

# 基于 STM32 的四轮足式机器人设计<sup>\*</sup>

朱俊杰, 林恩泽

(广州城市理工学院 电子信息工程学院, 广州 510800)

**摘要:** 对四轮足式机器人进行分析, 建立了对应运动学模型, 为系统实现提供理论支撑。该设计采用 STM32F103VET6 为主控芯片, 各传感器作为下位机采集数据, 利用蓝牙和语音识别等软硬件技术实现用手柄和语音控制机器人。实验结果表明, 该设计相比传统机器人可切换运动方式, 能够满足不同场景的使用需求, 且灵活性强、稳定性高、鲁棒性好。

**关键词:** STM32F103VET6; 四足机器人; 语音交互; 蓝牙

**中图分类号:** TP242.6

**文献标识码:** A

## Design of Quadruped Robot Based on STM32

Zhu Junjie, Lin Enze

(School of Electronic&Information Engineering, Guangzhou City Institute of Technology, Guangzhou 510800, China)

**Abstract:** In this paper, the quadruped robot is analyzed and the corresponding kinematics model is established to provide theoretical support for the system realization. The design adopts STM32F103VET6 as the main control chip, combines each sensor as a lower computer to collect data, and uses software and hardware technologies such as Bluetooth and voice recognition to control the robot with voice and controller. The experiment results show that compared with traditional robots, the design can switch the motion mode, effectively meet the needs of different scenarios, and have strong flexibility, high stability and good robustness.

**Keywords:** STM32F103VET6; quadruped robot; speech recognition; bluetooth

## 0 引言

传统机器人以机械运动法设计为主(如轮式、履带式机器人等), 此类机器人具有相对低成本、易于设计制作、选择多样等优点。部分移动机器人采取仿生运动法, 模仿生物腿的形式设计, 如双足、四足、六足、腹足等机器人。参考文献[1]设计了全向轮智能移动机器人, 机器人具有较好的导航与实时避障能力。参考文献[2]设计了偏心轮六足式机器人, 支持四种步态模式切换, 其中三角步态来源于自然界中六足类昆虫的行进模式。参考文献[3]提出了半轮足式结构, 分析了半轮足机器人的越障能力, 利用数据静态稳定裕度法和重心投影法解决当前越障结构存在的问题。大部分的研究文献主要对单种运动模式进行了研究和实验测试, 对多种运动法结合式机器人研究较少。

基于以上背景, 本文设计了一款四轮足式机器人, 可在运动过程中根据地形环境需要切换四足行走或四轮移动的运动方式, 使其能够适应更多工作场景, 具有高灵活性和实用性。

## 1 方案设计

该机器人采用模块化设计, 由上位机、控制系统和硬件设备组成, 上位机主要通过串口调试助手和蓝牙串口调试助手控制, 控制系统由 STM32 芯片组成, 硬件设备和传感器包括红外线检测、舵机、电机编码器、语音识别、语音播报、手柄控制器、温湿度传感器、TFT 显示屏、蓝牙通信模块。总体方案设计图如图 1 所示。

主控芯片选择 STM32F103VET6, 芯片内部资源丰富, 适用于高密度电路应用, 用于控制和处理相关传感器数据。稳压模块选择 L2596S, 可稳定地将电源电压降至 5 V 和 10 V, 具有出色的瞬态响应和简便的噪声滤波。温度检测模块选择 SHT30, 采用标准 I<sup>2</sup>C 数字接口并可在低功耗模式下运行。语音识别模块选择 LD3320, 可实现离线语音识别和语音指令控制, 准确性和可靠性较高。蓝牙模块采用 JDY-31, 其支持蓝牙 3.0 协议并且提供多种接口, 方便与其他系统通信。

