

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106797

一种新型仿生牛魔王机器人的设计与研究*

杨要恩¹ 吴松¹ 刘明治² 杨灿¹

(1. 石家庄铁路职业技术学院 轨道交通系 石家庄 050041; 2. 西安电子科技大学 机电工程学院 西安 710100)

摘要: 针对高低不平复杂路面普通车辆难以跨越的情况,设计研发了一种新型牛魔王仿生机器人。对构成该机器人的机械结构和控制系统进行了研发设计。并对设计好的机器人采用 Solidworks 软件进行模拟仿真测试。仿真结果表明,所设计的牛魔王机器人实现了稳定步行,步行速度快,步行速度可达 50 cm/s;并实现了稳定快速转弯,转弯速度约为 45 cm/s,运行灵活,机动性强。将设计仿真测试良好的机器人采用优质材料加工组装调试出来,应用于 2019 年全国大学生机器人比赛中,该机器人可以迅速攀爬 40 cm 高的台阶,比赛测试效果良好,取得了优异成绩。

关键词: 牛魔王;渐开线角;单片机控制;电机驱动;仿真测试;仿生机器人;Solidworks;STM32 单片机

中图分类号: TN06 **文献标识码:** J **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design and research of a new type of bionic cow demon king robot

Yang Yaoen¹ Wu Song¹ Liu Mingzhi² Yang Can¹

(1. Department of Rail Transportation, Shijiazhuang Institute of Railway Technology, Shijiazhuang 050041, China;

2. School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710100, China)

Abstract: In view of the difficult situation of ordinary vehicles on uneven and complex roads, a new type of bionic robot of Bull Demon King is designed and developed. The mechanical structure and control system of the robot are researched and designed. Solidworks software is used to simulate and test the robot. The simulation results show that the design of the Bull Demon robot to achieve stable walking, fast walking speed, the walking speed can reach 50 cm/s. The stable and fast turning is realized, the turning speed is about 45 cm/s, flexible operation, strong mobility. The robot with good design, simulation and test is assembled and debugged with high-quality materials, applied in the national undergraduate robot competition in 2019, a robot can quickly climb 40 cm high steps, the competition test effect is good, has obtained the outstanding result.

Keywords: Bull King; involute angle; SCM control; motor drive; simulation test; bionic robot; Solidworks; STM32 one-chip computer

0 引言

进入 21 世纪以后,随着人们对生化机理研究的深入,仿生机器人正在朝着深层次发展,出现了控制系统与生物机体相结合的“活”机器人。

这种仿生机器人不但有着生物体的生理形态和运动方式,而且具备生物的生命感知、神经调控等特征,形成以生物体为原型组的仿生机器人^[1-3]。

近年来,国内机器人的应用研究如火如荼,世界机器人大会每年 7、8 月份也会在北京召开。目前国内外对机器人的应用研究中,基于各类控制理论和控制算法的机器人机

械臂的研究都已经相对比较成熟^[4-6],研究的重点和难点主要集中在针对各行各业具体的应用实现特定功能方面,在新材料、新的运动形式、新机械结构的设计等方面具有巨大的研究价值和潜力,也是未来经济增长点^[7-8]。

而近几年来随着全国机器人大赛 ROBTAC 的比赛中关于牛魔王机器人的大量使用,牛魔王在实际比赛中优秀的表现受到了各大高校的追捧。牛魔王机器人因为其设计结构简单、零部件加工装配便捷和低成本高性能等特性在大赛中大量使用^[9-13]。所谓牛魔王机器人,指的是机器人运动的走形部件采用的是类似牛魔王角的结构进行设计且运动运行速度快。其特殊的运动结构可以适应于很多复杂

收稿日期:2021-05-28

* 基金项目:河北省高等学校科学技术研究项目(ZD2019143)、国家自然科学基金项目(51508349)、河北省科技厅大学生创新创业项目(360334)资助

的地形结构,可以平稳快速穿越障碍物如凹凸不平的地面,还可以在军事战略、抢险救灾等方面加以应用。目前的牛魔王外观大致相同,驱动角有着很大的差距,普通的牛魔王角都是使用半圆周角进行移动,这样的结构会使得机器人移动的时候上下颠簸大,而使用渐开线角的话,上下颠簸得以优化,与此同时,移动距离和对复杂地形的克服也得以增加^[14-15]。

