

一种智能无人巡逻阻击车的设计与实现

许占栋, 吕贵洲, 王会忍, 韩春辉, 朱 赛

(陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050003)

摘要: 针对陆军野战巡逻、城市作战等场景的无人化作战需求, 进行了智能无人巡逻阻击车的设计与实现研究; 分析了智能无人巡逻阻击车的系统功能, 明确其具备自动巡逻、人员智能识别等多功能, 设计了系统总体方案; 设计了系统硬件框架, 实现了其核心感知操作模块、感知操作模块、运动模块、自动瞄准模块等具体模块, 完成了系统硬件平台, 设计实现了其控制软件, 在此基础上进行了系统集成, 实现了智能无人巡逻阻击车, 并开展了系统功能验证、性能测试及数据分析实验; 结果表明该系统能完成预期功能且稳定性好; 研究成果可应用于营区无人巡逻、人机协同作战等场景, 为陆军未来战场无人化装备设计提供参考和经验。

关键词: 无人化; 巡逻阻击车; 自动瞄准; 人员识别

Design and Implementation of an Intelligent Unmanned Patrol and Attack Vehicle

XU Zhandong, LÜ Guizhou, WANG Huiren, HAN Chunhui, ZHU Sai

(Shijiazhuang Campus, Army Engineering University of the PLA, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Aiming at the unmanned combat requirements in scenarios such as army field patrols and urban operations, an intelligent unmanned patrol arresting vehicle is designed and implemented. Analyze the system function of the intelligent unmanned patrol arresting vehicle, clarify multiple functions such as automatic patrols and intelligent identification of personnel, design an overall scheme of the system and the hardware framework of the system, implement specific modules of its core perception operation module, perception operation module, motion module, automatic aiming module, etc., and complete the hardware platform of the system and its control software. On this basis, the system is integrated to realize the intelligent unmanned patrol arresting vehicle, and to perform the system function verification, performance test and data analysis. The results show that the system can complete the expected function and has good stability. The research results can be applied to scenes such as unmanned patrols and man-machine cooperative combats in the camp, providing a reference and experience in the design of unmanned equipment for the future battlefield of the army.

Keywords: unmanned; patrol blocking vehicles; automatic aiming; personnel identification

0 引言

随着全球国防和军队改革的深入以及我国和国际多边安全形势的变化, 无人化作战装备在现代战争中的重要性日益凸显^[1-2], 未来的战场向无人化、自主化和智能化等方向发展^[3-4], 并且由于电子信息技术和人工智能技术的飞速发展, 无人作战装备向集成化、模块化和智能化大力发展。无人化作战装备目前被广泛应用于预测性维护、自主无人机应用, 网络防御及指挥控制等方

面^[5]。旨在利用人工智能技术的海量数据以及巨大算力来提高人类处理庞大数据的效率。但人工智能中的图像识别技术在军事作战领域的应用程度远不及无人作战装备的上述应用方面。

将人工智能应用于自动瞄准^[6], 利用 K210、STM32、麦克纳姆轮和激光雷达等实现一款运动灵活, 具备自动瞄准功能的无人智能阻击车。基于 STM32 微控制器、K210 智能识别开发板、麦克纳姆轮、激光雷达和无线图传技术, 研制出一种具备遥控模式、跟随模式和巡逻

收稿日期: 2025-05-13; 修回日期: 2025-06-17。

基金项目: 陆军工程大学学员科技创新基金项目(2025-018)。

作者简介: 许占栋(2002-), 男, 大学本科。

通讯作者: 朱 赛(1987-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师。

引用格式: 许占栋, 吕贵洲, 王会忍, 等. 一种智能无人巡逻阻击车的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2026, 34(4): 200-207.

模式3种运行模式的无人化智能阻击车。实验结果表明,该系统能够迅速识别并锁定目标,展现出卓越的运动性能,并在各种环境下的测试中均显示出了优异的稳定性和精确度。在多项测试中,系统的卓越表现预示着其在无人作战领域的广泛应用潜力。

1 系统设计

1.1 系统功能分析

在我国陆军当前的作战中,营区巡逻、城市巷战一直是导致伤亡人数较多的难题,并且在营区警戒方面,同样存在许多安全漏洞。

本次所设计的智能无人巡逻阻击车主要用于所驻扎营区的自主巡视,作为远程操控无人装备完成相应的作战任务以及作为移动炮塔般的跟随我方人员进行作战,尽最大可能地保护我方作战人员的安全。为实现上述目标,智能无人巡逻阻击车需具备自主巡逻、人员智能识别、自动瞄准、自动射击以及跟随作战等功能,其主要功能如下:

1) 自主巡逻功能:系统应具备在指定区域内进行自主巡逻的能力,无需人工干预,以减轻人员工作压力并且提高巡逻安全性;