## 2 运动学分析

### 2.1 单足运动学分析

结合机器人的运动学和动力学特性进行优化设计, 对

<sup>\*</sup> 基金项目: 教育部 2021 年第一批产学合作协同育人项目(202101125018)。

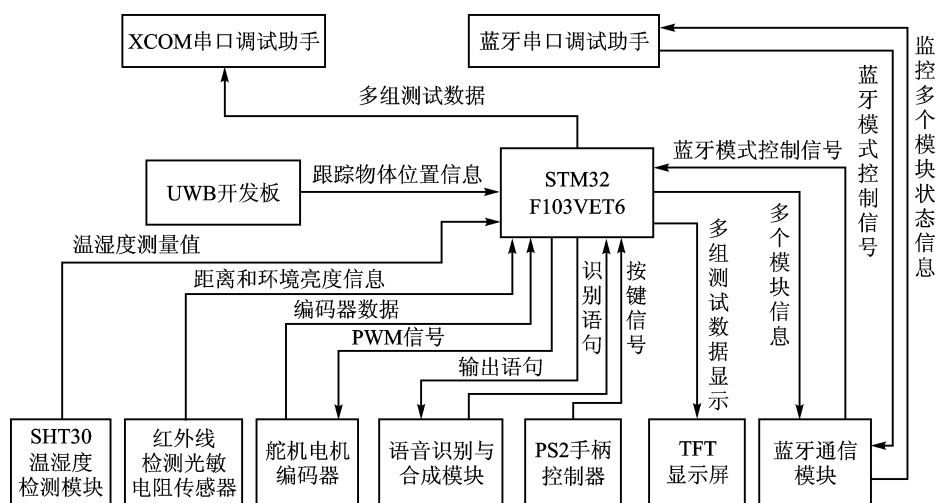


图1 总体方案设计图

单条腿摆动过程建立了单腿动力学模型,如图2所示。该机器人的机械腿可以分为第一关节 L1、第二关节 L2 和第三关节 L3。其中,L1 与底盘连接构成第一个自由度,L2 与 L1 连接构成第二个自由度,L3 与 L2 连接构成第三个自由度。L3 可以带动 L2 和 L3,L2 可以带动 L3,L3 可以相对 L2 独立进行运动。

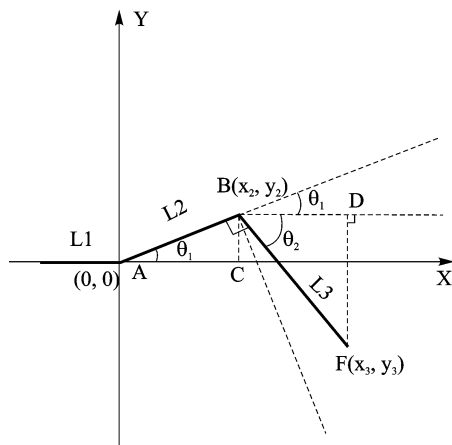


图2 单腿动力学模型图

建立坐标系,以 L1 和 L2 的连接处作为原点 A,假设 L2 与 L3 连接处的交点坐标为  $B(x_2, y_2)$ ,L3 末端坐标为  $F(x_3, y_3)$ ,L1 和 L2 连接处的舵机需要转动的角度为  $\theta_1$ ,L2 和 L3 连接处的舵机需要转动的角度为  $\theta_1 + \theta_2$ ,构造  $\triangle ABC$  和  $\triangle BDF$ 。

在  $\triangle ABC$  和  $\triangle BDF$  中,由正切定理和勾股定理分别得到下列公式:

$$\begin{aligned}\tan\theta_1 &= \frac{y_2}{x_2} \\ x_2^2 + y_2^2 &= L_2^2 \\ \tan\theta_2 &= \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}\end{aligned}$$

$$(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 = L_3^2$$

化简可得:

$$Ay_2^2 + By_2 + C = 0$$

式中,  $A = 4x_3^2 + 4y_3^2$ ,  $B = -4y_3(x_3^2 + y_3^2 + L_2^2 - L_3^2)$ ,  $C = (x_3^2 + y_3^2 + L_2^2 - L_3^2)^2 - 4x_3^2 L_2^2$ ,代入求根公式后可得:

$$y_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

$$x_2 = \sqrt{L_2^2 - y_2^2},$$

$$\theta_1 = \arctan \frac{y_2}{x_2},$$

$$\theta_2 = \arctan \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$$

故只需确定 L3 末端坐标

$F(x_3, y_3)$ ,便可快速解算出 L1 和 L2 连接处舵机需要转动的角度  $\theta_1$ ,L2 和 L3 连接处的舵机需要转动的角度为  $\theta_1 + \theta_2$ 。

## 2.2 轮式运动学分析

根据底盘的运动状态对单轮轴心建立了速度分析模型,用 3 个独立的变量来描述底盘的运动状态,分别为 X 轴平动、Y 轴平动和 yaw 轴自转,如图 3 所示。

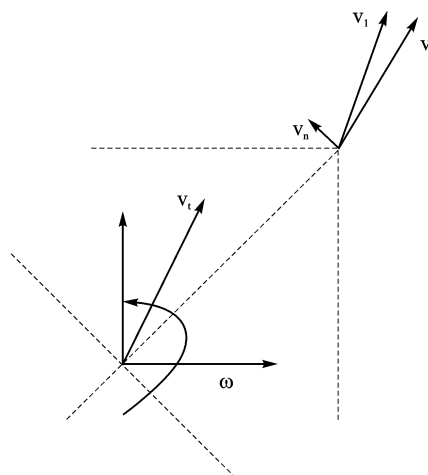


图3 单轮轴心速度分析模型图

图 3 中, $\vec{r}$  表示从几何中心指向轮子轴心的矢量; $\vec{v}$  表示轮子轴心的运动速度矢量; $\vec{v}_r$  表示轮子轴心沿垂直于  $\vec{r}$  的方向(即切线方向)的速度分量。通过计算得出下式:

$$\vec{v} = \vec{v}_r + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

可计算出 X、Y 轴的分量  $v_x$  和  $v_y$ :

$$v_x = v_{rx} - \omega \cdot r_y$$

$$v_y = v_{ry} + \omega \cdot r_x$$

每个麦克纳姆轮由单独的电机进行控制,四轮之间互相约束,建立四轮速度分析模型如图 4 所示,可通过逆运

动学得到 4 个轮子各自的转速式:

$$\begin{cases} v_{w1} = v_{t_y} - v_{t_x} + \omega(a+b) \\ v_{w2} = v_{t_y} + v_{t_x} - \omega(a+b) \\ v_{w3} = v_{t_y} - v_{t_x} - \omega(a+b) \\ v_{w4} = v_{t_y} + v_{t_x} + \omega(a+b) \end{cases}$$

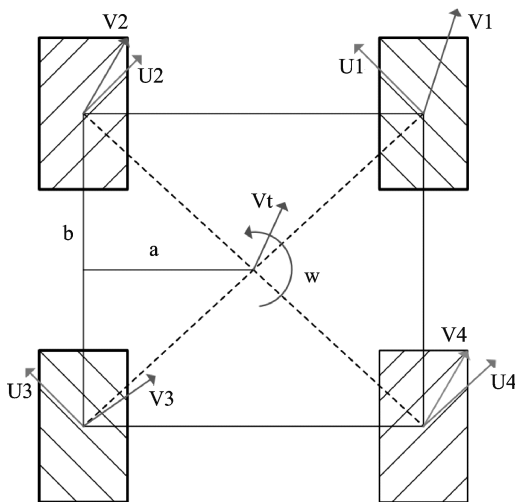


图 4 四轮速度分析模型图

### 3 软件设计

#### 3.1 总体软件设计

本设计系统软件流程为:系统上电进入初始化,首先将 UWB 系统和 STM32 控制单元进行初始化设置,之后启动三角测距定位、各传感器初始化。主函数通过光敏和红外测距传感器时刻检测环境亮度和障碍物的距离,以及温度传感器检测环境温度,TFT 显示屏实时显示多组测量数据,通过模式标志位来选择机器人处于足式结构或轮式结构工作模式。软件总设计流程图如图 5 所示。

