

矿难救援机器人的研究应用现状与开发^{*}

王忠民¹, 刘 军¹, 窦 智¹, 杜占灵²

(1. 西安邮电学院, 西安 710121; 2. 蒲白矿务局, 陕西 蒲城 715517)

摘 要: 矿难救援机器人的研发具有非常深远的影响和现实意义。在介绍国内外救援机器人研究及应用现状的基础上, 分析了矿难救援机器人的移动机构、通信方式、环境信息获取与导航、生命特征检测以及人机交互系统等关键技术的研究现状及其发展趋势, 对所开发的矿难救援机器人进行了介绍。

关键词: 矿难; 搜救; 机器人; 研究现状; 应用开发

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0794(2007)11-0005-03

Research and Application Status and Development of Search and Rescue Robot for Mine Disaster

WANG Zhong-min¹, LIU Jun¹, DOU Zhi¹, DU Zhan-ling²

(1. Xi'an Institute of Post and Telecommunications, Xi'an 710121, China; 2. Pubai Mine Bureau, Pucheng 715517, China)

Abstract: Research and development of search and rescues robot for mine disaster are a far-reaching meaningful issue. The current research status of search and rescue robots both at home and abroad is introduced thoroughly. Some key techniques, such as mobile configuration, communication technique, environment information acquiring and navigation, detecting victim life signs and human-robot interaction system, etc. are investigated, and their developing tendencies are put forward. The development of the mine disaster search and rescue robot is introduced.

Key words: mine disaster; search and rescue; robot; research status; application development

0 引言

我国是世界产煤大国, 由于作业设备与工艺相对落后, 管理水平欠缺等原因, 各类矿难事故频繁发生, 导致煤矿事故死亡人数居世界首位。近年来由于国内对煤炭需求的不断增加, 煤炭企业超负荷运转, 导致煤炭生产的安全形势仍有进一步恶化的趋势。

死亡率居高不下的原因除了机械化程度低、煤层地质结构复杂、高瓦斯矿井多等原因之外, 矿难救援水平落后也是一个不可忽略的重要因素。事故发生后无法迅速准确地得到灾难现场的信息, 如瓦斯浓度的高低、灾难现场是否发生火灾、被困或遇难人员的位置以及现场温度、氧气含量、CO 等有害气体的含量、现场倒塌状况等, 从而延误了救援工作的开展。矿难救援机器人可有效地解决这些问题。

本文在分析国内外救援机器人研究及应用现状的基础上, 提出了矿难救援机器人的关键技术问题和发展趋势, 并对所开发的矿难救援机器人进行了介绍。

1 国内外研究与应用现状

^{*}陕西省出国留学人员科技活动择优资助项目(陕外专发[2005]31号); 陕西省教育厅专项科研计划项目(06JK200)

近 10 a 多来, 日本、美国等发达国家在地震、火灾等救援机器人的研究方面做了大量的工作, 研究出了各种可用于灾难现场救援的机器人。有关日本研究成功各类救援机器人的报道很多, 这些新研制的救援机器人仍处于实验室阶段, 大多都没有得到救援现场的实际考验。

在美国, 从事救援机器人研究的大学或研究机构主要有: 卡耐基-梅隆大学(CMU)的机器人技术研究所, 南佛罗里达大学机器人辅助搜寻与救援研究中心, Foster-Miller 公司等。这些机构都参加了 2001 年“911”事件后纽约世贸大厦的现场救援工作, 图 1 是部分参与 911 救援工作的机器人。据时代周刊报道, 在最初的 10 d 当中, 救援机器人在搜救犬、人工无法抵达的狭小或危险区域找到 10 余具遇难者的遗体, 与现场搜救工作人员找到的数量基本相同, 但所花的时间却不到现场救援人员花费时间的一半。

虽然美国、日本等西方发达国家近年来在救援机器人的研究方面做了大量工作, 取得了不少的研究成果, 但重点放在了地震、火灾等救援机器人的研究工作上。究其原因在于近 10 a 多来其煤矿安全状况的大大改善。目前, 美、英、德、澳等发达国家已基本消灭了矿难重大死亡事故。尽管如此, 美国等国