本文所研究的是依据全国机器人大赛 ROBTAC 的比赛规则,主要设计一种利用渐开线角结构可上下高台的机器人,电机为动力原件,通过联轴器与连接轴的直接连接,转动渐开线角结构,从而实现动力的输出与中断,进而控制机器人的移动。该机器人由 1 块底板、2 块侧板和 1 块顶板共同组成外壳结构,由 4 个电机轴连接 4 个渐开线角结构,电机为牛魔王的移动提供动力,渐开线角结构的转动带动牛魔王机器人整个的移动^[16-17]。

1 牛魔王机器人的总体设计

设计一款具有独立前进、后退、左转弯、右转弯、攀爬高台等功能的牛魔王仿生机器人,主要从两个方面进行研究设计:1)机械设计部分,主要设计机器人的各部分机械结构,包括底盘、走形部件、顶板及侧板等;2)电子控制部分,主要设计控制电路及原理图,各类稳压电源并制作成独立模块,按照具体要求进行编程及调试、烧录等工作,并按程序设计要求进行调试。

1.1 机械结构部分的设计

本文所研究并设计一种利用渐开线角结构上下高台的机器人。以电机为动力原件,通过联轴器与连接轴的直接连接,转动渐开线角结构,从而实现动力的输出与中断,进而控制机器人的移动。本机器人由 1 块底板、1 块顶板板和 2 块侧板一起构成了外壳结构,4 根电机轴连接 4 个渐开线角结构,电机为牛魔王的移动提供动力,渐开线角的转动带动牛魔王机器人整体的移动。图 1 所示为牛魔王机器人总体装配图。

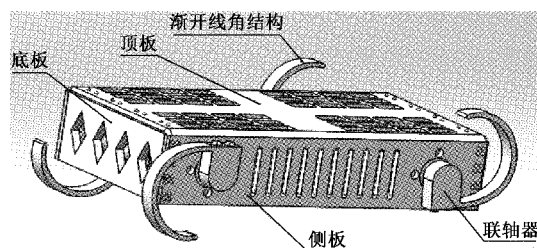


图 1 牛魔王机器人总体装配图

1) 走形部件的设计

目前的牛魔王外观大致相同,但是主要的驱动角有着很大的差距,普通的牛魔王角都是使用半圆周角进行移动,这样的结构会使得机器人移动的时候上下颠簸大,使用渐开线角的话,上下颠簸得以优化,与此同时,单次转动一圈

的移动距离也会增加,进而移动速度也会增加。本设计采用的也是渐开线式的形式。

若基圆的半径为 r ,以基圆圆心为原点建立坐标系,则可得渐开线的参数方程为:

$$\begin{aligned} x &= r(\cos\varphi + \varphi\sin\varphi) \\ y &= r(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: φ 为定点与圆心连线和 X 轴间的夹角。本文设计中,采用基圆半径 $r=30\text{ cm}$; $\varphi=30$ 。

渐开线角结构是牛魔王直接的移动结构,为了满足移动时所面对的各种地形,必须具备一定的刚度及强度,保证其耐磨性及稳定性,于此同时,其质量也可以成为移动速度的重要影响因素,在保证其强度的同时也要减轻其重量,因此选材时选择强度大质量小的碳纤维材料,也可以为适应不同的地形条件而选用其他材料。其厚度不宜太厚也不宜太薄,太薄容易在运动过程中被折断,太厚会因其质量消耗一部分动力,降低移动速度并白白消耗一部分电力。在渐开线角与电机之间有一个联轴器,渐开线角与联轴器采用贴合式相连,螺钉固定,联轴器与电机之间采用镶嵌式连接,再用螺钉固定。图 2 所示为渐开线角走形部件及联轴器。