2) 人员智能识别功能:能够对人员进行智能识别,分辨出预先设定的相应目标。

3) 自动瞄准功能:在系统识别到敌方人员时,能够自动的、动态的将摄像头与所配属的武器瞄准所识别到的目标。

4) 自动射击功能:在系统瞄准好敌方人员时能够自动地对其进行射击。

5) 跟随作战功能:系统可以跟随我方人员伴随作战,以提升我方人员的作战能力和安全性。

6) 人工操控功能:鉴于提升系统适应性和灵活性的重要性以及增强决策能力的必要性,本系统应当具有人工操控功能,通过人工操控可控制系统的移动、武器装备的射击等。

7) 辅助避障功能:设置辅助避障功能旨在减少人工操作难度的同时尽可能避免因人工操作失误而引起的系统损坏。

在本次设计中完成上述所设想功能的同时,也尽可能地保证维护简便性与成本效益。系统设计需考虑到维护的简便性和成本控制,确保在满足作战需求的同时,降低长期运营和维护的成本。

1.2 总体方案设计

为实现自主巡逻、人员智能识别及自动瞄准等功能,以STM32单片机为控制核心,设计智能无人巡逻阻击车总体方案,其结构如图1所示。

如图1所示,系统由感知操作模块、运动模块和自

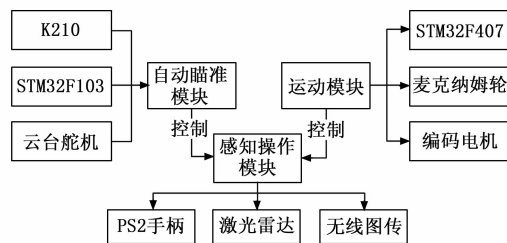


图1 系统总体框图

动瞄准模块等组成。

感知操作模块主要用于控制巡逻车的整体逻辑,其依据无线图传、激光雷达和遥控手柄等外设的探测结果,控制运动模块,从而实现对巡逻车运动状态的控制。

运动模块以微控制器为核心控制单元,配备4个编码电机和麦克纳姆轮。该模块依据自动瞄准模块的结果以及感知操作模块的命令,控制电机和麦克纳姆轮的运动,进而实现巡逻车的不同运动方式。

自动瞄准模块主要执行人像识别任务,其通过摄像头采集周围环境图像,通过智能识别算法完成敌方人员的识别,为巡逻车自动瞄准提供环境、敌方对象信息。

自动瞄准模块在实现敌对人员智能识别的基础上,通过对所配备武器装备的角度和姿态进行控制,实现对敌对人员的自动瞄准与阻击。自动瞄准模块主要由智能识别开发板、程控舵机、阻击武器等组成。

当系统启动并上电后,云台舵机首先执行复位操作。复位完成后,自动瞄准模块随即启动目标识别流程,并协同微控制器及程控舵机进行精确瞄准。由于系统内各模块具有独立性,自动瞄准模块在执行任务的同时,允许对运动模块进行操控,并且能够在遥控模式、跟随模式和巡逻模式这3种工作模式之间进行切换。

在遥控模式下,系统启用遥控手柄和无线图传功能。操作人员可以通过PS2(PlayStation 2)遥控手柄和无线图传,经由核心控制单元对运动模块进行人工控制,同时激光雷达辅助进行避障操作。在跟随模式下,遥控手柄和无线图传功能被关闭,运动模块切换至跟随模式。此时,激光雷达负责识别操控人员的位置,并将信息传输至微控制器,进而通过控制运动模块实现对操控人员的跟随控制。巡逻模式下,遥控手柄和无线图传同样被关闭,运动模块切换至巡逻模式,此时系统无需操作人员在场,完全依赖激光雷达的避障功能,使系统能够沿墙壁自主移动。

在上述3种模式的运动过程中,自动瞄准模块持续进行实时目标检测。一旦检测到目标,模块将自动捕获并追踪目标,同时激活激光笔,实现自动瞄准与标记。

2 系统硬件设计

为提升系统的可靠性、可维护性以及后续的可升级性，系统硬件采用模块化设计方法。

2.1 感知操作模块硬件设计

感知操作模块主要包括无线图传系统、PS2 手柄和激光雷达 3 部分。其中，无线图传系统由摄像头、无线图传和显示屏组成，主要用于向操控人员传输无人作战系统的第一视角画面，从而为系统提供较好的人机交互性。PS2 手柄主要用于将操作员的操作信号直接传输至运动模块，控制无人作战系统完成相应指令。激光雷达主要用于将环境感知数据传输至运动模块，帮助运动模块进行自主决策。

在感知操作模块工作时，无线图像传输和 PS2 手柄共同实现人机交互功能^[7-8]，而 2D 激光雷达作为系统模式切换的关键组件，不仅赋予设备人物跟随与自动避障的能力，更在手动操控模式下提供实时环境感知，辅助避障决策。这种多传感器融合的设计不仅显著提升了系统在复杂环境中的安全性和智能化表现，还确保了操作的灵活性与可靠性。

在无线控制方式的选择上，最终确定采用 PS2 手柄，主要基于本次智能无人巡逻阻击车的设计需求。该阻击车强调灵活性与实时性，而 PS2 手柄凭借其丰富的按键布局、精准的摇杆操作以及灵活的操控特性，完美契合了这一设计目标。此外，PS2 手柄作为模拟器件，具备信号传输延迟小、响应迅速的特点，能够有效保障系统在复杂环境中的操控精度与实时性，因此被选定为本次设计的遥控终端。

