

基于AR技术的远程隧道勘测小车设计与实现

李思瑶 徐梓涵 李广伟*
黑龙江工商学院 黑龙江 哈尔滨 150113

摘要：随着科技的飞速发展，增强现实（AR）技术在各个领域的应用日益广泛。在工程隧道勘测领域，传统的勘测方法存在效率低、安全风险高等问题。本文设计并实现了一款基于AR技术的远程隧道勘测小车，旨在提高隧道勘测的效率和安全性，降低人工劳动强度。通过集成多种传感器、执行机构和AR技术，该小车能够实现自主导航、环境感知、数据采集和实时传输等功能，为隧道工程的智能化施工提供有力支持。

关键词：AR技术；隧道勘测小车；设计；实现

引言：随着城市化进程的加快，隧道工程在基础设施建设中的重要性日益凸显。然而，传统隧道勘测方法主要依赖人工操作，存在效率低、安全风险高、劳动强度大等问题。此外，随着劳动力成本的上升和年轻化劳动力的流失，提高隧道勘测自动化和智能化水平成为亟待解决的问题。本文旨在设计并实现一款基于AR技术的远程隧道勘测小车，通过集成多种传感器和AR技术，实现隧道的自主勘测和实时数据传输，提高勘测效率和安全性，降低人工劳动强度。该小车的设计和实现对于推动隧道工程智能化施工具有重要意义。

1 系统总体设计

1.1 系统架构

本系统设计的隧道巡检小车，旨在实现高效、精准的隧道环境巡检任务。整个系统由多个关键单元构成，包括中央控制单元、数据采集单元、激光导航单元、通讯单元、驱动单元、行进单元以及存储单元。这些单元协同工作，确保了巡检小车能够自主、智能地完成巡检任务。系统总体结构框图如图1所示。

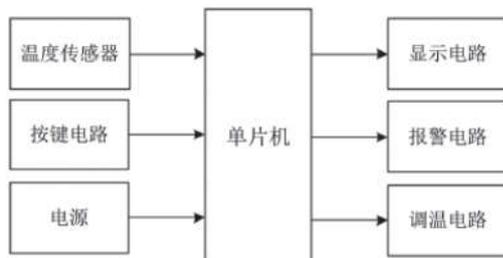


图1 系统总体结构框图

1.1.1 系统组成与工作流程：

中央控制单元：中央控制单元负责接收来自外部或预设的检测指令，并根据这些指令协调各个单元的工作。当接收到巡检开始指令时，它会激活驱动单元，使巡检小车开始移动。

数据采集单元：该单元负责收集隧道内的各种环境数据，如温度、湿度、气体浓度等，这些数据对于评估隧道状态至关重要。

激光导航单元：此单元是巡检小车实现自主导航的关键。通过不断发射激光并接收反射信号，激光导航单元能够实时感知巡检小车在隧道内的精确位置及其周围环境信息。这些信息随后被发送给中央控制单元，用于路径规划和障碍物规避。

通讯单元：该单元确保了巡检小车与外界（如控制中心）的实时通信。巡检过程中收集的数据和状态信息通过通讯单元发送至控制中心，同时控制中心也可通过该单元向巡检小车发送指令或更新地图信息。

驱动单元：在接收到中央控制单元的指令后，驱动单元负责为巡检小车提供前进的动力。通过精确控制电机的转速和方向，驱动单元确保了巡检小车能够按照预定路线稳定行驶。

行进单元：包括车轮、履带或其他形式的移动机构，根据设计需求选择合适的行进方式，以确保巡检小车在不同路况下都能稳定、高效地移动。

存储单元：用于存储巡检过程中收集的数据、地图信息以及系统配置文件等。存储单元应具有足够的容量和可靠的读写性能，以保证数据的安全性和完整性。

1.2 硬件选型与设计

1.2.1 主控芯片

针对工程隧道小车系统的复杂性与性能高标准，选择STM32单片机作为主控核心。STM32，作为一款集高性能与多功能于一体的32位微控制器，完美契合了项目需求。它搭载了先进的ARM Cortex-M3 32位RISC内核，主频飙升至72MHz，为系统带来前所未有的流畅运行体验与即时响应能力。内置的丰富资源同样令人瞩目，高达128K字节的闪存与20K字节的SRAM，为程序存储与

数据处理构筑了坚实的基础。此外，STM32还配备了多样化的外设接口，涵盖2个12位ADC、3个通用16位定时器、1个PWM定时器以及多个通信接口（包括2个I2C、3个USART、2个SPI等），轻松实现与外部设备的无缝对接与高效数据交互。尤为值得一提的是，STM32在保持卓越性能的同时，还兼顾了成本效益，为系统整体成本控制贡献了重要力量。