家仍然在矿难救援机器人的研究方面投入了不少的精力。图 2(a)是 CMU 大学在美国政府基金资助下于 2003 年完成的矿难搜救机器人,它是一个完全自主的不需要人工干预的矿难搜救机器人。图 2(b)是美国劳工部矿业安全与卫生局花巨资购买的用于矿难救援的机器人。



图 1 参加“911”纽约世贸大厦现场搜救工作的机器人



图 2 用于矿难救援的机器人

2006 年初,美国西弗吉尼亚 Sago 煤矿发生矿难,造成 12 名矿工死亡。事故发生后,救援人员使用 GPS 测定被困矿工的方位,然后从地面上钻了 3 个深孔,以便给井下输送氧气,同时期望对井下的状况进行检测。救援人员通过深孔向井下派出了一个救援机器人,如图 3 所示,这是搜救机器人被第 1 次用于矿难的救援,但最终因机器人中途行进过程中陷入泥潭而受阻。

我国目前有不少高校和科研院所在从事机器人的研究工作,部分成果如焊接和喷涂等机器人已进入实用阶段。在矿难救援方面也有单位在进行救援机器人和非接触式智能 IC 卡救援系统等方面的研究工作。目前,国内还没有搜救机器人用于灾难救援的报道。



图 3 搜救机器人用于矿难救援

2 矿难救援机器人关键技术及发展趋势

移动性是救援机器人开展搜救工作的基础和前提,“911”事件后纽约世贸大厦现场的搜救工作以及西弗吉尼亚 Sago 煤矿的矿难救援工作都证明了这一点。搜救机器人主要有履带式搜救机器人、可变形(多态)搜救机器人以及仿生搜救机器人等。但由于矿难发生的采掘面通常离升井口或地面有很远距离,加之矿难发生后由于爆炸而使矿井坑道路况变坏,因此,运动速度相对较慢,无法搭载过多传感器的小型仿生机器人并不太适合矿难的救援工作,传统的轮履式或可变形轮履式移动平台仍然是矿难救援机器人移动平台的最佳选择。

机器人与操作者之间常用的通信方式有无线和电缆 2 种。电缆方式可以通过线缆方便地为机器人提供能量,稳定可靠地实现机器人和操作者之间的信息传送,但随着搜寻范围的深入,线缆很容易发生缠绕而影响机器人的移动。无线通信方式的稳定性较难保证,根据参加“911”救援的美国几家救援机器人研究机构公布的数据,无线机器人与主控计算机之间传送的数据有大约 25% 由于噪声的影响而丢失或失去意义。

搜救机器人的主要工作就是通过传感器实现自身的导航、环境信息的获取以及幸存人员的搜寻。目前搜救机器人主要采用人工控制方式来实现机器人的导航。被困人员的搜寻是搜救机器人的最主要任务,目前通常通过对视频图像的监测来识别是否有被困人员,但由于被困人员身上被灰尘所覆盖,传统的彩色图像分割和区域检测方法通常会失效。发现被困人员后需要迅速判断是否还活着,生命体征检测装置的研制近年来成为了研究的热点。南佛罗立达大学 Murphy 教授领导的机器人团队已开发出了多个非介入式生命体征检测传感器,用于判断被困人员的生存状况。

在灾难现场,搜救机器人的操作者精神高度紧张且需要长时间连续高负荷工作,因此良好的人机交互系统是提高搜救效率、减轻救援人员工作强度的保证。南佛罗立达大学 Murphy 教授领导的机器

人团队在此方面已做了大量的研究工作。

3 矿难救援机器人的开发研究

西安邮电学院机器人项目组在陕西省出国留学人员科技活动择优资助项目及陕西省教育厅专项科研计划项目的支持下,在协作单位陕西煤业集团有限责任公司下属某国有大型煤矿的支持与指导下,已研制成功了可用于矿难救援的机器人。

(1) 机器人移动平台设计

考虑矿难发生后由于爆炸而使得矿井坑道路况变坏,机器人必须具有很强的爬坡、越障、防倾覆等能力,机器人采用履带式结构,采用蓄电池供电,直流电机驱动。机器人机体使用铝合金铆焊而成,结构设计合理,具有较强的抗颠覆能力、爬坡能力和承载能力($>1\text{ kN}$)。

