

基于 RFID 识别的动车组模型联动展示系统设计及实现

张丽媛^{1*}, 刘莉¹, 姚石²

¹西安铁路职业技术学院, 机电工程学院, 陕西西安, 中国

²杭州牧星科技有限公司西安分公司, 陕西西安, 中国

*通讯作者

【摘要】为破解铁路科普展示中“静态陈列”模式的局限性, 满足动车组知识可视化、互动化传播需求, 设计一款基于 RFID 射频识别技术的动车组模型联动展示系统。该系统以“电子卡片-感应识别-灯光联动-屏幕展示”为核心逻辑, 整合 RFID 射频卡、树莓派主控制器、LED 灯组及高清触摸屏等硬件, 实现卡片触发式模型灯光联动与专业信息同步展示功能。本文详细阐述系统总体架构、硬件选型、软件逻辑、机械结构及界面设计, 通过模块化设计提升扩展性与稳定性。测试结果表明, 系统识别精度高、联动响应迅速、运行稳定, 能有效提升科普传播的趣味性与专业性, 可广泛应用于铁路博物馆、科技馆等场景。

【关键词】动车组模型; RFID 识别; 联动控制; 科普展示; 模块化设计

【基金项目】西安铁路职业技术学院 2024 年度立项课题“动车组模型设计与制作项目”
(编号: XTZY24S02)

1. 引言

中国高速铁路技术已实现全面自主化, “复兴号”系列动车组成为国家高端装备制造的标志性成果, 铁路科普教育作为传播高铁技术、弘扬铁路文化的重要载体, 亟需创新展示形式[1]。当前, 铁路展厅、博物馆多采用实物模型、图文展板等静态展示方式, 存在信息传递单一、互动性不足、观众参与度低等问题, 难以充分展现动车组的技术特点与创新价值[2]。

基于此, 本文设计一款基于 RFID 识别的动车组模型联动展示系统, 通过“电子卡片触发+模型灯光联动+屏幕信息展示”的一体化设计, 将静态模型与动态交互相结合, 实现“即插即看、联动响应”的科普体验。该系统不仅能直观呈现不同型号动车组的技术参数与结构特点, 还能通过模块化设计预留扩展空间, 为铁路科普展示提供全新技术方案, 具有重要实践价值[3,4]。国外铁路科普展示多融入物联网技术, 德国铁路博物馆采用 RFID 识别实现展品与多媒体信息联动, 观众扫描展品即可获得详细介绍; 日本新干线博物馆结合 VR 技术还原驾驶场景, 提升沉浸式体验[5]。国内现有研究多聚焦于单一型号动车组模型智能化设计或触摸屏信息查询系统, 但缺乏多模型、RFID 识别与多层级信息展示的深度联动设计, 在扩展性与交互体验上仍有提升空间。本文系统弥补上

述不足, 实现多模型联动、多维度展示与灵活扩展的有机结合。核心研究内容包括: 系统总体架构设计、核心硬件选型与实现、软件逻辑设计、机械结构与界面设计、系统优化与扩展。技术路线为: 分析功能需求→构建“硬件-软件-机械-界面”四维架构→硬件选型与软件编程→机械与界面设计→测试优化系统性能。

2. 系统总体架构设计

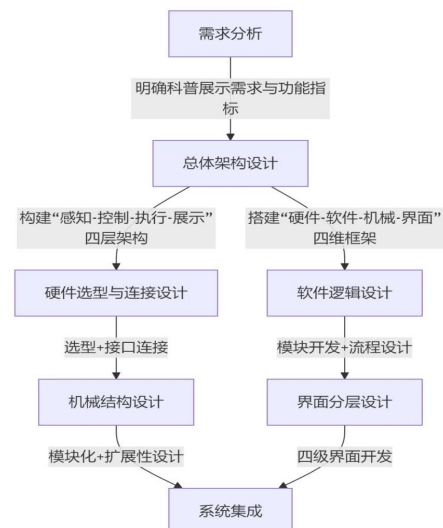


图 1. 系统总体架构设计图

基于功能需求, 构建“感知层-控制层-执行层-展示层”四层总体架构, 各层级协同工作, 实现卡片识别、灯光联动与信息展示一体化功能, 如图 1 所示。

功能划分：（1）感知层：由 RFID 射频卡与 RC522 读卡器模块组成，存储动车组唯一 ID 并实现非接触式读取，为系统触发提供原始信号。（2）控制层：以树莓派 4B 为主控制器，承担信号处理、逻辑判断与指令发送功能，是系统“中枢神经”。（3）执行层：含动车组模型与 LED 灯组，响应控制指令实现灯光点亮/熄灭。（4）展示层：以高清触摸屏为载体，展示动车组专业信息，实现可视化传播。

