

仿生六足机器人的设计与实现^{*}

□ 谢 鑫 □ 李琼麟 □ 郭 建 □ 蒋 品

华南理工大学广州学院 机械工程学院 广州 510800

摘 要:模仿多足昆虫的生理结构,增加轮式驱动,设计了一款仿生六足机器人。基于 Arduino 控制板、舵机控制模块、蓝牙通信模块及红外检测模块设计了该机器人的控制系统,用于实现机器人的运动模式、步态选择、姿态高低等。这一仿生六足机器人具有操作简单、动作灵活、稳定性高等特点,经试验确认了设计的可行性。

关键词:仿生机器人 设计 自动控制

中图分类号:TH12;TP 242 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-4998(2017)10-0020-04

Abstract: A bionic hexapod robot was designed by imitating the physiological structure of insects and adding the wheel drive. Based on Arduino control board, steering gear control module, bluetooth communication module and infrared detection module, the control system of the robot was designed to realize the motion pattern, gait selection and pose level of the robot. This bionic hexapod robot presents the characteristics of simple operation, flexible operation and high stability. The feasibility of the design was confirmed by the experiment.

Key Words: Bionic Robot Design Auto Control

1 研究背景

机器人技术的迅速发展,得到各界的关注,成为当今科技的研究热点。随着人类探索自然界的进程不断加快,各领域对具有应对复杂环境能力的自主机器人的需求越来越大。由长时间的研究可知,轮式机器人和履带式机器人具有结构简单、控制简明的优点,但其对地面要求较高,不能适应各种复杂的地形^[1]。而仿多足昆虫的足式机器人,其复杂精妙的肢体结构和简易灵巧的运动控制策略,使自身能轻易地穿越各种复杂的自然地形^[2]。足式机器人应对复杂地形的能力远远强于轮式机器人及履带式机器人^[3]。由于足式机器人步行控制算法的匮乏、人工步态不及生物步态完善等原因,笔者以多足昆虫作为研究原型,对多足昆虫的身体、腿部结构等关节进行分析,仿照多足昆虫的结构设计仿生六足机器人^[4-5],解决腿部结构、身体结构、步态控制等关键问题,使仿生六足机器人更加灵活、敏捷。在仿生学的研究成果下,设计出每条腿部均具有三个自由度的仿生六足机器人,并在这一仿生六足机器人的基础上增加轮式驱动结构,使这一仿生六足机器人可根据所需应对的地形选择驱动模式。当仿生六足机

器人处于较为平坦的地形时,自动选择轮式驱动模式,实现在平坦地面上采用轮式驱动前行,并具有差速转弯等功能,降低步态控制算法的难度。当仿生六足机器人处于复杂的地形时,自动选择足式驱动模式,采用足式结构驱动爬行、原地转弯等,可轻易地越过复杂地形。

2 仿生六足机器人的结构设计

2.1 整体结构

仿生六足机器人整体结构如图 1 所示,主要由机身本体和腿部结构组成。腿部结构主要由六条仿照多足昆虫腿部结构设计的机器人机械腿构成,机身本体根据多足昆虫的躯体设计为长椭圆形状结构,遵守结构仿生、功能仿生的原则。

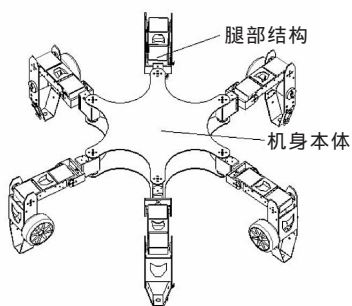
如图 2 所示,将仿生六足机器人腿部结构的六条机械腿相对于机身本体呈圆周分布,分布于机身本体面上最大面积圆的内切六边形六个顶点上。这种分布方式可以保证两机械腿间具有较大的空间,运动过程中不会出现两腿间的干涉。

2.2 机械腿

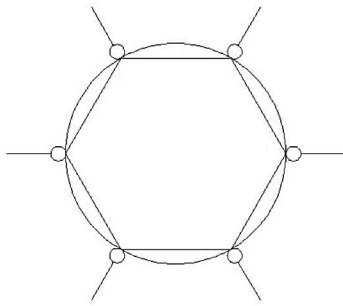
如图 3 所示,仿生六足机器人的机械腿结构是仿照多足昆虫的腿部结构设计的。根据多足昆虫腿部三个自由度结构,设计出腰关节、髋关节、膝关节三个关

