

机器人创新设计与制作

Jiqiren Chuangxinsheji yu Zhizuo

李琦 谢胜利 房静 万书亭◎著



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

机器人创新设计与制作

李 琦 谢胜利 房 静 万书亭 著

中国农业大学出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

机器人创新设计与制作/李琦等著. —北京:中国农业大学出版社,2012. 10
ISBN 978-7-5655-0622-2

I. ①机… II. ①李… III. ①机器人-设计②机器人-制作 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 255269 号

书 名 机器人创新设计与制作

作 者 李琦 谢胜利 房静 万书亭 著

责任编辑 高欣 张蕊

责任校对 陈莹 王晓凤

封面设计 郑川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 7.5印张 138千字

定 价 26.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

目 录

第一篇 工业及服务机器人	(1)
第一章 越障搜救机器人	(3)
1 引言	(4)
2 国内外研究概况	(4)
3 越障搜救机器人的工作原理	(5)
4 越障搜救机器人的结构设计及加工工艺	(10)
5 越障搜救机器人的控制及电源系统设计	(14)
6 作品的主要创新点及经济性分析	(16)
7 方案的改进及扩展	(17)
第二章 家用机器人	(18)
1 引言	(19)
2 国内外研究概况	(19)
3 家用机器人的方案设计	(20)
4 家用机器人的功能模块	(22)
5 家用机器人的结构及加工工艺	(24)
6 家用机器人的控制	(25)
7 作品的主要创新点及经济性分析	(28)
8 方案的改进及扩展	(29)
第三章 利剑安防机器人	(30)
1 引言	(30)
2 国内外研究概况	(31)
3 利剑安防机器人的方案设计	(32)
4 利剑安防机器人的相关参数	(35)
5 作品的主要创新点及经济性分析	(35)

6 方案的改进与扩展	(36)
第四章 管道攀爬机器人	(39)
1 引言	(39)
2 管道攀爬机器人的结构设计	(40)
3 管道攀爬机器人的功能及运行原理	(42)
4 作品的主要创新点分析	(43)
5 应用前景	(43)
第五章 智能越障机器人	(45)
1 引言	(45)
2 智能越障机器人的方案设计	(46)
3 智能越障机器人的机械结构设计	(49)
4 智能越障机器人的控制系统设计	(51)
5 作品的主要创新点及前景展望	(54)
6 方案的改进及扩展	(55)
第二篇 仿生机器人	(55)
第六章 六足机器人	(57)
1 引言	(58)
2 六足机器人的方案设计	(58)
3 六足机器人的整体方案	(65)
第七章 仿生蛇形机器人	(68)
1 引言	(69)
2 国内外研究概况	(69)
3 蛇形机器人的方案设计	(70)
4 蛇形机器人的装配	(72)
5 蛇形机器人的参数	(72)
6 蛇形机器人的运动控制	(73)
7 蛇形机器人的控制方案	(76)
第三篇 亚太机器人	(78)
第八章 胜利鼓乐机器人	(81)



1 引言	(81)
2 机器人总体方案的设计	(82)
3 机器人的眼睛——传感器	(84)
4 机器人单片机选择	(85)
第九章 法老机器人	(94)
1 引言	(94)
2 小自动机器人的设计	(95)
3 小自动机器人的制作	(99)
4 高分辨率颜色传感器	(103)
5 大自动机器人的设计与制作	(105)
6 法老机器人相关参数	(110)
参考文献	(111)

第一篇

工业及服务机器人

机器人(Robot)是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥,又可以运行预先编排的程序,也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。它的任务是协助或取代人类工作,例如,生产业、建筑业,或是危险的工作。近十几年来,机器人的开发不仅越来越优化,而且涵盖了许多领域,应用的范畴十分广阔,大至用于太空开发、月球车、深海探测器、海洋石油开采、航天飞机机械臂等,小至微型手术机械、生命监测仪等。机器人在军事上的用途更是日新月异,从拆弹器、清除地雷器到无人驾驶飞机、战车,有人甚至预测未来战争可能如星球大战一样,是机器人的战争。工业、农业、生物产业、医学、文化产业、电信业、能源开发也都将因机器人的大量登场而出现产业革命。

