

基于 STM32 的多模态感知与远程交互系统

陈孚竞

西京学院, 陕西省西安市, 710123;

摘要: 本文围绕复杂环境下的自主感知与远程交互需求, 设计并实现了一种基于 STM32F103C8T6 与 K210 异构双核处理平台的双履带式智能移动机器人系统。系统通过多传感器融合实现对温湿度、气体、一氧化碳、光照强度及位置等信息的实时采集, 采用 FreeRTOS 构建多任务调度框架, 实现事件触发与动态优先级调整, 从而优化“感知—决策—执行”的响应链路。该系统在弱光、强光及多障碍场景下均具备较高的目标识别精度与稳定的传感器测量性能。

关键词: 多传感器融合; 嵌入式系统; STM32; K210; 自主机器人

DOI: 10.64216/3080-1508.25.07.027

随着智能机器人技术的不断发展, 面向复杂环境的自主感知与远程交互能力正成为移动机器人的核心需求之一。尤其在安防巡逻、环境监测、灾害预警等实际应用场景中, 机器人不仅需要具备多模态信息的感知能力, 还需在资源受限的嵌入式平台上实现实时响应与可靠控制。针对这一需求, 本文设计并实现了一种基于 STM32F103C8T6 与 K210 异构双核处理平台的双履带式多传感器智能移动机器人, 构建了具有环境感知、自主决策、远程交互三位一体功能的嵌入式系统。

为保障系统在突发事件中的快速反应能力, 本文设计了基于 FreeRTOS 的多任务调度框架, 采用事件触发机制与动态优先级调整策略, 实现“视觉检测优先”、“安全关断优先”、“感知-执行链路最短”的响应路径优化。当 K210 检测到人体时, STM32 将立即中断非关键任务, 触发蜂鸣器报警、关闭电机, 并通过蓝牙上传警情信息, 充分体现了嵌入式多任务系统的响应实时性与调度合理性。

1 系统总体设计

系统以双履带式移动机器人为平台, 面向复杂环境下的环境感知与远程人机交互需求, 构建一套多传感器融合、高实时性反馈、通信冗余保障的嵌入式智能感知系统。系统核心控制器选用 STM32F103C8T6, 该芯片具备丰富的 I/O 资源、低功耗运行能力及可靠的中断响应机制, 适合作为多传感器接入与多线程任务调度的主控平台。考虑到视觉识别任务的算力需求, 机器人搭载 K210 AI 芯片作为协同处理器, 专门负责图像识别与智能检测任务, 从而形成异构双处理架构。

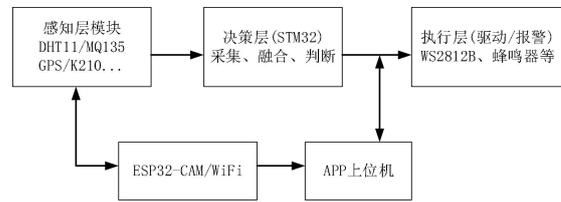


图 1 控制系统总体三层结构图

如图 1 所示, 机器人控制整体实现按功能可划分为三层: 感知层、决策层与执行层。感知层由温湿度、气体、一氧化碳、GPS、光照强度、图像识别等多类传感器组成; 决策层由 STM32 对接收数据进行调度管理并结合 K210 识别结果进行任务判断; 执行层包括电机控制、报警模块、OLED 显示屏与 LED 灯带等响应装置, 最终完成环境交互与反馈控制。

2 系统硬件设计

2.1 控制芯片最小系统设计

主控单元选用 STM32F103C8T6 微控制器芯片, 承担传感器数据采集、决策处理、执行控制及信息上传等核心任务。主控芯片通过 UART 接口连接 HC-05 蓝牙模块与 ESP32-CAM 图传模块, 实现低频环境数据与高频图像信息的双信道通信。蓝牙模块负责上报温湿度、气体浓度等周期性数据, 图传模块则通过独立 WiFi 信号链路提供实时画面, 为远程监控与操作提供可视化基础。

2.2 多传感器感知与信号处理

系统集成了温湿度、空气质量、一氧化碳、光照强度等多个环境感知传感器。其中, DHT11 温湿度模块通过 PB5 单线通信获取数据, MQ135 空气质量传感器与 MQ7 一氧化碳传感器分别通过 PA5、PA4 采样其模拟电压输出。考虑到模拟信号易受系统干扰, 本系统在 PA5 通道前串接 1kΩ 电阻与 0.1 μF 电容, 构建 RC 低通滤波器以