各模块要正常工作需对 STM32 内部资源进行配置,包括系统中断的优先级分组、串口、定时器、PID 算法。主循环函数程序用来实时采集环境温度、语音语句识别、手柄按键识别,可实现手柄控制、蓝牙控制和语音交互模式控制,以及屏幕实时显示多组数据和无线传输多种数据。

#### 3.2 语音识别

语音识别系统设计流程图如图 6 所示。主控制器通过 I<sup>2</sup>C 通信方式与语音识别模块进行连接,识别听到的指令,同时控制语音合成模块反馈相应的语句。当语音识别到唤醒词“小泽”

时,语音回复“我在”;当语音识别到“前进”指令时,控制机器人前进;当语音识别到“后退”指令时,控制机器人后退;当语音识别到“左转”指令时,控制机器人左转;当语音识别到“右转”指令时,控制机器人右转;当语音识别到“变形”指令时,控制轮式结构和足式结构的模式切换。

### 4 系统联调与测试分析

四轮足式机器人有足式和轮式姿态,分别如图 7 和图 8 所示。

#### 4.1 轮式和足式形态稳定性测试

根据机器人不同形态和不同的地形环境设计测试场景模拟机器人在不同环境下的行走情况,设定了行走速度、步态等多个测试参数,以便对机器人的稳定性和行走性能进行评估和比较,同时在机器人身上安装各种传感器和数据采集设备,监测机器人的运动状态和环境情况,实现对机器人的稳定性和行走性能的评估和比较。在测试过程中,通过让足式机器人在木板、水泥地、草地、瓷砖 4 种不同的路面上进行前后行走实验,行走测试情况如图 9 和图 10 所示。

