

# 一种竞赛型双足竞步机器人设计与研究<sup>\*</sup>

崔庆权<sup>1</sup> 尹逊和<sup>2</sup> 唐瑜谦<sup>1</sup>

(1. 云南国土资源职业学院 昆明 650217; 2. 电子信息工程学院 北京交通大学 北京 100044)

**摘要:** 机器人的应用研究是目前研究热点, 双足机器人是一种仿生类型的机器人, 能够实现机器人的双足行走和相关动作。本文应用单片机控制技术、电机驱动技术等, 设计了一种双足竞步机器人, 并给出了机器人的硬件结构和控制程序, 通过实验验证了本文所设计的双足竞步机器人达到了设计预期和要求。通过3年的实践和应用扩展, 本文所设计的双足机器人具有稳定性好、运行速度快的优点, 结构简单、制作成本低, 具有一定的扩展应用价值和意义。

**关键词:** 双足机器人; ATM16; 电机驱动; PWM

**中图分类号:** TP23    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.80

## The design and research of a biped walking robot for competition

Cui Qingquan<sup>1</sup> Yin Xunhe<sup>2</sup> Tang Yuqian<sup>1</sup>

(1. Yunnan Land and Resources Vocational College, Kunming 650217, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The robot application is a research hotspot, and the biped walking robot is a kind of bionic type robot, which can realize the walking, gait control and other related actions. In the paper, a biped race walking robot is designed through the technology of microchip control and motor driven, and the hardware structure and program are given. The experimental results indicate that this design of biped walking robot can meet the design expectations and requirements. Through the 3 years of practice and expansion application, the designed biped robot has better stability, faster working speed, and the robot also has more simple structure and lower cost, which has extended certain application value and significance.

**Keywords:** biped walking robot; ATM16; motor driven; PWM

## 1 引言

机器人作为一个多门学科交叉的研究对象, 融合了机械制造技术、自动控制技术、单片机技术、电子信息技术、电机控制技术和传感器技术等, 机器人研究作为目前研究的热点, 广泛应用于航空航天、工业自动化、交通运输、娱乐生活等领域。目前主要集中在类人机器人、家庭服务机器人、仿生机器人等方面理论和应用研究, 双足机器人在机器人研究领域中有着重要的理论研究价值, 并且相关研究成果与现实社会联系紧密, 有着不可忽视的现实意义。

双足步行机器人<sup>[1-3]</sup>类人地直立行走, 其有着良好的自由度、动作灵活、自如、稳定。双足机器人是一种仿生类型的机器人, 能够实现机器人的双足行走和相关动作, 具有广泛应用领域和应用价值。在电子产品的设计和研发过程中, 仿人型双足行走机器人是具有典型代表的电气机械产品。作为由机械控制的动态系统, 双足机器人包含了丰富的动力学

特性。对于机器人研究, 双足机器人的开发是必要的, 在未来的生产生活中, 类人型双足行走机器人可以帮助人类解决很多问题比如驮物、抢险等一系列危险或繁重的工作。

本文应用单片机控制技术、电机驱动技术等, 设计了一种双足竞步机器人, 并在文中给出了机器人的硬件结构和控制程序。通过3年的实践和应用扩展, 本文所设计的双足机器人具有稳定性好、运行速度快的优点, 结构简单, 具有一定的扩展应用价值和意义。

## 2 机器人的结构设计

### 2.1 机器人的关节

双足竞步机器人的制作, 其结构类似于人类的双足, 可以实现像人类一样行走。本文采取了使用模拟舵机代替人类关节, 实现机器人的步态设计控制。使用舵机控制芯片控制各个关节的动作, 从而实现了对步伐的大小、快慢、幅度的控制。

收稿日期: 2015-04

<sup>\*</sup> 基金项目: 云南省地矿局科技创新基金项目(No. 2014JJ01)

用铝合金或其他轻型高硬度材料来制作机器人的结构件,类似于人类的骨骼,从而来支撑机器人的整体。用轻型、有一定强度的材料(比如亚克力板)来制作机器人的顶板和脚板,模拟人类的胯部和脚掌从而来支持机器人的行走与稳定。将材料制作成结构件,按照步骤,依次组装,然后使用相应电脑软件进行调试。因为行走是多关节配合的动作。所以需要进行精密的调试。然后使机器人能独立完成行走或其他任务。作为类人形机器人,本设计采用六个舵机分别代替两条腿的关节,其中一条腿的三个关节如图1所示。