二维激光雷达通过发射激光脉冲并精准计算其反射时间来测定距离。因其具有测量精度高、探测距离远、抗干扰能力强以及数据采样速率极高的特点，因此被应用于本次设计中。

2.2 运动模块硬件设计

运动模块硬件设计如图 2 所示。

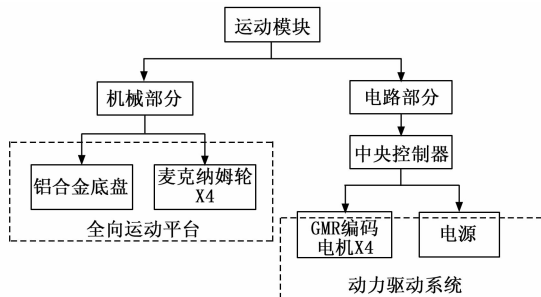


图 2 运动模块结构框图

图 2 中，电路部分由中央控制器、4 个 GMR (Giant Magnetoresistance) 编码电机以及电源组成。其中，4 个编码电机与电源协同工作，构成了阻击车的动力驱

动系统，为车辆的运行提供动力。机械部分则由铝合金底盘和 4 个麦克纳姆轮构成，它们共同构成阻击车的全方位运动系统。麦克纳姆轮技术是现代机器人领域的一项重要创新，其全向运动能力使得搭载该轮的移动平台在狭窄空间中展现出卓越的灵活性^[9]。本系统选择麦克纳姆轮，是因为它们可独立控制，能实现全方向自由运动，且能在不改变运动姿态的情况下向任意方向移动^[10]，从而为自动瞄准模块提供了必要的稳定性。

在本次智能无人巡逻阻击车运动模块的中央处理器选择上，选用了 STM32F407 作为无人智能平台运动模块的中央处理器。STM32F407 基于 ARM Cortex-M4 内核，工作频率高达 168 MHz。芯片内部配备高速存储器，其中 SRAM 容量达 192 kbyte，具备非常可观的数据处理和传输速率，且拥有丰富的 I/O 接口。该处理器具有高性能优势，同时成本较低，性价比突出，适合大规模投入使用，因此被本次设计选用。

运动模块采用六通道复合线缆实现组件互连，既能完成电力传输，又能满足高速数据通信需求。控制信号通过专用总线由主控模块传输至 STM32F407 控制器，经解算生成 PWM (Pulse Width Modulation) 驱动指令，最终通过 CAN 总线协议实现对四台 GMR 电机的同步控制，进而完成移动平台的精确运动调控。

2.3 自动瞄准模块硬件设计

自动瞄准模块结构如图 3 所示，由 K210 智能识别开发板、STM32F103 微控制器、两个云台转动舵机、激光笔和云台支架组成。

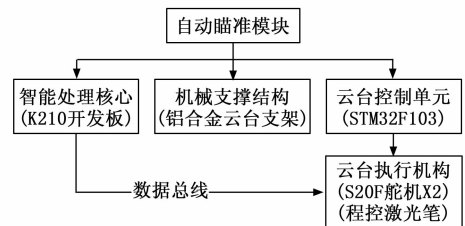


图 3 自动瞄准模块结构框图

本次设计采用 K210 智能识别开发板作为自动瞄准系统的核心组件。其采用 RISC-V 处理器架构，具有功耗低、体积小、成本低等优点^[11]，具备机器视觉与机器听觉的多模态识别能力，能够执行神经网络模型的训练与推理任务^[12]，性能良好，能够满足本次系统设计的要求。

在本次设计中，采用 STM32F103 作为 K210 智能开发板的下位机处理器，同时使其作为方位舵机的控制器。STM32F103 是一款由 ST 公司研发的基于 ARM Cortex-M3 内核的微处理器，其拥有强大的处理能力，运算和数据传输速率较快，设备稳定性好，性能优越，功耗低，集成了舵机接口、OLED 接口等多种外设，各

方面表现出色, 且价格低廉。基于不浪费算力资源及控制开发成本的考虑, 本次智能无人巡逻阻击车设计中选用其作为自动瞄准模块中 K210 智能开发板的下位机, 用于处理和计算相应角度信息, 并控制方位舵机。

目标空间坐标数据通过总线从 K210 视觉处理单元传输至 STM32F103 运动控制器, 经 PID (Proportional Integral Derivative) 闭环算法解算生成脉宽调制信号, 驱动双轴伺服机构, 实现动态补偿瞄准。该过程实现了激光投射器与云台转动的时空同步控制, 系统响应延迟小于 200 ms。

3 系统软件设计

系统软件主要完成目标识别、自动瞄准、目标跟随和远程控制功能, 主要包括感知操作模块程序、运动模块程序、自动瞄准模块程序。

3.1 感知操作模块程序设计

感知操作模块用以实现 PS2 手柄和激光雷达 (LiDAR, light detection and ranging) 对阻击车的操控功能, 并完成阻击车的多模式控制。