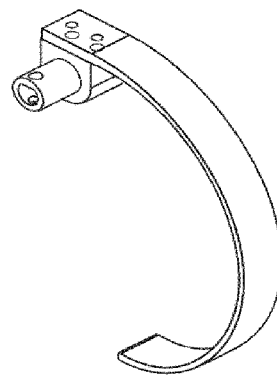


图 2 渐开线角走形部件及联轴器

本设计主要优点如下:

(1)牛魔王走形部件用的是渐开线角,在电机的驱动作用下绕轴运动的部分,可靠地承受作用于车辆各种力量。

(2)渐开线角可缓和车辆与地面的相互冲击,减少车辆的上下颠簸,与此同时还可以增加车辆的移动距离。

(3)牛魔王机器人的渐开线角与电机轴之间用螺钉固定,牢固稳定,能满足牛魔王机器人的行走,螺钉固定还方便拆卸和组装,有利于零件的更换维修。

2) 底板设计

底座板的主要作用是为了保护牛魔王机器人内部电机、电控系统、飞行控制器等零部件,它对零件的整体强度、刚度要求不是很高,但是该零件要求具有屈服强度和张力强度,所以采用铝合金材料,该金属材料为了满足该机械结构对工艺的加工的要求和质量轻盈的要求,所以采用 2 mm 厚度的铝合金板,机械零件进行了大部分的镂空设计,在满

足强度和刚度要求的同时减轻了零件的重量。图 3 所示为底板设计图。

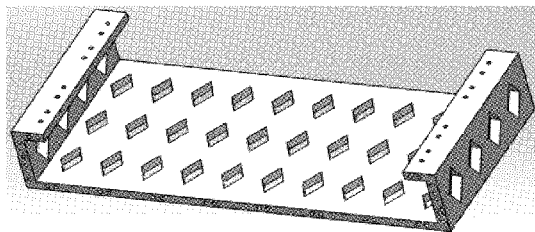


图 3 底板设计图

3) 顶板设计

顶板的作用是对牛魔王机器人整体的一个保护。顶板为了满足便于制造和维护时的装卸便捷的要求,所以选择使用碳纤维材料进行加工,其中顶板对强度和刚度要求一般,所以选择碳纤维便可满足顶板对强度和刚度要求同时又可以减轻机器人的重量,在加工制造时该顶板使用了镂空的设计思路,在选材上轻量化设计上也轻盈,最采用形位公差进行对螺纹孔进行定位,有效控制了加工误差。图 4 所示为顶板设计图。

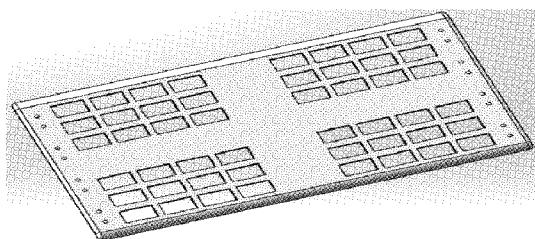


图 4 顶板设计图

4) 侧板设计

侧板是牛魔王机器人机械结构主要的受力零部件,针对机械设计制造基础中的机械零件的失效形式及设计的基本要求可知,为了保证机械结构强度采用铝合金材料,为了减轻机体的重量侧板采用 4 mm 厚度的铝合金,零件中部采用镂空设计进一步减轻了机体的重量。在满足强度、刚度的前提下,还需要考虑零件的寿命、可靠性、结构加工工艺的要求、重量轻盈等要求。由于牛魔王机器人采用铝合金材料受腐蚀因素小,但是要充分考虑其磨损和疲劳。图 5 所示为侧板设计图。

