

# 基于 AVR 和 STM32 的仿生六足机器人控制系统<sup>①</sup>

韩宝玲<sup>1</sup>, 刘广新<sup>1</sup>, 罗庆生<sup>2</sup>, 黄祥斌<sup>1</sup>, 张述玉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(北京理工大学 机械与车辆学院, 北京 100081)

<sup>2</sup>(北京理工大学 机电学院, 北京 100081)

<sup>3</sup>(北京理工大学 光电学院, 北京 100081)

**摘要:** 本文设计了一种以 Arduino 为开发平台的控制系统, 该控制系统以 ATmega328P 为主机控制芯片, 以 STM32F103C8T6 为从机控制芯片, 并通过串口方式实现通信, 集两款控制芯片的优势于一体. 本文主要介绍了控制系统的硬件组成和软件算法. 经过实物试验, 仿生六足机器人可以实现姿态自动调整、稳定行走以及自主避障. 本研究内容可为相关领域研究工作提供参考与借鉴.

**关键词:** 仿生六足机器人; Arduino; ATmega328P; STM32F103C8T6

## Control System Design of the Six Legged Robot Based on AVR and STM32

HAN Bao-Ling<sup>1</sup>, LIU Guang-Xin<sup>1</sup>, LUO Qing-Sheng<sup>2</sup>, HUANG Xiang-Bin<sup>1</sup>, ZHANG Shu-Yu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

<sup>2</sup>(School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

<sup>3</sup>(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this paper, a control system based on Arduino is designed. The control system takes ATmega328P as the master control chip, STM32F103C8T6 as the slave computer control chip, and the communication is realized through the serial port mode. The advantages of the two control chips are integrated. This paper introduces the design scheme of the control system from two aspects: hardware and software. The real experiments demonstrated the bionic six legged robot can achieve automatic posture adjustment ability, stable walking, and reliable obstacle avoidance ability. The content of this article can provide reference for the research work in the relevant fields.

**Key words:** six legged robot; Arduino; ATmega328P; STM32F103C8T6

对于崎岖道路、岩石路面等复杂地形, 仿生六足机器人相对于轮式移动机器人具有高适应性和高平衡性<sup>[1][2]</sup>. 仿生六足机器人具有 6 条腿, 每条腿具有 3 个自由度. 它能够像“六足纲”昆虫一样灵活地运动<sup>[3]</sup>, 在战地侦查、防灾救险等领域将会有很广泛的应用. 但是由于六足机器人腿部关节较多, 动作协调控制难度大, 因此对控制系统设计提出很高的要求.

### 1 控制系统硬件组成

小型仿生六足机器人的虚拟样机模型与实物如图 1 所示, 长度为 18cm, 宽度为 23cm, 最大高度为 12cm, 总重量为 403.1g. 六足机器人每条腿上有 3 个关节, 共有 18 个关节, 各关节的转动分别用舵机来驱动控制, 舵机安装在各个关节内侧, 具体选取的部件见表 1.



图 1 虚拟样机与实物

表 1 小型仿生六足机器人硬件组成

结构材料	3mmABS 板
舵机	MG90S
姿态传感器	MPU6050
超声波传感器	HY-SRF05
控制板主机芯片	ATmega328P
控制板从机芯片	STM32F103C8T6
控制板电池	3.7V 聚合物锂电池

① 收稿时间:2015-10-02;收到修改稿时间:2015-11-11 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005178]

### 2 控制系统硬件电路

小型仿生六足机器人控制系统硬件组成如图 2 所示. 主机芯片是 ATmega328P, 开发平台是 Arduino, 通过 USB 转 TTL 模块可以方便地与上位机软件进行通信以及程序下载, 优势在于编程简单、代码开源, 易于初学者学习与开发; 从机芯片采用 STM32F103C8T6, 内部存有底层控制代码, 功能齐全, 负责各种传感器信息获取与处理以及接受主机芯片指令控制舵机运行.

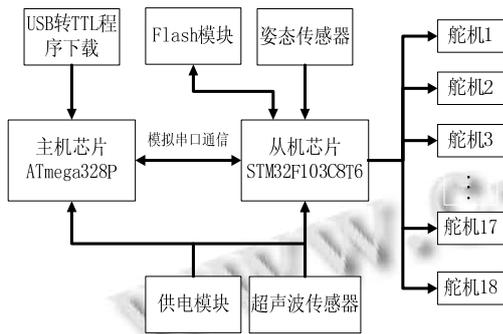


图 2 控制系统硬件组成框图

#### 2.1 电源部分

电源电路部分包括充电放电电路、升压电路和降压电路. 选用 3.7V 锂电池供电, 具备充电和放电两种模式, 采用单刀开关进行模式切换, 电路如图 3.

