

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201112007

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20120921.1541.001.html>

具有拨土功能的轮腿一体化机器人结构设计

孙玉香^{1,2}, 曹会彬¹, 冯勇², 葛运建^{1,2}

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所 仿生感知与控制研究中心, 安徽合肥 230031; 2. 中国科学技术大学 信息科学技术学院, 安徽合肥 230026)

摘要: 针对矿井灾难环境特点, 采用三维建模软件设计了一种轮腿一体化机器人. 该机器人采用轮腿一体式结构, 具备了腿式机器人和轮式机器人的运动优点. 分析了在不同环境下机器人采用的行进方式(即机器人步态), 增强了机器人的环境适应能力, 并且设计了基于多传感器信息的运动控制系统. 该系统能够完成灾难矿井下的环境探测、信息获取以及机器人步态控制等功能, 为矿难救援工作提供了重要的信息.

关键词: 机器人; 轮腿一体化机器人; 机器人结构; 拨土功能; 机器人步态; 多传感器系统; 矿难救援

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2012)05-0409-05

Structure design on a leg-wheeled-integration robot with an earth-moving function

SUN Yuxiang^{1,2}, CAO Huibin¹, FENG Yong², GE Yunjian^{1,2}

(1. Research Center for Biomimetic Sensing and Control, Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. College of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: According to the environmental characteristics of mine disaster, this paper designs a leg-wheeled integration robot by using 3D modeling software. The robot takes the structure of leg-wheeled integration, which has the movement advantages of leg robot and wheel robot, analyzes the walking method of robot in various environmental states, enhances the environmental adaptability of robot, and also designs the motion control system based on multi-sensor information. This system can fulfill various functions, such as environment detection, information acquisition, and robot walking control, etc, providing significant information for the rescue work when mine disaster happens.

Keywords: robot; leg-wheeled-integration robot; robot structure; earth-moving function; robot gait; multi-sensor system; mine rescue

煤炭行业是我国工业生产中伤亡事故最严重的行业, 严重的生产安全事故不仅造成了人民生命财产损失, 而且影响社会安定. 安全有效的应急救援对减少矿难损失具有重要意义, 矿难救援工作主要受到下列因素的影响: 幸存者通常被困在堵塞的空间内, 这些空间往往过于狭小, 致使救援人员无法进入; 现场巷道机构不稳定, 救援工作可能引起巷道二次坍塌, 对救援人员和被困人员造成伤害; 矿难现场的可燃易爆气体容易发生爆炸, 产生二次灾害等^[1,2].

为了使救援顺利展开, 研发一款可以进入被堵塞的空间、探测现场状况的矿难救援机器人具有重要的意义. 国内外针对矿难救援机器人做了大量的研究工作^[3], 如美国桑迪亚国家实验室(Sandia National Labs)2011年8月份展出了其新研发的 Gemini-Scout 矿难救灾机器人, 该机器人体积小, 重量轻, 能够灵活穿过狭窄的角落, 并能在土堆、石块等环境下爬行, 以及把幸存者拖至安全区域^[4]; 中国矿业大学可靠性与救灾机器人研究所研制了国内第一台煤矿搜救机器人——CUMT-1 型煤矿搜救机器人, 该搜救机器人采用自主避障和遥控引导相结合的行走控制方式, 能够深入事故矿井, 探测前方的火灾温度、瓦斯浓度、灾害

收稿日期: 2011-12-08. 网络出版日期: 2012-09-21.

基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作研究项目(60910005).

通信作者: 孙玉香. E-mail: yxsun@iim.ac.cn.

场景、呼救声讯等信息,并实时回传这些信息和图像,为救灾指挥人员提供重要的现场灾害信息.同时,该搜救机器人还可携带急救药品、食物、生命维持液和简易自救工具,以协助被困人员实施自救和逃生^[5].

但是以上这些矿难救援机器人基本上都是轮式与履带式的,而轮腿复合式的矿难救援机器人还很少见.由于轮腿复合式机器人结合了轮式机器人行进速度快和腿式机器人善于在非结构环境中行进的优点,因此研究轮腿复合式的机器人具有重要意义.

