

文章编号:1003-6199(2016)03-0058-05

窄足爬坡机器人结构及控制电路设计

李一然[†], 李 璐

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要:论述竞赛用窄足爬坡机器人的整体结构以及机器人控制系统硬件部分设计和部分功能的软件实现,结合竞赛要求完成窄足爬坡机器人整体设计安装,经过多次试验调试,机器人达到了完成上坡任务的最佳状态,试验结果表明系统设计的合理性和可行性。

关键词:窄足爬坡机器人;机械结构;坡道;衔接

中图分类号:TP242

文献标识码:A

DOI:10.16339/j.cnki.jsjsyzdh.2016.03.012

Structure and Control Circuits Design of Biped Climbing Robot

LI Yi-ran[†], LI Lu

(School of information and Electrical Engineering, China University Of Mining And Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: This study focused on the integral structure of Biped climbing robot for game. It elaborated the design of the hardware of the control system and partial function of the software, as well as the installment of the biped climbing robot. Through many debugging, the robot reached its optimal state and fulfilled its climbing, which proved the rationality and feasibility of the system.

Key words: biped climbing robot; mechanical structure; ramp; juncture

1 引 言

机器人技术自问世以来已取得长足进步,满足各种特别用途的机器人实用化,标示着机器人已走入各行各业,目前机器对人的模仿和超越一直是研究热点之一。日本、美国等多国公司和科研机构在机器人研制方面取得很大的进步,如美国波士顿动力公司的液压驱动双足步行机器人 Petman,其行走过程具有良好的柔性和抗外力干扰性,可完成上下台阶、俯卧撑等动作,昭示着类人机器人的美好前景。这种采用双足步行方式的仿人机器人由于具有丰富动力学特性,是目前步行方式中自动化程度最高的动态系统,它涉及机械学、控制理论、传感器、通信和计算机等多领域技术。采用双足步行

的窄足机器人作为仿人机器人中最类人运动的机器人与其它足式机器人相比,具有较强的灵活性,更适合与人类协同工作,但是窄足机器人由于脚部支撑面积小、重心位置偏高的特点,动态系统更为复杂、控制难度很大。

2 机械结构设计

2.1 整体结构

窄足爬坡机器人为类人机器人,体型设计要求与人体结构比例相协调,有明显的头部、手臂、躯干以及双足等部分,并且头部、手臂、腿等部位可以自由摆动,因此本设计根据人身体的比例结构进行整体设计。

窄足爬坡机器人整体骨架采用铝板制作。铝

收稿日期:2015-12-28

作者简介:李一然(1995—),女,山东嘉祥人,硕士生,研究方向:自动化。

[†] 通讯联系人, E-mail: sldkcx@126.com

板常用的加工方法一般两种:机床加工和手工打磨。机床加工的铝件精确度高,稳定性好,但是要求精确的图纸。手工打磨虽然比较辛苦,但是可以根据调试需要来调整铝件的形状和大小,因此本设计对于支撑整个机器人的大骨架采用机床加工方法完成,调试中需要经常改动和用于装饰的地方采用手工打磨的方法。

2.2 自由度设计

窄足爬坡机器人驱动机构由舵机和相应机械部件组成,共有11个舵机满足十一个自由度,用于机器人头部(一个)、肩关节(两个)、肘关节(两个)、胯关节(两个)、膝关节(两个)以及踝关节(两个)的活动,如图1所示。由于肩关节、胯关节、膝关节以及踝关节为主要运动部位,头部及肘关节仅对窄足爬坡机器人的行走起辅助作用,因此从机器人的负重及经济的角度考虑,主要关节部位采用中型舵机,另两关节采用小型舵机,这样设计的机器人在行走及爬坡过程中可基本模仿人类的行进方式。

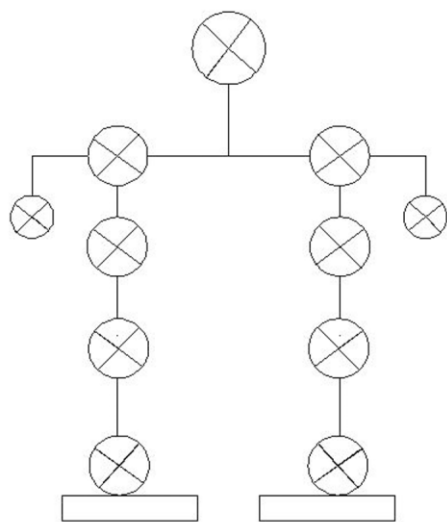


图1 机器人自由度配置图

2.3 机器人单足设计

该窄足爬坡机器人单足设计参照正常人体身高与脚掌比例,设计尺寸为 $150\text{mm} \times 100\text{mm}$,结构符合人脚形状,为近似矩形平底脚板,在机器人站立时,从上向下看,机器人连接脚底板的最外沿连线不重合。