感知操作模块中 PS2 控制器直接应用于运动模块, 其程序结构如图 4 所示。

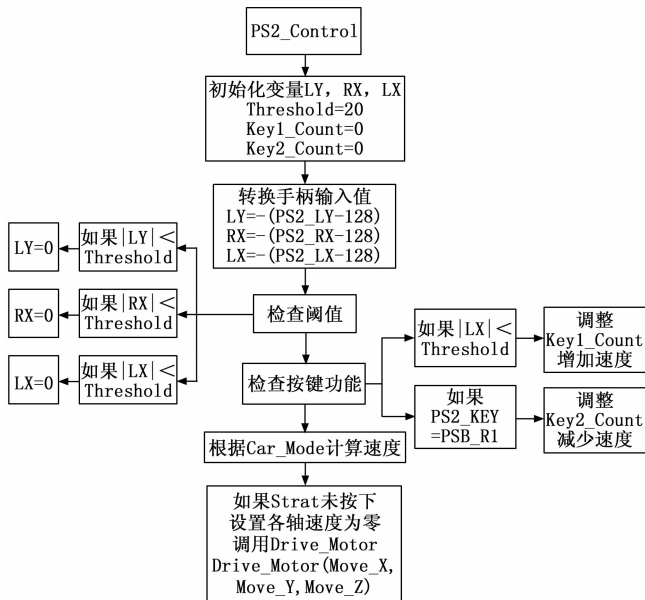


图 4 PS2 控制程序结构框图

当手柄接收到操控指令时, 会先初始化对应的变量, 并将该变量转换为手柄的输入值, 随后依次开展阈值检查以及按键功能检查, 在完成上述检查流程后, 依据既定的计算函数, 最终算出相应的执行信号。

PS2 手柄与运动模块处理器通过特定的通信协议进行通信。用户指令经手柄采集后, 以打包形式发送至运动模块处理器, 从而驱动模块完成预定运动任务。

在本系统设计中, 激光雷达作为运动模块的自主控

制器, 主要用于实现避障和跟随功能^[13]。

当系统处于巡逻模式或遥控模式并进行辅助避障时, STM32F407 微控制器调用雷达采集的数据来判断前方是否有障碍物。若无障碍物, 则继续沿原方向前进; 若有障碍物, 则分析其位置^[14], 其运行逻辑如图 5 所示。

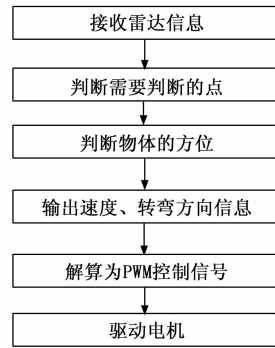


图 5 激光雷达避障逻辑

在跟随模式下, 系统能够对前方 240°范围内的目标进行跟随, 并与被跟随目标保持一定距离。经雷达数据处理后, 选中距离最近的点, 获取其距离和角度数值。随后, 将距离数据传输至速度 PID 控制器, 使系统与被跟随目标之间的距离保持在预设值附近; 将角度数据传输至角度 PID 控制器, 确保系统始终跟随目标^[15], 其控制逻辑如图 6 所示。

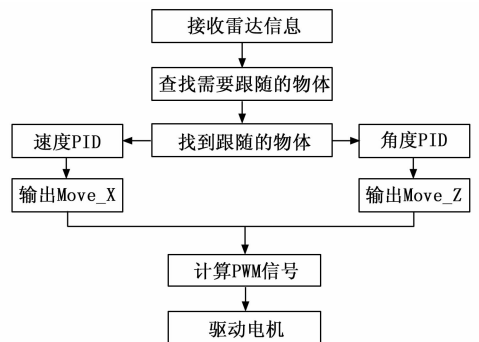


图 6 跟随模式控制逻辑

3.2 运动模块程序设计

运动模块程序设计核心在于对麦克纳姆轮底盘的精确控制。为了实现有效的代码控制, 首先对麦克纳姆轮底盘进行了详尽的运动学分析。如图 7 所示, 通过解析底盘的运动学特性, 构建出一套算法框架, 实现对麦克纳姆轮底盘的精确操控^[16-17]。

图 7 中, W 为轮距, 机器人左右麦轮的距离 (m); H 为轴距, 机器人前后麦轮的距离 (m); V_x 为机器人前后移动速度, 前进为正 (m/s); V_y 为机器人左右移动速度, 左移为正 (m/s); V_z 为机器人绕 O 点旋转速度, 逆时针为正 (rad/s); $V_{A\text{轮}}$ 、 $V_{B\text{轮}}$ 、 $V_{C\text{轮}}$ 、 $V_{D\text{轮}}$ 为麦