联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义:“一种可编程和多功能的操作机;或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”一般来说,人们都可以接受这种说法,即机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。日新月异的机器人技术的发展趋势有以下热点:与人类社会的生活更为密切地结合起来,以为人类做出更多的服务作为要素;仿生性、生物性的大趋向;最重要的发展是人性化。机器人的研究从一开始就是拟人化的。

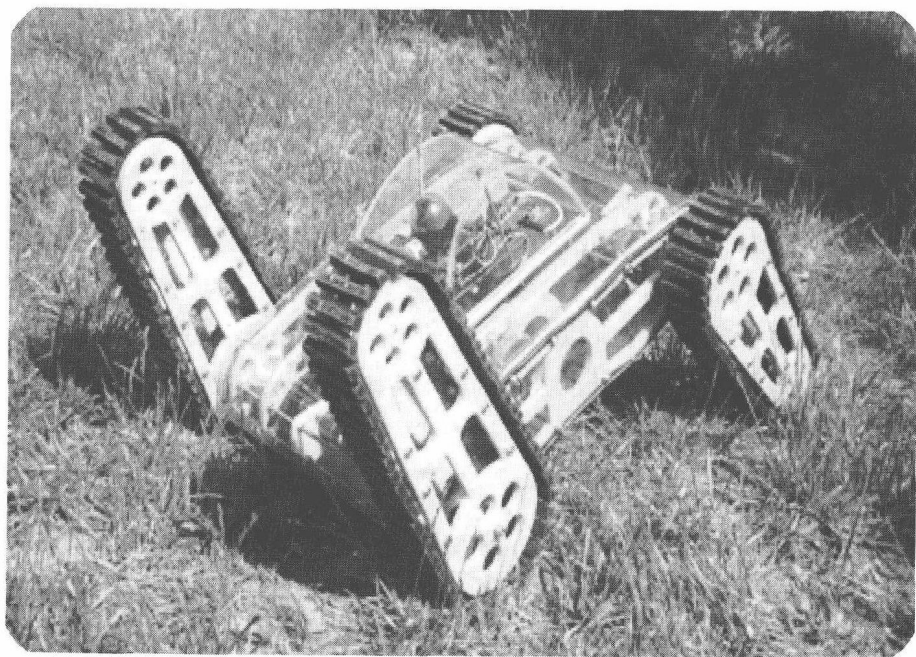
工业机器人由主体、驱动系统和控制系统 3 个基本部分组成。主体即机座和执行机构,包括臂部、腕部和手部,有的机器人还有行走机构。

大多数工业机器人有 3~6 个运动自由度,其中腕部通常有 1~3 个运动自由度。驱动系统包括动力装置和传动机构,用以使执行机构产生相应的动作。控制系统是按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号,并进行控制。对工业机器人控制来说,实时性是一个相当重要的内容,尤其是在远程机器人控制中,如果不能很好地满足系统所需的实时性要求,就失去了研究的基础和意义。

服务机器人是机器人家族中的一个年轻成员。服务机器人的应用范围很广,主要从事维护保养、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。国际机器人联合会经过几年的搜集整理,给了服务机器人一个初步的定义:服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人,它能完成有益于人类健康的服务工作,但不包括从事生产的设备。这里我们把一些贴近人们生活的机器人也列入其中。

第一章 越障搜救机器人

穿越障碍物是搜救机器人设计与应用中首先要考虑的因素。据查证,目前主流的机器人越障方式有轮式越障、腿式越障、履带式越障等。为了使机器人具有较好的灵活性和适应性,我们制作的搜救机器人在越障方式上采用复合方式越障。使用轮式移动方式,保证越障机器人的移动灵活机动;使用腿式结构,增强机器人的跨越障碍能力;使用履带式结构,提高机器人在沙土等松软路面的行驶能力。同时利用 nRF24L01 无线模块实现远程控制和信息采集功能,实现人机控制。越障搜救机器人亦可以方便地搭载其他救援及监测设备,展现了良好的应用价值,为搜救工作的自动化提供了解决方案。



