

摘要: 仿生机器人一直受到人们的关注。本文设计了一种四足爬行机器人,模仿蜘蛛爬行动作,每条腿均有3个伺服电机,总计12个伺服电机。以ESP8266为主控芯片,通过PCA9685将数字信号转换为PWM信号控制舵机。采用了1.3英寸128*64的OLED液晶显示来进行显示。机器人控制系统高度集成化,机器人开机时便会进行复位,通过Wi-Fi连接的控制系统也可以进行程序复位,所以不必设置手动复位电路。实验表明,该四足爬行机器人可以完成爬行,转弯和翻越障碍物等动作。

关键词: ESP8266; 仿生机器人; 3D打印技术

中图分类号: TP242 文献标识码: A 文章编号: 1006-883X(2020)10-0022-05

收稿日期: 2020-09-16

基于ESP8266的四足爬行机器人设计与实现

张开宇¹ 高国伟^{1,2} 毛浩龙³

1. 北京信息科技大学 传感器重点实验室, 北京 100192;

2. 北京信息科技大学 现代测控技术教育部重点实验室, 北京 100101;

3. 北京信息科技大学, 北京 100096

一、引言

仿**生**机器人是一种具有生物学特性的机器人^[1],这类机器人模仿生物的生理结构和动作行为方式进行工作。仿生机器人的设计都是源于自然界的动物,因此仿生机器人可以很快的适应复杂的环境,代替人类执行繁重危险的工作。如仿生麻雀机器人可以担任监测等任务。在众多种类的仿生机器人中,仿生蜘蛛机器人灵活度高、动作简单,使其在工业、军事、航空和紧急救灾等领域得到广泛应用。很多学者参与了仿生蜘蛛机器人的研究,开发出了六足爬行机器人^[2]。相对与六足机器人,四足爬行机器人控制方便、能耗低、制造工艺简单、设计成本低,并且可以完成六足机器人的大部分动作^[3-4]。

本文设计了一种基于ESP8266的四足爬行机器人,模仿蜘蛛爬行的姿态,可以实现爬行、快跑、爬楼梯等步态。比轮式机器人有更强的地面环境适应能力,其立足点分散^[5-6],接触面积小,使其可以在行进途中

选择最优支撑点。在工业、军事、服务业等具有广泛的应用场景。

二、系统总体设计

仿生蜘蛛机器人的结构灵活,从结构机制来看,八足机器人很难根据其生理特征进行模仿,而相对于四足机器人,六足机器人的设计成本太高,功能提升效果不明显,能耗高。因此,本文设计了四足爬行机器人。四足爬行机器人的控制系统如图1所示。该系

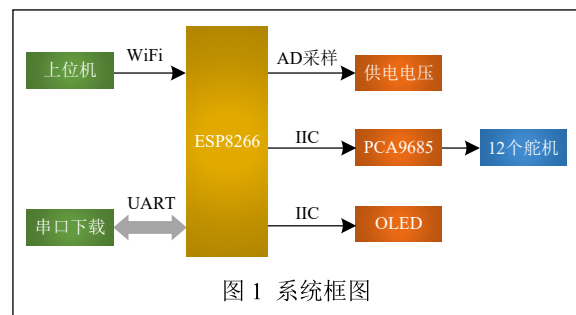


图1 系统框图

统由供电模块、PCA9685 信号转换模块、OLED 显示模块、ESP8266 主控模块构成^[7]。采用开源软件 Arduino 来编写四足机器人的运行程序, QT 进行交互界面的开发。通过在 UDP^[8] 广播控制中对机器人编码、动作编码, 达到识别机器人动作的目的。

机器人开机工作时访问控制系统网络, 连接到控制系统网络以后由上位机统一进行控制传输动作指令。该机器人系统的设计可以使多个机器人被一个上位机控制, 使用 UDP 技术传输动作指令, 实现机器人通过网络进行协调运行和动作监视, 相比于提前烧录程序的机器人更加容易配合完成任务。

三、硬件设计

硬件电路图如图 2 所示。硬件电路分为七个模块,

主要模块包含 ESP 主控模块、显示模块、稳压模块、舵机扩展模块、下载接口以及供电模块。

1、ESP 主控模块

因为机器人系统的高度集成化并且可与上位机交互, 所以并没有设计手动复位电路。主控模块主要由滤波电路和单片机电路组成。

核心单片机芯片选用了乐鑫公司的 ESP8266, 其工作温度范围 $-20^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$, 性能稳定, 适应各种操作环境。该芯片内置超低功耗 Tensilica L106 32-bit RISC 处理器, 深度睡眠保持电流 $10\mu\text{A}$, 关断电流小于 $5\mu\text{A}$, 主频支持 80MHz 和 160MHz, 其工作电压 $3\text{V} \sim 3.6\text{V}$ 。