1 拨土机器人总体结构设计

1.1 本体结构设计及 PRO/建模

移动机器人大体可分为腿式、轮式、履带式机器人等.腿式机器人环境适应能力强,但移动速度比较慢;轮式机器人运动速度快,控制简单,但环境适应能力差^[6-7].考虑到灾难矿井环境的复杂性和非结构性,本文设计了一款具有拨土功能的轮腿一体化的机器人,该机器人结合了腿式机器人与轮式机器人的优点,采用6条腿的行进方式,增强了机器人在复杂环境中的适应能力^[8-10].

Pro/ENGINEER(简称 Pro/E)是美国 PTC 公司于 1988 年推出的参数化建模软件,是一个多功能的 3D 软件,其最擅长的是实体造型,加工以及大型组件装配、管理和模具结构设计,该款软件在这些方面的应用都得到了很好的普及,拥有极大的优势^[11].根据提出的设计方案,运用 Pro/E 三维软件对轮腿机器人进行建模,其三维模型如图 1 所示,图 2 是拨土机器人的三维结构爆炸图.

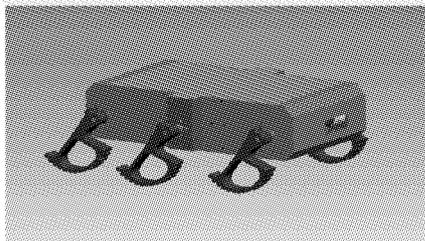


图1 机器人三维模型

Fig.1 Three-dimensional model of the robot

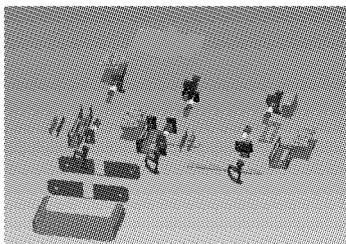


图2 机器人三维爆炸图

Fig.2 Three-dimensional exploded diagram of the robot

1.2 机器人内部传动方式

机器人的每条腿采用独立电机驱动方式,可以通过每条腿的不同转速使得机器人自由转弯,而不需要再增加额外的转弯机构,这样机器人的结构更加简单,在复杂的环境中运动具有更好的灵活性.不仅如此,当机器人处在拨土状态时,若其中的某条腿前方或者下方障碍物较多时,可以直接驱动单条腿来实现障碍物的转移,使得驱动目的更加明确.机器人内部传动方式如图 3 所示.

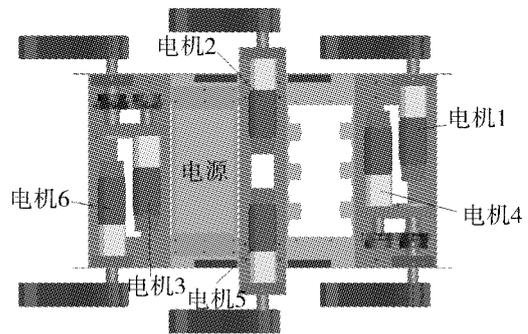


图3 机器人内部传动

Fig.3 Internal drive map of the robot

2 拨土机器人腿部结构及步态分析

2.1 机器人腿部结构

该机器人共有 6 条腿,每条腿的机械结构形式相同,腿部结构近似为“b”形状.这种近似为“b”形状的腿选用质量轻,且有一定强度的工程塑料来实现.腿部与地面接触的部分具有一定的齿状结构,这种结构主要增加腿部与地面之间的摩擦力,在实际应用中主要用带有齿状的皮带来实现这种结构,腿部结构三维视图如图 4 所示.

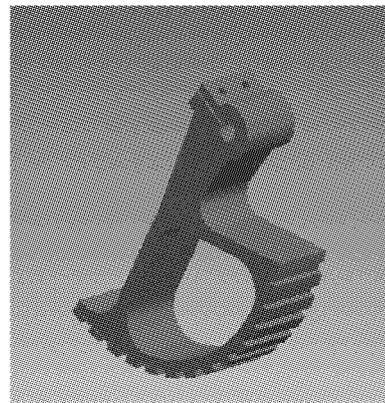


图4 机器人腿部结构

Fig.4 Structure of the robot leg

当电机带动腿部开始运动时,表面齿状结构可以将地上的土甩到与机器人行进方向相反的方向,同时完成行进与拨土的功能,提高了机器人的工作效率,使

得机器人的控制更为简单.