1.2.2 摄像头模块

为了高效实现视觉处理和图像采集，选定了openMV4-H7模块。该模块以低功耗设计著称，通过集成电路优化，确保了长时间运行下的能源效率。其内置的视觉处理算法直接支持图像数据的处理与输出，极大地简化了软件开发流程。同时，openMV4-H7模块通过外部IO口即可轻松控制，与STM32单片机完美兼容，实现了无缝对接，进一步提升了系统的整体效能。

1.2.3 定位模块

为了精确捕捉工程隧道小车的位置信息，选用了ATK1218-BD定位模块。该模块显著优势在于其双模定位功能，支持GPS与北斗两大卫星系统，有效提升了定位精度与可靠性。同时，ATK1218-BD能在短时间内（30秒内）完成冷启动定位，完美契合实时性要求高的应用场景。在数据传输方面，该模块通过串口与STM32单片机实现高效连接，配置过程简便快捷，且数据刷新频率高，确保位置信息的实时性与准确性。

1.2.4 通信模块

为了保障隧道小车与上位机间的高效实时通信，选用了ESP8266无线模块。该模块以其广泛兼容性著称，支持802.11 b/g/n无线标准，确保了稳定可靠的Wi-Fi连接。同时，ESP8266提供了灵活多样的工作模式（STA、AP及STA+AP），能够轻松适应各种应用场景的需求。尤为值得一提的是，该模块内置了TCP/IP协议栈，极大地简化了网络编程的复杂度，使得通信过程更加顺畅无阻。

1.2.5 显示模块

为了直观呈现系统状态与信息，选用了OLED液晶显示屏。该显示屏以高清画质著称，支持图片、字符、汉字等多种信息显示，色彩丰富且画面清晰细腻，为用户带来极佳的视觉体验。同时，OLED屏幕采用先进的固态半导体技术，确保了极快的响应速度，无论是视频播放还是动态图像展示，都能实现流畅无拖影的显示效果。此外，该显示屏还具备灵活的控制方式，通过IIC接口与STM32单片机无缝对接，简化了控制流程，加快了数据传输速度，为系统的高效运行提供了有力支持^[1]。

1.2.6 机械臂驱动模块

为了实现对机械臂运动的精准控制，选用了TB6612FNG电机驱动芯片。该芯片以其卓越的驱动能力脱颖而出，每个通道均能输出高达1.2A的连续电流，轻松应对大功率驱动需求。同时，TB6612FNG支持电机的正转、反转、制动、停止四种工作模式，为用户提供了极高的控制灵活性。尤为值得一提的是，该芯片内置了低压检测和过热保护电路，能够在异常情况下自动启动保护机制，确保系统运行的稳定性和安全性。这些优势使得TB6612FNG成为驱动机械臂的理想选择。

1.2.7 电源模块

为了确保工程隧道小车系统获得稳定可靠的电压供应，选用了线性稳压芯片AMS1117-3.3。该芯片以其高精度输出著称，能够稳定提供3.3V电压，且精度高达1%，完美契合大多数数字电路的供电需求。同时，AMS1117-3.3内置了先进的过热保护和限流保护电路，有效预防了系统因过流或过热而遭受损坏的风险，为系统的长期稳定运行提供了坚实保障。此外，该芯片还具备广泛的适用性，配合适当的外围滤波器使用，能够轻松为多种嵌入式系统提供稳定、纯净的电源支持。

2 系统软件设计

2.1 系统主程序设计

系统主程序是整个系统的核心，负责协调各子程序的执行，以实现隧道小车的整体功能^[2]。主程序通过流程图（如图2所示）定义了系统的启动、初始化、执行主要任务及循环监控等关键步骤。在main函数中，系统首先进行必要的初始化操作，包括硬件初始化（如STM32单片机、ESP8266模块、摄像头、OLED显示屏等）和系统参数设置。随后，主程序进入一个无限循环，不断调用各个子程序来完成具体任务，如数据采集、处理、显示和通信等。

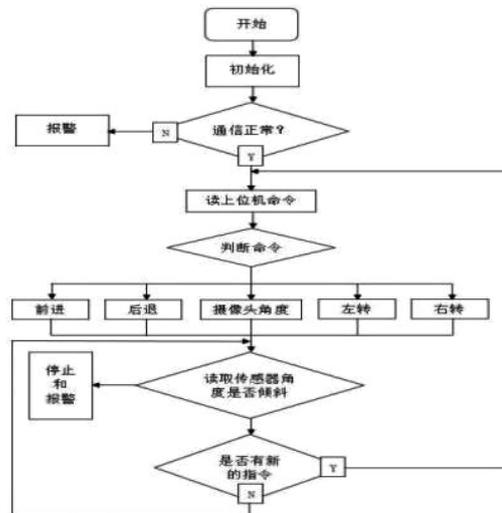


图2 系统主程序流程图

2.2 控制子程序设计

控制子程序是隧道小车运动和执行任务的关键。它分为两个主要部分：机械臂平台的控制和机械手臂的控制。平台控制通过驱动模块直接对直流电机进行控制，实现小车在隧道内的移动。机械手臂则通过驱动模块和舵机的精细控制，完成材料的采集和样本的收集。