1 引言

地震、火灾、矿难等灾难发生后,从废墟中搜寻幸存者,给予其必要的医疗救助,并尽快救出被困者是救援人员面临的紧迫任务。实际经验表明,超过 48 h 后被困在废墟中的幸存者存活的概率变得越来越低。由于灾难现场情况复杂,在救援人员自身安全得不到保证的情况下是很难进入现场开展救援工作的。此外,废墟中形成的狭小空间使搜救人员甚至搜救犬也无法进入。灾难搜救机器人可以很好地解决上述问题。机器人可以在灾难发生后第一时间进入灾难现场寻找幸存者,对被困人员提供基本的医疗救助服务,进入救援人员无法进入的现场搜集有关信息并反馈给救援指挥中心等。近年来,为了满足救援工作的需要,国内外很多研究机构开展了大量的研究工作,可在灾难现场废墟中狭小空间内搜寻的各类机器人,如可变形多态机器人、蛇形机器人等相继被开发出来。我们设计的搜救机器人是一款基于轮式、履带式、腿式 3 种越障方式相结合的一种越障搜救机器人。越障搜救机器人具备高机动性、强大的环境感知能力和快速的反应能力,能够适应复杂的环境。

2 国内外研究概况

随着机器人技术的发展以及搜救机器人在现实生活中的必要性,越来越多的搜救机器人需要进入实际的搜救任务中,而且在运动过程中,障碍物是首要考虑因素,所以,设计灾难搜救机器人,首先必须考虑的是越障方式。据我们查证,目前主流的机器人越障方式主要有轮式越障、腿式越障、履带式越障 3 种。

2.1 轮式越障

轮式越障目前应用的场合主要是障碍物高度低、障碍物形状比较一致的场合。轮式越障可以采用多轮组合式越障对简单的单轮越障进行改善,如北京航空航天大学的月球车采用的就是行星轮越障。相比其他越障方式,轮式越障的优点是效率高;但是其有一个很大的缺陷,就是适应能力差,对环境要求高。

2.2 腿式越障

腿式机器人也即人型机器人。不言而喻,腿式越障具有适应能力最强的特点,对于障碍可以通过关节的变形达到多种效果,越障的能力也极强;但其缺点是由于其移动速度慢,其越障的效率在 3 种越障方式中是最差的。

2.3 履带式越障

如同实际军工产品——坦克,履带式越障对环境的要求极低,越障的能力极强,而且具有良好的爬坡性能;其缺点是灵活机动性差,适应性弱。

基于以上,我们采用组合创新建立了一种复合越障方式,它兼顾了各种方式的优缺点。为了使机器人具有较好的灵活性和适应性,我们制作的越障搜救机器人在越障方式上采用轮式、腿式、履带式相融合的复合方式。使用轮式移动方式,保证机器人移动的灵活性;使用腿式结构,增强机器人的跨越障碍能力;使用履带式结构,提高机器人在沙土等松软路面的行驶能力。