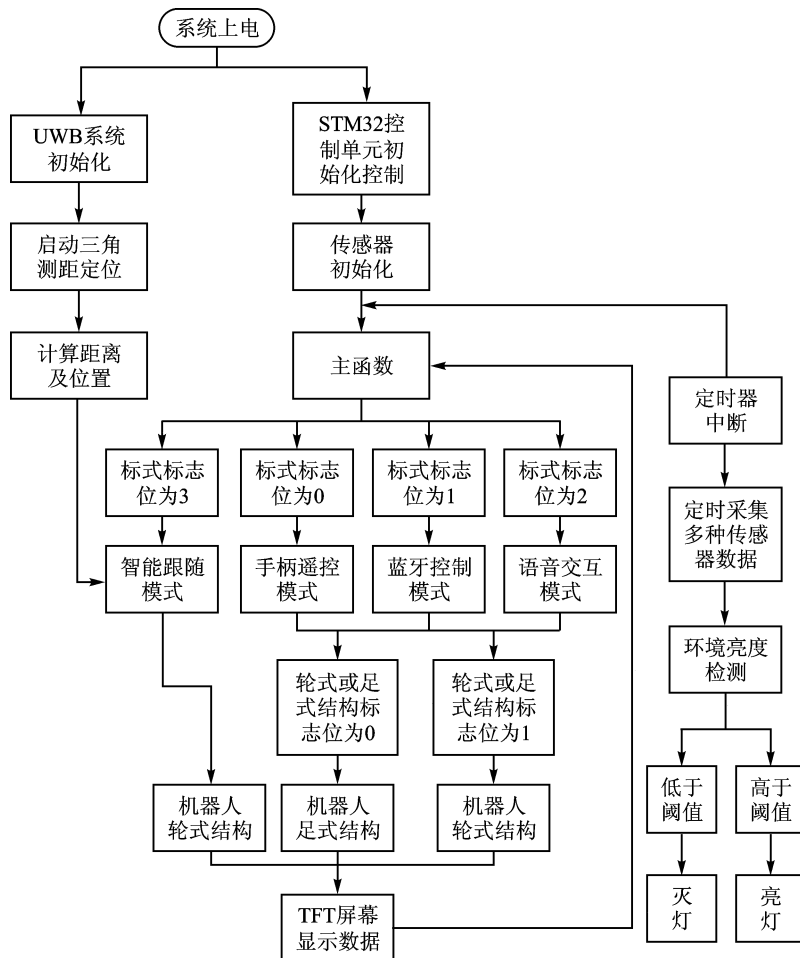


图 5 软件总设计流程图

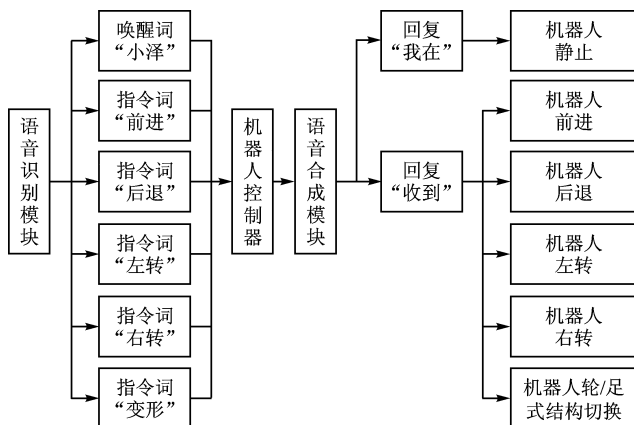


图6 语音识别系统设计流程图

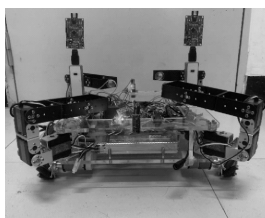


图7 轮式模式实物图

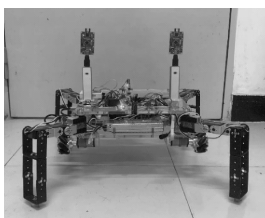


图8 足式模式实物图

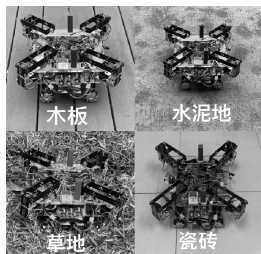


图9 轮式模式测试图

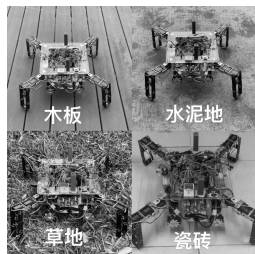


图10 足式模式测试

足式和轮式姿态下机器人行走实验数据如表1所列,两种姿态下机器人转向时间如表2所列。

表1 足式姿态下机器人行走实验数据

| 实验环境 | 距离/m | 平均时间/s |     | 平均速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ |      |
|------|------|--------|-----|--------------------------------------|------|
|      |      | 足式     | 轮式  | 足式                                   | 轮式   |
| 木板   | 3    | 42.2   | 4.1 | 0.047                                | 0.75 |
| 水泥地  | 3    | 45.3   | 5.2 | 0.044                                | 0.6  |
| 草地   | 3    | 46.4   | 5.5 | 0.043                                | 0.6  |
| 瓷砖   | 3    | 40.5   | 6.1 | 0.050                                | 0.5  |

机器人不同姿态行走和转向实验数据表明,不同路面对机器人各姿态下移动性能影响较小,两种姿态均拥有优秀的地形适应性。

## 4.2 语音识别测试

使用包含多种语音样本的验证集,通过对训练集进行

表2 机器人转向实验数据

| 实验名称 | 转向角度/ $^{\circ}$ | 平均时间/s |       |
|------|------------------|--------|-------|
|      |                  | 足式机器人  | 轮式机器人 |
| 左转向  | 180              | 20     | 3.0   |
|      | 360              | 38     | 6.0   |
| 右转向  | 180              | 18     | 3.5   |
|      | 360              | 38     | 6.0   |