系统核心功能指标：RFID 识别距离 0-5cm，成功率 $\geq 99\%$ ；卡片识别后联动响应时间 $\leq 1s$ ；连续工作 24 小时无故障，断电数据不丢失；支持至少 8 个车型扩展端口；支持触摸操作与多语言切换，界面响应流畅。

3. 硬件选型与功能实现

为实现各硬件模块的高效协同与数据精准传输，特制定以下接口连接方案，兼顾传输效率、稳定性与实用性：

（1）感应台与主控制器采用 SPI（串行外设接口）连接。SPI 接口具备同步串行通信特性，数据传输速率高、抗干扰能力强，能够快速响应感应台的卡片识别信号，实现卡片信息的高速、精准传输[6]。相较于其他接口，SPI 接口采用主从架构，通信协议简单，硬件连接简洁，可有效减少线路复杂度，降低信号传输过程中的损耗与干扰，保障卡片识别功能的实时性与可靠性，避免因传输延迟导致的用户操作卡顿[7]。

（2）主控制器与 LED 灯组通过 NPN 三极管驱动电路实现连接。考虑到主控制器 IO 口输出电流较小，无法直接驱动 LED 灯组正常工作，若直接连接易出现电流不足导致的灯光闪烁、亮度不稳定甚至无法点亮等问题。NPN 三极管驱动电路可起到电流放大作用，将主控制器输出的微弱电流放大至 LED 灯组所需的工作电流，同时具备开关响应迅速的特点，能精准跟随主控制器的控制信号，确保 LED 灯组按照预设逻辑稳定点亮、熄灭或切换状态，提升灯光指示功能的准确性。

（3）主控制器与显示屏采用 HDMI+USB 双接口组合方案：其中 HDMI 接口负责传输视频信号，HDMI 接口支持高清视频传输标准，能够将主控制器输出的图像、文字等视频数据清晰、无失真地传输至显示屏，保障显示画质清晰流畅；USB 接口则专门用于反馈触摸信号，当用户在显示屏

上进行触摸操作时，触摸模块可通过 USB 接口将操作信号快速反馈至主控制器，实现触摸操作的实时响应，双接口分工明确、协同工作，大幅提升人机交互的流畅性与便捷性。

为进一步提升系统运行稳定性，规避突发断电等异常情况对系统造成的影响，系统同时配置了 5V/2A 稳压模块与 10000mAh 备用电源。5V/2A 稳压模块可对输入电源进行稳压处理，过滤电压波动、纹波等干扰，为核心硬件（主控制器、显示屏、感应台等）提供稳定的 5V 工作电压，防止因电压不稳定导致的硬件故障、数据错乱等问题；10000mAh 大容量备用电源采用应急供电设计，当外部供电中断时，可立即自动切换至备用电源供电模式，为系统持续提供稳定电力支持，确保未完成的操作正常收尾，有效防止断电导致的数据丢失，提升系统的容错性与可靠性[8,9]。

4. 软件逻辑设计与工作流程

系统软件基于 Python 编程语言开发，开发环境为 PyCharm Community Edition 2023.2，运行环境为 Raspbian Bullseye 系统。核心技术库包括：spidev 库（SPI 通信）、RPi.GPIO 库（GPIO 引脚控制）、PyQt5 库（界面设计）、Pillow 库（图片处理）。核心逻辑模块设计为（1）卡片识别模块：初始化读卡器，循环检测卡片，读取 ID 后传输至逻辑判断模块。（2）逻辑判断模块：匹配卡片 ID 与动车组型号，生成灯光控制与屏幕展示指令。（3）灯光控制模块：控制 GPIO 引脚输出电平，实现 LED 灯组启停。（4）屏幕展示模块：调用预存信息，通过 HDMI 输出至显示屏，支持多页面切换[10]。