^{*} 2017 年广东大学生科技创新培育专项(编号:pdjh2017a0960)

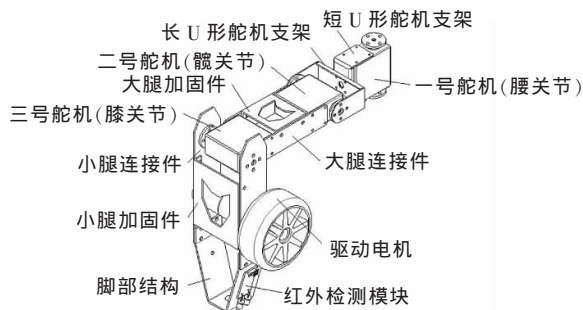
收稿日期:2017 年 3 月



▲图1 仿生六足机器人整体结构



▲图2 腿部结构分布图



▲图3 仿生六足机器人机械腿结构

节。采用三个舵机仿照做出三个关节的动作,一号舵机仿照多足昆虫的腰关节,连接于六足机器人的机身本体上,完成仿生六足机器人运动时的腿部摆动动作。短U形舵机支架和长U形舵机支架通过零件连接在一起,起到连接腰关节和髌关节的作用。二号舵机仿照多足昆虫的髌关节,实现仿生六足机器人在运动时腿部结构抬起及放下的过程。采用两个大腿连接件及大腿加固件构成H形大腿结构,用于连接髌关节及膝关节。大腿的H形结构可以有效地抵制外力对自身造成的影响,避免大腿结构因外力作用而变形,影响仿生六足机器人的正常工作。三号舵机仿照多足昆虫的膝关节,用于仿生六足机器人运动时实现踢腿的动作。小腿连接件及小腿加固件用于固定在三号舵机上,并连接脚部结构的连接件。脚部结构设计为末端逐渐收窄,使六足机器人与地面的连接近似地看作点面接触,避免六足机器人在运动时发生机械腿与地面滑移的现象。在这一仿生六足机器人的基础上,在位于小腿结构处增加一个驱动电机及轮子,使仿生六足机器人可以实现轮式驱动功能,在平坦的地面上可轮式驱动前行。

2.3 辅助功能

如图3所示,在具有轮式结构的仿生六足机器人的机械腿结构基础上,在脚部结构处增加一个红外检测模块,使仿生六足机器人在运动过程中,可以时刻检测脚下地面的情况。当某一条机械腿上的红外检测模块检测不到信号时,证明该机械腿在相对于机身本体的方向上存在一个较大的高度差,此时仿生六足机器人会自动停止向这一方向前进,并后退再次规划路线,可以避免仿生六足机器人在工作中因地势落差较大而跌落导致危险或损坏。

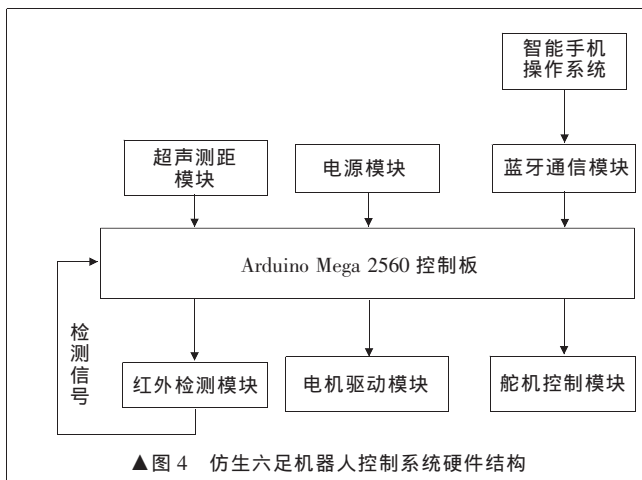
3 控制系统设计

3.1 硬件系统

根据仿生六足机器人的自身特点,对控制系统的要求主要是多自由度的协调控制、多种步态的可控性

和性能扩展。因此采用分布式控制系统^[6]。系统控制目标分配给每个子系统,它们之间可以有必要的信息交换。

控制系统的硬件部分中,主要以Arduino Mega 2560 控制板作为主控制,除此之外还包括蓝牙通信模块、智能避障模块、多路舵机控制模块、电机驱动模块等。系统运行时,由智能避障模块检测获得信号或蓝牙通信模块接收信号,再向Arduino Mega 2560 控制板输送信号,并根据不同的信号来发送不同的指令给舵机控制模块,控制仿生六足机器人实现相应的步态,同时根据地形情况可从足式驱动模式更改至轮式驱动模式^[7]。具体的仿生六足机器人控制系统硬件结构如图4所示。