抑制高频噪声。该设计有效将采样信号波动范围从±50 mV 降至±10mV，提高了测量稳定性。GY-302 光照强度传感器通过 I2C 接口（PB8、PB9）读取亮度信息，低于设定阈值时由 STM32 发出控制信号至 PA12 引脚，从而启动 WS2812B 全彩灯条补光。视觉识别部分采用 K210 深度学习模块，具备独立的识别能力与推理硬件。将检测结果（如目标识别、人体边框信息）回传至主控，主控据此触发蜂鸣器报警（PA7 控制）等联动操作。

2.3 电机驱动与运动控制设计

运动系统采用双履带结构，配备两个 MG310 直流电机，分别由 TB6612 电机驱动芯片控制。TB6612 连接至 STM32 的多个引脚：方向控制由 PB12~PB15 设定，速度控制 PWM 信号来自 PA8，使能端使用 PA11。STM32 通过改变 PWM 占空比调控电机转速，同时根据光照、气体浓度等感知信息自动调整行进策略。

为避免 TB6612 内部 H 桥上下桥臂同导导致的短路，PWM 控制中预设 3 μs 死区时间，有效避免了桥臂重叠导通问题。此外，在 PCB 布线中扩大 TB6612 功率段铜箔面积，并在其上加焊散热铜片以增强导热能力，提高电机长时间运行时的稳定性。

2.4 报警与反馈系统

为提升系统的智能响应能力，蜂鸣器模块通过 PA7 由 STM32 控制，当 K210 检测到人体靠近或气体浓度超标时主动发出声响报警。此外，WS2812B 智能灯条与蜂鸣器联合组成视觉与听觉的双重预警系统，增强突发状况下的识别性。所有反馈模块均由主控统一调度，其开关控制逻辑嵌入状态机系统。

3 系统软件设计

系统软件架构是在硬件结构稳定运行的基础上，采用 FreeRTOS 实时操作系统对各功能模块进行任务划分与优先级调度，实现多任务并行处理、数据交互与安全管理。控制系统以模块化结构为基础，划分传感器采集、环境监控、视觉识别、通信上传、执行反馈等核心功能任务，同时设有系统监控与应急处理机制，确保整车运行安全稳定。

3.1 软件系统总体架构

系统控制软件采用 C 语言编写，运行于 STM32F103 C8T6 芯片上，底层基于 HAL 驱动库开发。核心架构以 FreeRTOS 实时操作系统为任务调度框架，根据不同模块的功能需求和响应时间要求，将各任务进行合理划分和调度优先级设置。各任务间通过消息队列、信号量和全

局缓冲区等机制进行数据通信与资源同步，确保高效可靠运行。整体程序架构分为五大核心任务模块：环境感知任务、视觉识别任务、安全监控任务、状态反馈任务和通信交互任务。

3.2 多任务调度与功能任务设计

3.2.1 传感器采集任务

该任务周期性地读取系统中的环境传感器数据，包括 DHT11（温湿度）、MQ135（空气质量）、MQ7（一氧化碳浓度）和 GY-302（光照强度）。如图 2 所示，以 DHT11 功能实现为例，其使用状态机模式完成单总线通信，各状态下控制 GPIO 电平并读取返回时序数据。MQ135 与 MQ7 模拟值通过 ADC 模块采样，并进行归一化处理。GY-302 采用 I2C 总线通信，读取数值后用于后续光照补光判断。

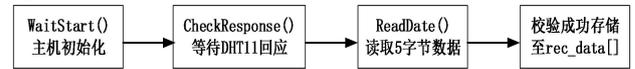


图 2 DHT11 状态机实现流程图

3.2.2 视觉识别任务

该任务通过 UART3 中断方式接收来自 K210 模块传输的 JSON 格式识别数据。数据结构中包含目标类别、置信度、边界框坐标等关键信息。接收缓存后通过简易 JSON 字符串解析方法提取有效数据，同步显示到 LCD 屏幕上，并交由上位机显示或反馈蜂鸣器报警，如图 3 所示。当目标为“person”且置信度大于设定阈值时，通过信号量通知主控执行声光报警操作。



图 3 上位机显示的人体检测实时画面

3.2.3 安全监控任务

安全任务负责监测系统供电电压、蓝牙连接状态以及图像信号链路状态。通过 ADC 通道周期读取电池电压值，若连续多次采样低于 10.8V，立即触发系统关机保护流程；若蓝牙断连超时或图像信号中断超过设定时间，则进入降级工作模式。系统支持异常状态记录与上传，辅助上位机决策。