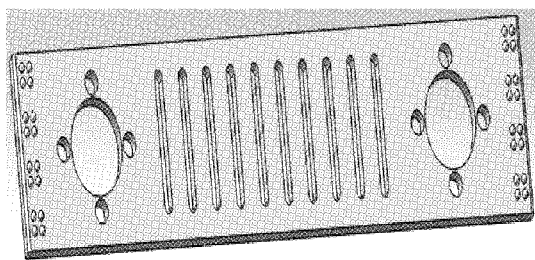


图 5 侧板设计图

1.2 控制系统设计

牛魔王机器人其基本运动形式为机器人的渐开线角结构在电机的带动下进行圆周运动,从而实现牛魔王的前进、后退和左右转弯等功能,其中 STM32 单片机在对控制模块的控制上的设计是至关重要的。

本文选用一块 STM32 单片机为主控芯片,其芯片具有运行速度快,控制精度高的特性。本文是以 STM32 单片机对电机控制板进行控制的,通过对牛魔王所需的 4 台电机进行独立控制,以保证牛魔王各个动作执行的流畅性和精确。在控制模块开启后,由 PS2 控制手柄下达命令并发送无线控制信号,经蓝牙模块接收后,将电信号转发到 STM32 单片机上;然后,电机控制板与 STM32 单片机主控芯片之间进行通信,STM32 单片机输出所有被控电机的转动方向和转速信息;最后,电机控制板将控制电信号传送到电机控制器,从而实现机器人的相关动作^[18-19]。总体控制流程如图 6 所示。

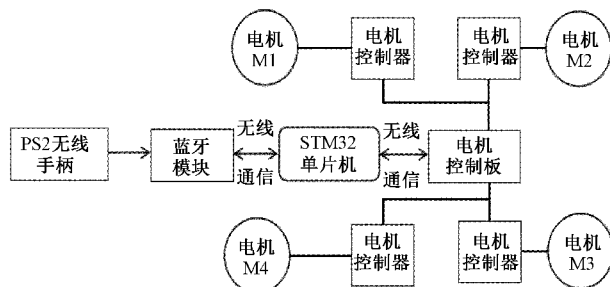


图 6 总体控制流程

其牛魔王的工作原理是电机控制器输出的 PWM 信号,控制脉宽信号在 0.5~3.5 ms 范围变化,从而控制电机使得渐开线角结构 360° 旋转,输入信号和输出转速基本呈线性关系,具有精度高、扭矩大、反应灵敏,运行平稳、线性度高等特点;电机控制牛魔王前进、后退、转弯、爬坡等运动。

2 调试及实际运行过程

2.1 直行软件模拟测试

在全国大学生机器人大赛 ROBOTAC 的竞赛中需要所设计的机器人具有运行速度快、可以克服各种复杂地形等特性,因此,设计加工组装好的牛魔王机器人之前一定要先在 Solidworks 软件上进行模拟测试。直行模拟测试是衡量机器人速度与稳定性能的重要指标,它决定了机器人运行的快慢和能否克服复杂地形完成一些执行任务的能力。

对所设计的机器人在 Soidworks 软件上进行了直行步行前进的模拟测试,其测试结果如图 7 所示。由图 7 运行测试过程可知,机器人实现了稳定步行,步行速度约为 50 cm/s,运行速度快,在步行过程中采用的是 4 个渐开线角结构交替接触地面的运行状态,对其进行了反复测试,皆未出现任何故障,运行平稳性良好。

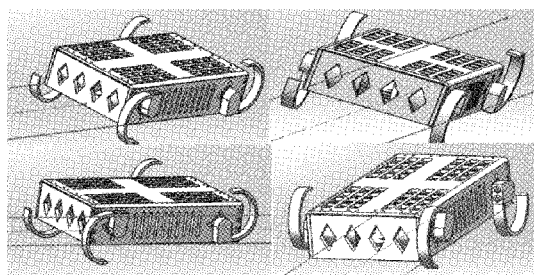


图7 直行模拟测试图

2.2 左、右转弯软件模拟测试

在全国大学生机器人 ROBTAC 大赛的竞赛中需要所设计的机器人具有良好的运行速度、转弯稳定性等特性,因此,设计好的牛魔王机器人在加工组装之前一定要先在 Solidworks 软件上进行模拟测试。转弯性能是衡量牛魔王机器人性能的重要指标之一,它决定了机器人深入复杂非结构化地形执行任务的能力。对所设计的机器人在 Solidworks 上进行了左转弯和右转弯的模拟测试,如图 8 和 9 所示,由图 8 和 9 可知,机器人实现了稳定快速转弯,转弯速度约为 45 cm/s,在转弯过程中采用的是 4 个渐开线角结构交替接触地面的运行状态,测试表明牛魔王机器人的快速转弯能力有助于机器人在比赛中运行灵活,是机器人机动性的重要体现。