▲图4 仿生六足机器人控制系统硬件结构

这一控制系统以HC-SR04型超声测距模块和红外检测模块作为智能避障模块。应用模块输入输出接口可方便实现自动检测路况,并规划行走路线,可以灵活行走和爬行穿越障碍,也可以防止失去平衡。

采用超声测距模块,并结合仿生六足机器人的姿态变化,可以获得仿生六足机器人前方障碍物的具体状况,通过信号来控制仿生六足机器人的姿态,尝试在最佳姿态时去越过障碍或绕过障碍。红外检测模块安装于仿生六足机器人的脚部结构处,实时监测仿生六

足机器人运动时脚下的地面情况。当仿生六足机器人六条机械腿中的某一条检测不到信号时,证明该处地形具有较大的落差,继续前进可能使仿生六足机器人陷入困境,此时通过信号控制仿生六足机器人后退并重新规划路线,防止仿生六足机器人在工作的过程中坠落而导致危险。

可使用手机通过蓝牙通信模块远程控制仿生六足机器人,核心部分采用 BT05 型蓝牙通信模块,具有透传、远传、控制三种功能。通过蓝牙模块的 AT 指令集进行切换和设置,同时支持安卓 4.3 及以上版本系统,反应时间为 0.4 s,传输速度可达 3 kbit/s。

为了提高仿生六足机器人在行走时的稳定性,以 32 路舵机控制板作为舵机控制模块。这一模块的中央处理器采用 ARM Cortex-M3 型内核高性能单片机,可高精度控制 32 路舵机运动。伺服舵机的控制信号为特定的脉宽调制信号,控制脉冲周期为 20 ms,宽度为 1.5 ms,可由换算公式求出 0~180° 相对应的脉宽值。通过舵机控制板与上位机的软件调试,将调试好的动作组进行标号保存。脉冲信号与舵机转角的对应控制关系如图 5 所示。

舵机控制原理如图 6 所示。控制舵机的脉宽调制信号由 Arduino Mega 2560 控制板产生,通过接收通道进入信号解调电路中的 BA6688L 芯片第 12 引脚进行解调,获得一个直流偏置电压。这一直流偏置电压与电

位器的电压进行比较,获得电压差,由 BA6688L 芯片的第 3 引脚输出,送入电机驱动集成电路 BAL6686 芯片的第 5 引脚,以驱动电机正反转。当电机转速一定时,通过级联减速齿轮带动电位器旋转,直到电压差为 0,电机停止转动。舵机的受控信号是脉宽调制信号,利用占空比的变化来改变舵机的位置^[8]。

3.2 软件系统

在软件系统中,由下位机组成的闭环控制系统可根据传感器的情况,对外部复杂环境进一步作出判断与控制。计算机可通过与舵机控制板的通用串行总线接口在线连接,对 18 个舵机进行实时控制,这能更直观地反映仿生六足机器人的行走姿态。上位机可以对下位机反馈的信号进行实时监视。

相比开环控制系统,闭环控制系统具有一系列优点。在反馈控制系统中,不管出于什么原因,无论是外部扰动还是系统内部变化,只要被控制量偏离规定值,就会产生相应的控制作用去消除偏差^[9],因此具有抑制干扰的能力,并能改善系统的响应特性。传感器是构成闭环控制系统的主要部件之一^[10]。超声测距模块主要通过发送并接收超声波来对距离进行换算,反馈给下位机。下位机通过超声测距模块前、左、右 3 个方向反馈回来的信号来对外部环境进行判断,同时调用舵机控制板已储存的动作组。红外检测模块是以红外线为介质来完成测量功能的传感器,以 6 组红外传感器的低电平来触发下位机的中断,然后分别调用后退和转弯动作组来实现防跌落的功能^[11]。