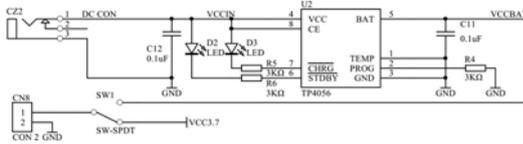


图 3 控制板充电放电电路

控制板主机芯片 ATmega328P 需要 5V 电源供电, 所以需要由 3.7V 转化为 5V 的升压电路, 选用 FP6293 做为电压转换芯片, 电路如图 4.

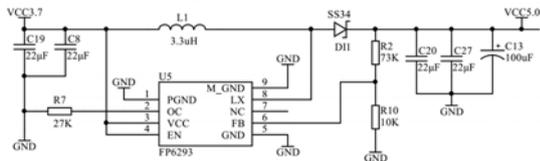


图 4 控制板主控芯片升压电路

控制板从机芯片 STM32F103C8T6 需要 3.3V 电源供电<sup>[4]</sup>, 控制板采用电压转换芯片 SP6205 将电压由 5V 转变为 3.3V, 电路如图 5.

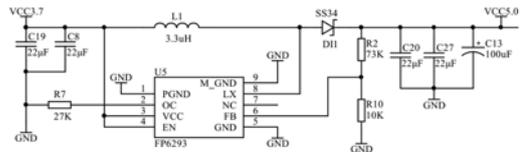


图 5 控制板从机控制芯片降压电路

#### 2.2 主控部分

##### 2.2.1 ATmega328P 芯片和 STM32F103C8T6 芯片

以 ATmega328P 芯片作为主控芯片, ATmega328P 是一款高性能、低功耗的 8 位 AVR 微处理器, 以 Arduino 作为开发平台. 与传统单片机相比, Arduino 的网络共享资源丰富、软件语言指令可读性强, 而且程序代码可直接用 USB 完成下载.

我们选用 ATmega328P 作为主控芯片, 与从机控制芯片 STM32F103C8T6 通过模拟串口通信, Arduino 代码开源, 可以任意扩展, 主控芯片外围电路如图 6.

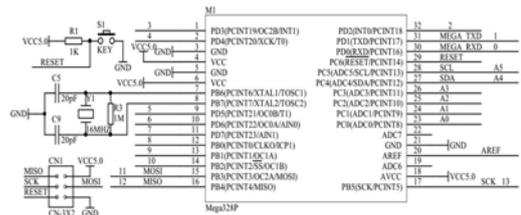


图 6 主机控制芯片外围电路

STM32F103C8T6 所具有的功能已经可以完全满足小型仿生六足机器人的运动控制, 但是它的编程以及调试比较复杂, 不利于初学者进行产品开发. 所以我们将 STM32F103C8T6 芯片作为从机控制芯片, 内部植入底层控制代码包, 即舵机控制程序. 小型仿生六足机器人共有 18 个驱动舵机, 那么 STM32F103C8T6 提供 18 个 I/O 口, 分别对 18 个舵机进行控制<sup>[5]-[7]</sup>, 如图 7 所示.

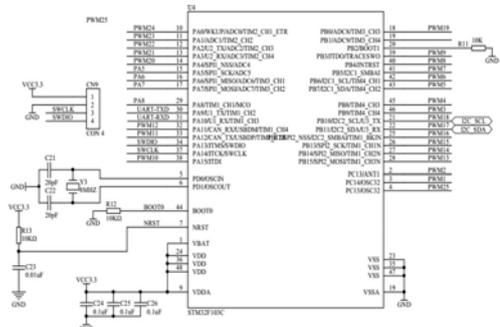


图 7 从机控制芯片外围电路

### 2.2.2 姿态传感器

小型仿生六足机器人在崎岖坎坷道路行走时需要具备自动调整位姿的功能，它能实时地根据地形调整自己身体部分位姿，使之保持水平状态。

MPU6050 是 INVENSENCE 公司推出的一款姿态传感器。它集成了 3 轴 MEMS 陀螺仪，3 轴 MEMS 加速度计以及一个可扩展的数字运动处理器 DMP。陀螺仪的可测范围最大达到±2000°/s，加速度可测范围最大达到±16g，MPU6050 与从机控制芯片采用 IIC 协议进行通信，电路如图 8。