由于此机器人为爬坡设计,坡度分别为 15° , 25° , 35° 的光滑平面,因此为防止上坡过程中机器人向下滑落,需对机器人的脚底板处防滑做专门的设计。防滑材料既需要有强的吸附能力,又不能与

地面发生粘黏。经过对鼠标垫、乒乓球胶皮、汽车防滑垫等多种材料实验对比发现,汽车防滑垫的性能最佳,价格低廉,清理方便,适用于窄足爬坡机器人脚底板防滑设计。由于汽车防滑垫由橡胶材料制成,因此会与常见的各种胶类物质发生化学反应,例如用双面胶黏贴防滑垫和脚底板,一段时间(差不多为3小时)后,双面胶就会被防滑垫融化掉,使防滑垫与脚底板相接触的表面变得异常粘黏,将影响机器人动作完成质量。通过对多种粘合材料实验对比发现,需要用专门的万能胶进行粘贴,清理时需要用卸甲油等油性物质进行处理。

2.4 机器人重心设计

窄足爬坡机器人重心设计关系到机器人整体系统的稳定性。重心越低,系统越容易稳定,才能保持既定路径行走,因此机器人配重非常重要。配重过程需要考虑路况、体态等多方面因素,平路时,机器人处于直立行走状态,可以保护舵机,方便调整方向;爬坡过程中,机器人如人类一样保持身体前倾会更利于行进。因此本设计将较重的对机器人重心位置影响较大的驱动电池,安装在机器人身上类似于人类胸前位置,较轻的对机器人的重心位置影响较小舵机控制板及单片机,安装在机器人类似于人类背部的地方。

2.5 传感器

为防止机器人在行走过程中走偏,窄足爬坡机器人采用黑白线循迹纠偏功能,选用的传感器应具有干扰小、便于装配、使用方便等特点。本设计选用TK20传感器,如图2所示。TK20传感器采用主动红外线反射探测,对环境光线适应能力强,有一对红外线发射与接收管,发射管发射出一定频率的红外线,当红外线遇到障碍物反射回来后被接收管接收,经过比较器LM393处理之后,绿色指示灯亮起,同时信号输出端口输出低电平信号。传感器模块输出端口OUT可直接与单片机IO口连接,也可以直接驱动一个5V继电器。检测距离可通过电位器旋钮调节,有效距离范围为 $2\sim 30\text{cm}$,检测角度 35° ,工作电压 $3.3\text{V}\sim 5\text{V}$,因此可以广泛应用于机器人避障、避障小车、流水线计数及黑白线循迹等众多场合。

由于TK20传感器为主动红外线反射探测,因此探测目标的反射率和形状是探测距离的关键,在设计过程中要充分考虑。

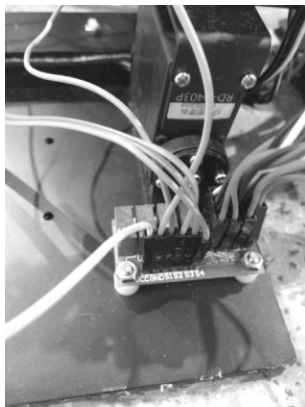


图 2 TK20 传感器及 D/A 转换器

2.6 机器人动力源设计

机器人关节活动依靠电动机驱动,电动机分为很多种:直流电动机、交流电动机、步进电动机、伺服电动机等多种多样。窄足爬坡机器人对动作要求精度较高,若采用普通的交、直流电动机很难进行精准控制,而步进电动机由于是开环控制系统,只能在一定的精度下工作难达到控制要求,因此精度较高的伺服电动机成为首选。考虑通用性和价格因素,本设计选用较便宜直流伺服电动机—舵机作为执行元件,伺服功率放大器由脉冲宽度调制器(PWM)和开关控制电路组成^[1]。舵机控制器一般采用 PID 控制,可以满足舵机动、静态控制指标要求,原理框图如图 3 所示:

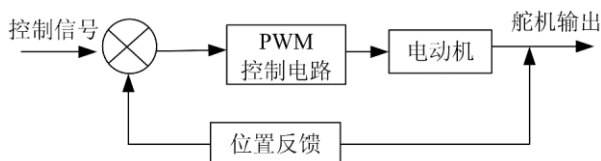


图 3 舵机工作原理框图

本设计选用 SR-403P 舵机、Arduino USB32 路舵机控制板、stc15f2k60s2 单片机^[2]。该舵机具有扭距大、精度高、转速均衡等特点。舵机旋转方向由单片机根据传感器传回信号来判断,每收到一个脉冲信号旋转一定角度,通过减速齿轮将动力传递到关节,舵机旋转速率由脉冲频率控制,位置传感器判断关节是否到达指定位置^[3]。图 4 为 stc15f2k60s2 单片机核心原理图,图 5 为 Arduino USB32 路舵机控制板,图 6 为舵机控制板实物连接图,图 7 为 stc15f2k60s2 单片机实物焊接图。

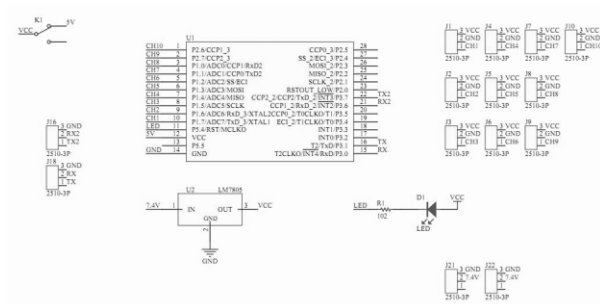


图 4 stc15f2k60s2 单片机核心原理图

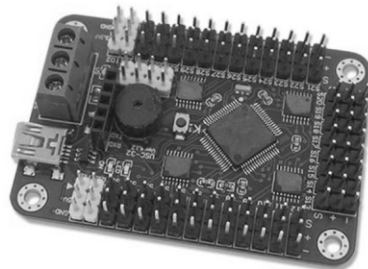


图 5 Arduino USB32 路舵机控制板

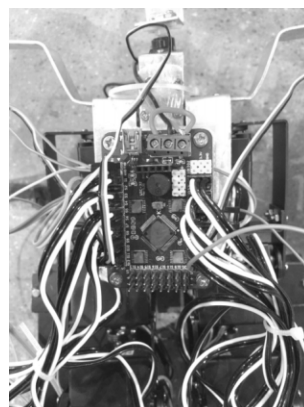


图 6 舵机控制板实物接线图

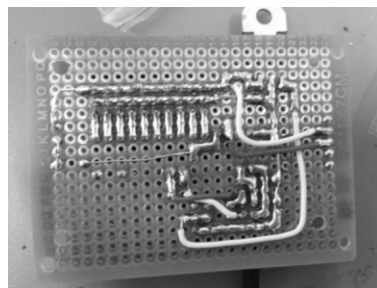


图 7 stc15f2k60s2 单片机实物焊接图

3 运动步态规划

步态是机器人在运动过程中,腿部各部分在空

间和时间顺序上的协调关系^[4]。窄足爬坡机器人一个完整行走周期分为双腿支撑阶段和单腿支撑阶段^[5]。在双腿支撑时两只脚与地面接触,单腿支撑时一只脚在地面上,另一只脚从后向前摆动前行。

本设计窄足爬坡机器人上坡过程可采用双腿支撑和单腿支撑交替地进行行进,对于斜坡与平台交界处的跨越需进行专门的步态规划,为平稳跨越首先保证单腿支撑阶段机器人躯干重心始终保持在支撑腿足部中心范围内,在此基础上配合机器人腰部动作,另一只脚从后向前较大幅度摆动跨上平台,这样的配合在没有复杂控制的基础上提高了机器人运动过程中的稳定性。

4 调 试

图 8 所示为窄足爬坡机器人的标准坡道,针对不同坡度机器人步态、重心等都应做出相应的调整,图 9 为窄足爬坡机器人调试界面。

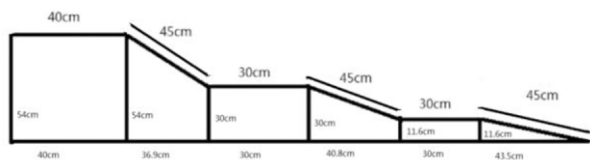


图 8 坡道的选择



图 9 调试界面

4.1 各坡道调试

1) 15° 坡道

15°光滑坡道坡度比较平缓,可利用平面行走动作组完成上坡过程,行走过程主要解决两个问题:1)防止溜坡,在行进时需适当调整机器人重心

位置;2)直线行走,为保证机器人在后续赛道的行走质量,此段坡道机器人应保证沿坡道中心线向前走不发生偏移。

15°坡道长度为 45cm, 经过试验, 除去起点平坡向 15°坡以及 15°坡向平台过渡的环节, 机器人在坡道上行走 7 步为最佳, 能通过调整步态使机器人稳定地过渡到平台。