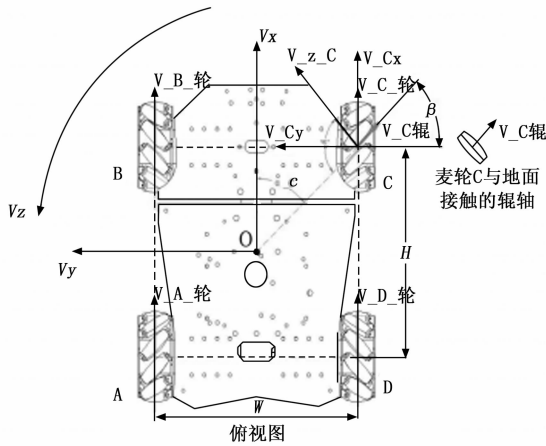


图 7 运动底盘的运动学解析图

轮 A、B、C、D 的线速度，由电机转动带动麦轮轮毂产生，前进为正 (m/s)；运动学分析求的就是 V_x 、 V_y 、 V_z 与 $V_{A轮}$ 、 $V_{B轮}$ 、 $V_{C轮}$ 、 $V_{D轮}$ 的关系。

通过对底盘进行运动学逆解分析，可推导智能阻车运动模块的运动学逆解公式，由 3 个轴向的目标速度求出 4 个轮子的目标速度为：

$$V_{A轮} = V_x + V_y - V_z \times \left(\frac{H}{2} + \frac{W}{2}\right) \quad (1)$$

$$V_{B轮} = V_x - V_y - V_z \times \left(\frac{H}{2} + \frac{W}{2}\right) \quad (2)$$

$$V_{C轮} = V_x + V_y + V_z \times \left(\frac{H}{2} + \frac{W}{2}\right) \quad (3)$$

$$V_{D轮} = V_x - V_y + V_z \times \left(\frac{H}{2} + \frac{W}{2}\right) \quad (4)$$

通过联立式 (1) ~ (4)，可以求解出麦克纳姆轮运动底盘的运动学正解公式并利用正解公式，并由 4 个轮子的实时速度数据计算出 3 个轴向的实时速度：

$$V_x = \frac{V_{A轮} + V_{B轮} + V_{C轮} + V_{D轮}}{4} \quad (5)$$

$$V_y = \frac{V_{A轮} - V_{B轮} + V_{C轮} - V_{D轮}}{4} \quad (6)$$

$$V_z = \frac{-V_{A轮} - V_{B轮} + V_{C轮} + V_{D轮}}{2H + 2W} \quad (7)$$

基于以上公式，开发了控制麦克纳姆轮运动的控制代码，实现了无人巡逻车的运动控制。

3.3 自动瞄准模块程序设计

自动瞄准模块程序的主要功能为：精准检测并识别目标，控制激光笔对目标进行标记。同时，通过计算目标在画面中的坐标，确定所需转动的舵机角度，进而实现对目标的自动瞄准。其程序框架如图 8 所示。

自动瞄准模块中采用 YOLOv2 (You Only Look Once) 算法进行目标检测。该算法是将目标检测问题转化为回归问题的卷积神经网络 (CNN, convolutional neural network) 算法^[18]，具有检测速度快、算法简单

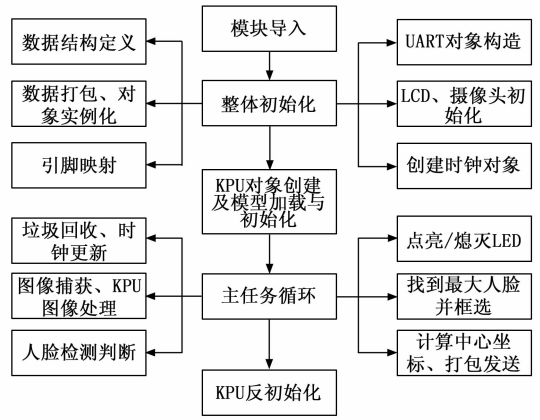


图 8 自动瞄准模块程序结构框图

高效、可以提取更加丰富的特征信息等特点。设计中将其部署在 K210 智能识别开发板的 KPU 中进行运算。

所用 YOLOv2 算法利用嘉楠开发者社区提供的开放平台构建神经网络模型，其开发流程如图 9 所示。首先，选择图像检测的标注类型，创建人脸数据集，并将其与项目关联。然后，在平台上进行在线采集和标注训练数据，启动训练流程。项目创建训练任务后，云服务器自动执行训练过程，并允许用户实时监控训练进度。训练完成后，获得可用的识别模型。将识别模型固件信息烧录至 K210 模块中，可实现自动瞄准模块中人员智能识别功能。最后，检测并识别出画面中最大的人脸，对其进行框选并计算其坐标，然后将数据发送给云台控制板，云台控制板计算脉冲宽度调制信号，控制舵机调整瞄准。至此，自动瞄准模块的目标检测模型完成创建、调整及程序部署。

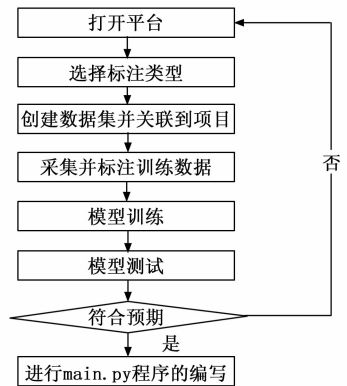


图 9 神经网络模型训练流程图

为了实现自动瞄准模块的预期功能，需要利用 STM32F103 微控制器的协同工作。在 STM32F103 微控制器中配置了串口通信协议，用以接收由 K210 发送的坐标数据^[19]。这些数据经过微控制器的计算处理后，转化为相应的脉冲宽度调制信号，然后传输至舵机。通过这一过程，系统能够精确调整舵机的位置，确保检测