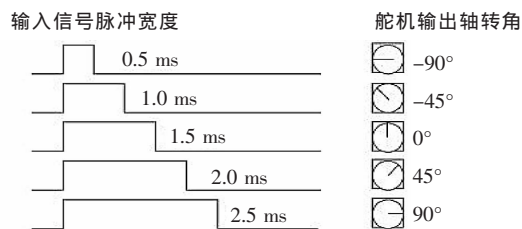
蓝牙通信软件界面和蓝牙模块驱动程序如图 7、图 8 所示,通过 APP Inventor 软件开发设计蓝牙通信软件,实现手机与仿生六足机器人之间的蓝牙连接功能,通过手机控制仿生六足机器人的动作、姿态及模式切换等^[12]。

调用动作组程序如图 9 所示,超声检测距离反馈如图 10 所示。采用 Arduino IDE 软件对仿生六足机器人的 Arduino Mega 2560 控制板进行信号控制,通过超声测距模块对仿生六足机器人前方的障碍物进行检测,并根据障碍物的实际距离,调用适当的动作组,实现仿生六足机器人的运动^[13]。

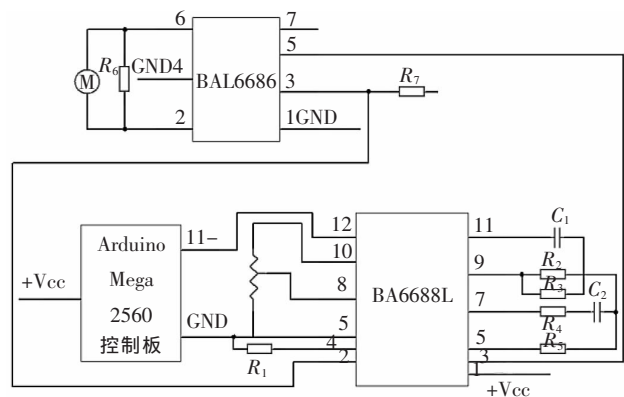
仿生六足机器人整体控制流程如图 11 所示。

4 结论

笔者以多足昆虫作为研究原型,仿照多足昆虫生理结构而设计了仿生六足机器人。在仿生六足机器人的基础上增加轮式驱动,可根据地形的不同实现轮式驱动模式与足式驱动模式的转换,适应性强,灵活性强。在仿生六足机器人上安装了红外检测模块和超声测距模块,使这一仿生六足机器人可以更加智能地实



▲图5 脉冲信号与舵机转角对应控制关系



▲图6 舵机控制原理图



▲图7 蓝牙通信软件界面

```
int val; //蓝牙通信
int ledpin=13;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledpin, OUTPUT);
}

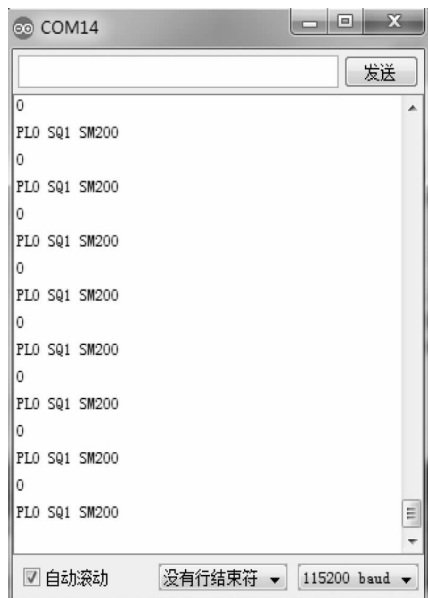
void loop()
{
  while(Serial.available())
  {
    char c=Serial.read();
    if(c==' ' , 'a' , 'b' )
    {
      Serial.println("Hello ");
      digitalWrite(ledpin, HIGH);
    }
    else if (c==' ' , 'b' )
    {
      Serial.println("Stop using.....");
      digitalWrite(ledpin, LOW);
    }
  }
}
```