(2) 传感检测装置

设计了专用传感器搭载平台,机器人配有网络摄像头,照明设备,超声传感器,气体传感器,麦克风等。摄像头获取的井下信息通过光纤传送到地面指挥中心的主控制器,机器人操作者可根据传回的视像信息了解井下的有关情况、发现幸存者以及对机器人运动的控制等;超声传感器主要用于机器人的避障;麦克风用来检测井下呻吟或呼救声以便发现幸存者;气体传感器用于检测井下有关气体的含量,以便地面指挥中心对井下状况做出准确的判断。

(3) 机器人与主控单元的通信

机器人与主控单元通信可采用无线方式和光纤线缆方式。考虑到矿难现场环境的复杂性,本系统不追求系统的高度自治,通过机器人操作者来控制机器人的移动。前端机器人的控制由嵌入式 RAM 系统来完成,在检测到障碍物后机器人会自动避让,实现了局部自治加人工手动控制结合的机器人控制,机器人控制界面友好,操作方便灵活。

在设计研发过程中,以解决实际具体问题为目标,不过分追求技术上的先进性,采用了机器人局部

有限自治加人工手工控制相结合的控制方式,没有考虑机器人的定位、导航、地图绘制以及未知环境探索等这些在室内结构化环境下已基本成熟,但在非结构化未知复杂环境下的灾难现场仍存在很多的技术难题。

4 结语

矿难救援机器人的研发具有非常深远影响和现实意义,必将在矿难救援工作中发挥不可替代的积极作用,产生良好的社会效益。矿难现场的复杂性对搜救机器人在硬件和软件 2 个方面都提出了很高的要求。2006 年美国西弗吉尼亚 Sago 煤矿矿难救援工作中首次使用机器人就被中途搁浅的事实说明,矿难救援机器人还有很多关键性技术问题,对移动性和人机可靠通信要进行更深入地研究。

参考文献:

- [1] Binoy Shah, Howie Choset. Survey on Urban Search and Rescue Robotics [R]. CMU, Pittsburgh, PA 15213, 2003.
- [2] J. Davitt McAteer. The Sago mine disaster - a preliminary report to governor Joe Manchin III [R]. July, 2006.
- [3] 钱善华,葛世荣,王永胜,等. 救灾机器人的研究现状与煤矿救灾的应用[J]. 机器人, 2006(3): 350 - 354.
- [4] 陈晓纪,任永昌,叶景楼,等. 非接触式智能 IC 卡在井下人员定位系统中的应用[J]. 煤矿机械, 2007, 28(5): 143 - 145.
- [5] Robin Murphy. Robot - Assisted Search and Rescue: A Grand Challenge Problem for Computing Systems [R]. University of South Florida, Center for Robot - Assisted Search and Rescue.
- [6] Murphy's sensors Robot for victim detection - <http://crasar.csee.usf.edu/MainFiles/aug26-02.htm>.
- [7] R. Murphy. Human - Robot Interaction in Rescue Robotics [J]. IEEE Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews, special issue on Human - Robot Interaction, 2004, 34(2): 138 - 153.

作者简介: 王忠民(1967 -), 陕西蒲城人, 博士, 教授, 2000 年在北京理工大学获机械制造及其自动化专业博士学位, 主要研究方向: 机器人技术, 智能信息处理, 嵌入式系统与智能控制, 电话: 029 - 88166291, 电子信箱: zmwang @xxyou.edu.cn.

收稿日期: 2007-07-24

中波合资生产煤矿大型液压支架

8 月 18 日, 由山东新汶矿业集团泰山建能公司与波兰柯派克斯股份有限公司共同投资组建的山东塔高矿业机械装备制造有限公司竣工投产。

该项目总投资 2.46 亿元, 拥有数控车床、数控机床、数控切割机、氩弧焊机等世界先进生产设备和国际上最先进的液压支架生产工艺, 主要生产缸径 430 mm 以上, 支撑高度 8 m 以上, 支撑阻力 16 kN 以上的煤矿用大型液压支架, 是国内唯一与外商合作投资, 专业生产煤矿大型液压支架的企业。该项目预计年销售收入 2008 年可达到 10 亿元, 利润 1 亿元, 提供 900 人的就业岗位。按照规划, 2009 年销售收入将达到 20 亿元, 2010 年达到 30 亿元, 利润达到 3 亿元以上, 将向社会提供 1 600 人的就业岗位, 将成为国内最大的煤矿大型液压支架专业生产企业。

周 峰 供稿