到的目标图像位于 K210 摄像头画面的正中心^[20], 其工作流程如图 10 所示。

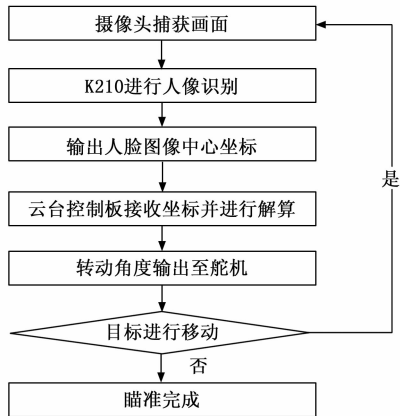


图 10 瞄准模块工作流程图

4 系统实现与测试

4.1 集成实现

在系统硬件设计、软件设计基础上, 构建完成了智能无人巡逻阻击车。从上往下依次是由 K210 智能摄像头、程控激光笔、云台控制舵机和 STM32F103 组成的自动瞄准模块; 由 STM32F407、铝合金底盘、GMR 编码电机和麦克纳姆轮组成的运动模块; 由无线图传、激光雷达、雷达支架、图传摄像头、低压报警器和无线图传天线组成的感知操作模块。整个系统的供电由两个铝合金底盘之间的锂电池组提供。

4.2 功能验证

经过严格的实物测试验证, 结果表明所实现的系统达到了预期的功能要求, 有效地实现了预先设定的设计目标。

为了获取系统较为全面的数据, 并验证其在不同环境下的应用能力, 进行了以下系统测试^[21]: 1) 在不同光强和距离下, 测试自动瞄准模块对目标捕捉的准确度; 2) 测试目标识别的准确性, 召集多位测试人员, 测试对不同目标的检测准确性; 3) 测试各个模块是否达到预期效果; 4) 对激光雷达点云数据进行测量和分析。

在上述不同测试环境下, 对智能无人巡逻阻击车进行了测试, 其测试结果如表 1~3 和图 11 所示。

表 1 光强为 598LUX 情况下反应时间数据表

测试距离/m	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
反应时间/s	0.48	0.70	1.13	2.17	2.71	2.83

注: 此处光照强度为测得摄像头处轴线方向光强。

表 2 光强为 729LUX 情况下反应时间数据表

测试距离/m	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
反应时间/s	0.49	0.58	0.56	1.47	1.92	2.74

注: 此处光照强度为测得摄像头处轴线方向光强。

表 3 识别准确性测试数据表

测试图像数量/个	正确识别数量/个	识别准确率/%
50	49	98.00

使用激光雷达在 10 m×7.8 m 的房间内进行激光雷达点云数据的测量和分析后, 所得图像数据如图 11 所示。

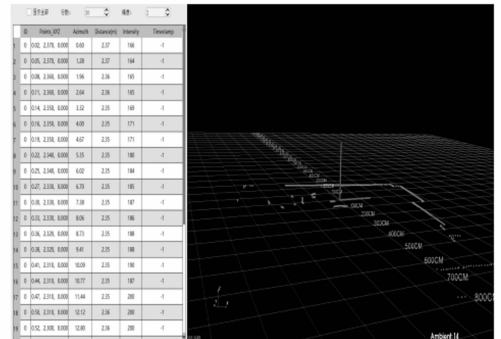


图 11 激光雷达点云数据图

在性能测试中对所设计的智能阻击车的跟随模式进行了相关的测试如表 4 所示, 通过数据可以得出本次所设计的智能阻击车很好地实现了预先设想的在跟随模式下的相关功能。

表 4 跟随模式功能测试表

实验次数	人员位置	人员姿态	是否跟随	延迟时间/s
1	0° 0.3 m	站立	是	0.85
2	0° 0.3 m	蹲下	是	0.52
3	0° 0.5 m	站立	是	1.03
4	0° 0.5 m	蹲下	是	0.96
5	90° 0.3 m	站立	是	0.86
6	90° 0.3 m	蹲下	是	0.49
7	90° 0.5 m	站立	是	1.11
8	90° 0.5 m	蹲下	是	1.01
9	270° 0.3 m	站立	是	0.80
10	270° 0.3 m	蹲下	是	0.58
11	270° 0.5 m	站立	是	1.09
12	270° 0.5 m	蹲下	是	0.99

在测试中也对所设计智能阻击车的巡逻模式进行了相关的测试如表 5 所示, 在对于不同体积, 不同类型的障碍物时, 均能表现出良好的表现, 证明在此次设计中很好地实现了预先设想的自动巡逻的相关功能。