选择 ESP8266 的主要原因是其具有射频模块: 2.5GHz 接收和发射器。其自带的 Wi-Fi 射频和基带支

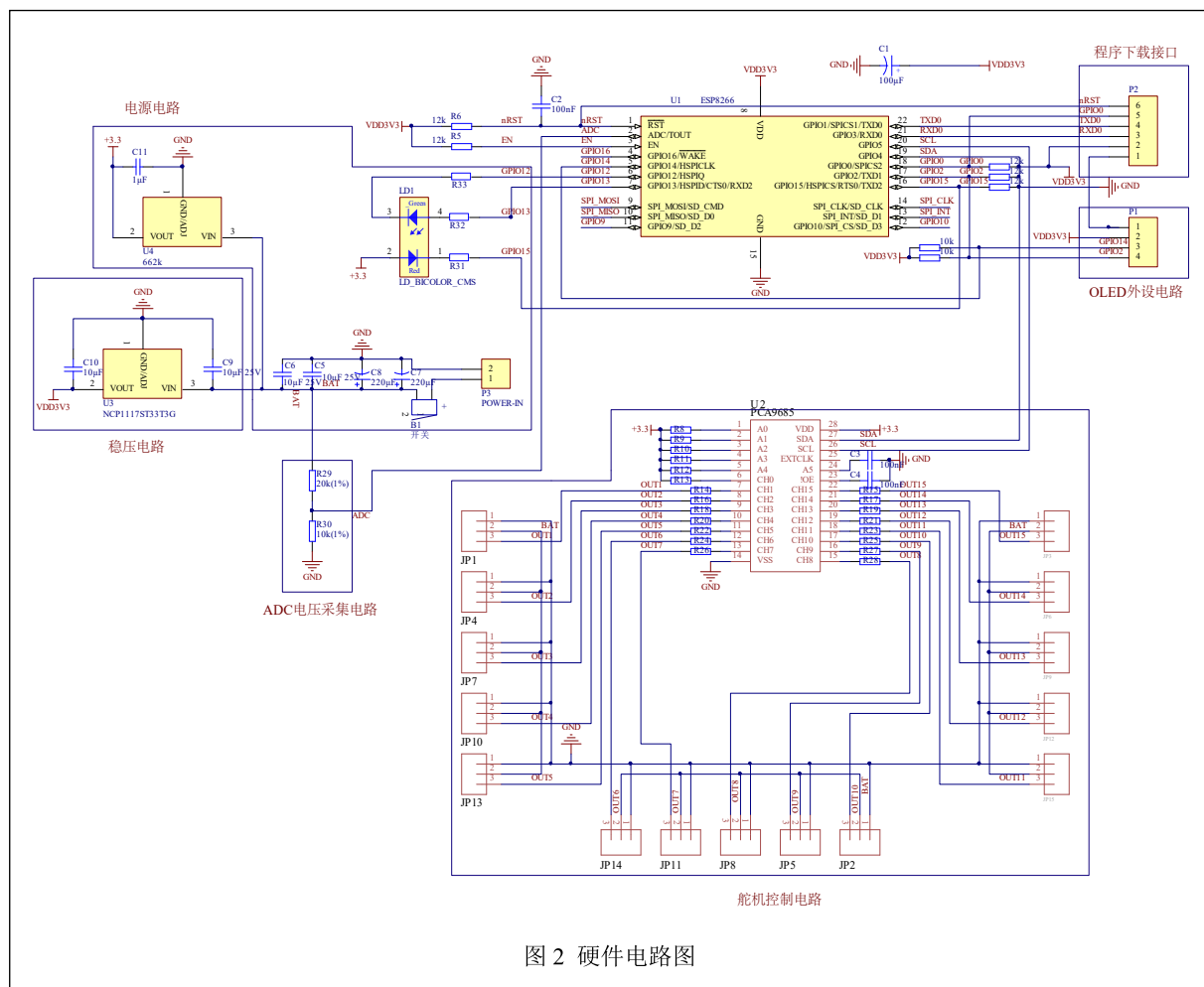


图 2 硬件电路图

持 802.11b 和 802.11g，速度为 72.2Mbps。内置两个 Wi-Fi 接口和 TSP，支持 Beacon 自动检测。内置了 TCP/IP 协议栈、TR 开关、LNA、balun、功率放大器等。因为 ESP8266 自带的 Wi-Fi 模块使得整个系统同上位机进行传递信息方法不在局于有线连接。