3 越障搜救机器人的工作原理

3.1 总体设计

越障搜救机器人包括车体、行驶机构、转臂越障机构和传感监控设备及控制系统 4 个部分。机器人结构仿真示意图如图 1-1 所示。

3.1.1 车体

车体用于固定和安装其他部件。例如,用于固定和安装传感的视频监控摄像头、救援机械手、温度检测装置等。

3.1.2 行驶机构

行驶机构主要由 2 个驱动车轮及减速传动装置组成。2 个电机通过协调控制越障机器人左右两侧的驱动车轮,采用差动方式实现转向运

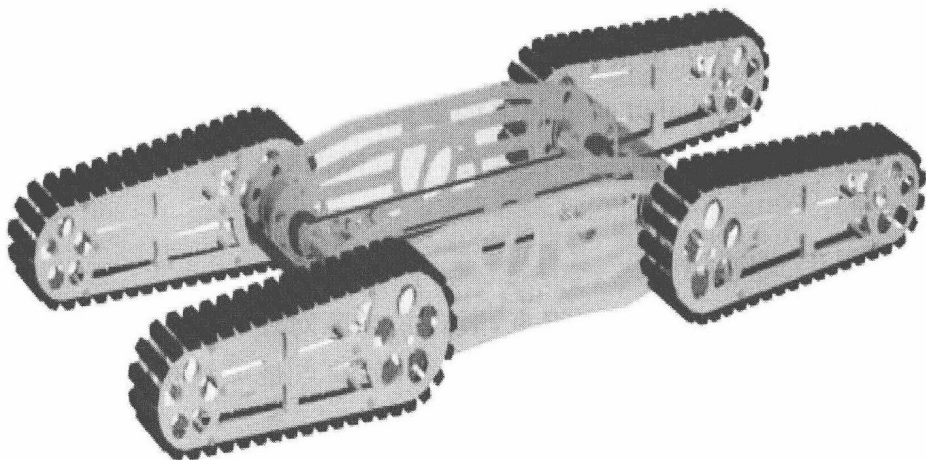


图 1-1 机器人结构仿真示意图

动,从而方便地实现水平地面上的各种运动。

3.1.3 转臂越障机构

转臂越障机构主要由 4 个可以在竖直平面内 360° 旋转的机械转臂和 4 个工业用雨刷电机及配套的减速传动装置组成。每个转臂前端有 1 个小的辅助链轮,辅助轮和驱动车轮之间通过自制的链传动连接,这种传动链内侧起到传动作用,传动链的外侧通过耳爪上固定橡胶带起到履带的作用,在特殊的环境下辅助越障和行驶。在遇到障碍或者特殊情况下,通过控制转臂的旋转角度,可以使车体处于不同的状态,以配合行驶机构进行越障,从而提高机器人的越障能力。

3.1.4 传感监控设备及控制系统

传感监控部分主要由摄像头传感系统、音频反馈系统组成。在获取环境信息以及机器人本身的姿态状况后,通过实时的无线数据反馈,在上位机(人)对机器人进行实时有效的控制,使其适应各种复杂的地形环境。系统的控制决策主要是由人来实现的。人通过对反馈回的视频、音频信息进行分析后操作上位机对机器人的动作进行控制。上位机与机

器人之间采用 nRF24L01 模块通讯。

3.2 越障搜救机器人的越障位姿分析

接近角、离去角和通过角是轮式机器人在行驶越障过程中的重要参数。对于本文所设计的机器人来说,由于采用轮式、履带式、腿式等多种方式结合的复合方式越障,转臂的旋转伸出可使接近角和离去角在理论上达到 90° ,因此,接近角和离去角对越障的影响可以忽略。本文主要是分析当越障搜救机器人在不使用履带而采用 4 轮驱动行驶时的通过角比较小的情况。越障搜救机器人采用轮式越障时的临界状态如图 1-2 所示。

当斜坡或者台阶的倾斜角度大于通过角时,越障搜救机器人无法用 4 轮行驶的方式顺利通过,这时越障搜救机器人要旋转转臂,改变车体姿态或者利用履带行驶的方式来通过障碍。

当越障搜救机器人在平地运动时,因为轮式的行驶效率大于履带式,所以为减少系统无用功,采用 4 轮驱动式行驶,只有在特殊路面的情况下(如沙地、泥地、石堆)才采用履带式(图 1-3)。