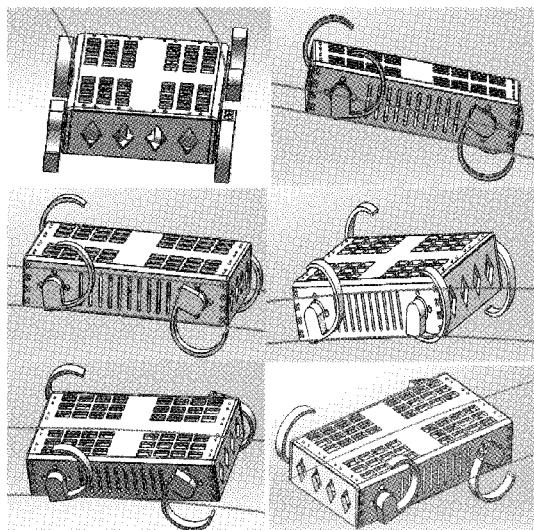


图8 左转弯模拟测试图

3 牛魔王的实际应用

在全国大学生机器人 ROBTAC 的大赛竞赛中需要所设计的机器人具有运行速度快、转弯稳定性好和对复杂地形的克服等要求。把从 Solidworks 设计好的机器人各个部件通过雕刻机进行雕刻出来,把加工好的机器人的各个部件不断进行反复安装调试改进,并将最终调试好的机器人于 2019 年 7 月参加在广州举办的全国大学生机器人大赛,图 10 所示为现场比赛的图片,取得了国赛二等奖的好成绩。