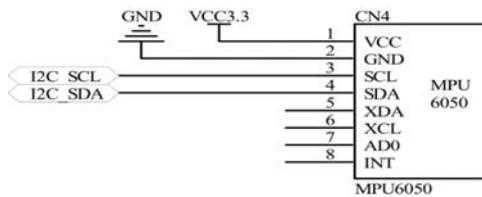


图 8 MPU6050 电路

### 2.2.3 超声波传感器

小型仿生六足机器人采用 HY-SRF05 超声波测距模块，误差不超过 3mm，感应角度不大于 15°。如图 9 所示，1—VCC 电源端，5V 供电；2—Trig 控制端，工作时只需要定时器产生一个 10us 以上高电平的脉冲触发信号给 Trig，该模块便会发出 8 个 40kHz 的脉冲信号并由接收器检测回波；3—Echo 接收端，当接收器检测到回波信号时，Echo 引脚就会输出脉冲宽度与障碍物距离成正比的回响信号；4—OUT 开关量输出端；5—GND 公共地；



图 9 HY-SRF05 超声波测距模块

### 2.2.4 Flash 模块

为了便于分析从姿态传感器中采集来的试验数据，需要选用 2M 存储容量的 Flash 作为存储单元，芯片型号为 SST25VF，电路图如图 10。

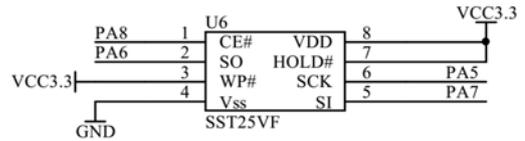


图 10 Flash 模块电路

### 2.2.5 USB 转 TTL 模块

通过该模块将控制板连接到笔记本电脑，用 USB 端口进行下载程序，解决笔记本没有串口下载的问题。使用的转换芯片型号为 CH340G，封装为 SOP-16，具体电路如下图 11 所示。

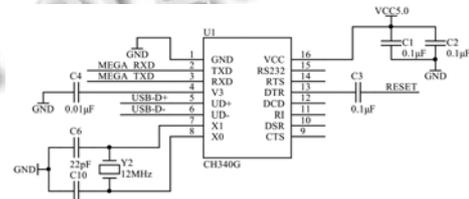


图 11 USB 转 TTL 模块电路

### 2.3 PCB 板加工制作

原理图完成后制作 PCB 板，如图 12，尺寸为 70mm×50mm 的双层板，通过四根螺钉将控制板固定在仿生六足机器人上。

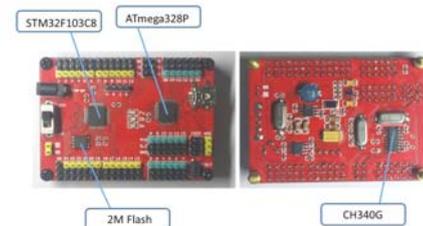


图 12 控制板正面图和反面图

## 3 控制软件设计

### 3.1 整体设计流程

小型仿生六足机器人在开机后自动将各个舵机转角位置、芯片寄存器配置、以及 SD 卡信息等进行初始化设置，接下来运行三角步态行走程序，行走过程中后台每隔 10us 读取一次位姿信息。若左右倾斜角度在 7°以内则忽略倾斜影响，继续保持前进；若左右倾斜角度大于 7°，则发生中断，运行左右倾斜调节的中断服务子程序，直到检测到的倾斜角度在 7°以内，流程如图 13。