3.2.4 光照自适应任务

根据 GY-302 获取的光照强度信息，动态调整 WS2812B 灯条的亮度。采用线性映射函数控制 PWM 占空比：

$$Duty = \max(0, \min(100, 100 - \frac{Light}{2}))$$

该函数确保在亮度较低时自动增强灯光补偿,亮度高于设定值时则逐步熄灭灯条,节能且不影响视觉系统成像。该任务响应速度快,优先级设置较高以确保灯光及时调节。

3.2.5 通信与反馈任务

该任务整合系统采集数据,封装为指定格式(如JSON字符串),数据通过HC-05蓝牙模块上传至上位机APP。数据包含温湿度、CO气体浓度、空气质量、光照强度、经纬度信息等内容。OLED显示屏同步显示温湿度、空气质量和CO浓度数据。任务内部配置缓冲机制,确保上传数据完整性与实时性,防止高频中断时数据错乱。

3.3 任务间通信机制与资源管理

为保障系统中各任务之间数据传输的实时性与一致性,FreeRTOS中引入信号量、互斥锁与消息队列机制。Sensor任务采集数据后通过消息队列推送至Transmit任务,K210任务通过事件标志组触发报警任务,Safety任务监测结果则通过二值信号量通知主控进行切换处理。此外,为防止多个任务同时访问ADC或OLED总线,均加入互斥锁保护访问临界资源,保证系统运行稳定。

4 系统调试与优化

4.1 视觉识别模块测试(K210)

为评估K210模块在多种光照条件下对人体目标的识别效果,分别在日光、强光室内、弱光室内三类场景中拍摄100张图像,并统计每张图片识别出的边框数量、位置精度和置信度,结合实际目标位置计算mAP(mean Average Precision)指标。测试结果显示上午自然光(亮度约180lx)、荧光灯下(约90lx)、弱光(约30lx),平均mAP达92.3%,自然光与荧光灯下效果类似,弱光环境下略有下降。人体目标的检测结果实时同步到LCD屏幕,并通过ESP32-CAM图传模块实时上传给手机APP上位机,如图4所示。



图4 APP上位机实时同步的强光检测与弱光检测

此外,还测试了系统在识别失败情况下的反馈机制,系统能通过蜂鸣器及时报警并将识别结果上传至上位机。

4.2 传感器稳定性测试与问题改进

4.2.1 MQ135温漂问题发现

在封闭高温测试箱中进行传感器温度稳定性测试时发现,MQ135在环境温度超过35°C时读数明显漂移,最大偏差达+20%。进一步分析发现,传感器输出受其内部加热元件影响较大,在长时间高温运行中产生零点偏移。

4.2.2 改进措施与效果验证

为缓解温漂现象,在MQ135模拟输出端并联小容值补偿电容,用于滤除热引起的高频干扰信号,并对ADC采样结果进行加权平均滤波。改进后在相同温度条件下测试,最大误差降至±5%,精度明显提升,具备较强鲁棒性。

5 总结与展望

本系统不仅具备在移动机器人、智能巡逻、危险区域环境检测等工程场景中的实用价值,同时也具备一定的学术研究潜力,未来可以在学术和工程两个方向进行拓展与优化。在学术方向上可以进一步优化K210中部署的目标检测模型,考虑使用INT8量化与剪枝压缩技术,提升在边缘端的运算效率与资源占用表现。工程方向上则可以考虑在现有平台上拓展机械臂模块,以实现主动抓取功能,进一步增强交互性与任务执行能力。机械臂部分将考虑基于舵机控制,通过PWM信号由STM32驱动。同时为满足舵机电流需求与响应性能,将系统电源升级至15V输入并搭配高效率DCDC模块进行稳定降压。

参考文献

- [1] 刘火良等. STM32库开发实战指南. 北京:清华大学出版社,2016.
- [2] 张建东,王东,郭鑫.,刘洪伟. 基于改进RRT算法的移动机械臂路径规划. 太原科技大学,2021.12.
- [3] 白焕鑫,刘文飞,孟鑫. 基于STM32的智能物料搬运小车[J]. 科技与创新,2022(16):44-47.
- [4] 王昕煜. 基于多传感器融合信息的移动机器人速度控制方法[J]. 工程设计学报,2021,28(1):63-71.
- [5] 杨晓峰,柳笑辰,王佳奇. 基于OpenMV的智能送药小车设计[J]. 电大理工,2022,(01):1-7.