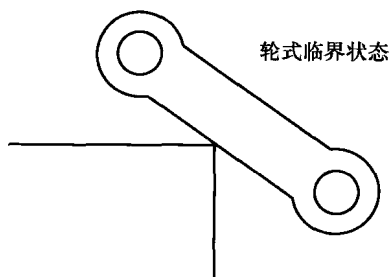


图 1-2 机器人采用轮式临界状态示意图

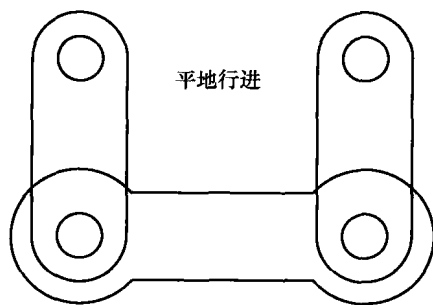


图 1-3 平地行进示意图

当越障搜救机器人遇到障碍物的时候,首先根据实时传送的视频、音频信息判断是否能跨越障碍。如果不能,则重新制定路径规划,选择新的路径绕过障碍。如果可以跨越障碍,则根据不同的障碍物类型,通过上位机(人)的实时分析决定越障位姿,完成越障动作。具体分析如下:

①当障碍物高度 $<$ 驱动轮半径或者坡度角 $<$ 通过角时,越障搜救机器人可以直接通过障碍。此时越障搜救机器人转臂与车体平行,用履带方式行驶的状态,如图 1-4 所示。降低重心,来完成越障动作。

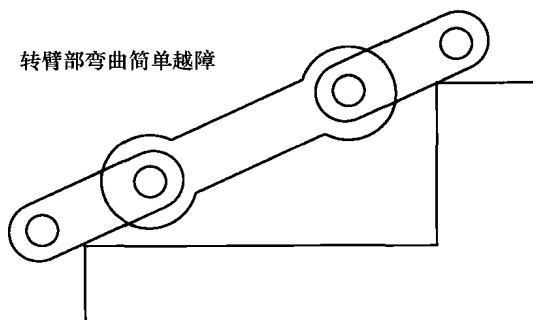


图 1-4 坡度角小于通过角的台阶

②当障碍物高度 h 满足驱动轮半径 $<h<$ 转臂长或通过角 $<$ 坡度角时,越障搜救机器人无法直接通过障碍。此时,越障搜救机器人转动后臂到达平行于车体的位置,采用履带式行驶,借助前臂的翻转增大通过角从而跨越障碍,越障位姿如图 1-5 所示。

③当障碍物高度 h 满足 $h>$ 臂长或坡度 $>$ 通过角时,仅使用前臂无法翻越障碍,转动越障搜救机器人后臂将车体撑起,前臂进入越障的位姿如图 1-6 所示,同时调整后臂姿态改变车体角度防止倾覆并提高越障搜救机器人重心增强越障能力,来完成越障动作。

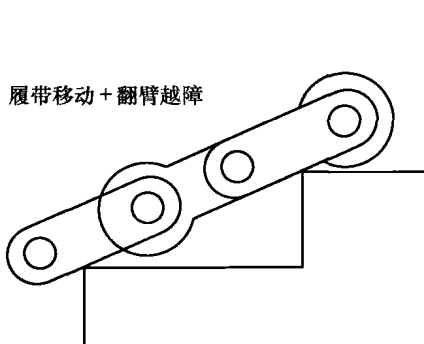


图 1-5 坡度角大于通过角的台阶

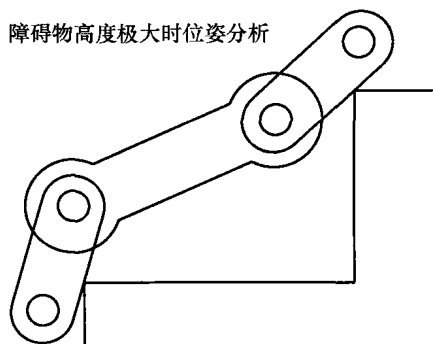


图 1-6 障碍物高度大于臂长

3.3 电机选型及校核

3.3.1 驱动电机的选择及校核

1. 驱动电机型号及参数:

电机型号为 Maxon RE35;

电机额定功率为 90 W;

电机额定电压为 24 V;

电机转速为 300 r/min。

2. 启动加速阶段校核:

转动惯量:

$$J = 1/2 \times m \times r \times r = 0.5 \times 30 \times 0.06 \times 0.06 = 0.054 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