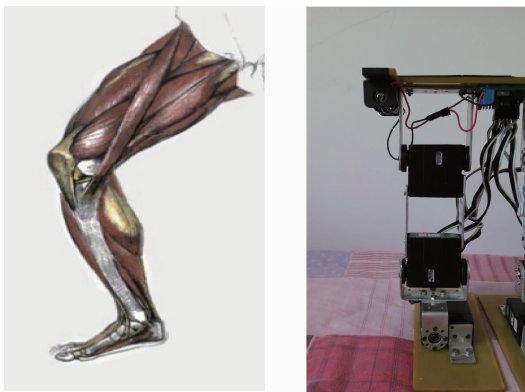


图1 双足机器人的关节

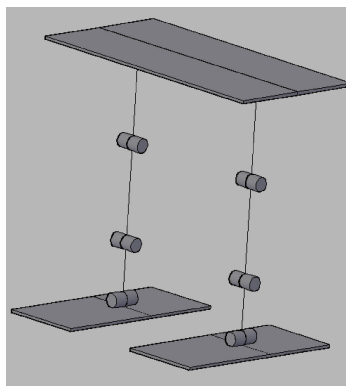


图2 机器人关节的结构

舵机:使用舵机来代替关节活动。舵机的好坏决定了机器人行走的质量。在经费允许的条件下,选择质量好,运行平稳,执行到位,扭力在8~12 KG左右的常规舵机即可,结构件的尺寸与型号决定的关键在于舵机的尺寸型号,所以制作机器人要优先决定好舵机的尺寸与型号。综合上述要求本设计采用SR-403P舵机。

## 2.2 机器人的硬件结构

本设计是按照全国机器人大赛双足竞走机器人窄足组的技术要求制作的机器人,机器人的设计需要满足其使用需求和型号要求。机器人型号:250 mm(长)×200 mm(宽)×300 mm(高),头部不超过250 mm(长)×120 mm(宽),脚板不超过150 mm(长)×200 mm(宽)双足直立行

走机器人)。比赛要求机器人需要在600 mm×2000 mm的木板上完成规定动作(规定动作:走三步一前翻三周一走三步一后翻三周一一直走,走过终点线比赛完成。途中机器人故障、停止、摔倒、踩线,都意味着比赛提前结束)。机器人的硬件结构如图3所示。

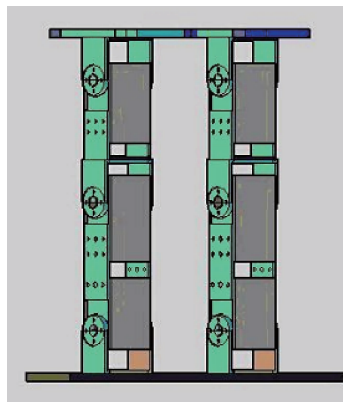


图3 机器人的硬件结构

1)结构件:用2 mm铝合金板制作结构件来代替骨骼。材料选择需注意:材料需满足易切割,打孔。材料成型后不易形变。能支撑机器人重量。如果条件允许,需采用高精度仪器制作。如果没有相应条件可直接购买成品,购买时需要注意舵机的尺寸从而选择相应的结构件。

2)脚板、顶板:使用0.5 mm亚克力板制作机器人的脚板和顶板,来模拟人的脚掌和盆骨。材料选择需注意:轻型高硬度材料,易切割,打孔。

## 3 机器人控制器的设计

控制板相当于人的大脑对舵机发布指令控制机器人动作,本文采用Atmega16作为机器人的主控制板。ATmega16<sup>[4-5]</sup>基于增强的AVR RISC结构的低功耗8位CMOS微控制器。由于其先进的指令集以及单时钟周期指令执行时间,ATmega16的数据吞吐率高达1 MIPS/MHz,从而可以减缓系统在功耗和处理速度之间的矛盾。

ATmega16有如下特点<sup>[6-7]</sup>:16K字节的系统内可编程Flash(具有同时读写的能力,即RWW),512 K字节EEPROM,1K字节SRAM,32个通用I/O口线,32个通用工作寄存器,用于边界扫描的JTAG接口,支持片内调试与编程,三个具有比较模式的灵活的定时器/计数器(T/C),片内/外中断,可编程串行USART,有起始条件检测器的通用串行接口,8路10位具有可选差分输入级可编程增益(TQFP封装)的ADC,具有片内振荡器的可编程看门狗定时器,一个SPI串行端口,以及六个可以通过软件进行选择的省电模式。ATmega16最小系统电路图如图4所示。