2.2 机器人步态分析

本研究的一个重点是针对不同的非结构环境,采用不同的行走方式,增强机器人的环境适应能力.为了对机器人步态进行分析,对机器人的6条腿标记如图5所示.

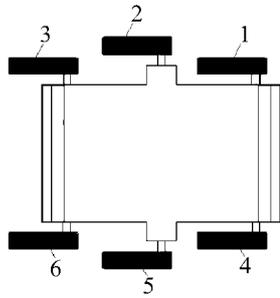
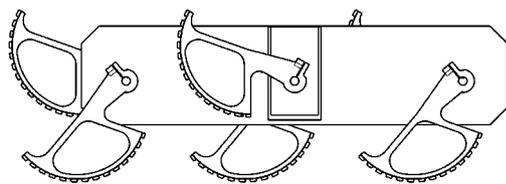


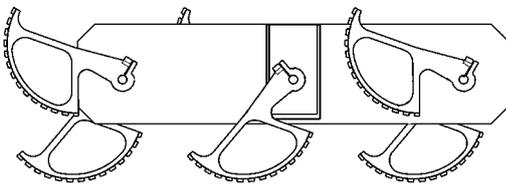
图5 机器人腿部标号

Fig.5 Legs label of the robot

1)当机器人在较为空旷的地面上行进时采用三角步态来实现稳定的行走,腿1、3、5组成一个运动左三角,腿2、4、6构成运动右三角,机器人行进时,其行进步态如图6所示.图6(a)显示的是构成左三角的腿1、3、5开始运动,构成右三角的腿2、4、6支撑地面;图6(b)显示的是构成右三角的腿2、4、6开始运动,构成左三角的腿1、3、5支撑地面.左三角和右三角依次轮流着地,完成机器人的前进.



(a) 步态1



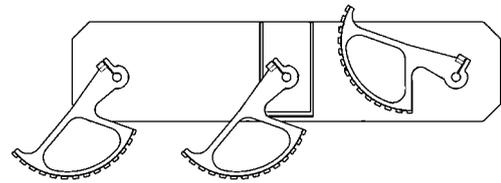
(b) 步态2

图6 机器人三角步态

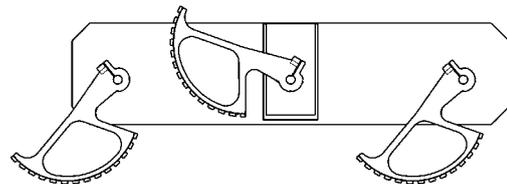
Fig.6 Triple gait of the robot

2)当机器人在较多杂土的洞穴里行进时,采用双足步态,腿1、4构成前双足,腿2、5构成中双足,腿3、6构成后双足,行进时双足同时提起,但须始终保持另外4条腿接触地面用于支撑,机器人行进步态如图7所示.图7(a)显示的是腿1、4开始运动,

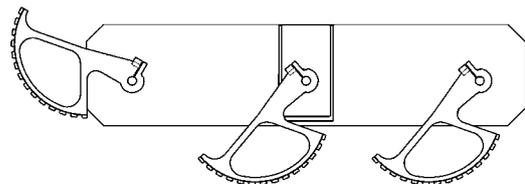
腿2、3、5、6处于支撑状态;图7(b)显示的是腿2、5开始运动,腿1、3、4、6处于支撑状态;图7(c)显示的是腿3、6开始运动,腿1、2、4、5处于支撑状态.这3种步态依次轮流工作,从而完成拨土功能和行进运动.



(a) 步态1



(b) 步态2



(c) 步态3

图7 机器人双足步态

Fig.7 Bipedal gait of the robot

3 机器人控制系统设计

控制系统采用分层结构,由上位机监控系统、下位机控制系统、电机控制器、各类传感器和通信接口组成,控制系统的总体结构如图8所示.

3.1 上位机监控系统

上位机监控系统为PC机系统,主要功能是接收下位机传来的灾难矿井的各种环境信息,包括温度、甲烷浓度、氧气浓度以及一氧化碳浓度等信息,实现对现场环境的监测和预警.上位机监控系统根据环境信息以及机器人本身的姿态信息对任务进行分解,完成各种行为的高级决策,并将分解后的各子系统任务(或动作组合)传给下位机控制系统,以便实现对机器人的控制.上位机监控系统与下位机控制系统的信息传输是通过无线网络来实现的,避免了连线对机器人运动的影响,增强了机器人的环境适应能力.