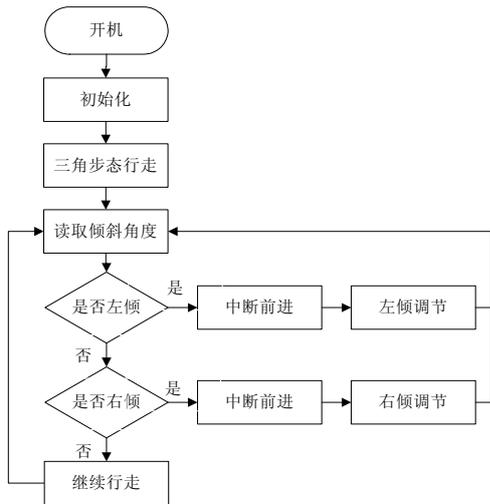


图 13 整体设计软件流程框图

由于仿生六足机器人是先检测倾斜角度值，然后再进行调整，存在着控制系统控制滞后问题。在下文试验中将详细分析滞后问题对仿生六足机器人控制的实际影响。

### 3.2 水平姿态调整算法

姿态传感器 MPU6050 能够直接输出六足机器人躯干姿态四元数， $q = [w, x, y, z]$ ，利用姿态四元数通过简单的公式计算可以得出欧拉角：

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan \frac{2(wx + yz)}{1 - 2(x^2 + y^2)} \\ \arcsin(2(wy - zx)) \\ \arctan \frac{2(wz + xy)}{1 - 2(y^2 + z^2)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

公式(1)中  $\theta$ 、 $\phi$ 、 $\psi$  分别是绕 X 轴、Y 轴、Z 轴旋转的角度。该小型仿生六足机器人在运动控制中只考虑左右倾斜角度  $\theta$  即可。

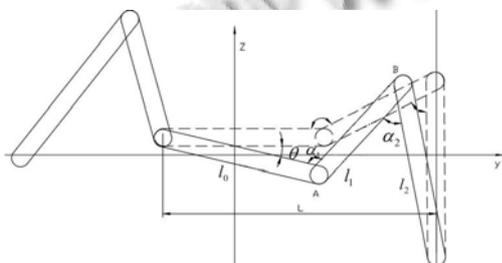


图 14 水平姿态调整结构简图

由于左右地势不同导致小型仿生六足机器人躯干发生倾斜时，如图 14 所示，假设倾斜角度为  $\theta (\theta \geq 5^\circ)$ ，则从机控制系统就能检测到倾斜情况并

能发生中断。姿态调整过程中仿生六足机器人的足端始终与地接触，由于摩擦力影响而不发生滑动，进而得出左侧第一关节和右侧足端的水平距离是恒定不变的，设定为  $L$ 。

$l_0 \cos \theta + l_1 \cos(180^\circ - \theta - \alpha_1) + l_2 \cos(\theta + \alpha_1 + \alpha_2) = L$  (2)  
 式中  $l_0$ 、 $l_1$ 、 $l_2$  分别为机器人躯干宽度、第一腿节长度和第二腿节长度； $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  分别是腿部第一关节处舵机和第二关节处舵机的转角。

当躯干姿态调节到水平时  $\theta = 0$ ，代入公式(2)并推导出  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的关系式：

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{L - l_0 + l_1 \cos \alpha_1}{l_2}\right) - \alpha_1 \quad (3)$$

在姿态调整过程中，当控制系统驱动 A 处舵机旋转到  $\alpha_1$  的角度位置时，那么通过公式(3)可以计算出水平姿态时 B 处舵机所需旋转的角度位置  $\alpha_2$ ，再通过姿态传感器实时反馈的角度信息来反复调整，最终将达到一个接近水平的角度范围  $(-7^\circ \sim 7^\circ)$ 。

## 4 调试与试验

### 4.1 行走避障试验

该小型仿生六足机器人融合了超声波避障模块，当检测到离障碍物的距离小于 10cm 时，机器人便会停止前进，慢慢进行逆时针转弯，改变行走方向。如图 15 所示为仿生六足机器人避障试验的偏航角角度曲线。

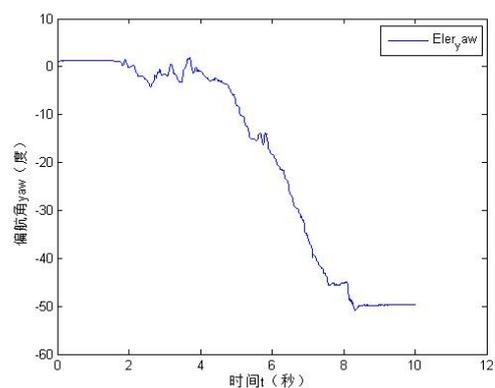


图 15 避障试验偏航角角度曲线

从曲线可以看出，在  $t=0-2s$  时仿生六足机器人是静止状态，偏航角无变化； $t=2-4s$  时六足机器人直线行走，由于行走步态为三角步态，所以偏航角摆动变化； $t=4-8s$  时机器人开始避障转弯，偏航角变动  $50^\circ$  左右，

成功完成避障. 由此可知该六足机器人具备了一定的避障能力.