系统工作流程分为四阶段：（1）初始化：上电后初始化各模块，显示屏显示欢迎界面，灯光熄灭。（2）卡片触发：用户放置卡片，读卡器读取 ID 并传输至主控制器，指示灯提示识别状态。（3）联动响应：主控制器匹配型号，指令灯光点亮，显示屏切换至对应车型介绍界面。（4）状态切换：卡片移开后，灯光熄灭，显示屏 3 秒后恢复欢迎界面；多卡片放置时优先响应最后放置卡片。

5. 机械结构与界面设计

机械结构采用“模块化+透明化”设计，以 10mm 厚亚克力板为主体，分为模型展示区、插卡区、感应区与屏幕显示区。整体尺寸 1000mm \times 700mm \times 700mm，模型展示区单

层高度 110mm，感应台间距 100mm 避免干扰，如图 2 所示。预留 8 个扩展端口，支持车型增加与模块升级，兼顾展示效果与扩展性。展示界面设计采用“四级层级”界面设计，符合科普认知规律：（1）一级界面（导航欢迎）：开机默认显示，含标题、全景图与操作指引。（2）二级界面（车型介绍）：展示外观、参数与文字介绍，支持触摸切换。（3）三级界面（剖视图）：标注核心部件，支持点击进入详情。（4）四级界面（部件详情）：展示部件结构与功能说明。界面主色调为银灰色，搭配红色点缀，支持双语

切换，如图 3 所示。

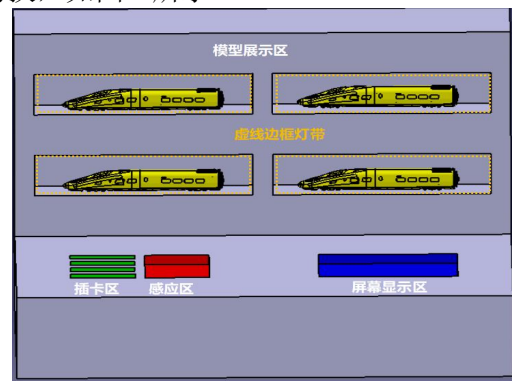


图 2.机械设计图



图 3.界面设计图

6.系统测试与结果分析

6.1 测试环境与内容

搭建模拟展厅环境，测试设备含全套系统硬件与万用表、示波器等工具，测试内容包括功能、性能与稳定性测试。（1）功能测试：100 次触发测试成功 99 次，识别成功率 99%，优先级逻辑正常，触摸交互流畅。

（2）性能测试：联动响应时间平均 0.8s，界面切换延迟 400ms，识别距离稳定无干扰。

（3）稳定性测试：连续运行 24 小时无故障，断电数据不丢失，高低温环境运行正常。测试表明系统满足设计要求，可投入科普场景使用，测试的步骤和结果如表 1 所示。

表 1.测试步骤和结果

测试类型	测试用例	测试步骤	判定标准	测试结果	是否达标
功能测试	卡片识别与联动功能	1.依次将 4 张卡片放置于对应感应台； 2.记录灯光点亮与界面切换情况；3.重复测试 100 次	识别成功率 \geq 99%，联动动作准确	100 次测试成功 99 次，1 次失败为卡片放置偏移导致	是
	多卡片优先级功能	1.同时放置 2-3 张卡片于不同感应台； 2.观察系统响应对象；3.更换卡片组合测试 50 次	优先响应最后放置卡片，无逻辑错误	50 次测试均优先响应最后放置卡片，逻辑无错误	是