2.3 显示子程序设计

为了直观展示系统状态和采集的数据，设计了显示子程序。该程序通过STM32单片机的I/O口控制LCD1602液晶显示屏。在初始化阶段，单片机向液晶模块发送指令，配置其工作模式。随后，单片机将需要显示的数据写入液晶的DDRAM中，通过控制内部寄存器和读写引脚的状态，实现数据的显示与更新。

2.4 无线通信子程序设计

无线通信子程序负责隧道小车与上位机或智能终端之间的数据交换。通过ESP8266模块，系统支持WiFi通信，可采用AP模式、STA模式或两者结合的模式以提高灵活性和传输距离。无线通信子程序的流程包括ESP8266模块的初始化、配置、数据接收与发送等关键步骤。在main函数的循环中，单片机不断检查是否有新的数据需要发送或接收，通过串口中断处理来自ESP8266的数据，确保数据的实时传输。用户可通过手机APP连接到ESP8266的WiFi网络，发送指令并接收实时数据，实现远程监控和控制功能。

3 AR 技术应用

3.1 虚实融合的导航与定位

传统隧道小车在导航与定位方面常受限于GPS信号在隧道内的衰弱及隧道环境的多变性，导致定位精度和稳定性下降。而增强现实（AR）技术的引入，为隧道小车的导航与定位带来了革命性的改变。AR技术通过高清摄像头捕捉隧道内的实时图像，结合图像识别技术，能够精准识别隧道内的标志物或特征点，如隧道壁纹理、照明设施等。这些特征点与小车的实时运动数据（速度、方向）相结合，构建出精确的三维隧道模型。该模型不仅包含隧道结构信息，还能实时反映隧道内的动态变化，如车辆、人员移动等。基于这一模型，小车能够实现更高精度的导航与定位，规划出最优行驶路径，并在行驶过程中实时监测和调整位置与姿态，确保稳定前行。此外，AR技术还能与小车控制系统深度融合，通过预测小车的运动趋势并进行提前干预，提升小车在复杂隧道环境中的稳定性和安全性^[3]。

3.2 虚拟培训与模拟演练

利用AR技术构建的虚拟隧道环境，为工人提供了高度逼真的培训与演练平台。相比传统实地培训，这种方式具有显著优势：一是高度仿真：虚拟隧道环境与真实环境高度相似，工人可通过头戴式AR设备身临其境地体验隧道作业的全过程，包括隧道结构、照明设施、施工设备等。二是应急演练：在虚拟环境中模拟火灾、坍塌等紧急情况，帮助工人熟悉应急流程，提高应急反应和自救互救能力。三是灵活高效：虚拟培训不受时间和地点限制，可根据不同需求定制化设计培训内容，降低成本并提升效率。此外，AR技术还适用于隧道小车的操作与维护培训，使工人能够熟练掌握操作技能，提高作业效率与准确性。

3.3 智能维护与故障诊断

将AR技术与隧道中的传感器和监控系统结合，实现对隧道小车运行状态的实时监测与精准管理^[4]，显著提升故障诊断与维修效率，降低维护成本。通过温度传感器、湿度传感器、振动传感器等设备实时获取小车运行数据，结合高清摄像头捕捉隧道内图像，实现全面监控。AR系统能迅速识别并定位故障，通过对比分析运行数据和环境数据，精准判断故障类型和位置，并以直观方式（文字、图像、三维模型）呈现给维护人员。维护人员无需进入隧道现场，即可全面了解小车运行状态，制定解决方案，降低安全风险并提高维修效率。

结语

本文设计并实现了一款基于AR技术的远程隧道勘测小车，通过集成多种传感器、执行机构和AR技术，实现了隧道的自主勘测和实时数据传输。测试结果表明，该系统能够显著提高隧道勘测的效率和安全性，降低人工劳动强度。未来，随着科技的不断进步和应用场景的不断拓展，基于AR技术的远程隧道勘测小车将在更多领域得到应用。同时，需要进一步加强核心技术研发和创新，拓展应用场景和商业模式，推动隧道工程智能化施工的发展。

参考文献

- [1]赵新阳,刘博远,马晓春,等.一种多功能智能化探测小车的设计[J].科技创新导报,2020,17(10):69-70.
- [2]康玉忠,何拥军,曾文权,等.智能手机远程控制的探测小车设计与实现[J].微型电脑应用,2019,35(03):19-22.
- [3]李龙,邓兆强,龚聪,等.智能探测小车的设计与实现[J].电子制作,2021,(23):80-82.
- [4]刘云霞,张恒,张修路,等.智能无人小车在石材勘探中的应用[J].石材,2021,(07):14-17.