扰动来测试语音模块的稳定性和模块对于数据集变化的鲁棒性。语音识别测试实验数据如表3所列。

表3 语音识别测试实验数据

| 指令语句 | 无干扰男声 | 无干扰女声 | 嘈杂环境下 | 待机2小时后 |
|------|-------|-------|-------|--------|
| 小泽   | 100%  | 100%  | 80%   | 98%    |
| 前进   | 100%  | 100%  | 82%   | 98%    |
| 后退   | 100%  | 100%  | 80%   | 100%   |
| 左转   | 100%  | 100%  | 80%   | 100%   |
| 右转   | 100%  | 100%  | 80%   | 98%    |
| 变形   | 100%  | 100%  | 82%   | 100%   |

实验数据表明,在无干扰环境下语音识别率最高,待机一段时间后语音识别率基本没有受到影响,而在嘈杂环境下语音识别率相对较低。

## 5 结 语

本文设计了一款四轮足式机器人,介绍了机器人运动学原理,使用蓝牙和语音识别等技术实现手柄和语音控制机器人,机器人具有温湿度监测、语音播报、语音识别、姿态变换等功能。测试结果表明,本设计可实现多种环境下高速和全方位移动,可应用于救援、探测、探险等场所,灵活性强、稳定性高、鲁棒性好。

## 参考文献

- [1] 周宝昌. 基于ROS的全向轮智能机器人小车设计[J]. 装备制造技术, 2022(11): 4.
- [2] 张超. 基于多模态切换的六足机器人自适应控制研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2020.
- [3] 李君科. 半轮足式机器人的设计及研究[J]. 现代电子技术, 2021, 44(18): 172-176.
- [4] 曾庆喜, 欧邦俊, 修巧艳, 等. 基于UWB的无人车自动跟随实验研究[J]. 实验室研究与探索, 2022(5): 41.
- [5] 吴松芮, 赵立昊, 张朝旭, 等. UWB测距技术在跟随服务机器人中的应用[J]. 科技视界, 2022(7): 19-21.
- [6] 高剑, 于连生, 崔倍宁, 等. 基于关联规则挖掘的全向轮移动机器人目标跟踪控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022(7): 30.



## 4 结 语

本文研究的便携式多通道程控电阻装置提供了一种单片机 I/O 口资源有限的条件下 24 通道电阻输出的低成本解决方案。通过巧妙的电路设计实现了小体积、操作简单等特点,既可以使用独立电源通过串口屏幕单独控制使用,也可以接入系统使用上位机软件通过 RS232 接口控制使用。电阻全部选用精密电阻,通过串联加并联的电阻网络组合实现了输出精度在 $\pm 0.1\%$ 以内,完全满足项目 $\pm 0.5\%$ 的精度需求。利用 74HC595 串行输入、并行输出的特点,可以单通道输出或多通道同时并行输出任意期望阻值的电阻,实时性好、响应快,可以快速准确地给出 24 个通道电阻。由于单片机 I/O 口资源有限,因此方案也存在一些不足,由于控制电阻通道已将通用 I/O 口全部占用,所以若要增加其他电路功能或更多通道电阻输出(如 24 通道),则此方案会受到限制。