2、显示模块

显示模块采用 1.3 寸的 OLED 液晶显示模块，128×64 点阵，在室内、室外、阳光下均可见，完全可满足日常运行调试的需求，因为四足机器人设计时考虑到功耗问题，因此在正常运行时 OLED 面板会关闭，在调试时使用 OLED 面板进行辅助调试。

3、稳压模块

ESP8266 工作电压为 3V~3.6V，因此选用了 NCP1117ST33T3G 进行稳压。该稳压模块压差典型值 1.07V/0.8A，输出电压 3.3V，静态电流 10mA，最大输入电压 20V，输出电流 1A，满足系统要求。

4、舵机扩展模块

舵机扩展电路采用 PCA9685 来将数字信号转换为 12 个伺服电机的 PWM 控制信号，通过 IIC 与 ESP8266 进行通信，具有四个可编程的 IIC 总线地址，其最高支持 16 路 PWM 输出，每路信号输出均具备 12 位分辨率。具有上电复位和软件复位功能，因此不必额外设计手动复位电路，减少了电路设计的难度。并且具备快速模式（I2C 总线速率提升到 1MHz），SDA 端口 30mA 的驱动能力可以使其满足 12 个伺服电机同时工作。

5、伺服电机

系统采用 SG92R 伺服电机作为驱动机器人的主要动力。其工作扭矩 2.5kg/cm 重量为 15g，使用温度在 -30℃~60℃。转动角度 180°，工作电流 0.02A，属于数码舵机类。相比于 SG90 重 0.2g，但是其扭矩，死区锁定，减速组等远远优于 SG90，因此机器人系统采用了 SG92R。

6、下载接口

系统采用 USB 转 UART 来进行程序的烧录。系统刚设计焊接完成时，芯片里面是没有程序的，

需要对芯片中烧录进初始程序，因此下载接口必不可少。

7、供电模块

设计系统时考虑到远程遥控和近距离运行情况，采用了 DC 直流插座供电和锂电池供电模式，在近距离运行时可以采用插座供电，在远距离运行时可采用锂电池供电。

四、机械骨架设计

机器人骨架设计参考了蜘蛛的爬行姿态，通过对蜘蛛的仿生研究设计了具有 12 个自由度的四足爬行机器人。相对于六足爬行机器人，四足爬行机器人能耗更低^[9]，并且设计简单，不需要级联 PCA9685（PCA9685 只能控制 16 个舵机，六足机器人一共 18 个舵机需要级联另外一块 PCA9685）。机械骨架一共需要 15 个零件，如果用传统方法制作模具不光耗时长，制造成本也会急剧升高，因此，本文采用了 3D 打印技术^[10]，如图 3 所示，不需要机械加工，也不需要设计模具，可以同时打印不同的零件，大大缩短了爬行机器人的研发周期，降低了设计成本，减少了材料的浪费。并且使用 3D 打印出来的机器人零件在保证机械强度的同时，机械骨架重量也减轻了 60% 左右，降低了机器人整体的能耗，增大了负荷重量。

五、软件设计

软件设计采用开源 Arduino 作为 PC 端的开发，支持 C/C++ 编。按照系统的功能分为多个模块进行编写。

当激活机器人时，ESP8266 的 Wi-Fi 模块便开始接收信号，上位机同时对所有机器人进行指令控制，完成对多个机器人的任务分配。机器人通过上位机的网络获得控制指令时，依次执行并汇报，有序地执行动作。该系统采用 MQTT 协议，MQTT 使用带宽低，