2) 25° 、 30° 坡道

25°、30°坡对机器人脚底摩擦力、重心的位置、步幅、步态等都有着较高的要求,特别是重心位置,机器人上坡时必须保持重心的前倾,整个身体处于一种类似于匍匐的状态。在迈步过程中,因为坡度倾斜的程度较大,机器人的脚底板有时会顶在坡道上,使机器人处于一种腾空状态,容易出现倾斜,因此调试重点是机器人脚踏实地,不能因追求速度而忽略系统的稳定性。

4.2 坡道、平面交界处衔接部分调试

上坡动作组不能使机器人平稳地越过斜坡与平台交界处。在对机器人由斜坡上平台调试过程中,在单腿支撑基础上运用类似荡秋千方法,经过调整步态、程序等步骤,并进行反复实验对比,决定在坡道最后一步使机器人一只脚的大部分超出坡道,另一只脚抬起,稳定后,设定机器人腰部舵机的转向,当机器人整个重心通过坡道和平面的交界处时,机器人达到了上坡的临界状态,借用重心的帮助,使机器人如荡秋千一般荡到平台上。经过多次试验发现,采用这种方法设计的机器人机械结构简单、程序编写容易、动态稳定性好。

对于机器人由平台再上坡度更大的坡道的调试过程,主要采用分步进行的方法,逐渐增加机器人脚底板与地面的角度,减少了机器人在坡道上走偏的概率,在保证不偏离预定轨道基础上,由平台行走转为坡道行走状态。

5 循迹程序简述

在窄足爬坡机器人上坡过程中,为避免机器人走偏掉下赛道,在尽量保证机器人两腿长度相等、平衡行走的基础上,还设计了黑白线循迹纠偏功能。机器人沿坡道中心黑线行进,利用传感器循迹保护,随时纠正行进过程中路线偏差,循迹程序如下所述。

```
sbit sl3 = P1^0;
```

```
sbit sl2 = P1^1;
```

```
sbit sr2 = P1^2;
```

```
sbit sr3 = P1^3;
```

sbit 用来定义特殊功能寄存器的位变量。在 C 语言里,如果直接写 P1.0,C 编译器并不能识别,而且 P1.0 也不是一个合法的 C 语言变量名,所以得给它重新定义名称,可以使用 sbit 来定义,sbit 的用法有三种:

第一种方法:sbit 位变量名=地址值

第二种方法:sbit 位变量名=SFR 名称^变量位地址值

第三种方法:sbit 位变量名=SFR 地址值^变量位地址值

```
void read()
{
    sensorl3=s13;
    sensorl2=s12;
    sensorr2=sr2;
    sensorr3=sr3;
}
```

定义 read 语句,方便下面调用。Sensor 是传感器意思,这个定义名称是为了更容易理解各个变量的含义。

```
i=4;
```

动作共执行四次,每执行一次 i 减一,直到 i 为零。

下面使用基本判断语句:if else 来确定执行的动作组

```
while(i>0)
{
    read();
    if((sensorr2 | sensorr3 | sensorl2 | sensorl3) == 0)
    {
        SendString(" #2GC1\r\n");
        i--;
        delay(10);
    }
}
```

若机器人没有循迹到黑线,各传感器输出为低电平,执行动作组 2 一次。i 减一。总共执行 10 秒钟。

```
else
{
    if(sensorr2==1)
```

```
{
    SendString(" #5GC1\r\n");
    delay(7);
}
```

若不是上述情况,再次进行判断。当传感器 r2 检测到黑线,输送给单片机高电平,单片机执行动作组 5,i 减一,执行时间 7 秒钟。

```
if(sensorr3==1)
{
    SendString(" #5GC1\r\n");
    delay(7);
}
if(sensorl2==1)
{
    SendString(" #3GC1\r\n");
    delay(7);
}
if(sensorl3==1)
{
    SendString(" #3GC1\r\n");
    delay(7);
}
}
```

6 结 语

采用上述软硬件设计方法设计的窄足爬坡机器人具有与人类步行类似的行走方式,可以完成上坡、下坡和平地步行,能够稳定完成赛事规定的难度系数较高的坡道系列动作,行进过程偏差不超过 1 厘米,在比赛中取得优异的成绩。

参考文献

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统,第 3 版[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 卢志刚,吴杰,吴潮. 数字伺服控制系统与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 敖荣庆,袁坤. 伺服系统[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
- [4] 王新亭,张峻霞,尹立萍. 双足机器人设计及步态规划设计研究[J]. 制造业自动化 35 卷第二期 2013-02(上):50-52.
- [5] 胡洪志,马宏绪. 一种双足步行机器人的步态规划方法[J]. 机器人技术与应用,2002,(3):16-18.