### 参考文献

- [1] 张明月,张宏巍,刘慧.舵机调零系统设计和冗余方法研究[J].电子设计工程,2019,27(17):148-153.
- [2] 杨鑫.基于 ARM 的燃气舵舵机控制系统的设计与分析[D].南京:南京理工大学,2017.
- [3] 汪军林,解付强,刘玉浩.导弹电动舵机的研究现状及发展趋势[J].飞航导弹,2008(3):42-46.
- [4] 谭兴国,曲凯.基于 CAN 总线的高精度程控电阻器设计[J].自动化仪表,2018,39(1):99-102.
- [5] 张子明,王从庆,刘良勇,等.基于 FPGA 的程控可调电阻模块设计[J].电子设计工程,2022,30(24):79-85.
- [6] 朱利文,于雷,金传喜,等.高精度程控电阻网络生成算法设计[J].国防科技大学学报,2021,43(6):95-101.
- [7] 赵桂明.基于继电器模块的程控电阻发生器[J].计量技术,2017(4):30-31.
- [8] 陈辉,陶中幸,杨小川.半导体热敏电阻在温度控制中的应用[J].甘肃联合大学学报,2011,25(1):48-51.
- [9] 齐世举,王书湖.数字可调电位器在自动化测试中的应用研究[J].电子设计工程,2014,22(6):30-32.
- [10] 陈青,崔群,聂永生,等.基于 FPGA 的可编程电阻的设计[J].电子技术,2010,37(11):71-72,56.
- [11] 李小文,刘伟良,刘丽君.基于 FPGA 的可编程电阻装置设计[J].铁道机车车辆,2012,32(6):75-78.
- [12] 陈慧.单片机控制的可编程标准电阻发生器[J].安徽工程科技学院学报(自然科学版),2007,64(4):59-63.
- [13] Grzesiak W, Maj T, Cie liński P. Programmable laboratory resistor [Programowalny rezystor laboratoryjny][J]. Przegląd Elektrotechniczny, 2011, 87(10).
- [14] 杨恒敏.74HC595 芯片对单片机 I/O 口的扩展原理与应用[J].信息与电脑(理论版),2020,32(4):120-122.
- [15] 胡丹,张茜.单片机数字计时器的系统设计与型式试验[J].单片机与嵌入式系统应用,2015,15(9):42-45.
- [16] 吴晨红.基于 Modbus 通信协议的信号采集系统[D].合肥:合肥工业大学,2021.
- [7] Wensing P M, Wang A, Seok S, et al. Proprioceptive Actuator Design in the MIT Cheetah: Impact Mitigation and High-Bandwidth Physical Interaction for Dynamic Legged Robots[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2017, 33(3): 509-522.
- [8] 刘娟秀,吴益飞,郭健,等.一种轮足式爬楼梯机器人的倾翻稳定性研究性研究[J].南京理工大学学报,2015,39(6): 643-649.
- [9] 刘吉臻,李露,房方.多模态控制的研究与应用综述[J].控制工程,2015(5):91-96.
- [10] 马慧姝,刘艳霞,方建军,等.四足仿生机器人仿生足端轨迹规划研究[J].东北师大学报(自然科学版),2019,51(3): 66-71.

全修亮(硕士研究生),主要研究方向为光电信息技术与系统。通信作者:于丽霞,15725605@qq.com。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-05-17)

朱俊杰(实验师),主要研究方向为电子技术与应用。通信作者:朱俊杰,461077638@qq.com。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-05-17)

## 芯来科技与 IAR 达成战略合作伙伴关系

嵌入式开发软件和服务的全球领导者 IAR 与国内专业 RISC-V 处理器 IP 及解决方案公司芯来科技共同宣布达成战略合作:经 TÜV SÜD 认证的 IAR Embedded Workbench for RISC-V 功能安全版将全面支持芯来科技 NA 系列车规级处理器内核。

芯来汽车电子方案包含功能安全方案(ASIL-B&ASIL-D),满足 ISO26262 认证规范流程。从需求到计划均按 ISO26262 的要求详细记录,实时更新,保证项目的可追溯性。无论是系统性失效还是随机硬件失效,芯来科技都用系统性安全管理工具和安全分析方法全面符合 ISO 26262。增强验证活动,从最大程度上杜绝系统性失效;增加对随机硬件失效的故障注入计划和报告,为汽车客户提供有说服力的产品诊断覆盖度。完整的安全文档在帮助客户更好使用产品的同时,也为客户 SoC/Chip 级别的安全认证提供全面支持。