角加速度,在极限条件下按 1 s 达到 300 r/min 计算:

$$\beta = 300 \times 2\pi / 1/60 = 31.4 (\text{rad/s}^2)$$

力矩:

$$M = J\beta = 31.4 \times 0.054 = 1.6956 (\text{N} \cdot \text{m})$$

功率:

$$P = M \times 300 / 9550 = 0.053264 (\text{kW}) = 53.264 (\text{W})$$

选择电机功率时根据安全系数校核,计算功率放大 1.5~2 倍即可,亦即电机功率应该选择 79.865~106.2 W。

目前选择的电机足够使用,故驱动电机校核通过。

3. 正常运行阶段电机校核:

由于 $P = \Omega \cdot M$, 且 $\Omega = 2\pi n / 60$, 故 $P = 2\pi n M / 60$ 。

正常运行时,由于橡胶对地的摩擦系数为 0.1,故摩擦力、扭矩分别为:

$$F = \mu mg = 0.1 \times 30 \times 9.8 = 29.4 (\text{N})$$

$$M = F \times R = 29.4 \text{ N} \times 0.06 \text{ m} = 1.764 \text{ N} \cdot \text{m}$$



则:

$$P=2 \times 3.14 \times 300 \times 1.764 / 60 = 55.3896(\text{W})$$

假设电机功率损耗为 80%，则需要电机功率为:

$$P_0 = P / \eta = 55.3896 / 0.80 = 69.237(\text{W})$$

故驱动电机校核通过。

3.3.2 翻臂电机选择及电机校核

1. 转臂电机型号及参数:

工业汽车用雨刷电机型号为 ZD2832A;

额定功率为 80 W;

额定电压为 24 V;

电机转速为 80 r/min。

2. 极限条件分析电机校核:

单臂重为 8 kg。

需要的极限扭矩:

$$T_{\max} = 0.026 \times 14 \times 9.8 = 3.5672(\text{N} \cdot \text{m})$$

故电机提供的最大扭矩为:

$$T = 9550 \times P / n = 9550 \times 0.09 / 80 = 10.7436(\text{N} \cdot \text{m})$$

电机及传动损耗后输出扭矩:

$$T = P \times \eta = 10.7436 \times 0.80 = 8.5949(\text{N} \cdot \text{m})$$

综上校核,电机扭矩合适,校核通过。

4 越障搜救机器人的结构设计及加工工艺

4.1 相关参数

主体长为 1 300 mm;

主体宽为 560 mm;

主体高为 180 mm;
轮子直径为 160 mm;
手臂极限长度为 350 mm;
重量为 25 kg;
行进速度为 0~4 m/s;
最大越障高度为 110 cm;
最小转弯半径为 0;
电源为 24 V 锂电池;
驱动电机为 maxon S04;
翻臂电机为雨刷电机 ZD2832A;
控制芯片为 STC89C52;
无线传输模块为 nRF24L01。

4.2 结构设计及加工工艺分析

4.2.1 车体设计及加工分析

作为灾区越障搜救机器人,根据其工作环境,机器人的车体材料选择及结构设计分析如下:

①材料选择。聚酰胺(尼龙)板材,简称 PA。该材料具有优越的综合性能,包括机械强度、刚度、韧度、机械减震性和耐磨性,非常适合于自动车床机械加工。

②选择原因分析。由于机器人要经常工作在一些灾后环境中,所以,对车体的综合性能有较高的要求:机器人车体需具备一定的强度,这样才能使车体不会由于外界受力太大而变形;机器人车体质量不能太重,这样才能减轻驱动电机以及翻臂电机的负荷;机器人车体结构应该耐磨,这样机器人才能够有比较长的寿命。相比铝材、镀锌板等,聚酰胺板材可以更好地达到要求。

③结构设计及加工分析。首先,机器人车体底部应该有一定的凹陷,一方面这样能够保证通过角,另一方面还能够一定程度地避免地面的磨损与撞伤,而且美化了车体的外观,相比直线、流线型使得外观漂亮