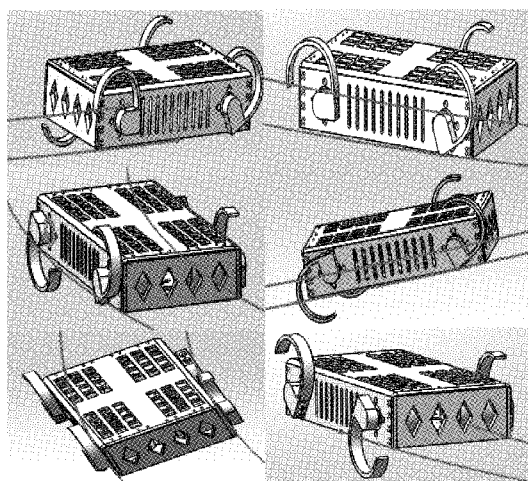


图9 右转弯模拟测试图

成绩。在比赛中牛魔王机器人成功翻越了垂直落差为 40 cm 的阶梯高台,其灵活的机动性能和对复杂地形的克服体现出牛魔王机器人的实际应用价值。

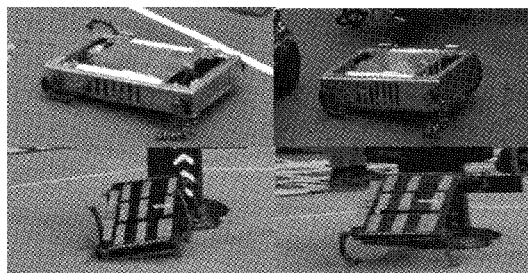


图10 牛魔王机器人在比赛中的成果应用

4 结 论

本文所研制的新型仿生牛魔王机器人,使用 Solidworks 3D 建模软件设计,并使用雕刻机制造,该机器人整体采用铝合金镂空设计,其机体轻盈小巧。该机器人不同于其他轮式机器人和履带式机器人,轮式机器人和履带式机器人一旦翻车便无法自己翻身,而该机器人由于不分正反的小巧体型,即使在翻车后依然可以正常运行。在攀爬高台中,轮式机器人和履带式机器人均因自身动力和与高台的夹角问题对克服高台障碍的能力有限;而牛魔王机器人由于渐开线角结构的设计可以很好地克服与夹角之间的问题,可顺利通过高于自身的好几倍的高度的高台。在实际运行中步行速度可达 50 cm/s,转弯速度可达 45 cm/s,并且可以攀爬 40 cm 高的高台。该机器人在 2019 年的全国大学生机器人大赛中更是取得了国赛二等奖的好成绩,在实际的应用中拥有巨大的潜力和价值。

参考文献

- [1] 吴枫,韩亚丽,李沈炎,等. 柔性仿生驱动器研究综述[J]. 现代制造工程,2020(7):146-156.
- [2] 李志银,黄宜庆,徐玉琼. 改进变步长蚁群算法的移动

- 机器人路径规划[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(8):15-21.
- [3] 刘贵杰,王蒙,雷旭,等. 一种新的仿生侧线系统应用于水下自主视频的沥青运动参数感知[J]. 应用海洋研究, 2020(1):99.
- [4] 张真诚. 机器人路径规划的改进粒子群-蚁群算法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(8):65-69.
- [5] 邓开连,周芳管,崔灿,等. 基于 KEA 的智能循迹小车[J]. 现代电子技术, 2020, 43(16):13-17.
- [6] 苏宜琳,侯旭彦,李龙,等. 空间机器人仿生缓冲系统冲击能量吸收和粘附性的研究[J]. 太空研究进展, 2020, 65(5):42-44.
- [7] 赵铁军,袁振宇. 具仿猫腿部跳跃机构设计与仿真分析[J]. 机械工程师, 2020(9):1-4,7.
- [8] 陈阳,徐晓丹,李向攀. 基于 Arduino 控制的气动软体仿生四足机器人结构设计及步态规划[J]. 液压与气动, 2020(5):86-90.
- [9] 赵建文,张俊明,郝兆岗,等. 软而快的弹出跑机器人,每秒六倍的体型[J]. 软件机器人, 2019, 6(6):32-35.
- [10] 杨要恩,吴松,刘明治,等. 一种新型竞赛四足仿生机器人的研发设计[J]. 电子器件, 2020, 43(5):1-6.
- [11] DEDONATO M, DIMITROV V, DU R, et al. Human-in-the-loop control of a humanoid robot for disaster response; A report from the DARPA robotics challenge trials[J]. Field Robotics, 2015, 32: 275-292.
- [12] BACKUS S B, ONISHI R, BOCKLUND A, et al. Design and testing of the JPL-Nautilus gripper for deep-ocean geological sampling [J]. Field Robotics, 2020, 37: 972-986.
- [13] JOHNSON M, SHREWSBURY B, BERTRAN S, et al. Team IHMC's lessons learned from the DARPA robotics challenge trials[J]. Field Robotics, 2015, 32: 192-208.
- [14] 蒋章雷,徐小力. 旋转机械传动系统运行稳定性劣化表征参数提取方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(1):155-160.
- [15] 穆卫谊,张广鹏,黄玉美,等. 移动机器人的超声波传感器发散角标定及应用[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(3): 560-567.
- [16] 王瑞琦. 基于 STC89C51 单片机的多功能智能小车设计[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(7):103-106.
- [17] 吕书信,张北伟,王泽澄. 基于 STM32 分拣搬运机器人控制系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(9): 101-104.
- [18] 张立文,刘鑫,张淑梅,等. 全数字化无刷直流电机伺服控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(5): 34-38.
- [19] 储甜,颜锦奎. 基于单片机的 USB 文件读写[J]. 电子测量技术, 2015, 38(8):90-93.

作者简介

杨要恩,博士,副教授,主要研究方向为传感测试技术、物联网技术及机电一体化技术等。

E-mail:79194565@qq.com

杨灿(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为电气自动化技术、仿生机器人技术等。

E-mail:1373944283@qq.com