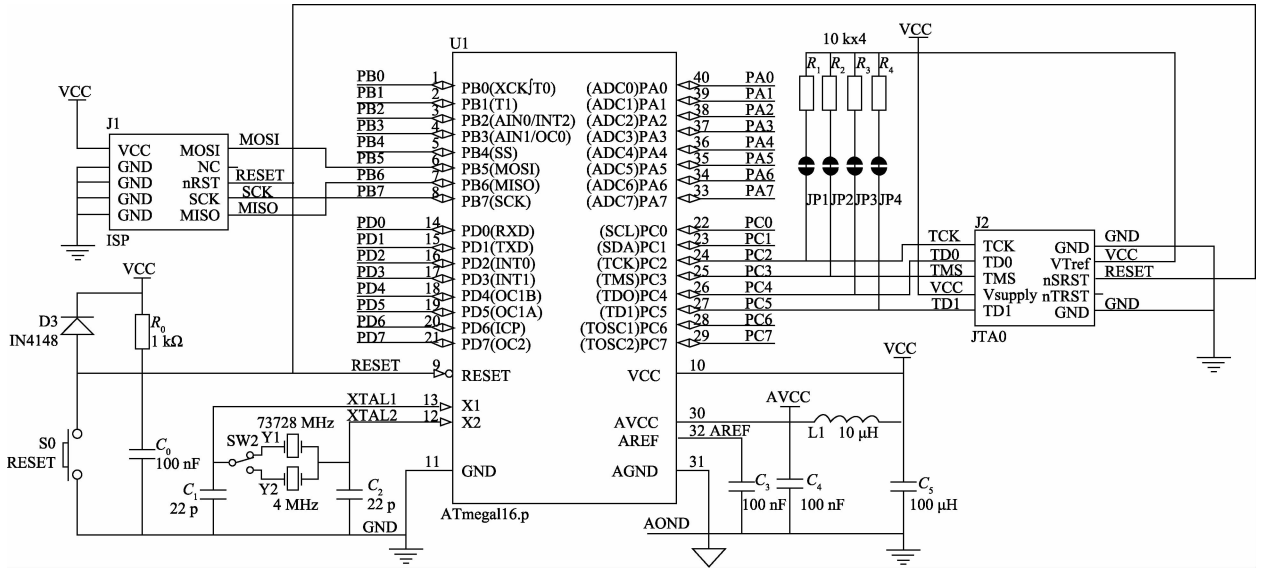


图4 机器人核心控制电路图

复位电路: Mega16 已经内置了上电复位设计。并且在熔丝位里,可以控制复位时的额外时间,故 AVR 外部的复位线路在上电时,可以设计得很简单:直接拉一只 10 kΩ 的电阻到 VCC 即可(R0)。为了可靠,再加上一只 0.1 μF 的电容(C0)以消除干扰、杂波。

RC 振荡线路: Mega16 已经内置 RC 振荡线路,可以产生 1 M、2 M、4 M、8 M 的振荡频率。不过,内置的毕竟是 RC 振荡,在一些要求较高的场合,比如要与 RS232 通信需要比较精确的波特率时,建议使用外部的晶振线路。

## 4 软件设计与调试

### 4.1 机器人工作流程

双足竞步机器人(窄足)的步态比较接近于人类正常

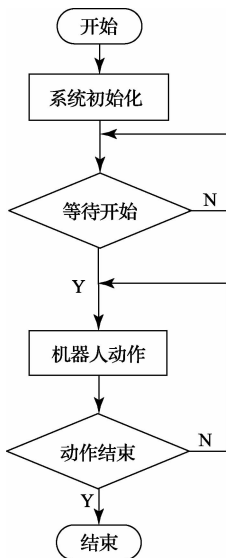


图5 机器人工作流程图

行走时的步态,按照重心进行步态控制<sup>[8-10]</sup>。为了方便程序的编写和动作的调试,关节舵机的编号为(0—5)号。编程为理想化编程,实际程序会和理想编程有所偏差,因此编程完成之后要进行多次动作的微调,机器人工作流程图如图 5 所示。

制作机器人时舵机是对称安装,在编写代码时要注意舵机的运动方向。机器人在反转动作时不宜太快,太快可能会导致代码不能完全读出导致动作不到位使机器人出现摔倒的情况。

### 4.2 舵机控制原理

本文所采用的舵机为模拟舵机,因此采用脉冲宽度调制(PWM)进行舵机的信号输出控制。PWM 是利用微处理器的数字输出来对模拟电路进行控制的一种非常有效的技术,具有经济节约空间、抗噪声强等优点,广泛应用在从测量、通信到功率控制与变换的许多领域中。在电动机控制领域中强调节能环保的变频技术,比如变频空调、变频洗衣机、和变频冰箱等,其实它们所利用的核心技术就是 PWM 技术。

PWM 控制原理: PWM 技术是利用直流脉冲序列的占空比变化来改变直流电的平均值。直流电压的高低是指脉冲的平均值大小,脉冲是由高电平和低电平构成的,高电平存在时间在整个周期中所占的时间比例称为占空比。高电平时间越长,占空比越大,平均值越大,电压越高。通过控制高电平的时间长短就可改变占空比,调节输出电压的高低,对电动机进行调速等应用。