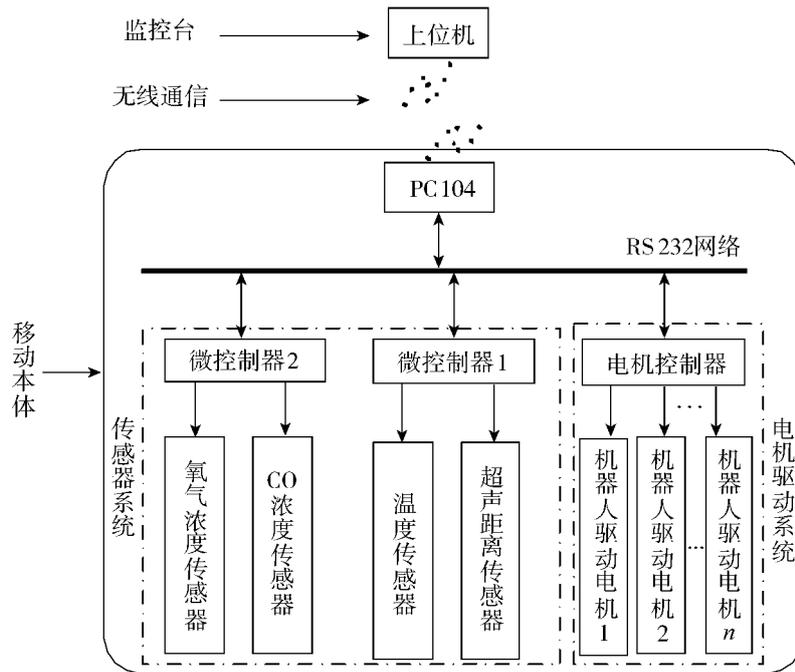


图8 控制系统总体结构

Fig.8 General structure of control system

3.2 下位机控制系统

下位机控制系统主要包括以 PC104 为处理核心的中央控制系统和底层控制系统。

1) 中央控制系统.

中央控制系统采用 PC104 架构的嵌入式工控板,主要实现的功能有:接收底层各类传感器的信息和上位机命令、关节运动学求解、电机运动控制和自主避障策略分析. PC104 与微控制器 1、微控制器 2、电机控制器组成 RS232 网络进行通信,与上位机的通信采用无线方式. RS232 网络采用主/从多机通信的方式,在网络中 PC104 为主机,微控制器 1、微控制器 2、电机控制器为从机,每个从机定义了不同的地址. 通信时,主机通过广播的方式发送指令,而从机通过解析主机指令来作出相应的回应.

2) 底层控制系统.

底层控制系统包括电机控制系统和传感器控制系统. 电机控制系统主要用来接收中央控制系统的命令,驱动各个电机按命令格式转动,实现机器人的各种运动;传感器控制系统主要是感知环境信息,然后把信息通过 RS232 网络传到中央控制系统,该信息作为中央控制系统实现命令的一个依据.

4 结束语

本文针对灾难矿井环境特点,设计了一种具有运动性能高、环境适应能力强的拨土机器人. 该机器人足部采用轮腿一体式结构,分析并设计了机器人在行进时采用的三角步态和拨土时采用的双足步态,增强了机器人的环境适应能力,并在此机构上设

计了基于多传感器信息的运动控制系统,该系统能够完成灾难矿井下的各种作业任务,为矿难救援工作提供了重要的信息和移动平台,也为机器人本体行进和废墟中的掘进控制提供了模型参考.