#### 4.2 水平姿态自动调整试验

小型仿生六足机器人的控制系统融入了姿态传感器 MPU6050, 能够感知由于道路不平而引起的自身躯干的姿态变化, 并且能够及时调整至水平状态. 将斜坡角度大概设置在  $13^\circ$  左右, 如图 16 所示为仿生六足机器人姿态调整倾斜角角度曲线.

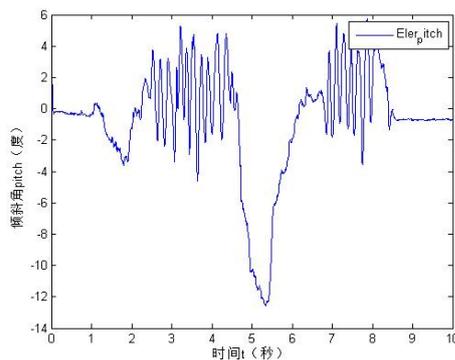


图 16 姿态调整倾斜角角度曲线

从曲线可以看出  $t=0-1s$  时仿生六足机器人静止状态, 检测到的倾斜角是  $0^\circ$ ;  $t=1s-4.5s$  时仿生六足机器人直线行走, 检测到的倾斜角稍微摆动变化, 区间范围在  $-5^\circ \sim 5^\circ$ ;  $t=4.5s-5s$  时仿生六足机器人遇到斜坡道路而发生倾斜, 检测到的姿态角是  $-13^\circ$ ;  $t=5.5s-6.5s$  时, 仿生六足机器人停止前进, 并及时调整姿态变成水平状态;  $t=6.5s-8.5s$  仿生六足机器人继续向前直线行走. 从而可以得出结论, 仿生六足机器人能够自动完成水平调整, 调整速度为  $13$  度/秒.

该机器人的水平姿态调整为事后调整, 会带来控制滞后的问题, 滞后带来的最大影响是被调量不能及时地反映系统所承受的扰动, 产生较明显的超调量和较长的调整时间. 但从上述试验可以看出, 仿生六足机器人的调整时间是  $1s$ , 超调  $2$  度, 调节时间和超调量都在允许的范围之内, 对机器人控制效果的影响很小, 可以满足控制要求.

## 5 结论

本文重点讨论了基于 AVR 和 STM32 双芯片联合

控制的  $18$  自由度小型仿生六足机器人的制作过程和最终试验效果. 基于 Arduino 平台开发的 ATmega328P 芯片作为主控芯片使得程序开发更为简便, 方便初学者进行开源学习和编程开发, 而选用更高端的 STM32F103C8T6 芯片作为从控芯片弥补了主控芯片所不具备的一些高级功能. 主控芯片通过串口通信方式给从控芯片传送命令, 从控芯片按照指令执行封装好的底层程序代码, 完美实现两款芯片的优势互补. 通过实物试验验证了小型仿生六足机器人能够实现自主避障以及水平姿态自动调整的功能, 本人研究的控制系统具有很强的通用性, 可以为相关研究提供参考与借鉴.

#### 参考文献

- 1 梁锋, 王志良, 解仑, 徐文学. 多舵机控制在类人机器人上的应用. 微计算机信息, 2008, (2): 242-243.
- 2 Kazi M, Chiang JY, Wei KT. Image-based method for determining better walking strategies for hexapods. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2015, 12(58): 70-71.
- 3 曹瑞, 包空军. 基于超声波传感器新技术的应用. 科技信息, 2009, 34(3): 41-42.
- 4 蒙博宇. STM32 自学笔记. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012: 15-20.
- 5 Kim JY. Dynamic balance control algorithm of a six-legged walking robot. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, 78(1): 47-64.
- 6 Chen XB, Gao F, Qi CK, Tian XH, Wei L. Kinematic analysis and motion planning of a quadruped robot with partially faulty actuators. Mechanism and Machine Theory, 2015, 10(94): 64-79.
- 7 Xiong XF, Florentin W, Poramate M. Neuromechanical control for hexapedal robot walking on challenging surfaces and surface classification. Robotics and Autonomous Systems, 2014, 12(62): 1777-1789.