图 3 机械骨架 3D 打印

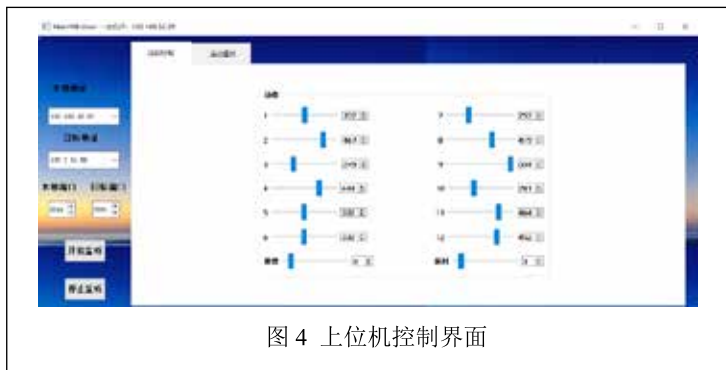


图4 上位机控制界面

成本低廉。当机器人连接到上位机网络时，进行程序复位。如图4所示，上位机使用QT软件进行编程，PC终端进入后创建udpsocket，来对用户的IP地址，本地端口和监听地址进行判断。机器人与上位机连接成功后，初始化信号槽，12个滑块分别对应机器人的12个关节，从而自动生成关节坐标（110~550），然后便可以将动作指令发给机器人终端，完成对机器人动作的控制。系统流程如图5所示。

六、仿真结果

通过机器人启动运行和紧急停止来检测机器人是否可以正常开机和关机，通过进行动作演示来验证机器人足部是否可以满足动作要求。图6为机器人运行初始化，站立模式。通过记录伺服电机的运动位置来检测机器人的腿部是否能完成动作。图7为2号伺服电机运行角度与时间图，可以看出电机活动范围是110~506（上位机将其-180°~180°设定为110~550），并且在运行期间没有出现干扰、断电、过载等情况。

上述实验结果在实验室进行，测试结果表明，系统运行稳定，能够准确快速地识别动作指令，电机可以支撑自身重量，并且电机运行角度范围大可以满足所有的运动指令，稳定可靠，满足设计要求。

该四足爬行机器人系统的优势：

(1) 机械骨架使用3D打印技术，降低设计成本的同时减轻了机器人整体的重量；

(2) 使用了ESP8266作为芯片的主控系统，芯片自带Wi-Fi，无需设置外部Wi-Fi模块，降低了设计难度，减少了功耗；

(3) 机器人整体功耗低，可以直流电源插座供电也可以锂电池供电；

(4) 程序采用了Arduino作为PC端的开发环境，支持C/C++编程，支持多种型号的板卡，实用性强，数据处理迅速；

(5) 使用配套开发的软件系统可以同时控制数个机器人运行。相比于红外遥控、无线射频等传统控制方式，这种控制方式更加方便快捷。因为其控制指令是实时发送，相对于提前烧录指令的控制方

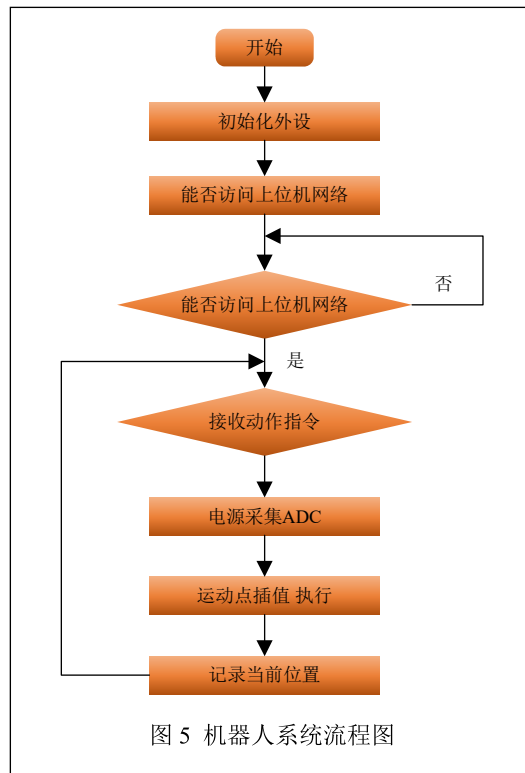


图5 机器人系统流程图



图6 机器人站立图

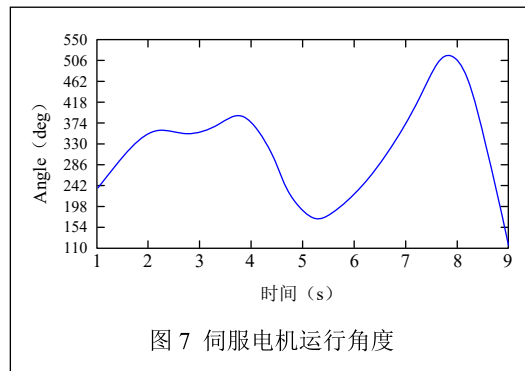


图7 伺服电机运行角度

法, 该控制系统可以在机器人运行途中进行动作指令的修改。

系统通过上位机网络连接, 当PC端登录互联网后, 机器人可以通过登录互联网终端来进行远距离控制, 也可以使用云端进行控制, 实现全国范围内的机器人统一控制, 为工业、军事提供更为便捷的控制方式。