通常 PWM 的输出是脉冲序列,在要求严格直流场合必须进行仔细的滤波,滤除其中的交流成分。在电动机调速等应用中则对滤波要求不是那么严格了,主要原因在于电动机的转动速度远比电脉冲频率低,而且机械阻尼会减少电动机的抖动;还有一个更重要的原因是电

动机的线圈可以看成是一个很大的电感线圈,可以对脉冲序列进行很好的滤波。

### 4.3 实验分析

通过以上的硬件电路的设计和软件设计,制作了相应机器人实物,并编写机器人控制代码和步态的控制,如图6所示。

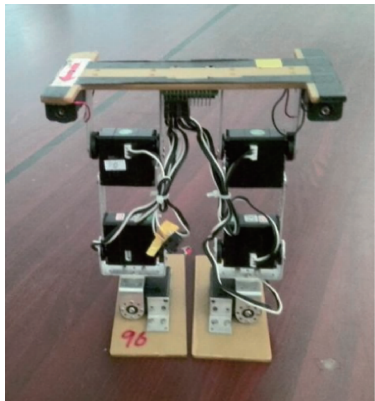


图6 机器人设计图

按照比赛的要求进行动作的设计,所设计的动作包括:走步、走三步、立正、前滚翻、后滚翻等。实验场地为一个2 m长、0.6 m宽的赛道。分4个速度(舵机运行速度的占空比)进行了实验,每个速度试验的次数都为10次,机器人的完成比赛的平均时间和完成率如表1所示。

表1 实验数据

速度	试验次数	完成平均时间	完成率
1	10	145.6 秒	100%
2	10	84.5 秒	90%
3	10	52.7 秒	90%
4	10	21.8 秒	80%

由表1可以看出,本文所设计的双足竞步机器人(窄足)的平均完成时间随着速度的增加而减小,减小的幅度较好,接近极限速度4时,完成时间接近21.8 s,是目前双足竞步机器人(窄足)竞赛项目的最好成绩。但是,对应的完成比赛的完成率就一定程度上降低了。当速度为1时,完成率为100%,意味着在低速的情况下,本文所设计机器人的具有较好的稳定性;随着速度的增加,机器人完成比赛规定动作的完成率降到了80%,在10次的运行试验数据中,有8次成功的完成了比赛,2次运行过程中出现了压边线的问题。综合实验数据分析,本文所设计的机器人系统的性能达到预期的目标。

## 5 结 论

本文应用 ATmega 单片机控制技术、电机驱动技术等,

设计了一种双足竞步机器人,双足机器人具有稳定性好、运行速度快的优点,而且结构简单、制作成本低。该机器人成功应用于中国机器人大赛,通过连续3年参加中国机器人大赛双足竞步机器人项目的比赛,获得了2014年该项目的全国冠军。

双足机器人应用领域广泛,本文所设计的双足机器人通过进一步的扩展,可应用于机器人搬运、老人互助服务机器人、爬楼的机器人等,具有一定的扩展应用价值和意义。

## 参考文献

- [1] 刘祚时,蔡成健,胡发焕,等. 基于C8051与VC的双足竞步机器人控制系统设计[J]. 微电机, 2012, 45(3): 36-39.
- [2] LIU L, SHELL D A. Assessing optimal assignment under uncertainty: An interval-based algorithm[J]. The International Journal of Robotics Research, 2011, 30(7): 936-953.
- [3] 谭建豪,章兢,何志. 人类控制策略在双足机器人步态控制中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(1): 8-14.
- [4] 董景新,赵长德. 机电一体化系统设计[M]. 机械工业出版社, 2013, 北京: 45-70.
- [5] 陈忠平. ATmega16 单片机 C 语言程序设计经典实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013, 25-30.
- [6] 崔庆权,尹逊和. 一种简易盆栽浇花控制系统的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2015, 38(2): 109-112.
- [7] 陈超,邓彦宁,江鹏,等. 基于两自由度模块化关节的巡线机器人设计[J]. 仪器仪表学报, 2012, 35(12): 28-35.
- [8] 肖乐,殷晨波,郑冬华. 仿人机器人上下楼梯稳定行走控制策略[J]. 计算机工程与设计, 2009(10): 2453-2456.
- [9] 薛峰,陈小平. 一种提高双足机器人机动性的步行模式规划方法[J]. 2012, 33(9): 1929-1934.
- [10] 宫赤坤,菅坤杰,温新. 双足机器人的设计与实现[J]. 现代制造工程, 2014(12): 41-45.

## 作者简介

崔庆权,工学硕士,讲师,主要研究方向为机器人应用技术、智能控制、单片机技术等。

E-mail: modic@163.com

尹逊和,工学博士,教授,主要研究方向为机器人控制技术、网络控制系统及应用、智能电网、控制理论与应用等。

E-mail: yinxunhe@126.com