▲图8 蓝牙模块驱动程序

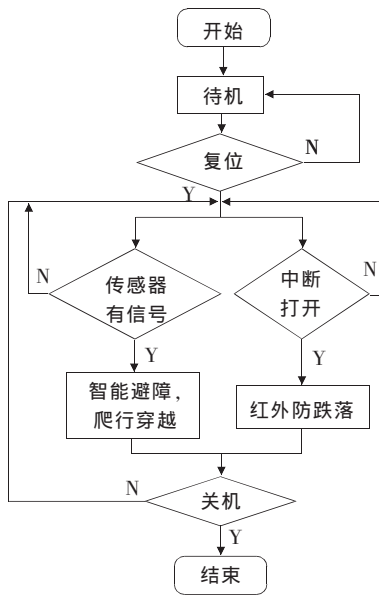
```
sketch_mar24a$

const int trig = 8; // 触发信号
const int echo = 9; // 反馈信号
int LED = 13;
unsigned int S; //距离存储
//初始化
void setup() {
  pinMode(echo, INPUT);
  pinMode(trig, OUTPUT);
  //触发端口设置为输出, 反馈端口设置为输入
  pinMode(LED, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
}
//主循环
void loop()
{
  long t0;
}
```

▲图9 调用动作组程序



▲图10 超声检测距离反馈



▲图11 仿生六足机器人整体控制流程

- [5] 胡伟, 许勇, 张善平. 基于 ADAMS 的六足机器人腿机构优化设计与仿真[J]. 机械制造, 2014, 52(10): 11-14.
- [6] 朱国杰, 田文凯, 吕承哲, 等. 六足仿生机器人机构与控制系统设计[J]. 测控技术, 2017, 36(1): 55-58.
- [7] 王洪斌, 李程, 王跃灵, 等. 基于 Arduino 和蓝牙技术的六足机器人控制系统设计[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2015, 32(4): 533-537.
- [8] 才国峰, 张赫, 陈杰, 等. 仿生六足机器人单腿控制系统[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2016(3): 267-270.
- [9] 陈刚, 金波, 陈鹰. 六足步行机器人定半径转弯步态[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014(7): 1278-1286.
- [10] 李满宏, 张明路, 张建华, 等. 六足机器人关键技术综述[J]. 机械设计, 2015, 32(10): 1-8.

现各种功能。

参考文献

- [1] 姜树海, 孙培, 唐晶晶, 等. 仿生甲虫六足机器人结构设计及步态分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(6): 115-120.
- [2] 陈甫. 六足仿生机器人的研制及其运动规划研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [3] 徐小云, 颜国正, 丁国清. 微型六足仿生机器人及其三角步态的研究[J]. 光学精密工程, 2002, 10(4): 392-396.
- [4] 彭攀来, 马娅婕, 刘智旸. 基于 Arduino 的移动机器人控制系统设计[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(3): 1-4.
- [5] 胡伟, 许勇, 张善平. 基于 ADAMS 的六足机器人腿机构优化设计与仿真[J]. 机械制造, 2014, 52(10): 11-14.
- [6] 朱国杰, 田文凯, 吕承哲, 等. 六足仿生机器人机构与控制系统设计[J]. 测控技术, 2017, 36(1): 55-58.
- [7] 王洪斌, 李程, 王跃灵, 等. 基于 Arduino 和蓝牙技术的六足机器人控制系统设计[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2015, 32(4): 533-537.
- [8] 才国峰, 张赫, 陈杰, 等. 仿生六足机器人单腿控制系统[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2016(3): 267-270.
- [9] 陈刚, 金波, 陈鹰. 六足步行机器人定半径转弯步态[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014(7): 1278-1286.
- [10] 李满宏, 张明路, 张建华, 等. 六足机器人关键技术综述[J]. 机械设计, 2015, 32(10): 1-8.
- [11] 张涛, 颜国正, 刘华. 新型微型六足机器人的运动原理及控制程序[J]. 计算机工程, 2006, 32(23): 241-243.
- [12] 尹志朋, 侯宇, 代陈超, 等. 少驱动六足机器人结构设计与轨迹优化[J]. 机械传动, 2016, 40(9): 91-94.
- [13] 张金柱, 金振林, 陈广广. 六足步行机器人腿部机构运动学分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 45-52.

作者简介:

谢鑫(1995—)男, 本科在读。

(编辑 平 平)