七、总结

本文设计了一种四足爬行机器人, 采用3D打印技术制作机械骨架, 模仿了蜘蛛爬行姿态, 对复杂地形适应能力强, 功能齐全, 可以多个机器人同时工作, 互相配合完成任务。机器人系统功耗低、负载大、成本低。随着机器人技术的发展, 越来越多的行业将会普及智能机器人。该机器人设计使用芯片性价比高, 无需额外的Wi-Fi模块, 电路设计简单, 功能可靠, 在工业、军事和航空等领域具有很大的竞争权利和应用潜力。

参考文献

- [1] M. ZAK, J. ROZMAN AND F. V. ZBORIL. Overview of Bio-inspired Control Mechanisms for Hexapod Robot[C]// Marrakech, 2015 15th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2015.
- [2] 白颖, 蒋庆斌, 莫莉萍, 孙超, 王松. 六足仿蜘蛛机器人的结构设计与仿真分析[J]. 机电工程, 2019, 36(07): 732-735+743.
- [3] GEVA, YAM, AMIR SHAPIRO. A novel design of a quadruped robot for research purposes[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems 2014, 11(7): 198-204.
- [4] 吴子岳, 宋彦良, 吴志峰. 六足蜘蛛爬行机器人系统组成和越障性能分析[J]. 机械传动, 2019, 43(03): 156-160.
- [5] 蒋儒浩, 王玉琳, 刘冀, 徐清遥. 空间四足爬行机器人设计及步态规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(04):1-5.
- [6] 刘建辉, 叶静. 基于类蜘蛛仿生煤矿救灾机器人步态研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2008, 27(06): 878-880.
- [7] 张琥石, 林伟龙, 邓日练, 韦鸿深, 杨发柱, 陈洁, 覃延帅, 卢欣. 基于ESP8266 WiFi模块的物联网数控直流电压源的设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(20): 33-36.
- [8] 汪钦臣, 方益民. 基于Modbus UDP协议的STM32与PC实时通信的实现[J]. 仪表技术与传感器, 2020(07): 67-70.
- [9] REMY, C. D., BAUR, O., LATTA, M., LAUBER, A.,

HUTTER, M., HOEPFLINGER, M. A., PRADALIER, C. AND SIEGWART, R. Walking and Crawling with ALoF: A Robot for Autonomous Locomotion on Four Legs[J]. Industrial Robot, 2011, 38(3): 264-268.

[10] 邓飞, 刘晓阳, 王金业, 杨光, 冯运. 3D打印技术发展及塑性材料创新应用[J]. 塑料工业, 2019, 47(06): 8-13.

Design and Implementation of a Quadruped Crawling Robot Based on ESP8266

ZHANG Kai-yu¹, GAO Guo-wei^{1,2}, MAO Hao-long³

(1. Key Laboratory of Sensors, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China; 2. MOE Key Laboratory for Modern Measurement and Control Technology, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China; 3. Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: Bionic robots have always attracted people's attention. In this paper, a four-legged crawling robot is designed to imitate spider crawling movements. Each leg has 3 servo motors, a total of 12 servo motors. With ESP8266 as the main control chip, the digital signal is converted into PWM signal to control the steering gear through PCA9685. A 1.3-inch 128*64 OLED liquid crystal display is used for display. The robot control system is highly integrated. The robot will reset when it is turned on. The control system connected via Wi-Fi can also reset the program, so there is no need to set up a manual reset circuit. Experiments show that the four-legged crawling robot can perform crawling, turning and over obstacles.

Key words: ESP8266; Bionic robot; 3D printing technology

作者简介

张开宇: 北京信息科技大学传感器北京市重点实验室, 硕士研究生, 研究方向为智能检测技术。

通信地址: 北京市朝阳区北四环中路35号

邮编: 100101

邮箱: 978138312@qq.com

高国伟: 北京信息科技大学传感器北京市重点实验室主任, 研究员, 博士, 研究方向为新型传感器及系统。

毛浩龙: 北京信息科技大学, 硕士研究生, 研究方向为智能仪表与自动化装置。