表 5 巡逻模式避障功能测试表

实验次数	障碍物类型	是否避障	延迟时间/s
1	墙壁	是	0.31
2	讲台	是	0.29
3	人腿	是	0.35
4	凳子腿	是	0.27

4.3 性能测试

在上述的系统功能的验证中,可以得出系统已经基本完成了在本次设计开始前所设想的全部功能。为使本次设计更加完整,现对本次所设计实现的智能阻击车的相关性能进行测试。

针对目标识别相关性能的测试,设计了在不同距离下对同一目标的识别准确率,实验结果如表 6 所示。通过实验数据表明,当目标距离摄像头 7 m 以内时,自动瞄准系统展现出了良好的目标识别准确率,而当距离大于 7 m 时,识别准确率出现了大幅度的下降,因此在当前的设计下,自动瞄准模块对于 7 m 内的目标识别准确性具有较高可靠性。

表 6 目标识别准确性测试表

试验次数	目标距离/m	识别准确率/%
1	1.0	99.0
2	3.0	98.0
3	5.0	96.0
4	7.0	91.0
5	9.0	86.0
6	11.0	69.0

为了较为全面地测试所设计实现的智能阻击车,设计实验对作战系统的最大速度进行了测试,结果如表 7 所示。由实验数据得出,该无人作战系统的最大速度约为 1.01 m/s。

表 7 作战系统最大速度测试数据表

实验次数	测试距离/m	时间/s	最大速度/(m/s)	平均速度/(m/s)
1	1.0	0.96	1.04	1.01
2	2.0	2.03	0.98	
3	3.0	3.00	1.00	
4	4.0	3.98	1.01	

此外,通过实验测试了 PS2 手柄的最大控制距离,结果如表 8 所示。实验结果显示,当距离超过 11 m 时,PS2 手柄将无法控制该无人作战系统。

表 8 PS2 手柄控制最大距离

实验次数	测试距离/m	能否控制
1	1	能
2	3	能
3	5	能
4	7	能
5	9	能
6	11	能
7	13	不能

4.4 性能分析

基于上述实验数据,验证了所实现的智能阻击车

的相关功能。验证数据表明,此次智能阻击车的设计与实现全面达成了预先设想。随后,通过对所实现的智能阻击车的相关性能进行测试,并结合测试过程中的实际使用体验,发现本次设计的智能阻击车存在以下问题:1) 目标识别帧率偏低,在低光强环境下识别功能受到很大限制;2) 数据传输率较低,目标运动速度过快时,系统可能来不及计算,导致目标跟踪丢失;3) 无线图传和手柄控制信号的墙壁穿透性较差,隔着墙壁时,传输的画面质量和控制效果会下降;4) 虽然激光雷达的数据刷新率达到了预期目标,能够满足既定需求,但在实际使用中发现激光雷达的距离分辨率不够高,对于距离相近的物体,难以精准区分;5) 自动瞄准模块的识别距离在实际的作战应用中略显局限;6) PS2 手柄的控制距离在实际使用中会对操作产生一些局限。

5 结束语

以无人作战环境下的智能巡逻为目标,设计实现了智能无人巡逻阻击车。在智能无人巡逻功能分析基础上,设计了巡逻阻击车系统方案,在此基础上,进行系统硬件、软件的设计,采用 STM32 微控制器、K210 智能识别开发板、麦克纳姆轮、激光雷达以及无线图传技术等,集成实现了智能无人巡逻阻击车,通过测试验证了所设计实现巡逻阻击车的性能,为战场环境下的智能巡逻提供了参考方案。

以无人作战环境下的智能巡逻为目标,设计并实现了智能无人巡逻阻击车。在对智能无人巡逻功能进行分析的基础上,设计了巡逻阻击车的系统方案。进一步开展系统硬件和软件的设计工作,采用 STM32 微控制器、K210 智能识别开发板、麦克纳姆轮、激光雷达以及无线图传技术等,集成实现了智能无人巡逻阻击车,并通过测试验证了所设计巡逻阻击车的性能,为战场环境下的智能巡逻提供了参考方案。

展望未来,本智能阻击车的设计具有较大的再研发和升级潜力。尽管当前设计在许多方面存在较大的局限性,但针对这些问题,未来的开发可以考虑以下改进方向:为了显著提高识别的准确性和速率,可以集成算力更强的智能识别单元和分辨率更高的摄像头。此外,设计者可以根据不同的应用场景,选择和优化特定的神经网络模型算法,这将有助于系统在特定任务上展现出更优的性能。同时,可以针对神经网络模型设计专门识别和捕捉敌方人员的算法,以进一步提升作战效能,并有效防止误伤等情形的出现。

在运动模块的设计中,一个显著的不足之处是智能阻击车缺乏越障能力。未来的研究应着重于提升智能阻

击车的越障性能,并考虑采用数据传输率更高、探测精度更高的二维或三维激光雷达技术,以增强系统对环境的感知能力和避障能力。

由于感知操作模块依赖于 PS2 和无线图传技术,而这些技术均基于电磁波传输,因此对电磁波干扰的敏感性是一个不容忽视的问题。后续研究应将重点放在提高系统对电磁干扰的鲁棒性上。