参考文献:

- [1] WOLF A, BROWN H B, CASCIOLA R, et al. A mobile hyper redundant mechanism for search and rescue tasks [C]//Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Las Vegas, USA, 2003, 3: 2889-2895.
- [2] EICH M, GRIMMINGER F, KIRCHNER F. A versatile stair-climbing robot for search and rescue applications [C]//Proceedings of IEEE International Workshop on Safety, Security & Rescue Robotics. Sendai, Japan, 2008: 35-40.
- [3] 冯勇. 仿土拨鼠矿难救灾机器人控制系统关键技术研究 [D]. 合肥:中国科学技术大学, 2012: 3-9.
FENG Yong. Research on key technologies of control system for groundhog mine rescue robot [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2012: 3-9.
- [4] QUICK D. Gemini-scout mine rescue robot to lead the way to trapped miners [EB/OL]. (2011-08-16) [2011-11-19]. <http://www.gizmag.com/gemini-scout-mine-rescue-robot/19543/>.
- [5] 人民网. 深入矿井探源发图 煤矿搜救机器人诞生 [EB/OL]. (2006-06-30) [2011-11-19]. <http://scitech.people.com.cn/GB/1057/4546129.html>.
- [6] 丁希仑, 王志英, ROVETTA A. 六边形对称分布六腿机器人的典型步态及其运动性能分析 [J]. 机器人, 2010, 32

(6): 759-765.

DING Xilun, WANG Zhiying, ROVETTA A. Typical gaits and motion analysis of a hexagonal symmetrical hexapod robot[J]. Robot, 2010, 32(6): 759-765.

[7] ALTENDORFER R, MOORE N, KOMSUOGLU H, et al. RHex: a biologically inspired hexapod runner[J]. Autonomous Robots, 2001, 11(3): 207-213.

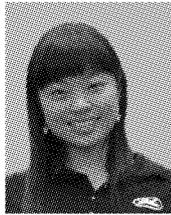
[8] CAMPBELL D, BUEHLER M. Stair descent in the simple hexapod 'RHex' [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Taipei, China, 2003, 1: 1380-1385.

[9] DALTORIO K A, GORB S, PERESSADKO A, et al. A robot that climbs walls using micro-structured polymer feet [C]//International Conference on Climbing and Walking Robots. London, UK, 2005: 131-138.

[10] SILES I, WALKER I D. Design, construction, and testing of a new class of mobile robots for cave exploration [C]//IEEE International Conference on Mechatronics. Malaga, Spain, 2009: 1-6.

[11] 凯德. 精通 Pro/ENGINEER 3.0 中文野火版—基础入门篇[M]. 北京: 中国青年出版社, 2007: 10-15.

作者简介:



孙玉香,女,1984年生,助理研究员,主要研究方向为机器人学与传感器技术。



曹会彬,男,1980年生,助理研究员,主要研究方向为机器人控制与传感器技术。



冯勇,男,1975年生,博士,主要研究方向为机器人控制。



葛运建,男,1947年生,研究员,博士,中科院智能所机器人传感器实验室主任,国家“863”计划智能机器人传感技术网点实验室主任,中国自动化学会机器人专业委员会常务委员,中国人工智能学会理事、智能机器人专业委员会副主任,国际学术期刊《International Journal of Information Acquisition》副主编。主要研究方向为信息获取与处理、机器人感知系统、人机交互临场感、运动生物力学等。先后承担国家攀登计划、国家“863”计划、国家自然科学基金等科研项目 10 余项,发表学术论文 160 余篇。



Journal of Marine Science and Application

Journal of Marine Science and Application (《船舶与海洋工程学报》), 创刊于 2002 年, 季刊, 中国造船工程学会会刊, 由中国造船工程学会和哈尔滨工程大学联合主办、与国际知名出版集团 Springer 联合出版发行的英文学术期刊。主要刊登国内外船舶与海洋领域最新的科研成果和高水平的学术论文, 旨在促进国际学术交流、推动国内外船舶与海洋科技的发展。是国内唯一一本覆盖船舶、海洋技术各领域的英文期刊, 具体内容涉及船舶工程、海洋工程、船舶轮机工程、水声工程等。该刊现已被英国《科学文摘》(INSPEC)、英国《海事技术文摘》(BMTA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、波兰《哥白尼索引》(IC) 等多个国际重要检索系统收录。

邮发代号: 14-323 连续出版物号: ISSN 1671-9433 CN 23-1505/T 定价: 20 元/期 80 元/年

地址: (150001) 哈尔滨市南岗区南通大街 145-1 号 哈尔滨工程大学期刊社

电话: 0451-82589211 E-mail: jmsa@hrbeu.edu.cn

http://jmsaen.hrbeu.edu.cn http://mc03.manuscriptcentral.com/jmsa