类灾害事故存在突发性、灾难性、破坏性和继发性特点<sup>[13]</sup>。因此,研究煤矿救灾新装备是一项紧迫任务。

目前,救灾方式只是根据事故的类型确定救灾的方案,一般救护人员无法进入危险区域,只能通过提升绞车、移动式风车等设备清除垃圾,向井下通风,然后再搜救遇险矿工。这种方式危险性大,伤亡人数多,救灾周期长,往往效率低。随着科技的发展,机器人将被应用到煤矿救灾领域。救灾机器人利用自身的优点,能迅速找到井下遇险矿工的位置,降低事故危害性,对提高救灾效率具有重大意义,具体表现为:

(1)机器人具有灵活性好、机动性强的特点,有较好的爬坡和越障能力,能适应现场各种各样的地理环境。比如,蛇形救灾机器人能适应任何的复杂环境,在井下能自由运动。

(2)机器人的探测技术发展迅速,能迅速找到井下遇险矿工的位置。机器人利用传感器通过探测井下遇险矿工的呻吟声、体温的变化及心脏跳动的频率的信息能找到他们的位置。其次,机器人的视频探测器(CCD摄像头)具有信息直观、能实现计算机辅助控制等特点,可以将现场环境的图像返回到救灾中心,为进一步控制机器人的运动方向,制定下一步救灾的方案提供决策依据。最后,机器人还能进入井下区域,监测事故现场(如温度、瓦斯以及有害气体的浓度)的变化,防止事故的二次发生。

(3)机器人具有为井下遇险矿工投放小包食品、药物和通讯装置等辅助功能,能有效地减少遇险矿工的伤亡人数。

## 6 结论 (Conclusion)

目前,世界上许多国家都在开展救灾机器人的研究工作,都已取得了重要成果。但救灾机器人的研究应先易后难,边研制边推广,循序渐进,不断提高。在救灾机器人的研制中不应过分追求技术的先进

性,而应把针对有限目标的实际应用放在首位.其次,救灾机器人系统的优势决定了机器人能广泛地应用到一切可能对人员生命、健康构成威胁的场所,如煤矿救灾、解救人质、处理化学危险品泄漏等等.

救灾机器人的研究内容广泛,包括移动机构、探测技术、多传感器信息融合技术、导航和定位技术、自适应控制技术、仿生技术等方面.它既借鉴危险作业机器人的理论和方法,又拓宽新的研究领域,具有相当的研究和应用前景.在当今社会,研究有自己特色的救灾机器人,无疑具有巨大的社会效益和经济效益.

### 参考文献 (References)

- [1] 佚名. 日本研制出新型蛇行救援机器人 [EB/OL]. [http://www.chinainfo.gov.cn/data/200306/1\\_20030630\\_60846.html](http://www.chinainfo.gov.cn/data/200306/1_20030630_60846.html), 2003.
- [2] 佚名. 驾驶战机横行战场? 美战斗机器人海湾备战 [EB/OL]. <http://www.news.tom.com/Archive/1003/2003/1/14-43053.html>, 2003.
- [3] 佚名. 产品介绍 [EB/OL]. <http://www.mini-robot.com.cn/products/microvgtv.html>
- [4] 王京. 超级间谍机器苍蝇 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (3): 20 - 22.
- [5] 寒芯. 日本消防机器人 [J]. 机器人技术与应用, 1996, (3): 10 - 11.
- [6] 佚名. 扫雷清障机器人 [J]. 机器人技术与应用, 1996, (3): 21 - 23.
- [7] 李斌. 蛇形机器人的研究及在灾难救援中的应用 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (3): 22 - 26.
- [8] 王握文. 我国首台蛇形机器人诞生 [EB/OL]. [http://www.pla-daily.com.cn/gb/jskj/2001/11/27/20011127001006\\_gkjyqy.html](http://www.pla-daily.com.cn/gb/jskj/2001/11/27/20011127001006_gkjyqy.html), 2001.
- [9] 张福学. 机器人技术及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000. 609 - 610.
- [10] 戴先中. 危险作业机器人——人类的好帮手 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (3): 3 - 5.
- [11] 李磊, 叶涛, 谭民. 移动机器人技术研究现状与未来 [J]. 机器人, 2002, 24(5): 475 - 480.
- [12] 李克杰. 危险作业机器人发展战略研究 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (5): 14 - 22.
- [13] 漆旺生, 朱锴, 李建堂. 如何当好抢险救灾总指挥 [J]. 劳动保护科学技术, 1998, (5): 21 - 22.

### 作者简介:

钱善华 (1980-), 男, 硕士生. 研究领域: 测试计量技术.  
 (1963-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 救灾机器人, 复合材料, 生物摩擦学.