最后,就系统总体而言,串口数据传输的方式限制了数据传输效率并增加了误码率。为了提升数据传输速率并降低误码率,可以考虑更换平台内部数据传输的方式,例如使用 CAN 总线传输等。并且在后续的研究中,可以将此次设计中使用的二维激光雷达更换为三维激光雷达,从而能够使其预先设定行动路线,真正实现按照既定路线巡逻。

此次设计主要用于演示,所以自动瞄准模块未搭载实际武器,而是通过程控激光笔模拟武器射击,即根据目标识别结果自动控制激光笔的亮灭来模拟装配武器后的自动射击功能。此外,由于自动瞄准模块线路过长,导致云台在某些情况下运动受限。在未来的设计开发中,需要优化自动瞄准模块的结构,尽量解决或避免这一问题对系统性能的影响。

综上所述,持续改进自动瞄准模块、运动模块、感知操作模块的相关设计与器件使用以及数据传输方式,将显著提升本智能无人巡逻阻击车的性能和可靠性,使其具备更优异、更完备的作战功能,进而满足更广泛的应用需求。

参考文献:

- [1] 王家凯, 应 运. 无人化装备作战应用及发展趋势研究 [J]. 舰船电子工程, 2021, 41 (11): 5-7.
- [2] 陈赤联, 张 锴, 郭褚冰, 等. 无人作战体系构建研究初探 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2023, 18 (9): 847-853.
- [3] 林耕毅, 高永强. 无人地面车辆作战效能评估研究综述 [J]. 中国设备工程, 2022 (5): 236-238.
- [4] 王耀南, 安果维, 王传成, 等. 智能无人系统技术应用与发展趋势 [J]. 中国舰船研究, 2022, 17 (5): 9-26.
- [5] 陈玉翠, 李铁成. 人工智能在军事领域的应用及发展 [J]. 军事文摘, 2024, (15): 51-54.
- [6] TANG X, LENG C, GUAN Y, et al. Development of tracking and control system based on computer vision for robomaster competition robot [C] //2020 5th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM), Shenzhen, China, 2020: 442-447.
- [7] 王全鑫, 韩芝侠, 吴佳伟. 基于 STM32 的智能消毒小车系统设计 [C] //冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协

- 职业培训中心. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集. 宝鸡文理学院; 国网咸阳供电公司, 2024: 3.
- [8] 李传达. 移动侦察机器人设计与实现 [D]. 昆明: 云南大学, 2017.
- [9] 陈炜琦, 周骞煜, 吴 岩. 基于麦克纳姆轮的视觉识别与搬运系统设计 [J]. 电子制作, 2024, 32 (7): 23-27.
- [10] 冯长业. 基于麦克纳姆轮技术的自动化引导车 (AGV) 设计 [J]. 河南科技, 2024, 51 (15): 31-36.
- [11] JIA P, ZHOU Z, WANG Q. Dangerous items recognition and face recognition system based on K210 and YOLO [C] //2nd 2022 International Conference on Networking, Communications and Information Technology (NetCIT), Manchester, United Kingdom, 2022: 131-133.
- [12] 张志成. 基于 STM32 与 K210 的人脸口罩识别非接触式测温系统设计 [J]. 科技创新与应用, 2024, 14 (22): 38-41.
- [13] HEUIJEE Y, PARK D. Parallel processing of 3D object recognition by fusion of 2D images and LiDAR for autonomous driving [C] //2024 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Taipei, 2024: 1-2.
- [14] 王远新, 闫凯航, 邓炬鑫, 等. 基于 CNN 和激光雷达融合的智能语音避障导盲眼镜的研究与设计 [J]. 电子制作, 2024, 32 (12): 45-47.
- [15] SAPUTRO J S, KRESNO W M, HARIYONO J, et al. Design of an adaptive cruise control system using PID control method on electric vehicle prototypes [C] //2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIM-IA), Surabaya, Indonesia, 2023: 599-605.
- [16] 穆占海, 艾尔肯·亥木都拉, 郑威强. 麦克纳姆轮农业机器人路径跟踪——基于改进野马算法 [J]. 农机化研究, 2025, 47 (2): 1-8.
- [17] 孙伟栋, 张 宇, 费 雄, 等. Mecanum 轮参数化设计和运动学分析 [J]. 农业装备与车辆工程, 2020, 58 (10): 40-43.
- [18] 王鑫杰, 王吉平. YOLO 目标检测算法综述 [J]. 广西物理, 2024, 45 (2): 50-53.
- [19] 张海超, 张北伟. 基于 STM32 的多串口通信系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2019, 38 (2): 99-102.
- [20] 苏立敏, 雷高伟, 莫 琦, 等. 基于深度学习的视觉拾球机器人研究 [J]. 广东石油化工学院学报, 2023, 33 (1): 38-42.
- [21] LIU S, ZHANG D. Design and implementation of intelligent medicine delivery car based on K210 [C] //2nd 2022 International Conference on Electrical Engineering and Mechatronics Technology (ICEEMT), Hangzhou, China, 2022: 164-171.