	触摸交互功能	1. 操作屏幕切换界面、点击部件；2. 测试双语切换功能；3. 重复操作 200 次	界面切换流畅，无卡顿、误触	200 次操作无卡顿、误触，双语切换正常	是
性能测试	联动响应时间	1. 用示波器记录卡片放置到灯光点亮的时间；2. 每张卡片测试 20 次，取平均值	响应时间 $\leq 1s$	平均响应时间 0.8s，最短 0.6s，最长 0.95s	是
	识别距离稳定性	1. 卡片距离感应台 0-5cm 渐变放置；2. 记录各距离识别情况；3. 重复测试 30 次	0-5cm 内识别稳定，无漏读	0-5cm 内识别成功率 100%，5cm 以上无错误识别	是
稳定性测试	连续运行稳定性	1. 系统持续上电运行 24 小时；2. 每 2 小时记录运行状态；3. 观察是否出现故障	连续运行无故障，数据不丢失	24 小时连续运行无故障，断电后备用电源正常工作	是
	高低温环境稳定性	1. 调节环境温度至 0℃、40℃；2. 系统运行 4 小时；3. 测试核心功能是否正常	高低温环境下功能正常	24 小时连续运行无故障，断电后备用电源正常工作	是

7. 结论与展望

本文围绕动车组模型的功能实现与稳定运行需求，以性价比与兼容性为核心设计原则，完成了核心硬件选型、接口连接方案及电源系统的一体化设计。在硬件选型方面，通过严格的性能验证与兼容性测试，所选组件既满足系统运算速度、响应延迟等关键指标，又有效控制了项目成本，实现了性能与经济性的平衡。接口连接方案针对性解决了不同模块的通信与驱动需求：SPI 接口的采用保障了感应台与主控制器间卡片信息的高速可靠传输，其标准化通信协议与抗干扰设计符合车载设备的数据传输要求；NPN 三极管驱动电路成功解决了主控制器 IO 口驱动能力不足的问题，通过电流放大机制确保 LED 灯组稳定工作，避免了负载驱动过程中的信号失真与硬件损耗；HDMI+USB 双接口组合则实现了视频传输与触摸反馈的高效协同，提升了人机交互的流畅性。电源系统方面，5V/2A 稳压模块与 10000mAh 备用电源的双重配置，不仅过滤了电压波动干扰，为核心硬件提供了稳定供电环境，还通过应急供电设计规避了突发断电导致的数据丢失风险，符合车载电子设备对电源稳定性与容错性的严苛要求。

该设计方案已通过功能性测试，各模块协同工作良好，可满足动车组模型在实训演示、故障仿真、虚拟交互等场景的应用需求，为同类动车组相关电子系统设计提供了可参考的技术范式。未来可进一步优化方向包括：引入更高效的嵌入式主控芯片提升数据处理能力，适配更复杂的动车组模型功能扩展；增加无线通信模块，实现模型与上位

机的远程数据交互；结合虚拟现实技术，拓展模型在虚拟拆装、运维培训等场景的应用深度，进一步提升系统的实用性与拓展性。

参考文献

- [1]李刚, 王强.铁路科普展示系统的创新设计与实现[J].铁道标准设计, 2022, 66(S1): 234-238.
- [2]陈涛, 刘伟.铁路物联网技术与应用研究[M].北京: 中国铁道出版社, 2025.
- [3]Müller C, Schmidt K. Intelligent Exhibition System for Railway Technology Based on RFID [J]. Journal of Railway Engineering, 2021, 17(3): 45-52.
- [4]王浩, 陈勇.复兴号动车组智能展示模型的设计与开发[J].机械设计与制造, 2021(8): 231-234.
- [5]杨辉, 陈明.基于树莓派的 RFID 联动控制系统设计[J].微型机与应用, 2022, 41(10): 34-37.
- [6]张磊.高速动车组故障仿真训练系统的设计与实现[D].北京: 北京交通大学, 2023.
- [7]李明, 王强, 刘敏.基于 STM32 的动车组轴端加速度监测装置设计[J].仪表技术与传感器, 2021(2): 36-40.
- [8]陈峰, 赵伟.一种车载多处理器间 SPI 总线通信协议及其工作方法[P].中国专利: CN114697158A, 2022-07-01.
- [9]张华, 李丽.基于嵌入式技术的动车室温智能控制系统[J].广东科技, 2025, 34(3): 56-60.
- [10]杨刚毅.RFID 技术在科技馆的演示设计探讨[J].科技创新与应用, 2025, 15(11): 89-93.