

基于物联网的智能图书馆管理系统创新研究

黄亚楠¹, 武悦², 包桂英^{3*}

1. 呼和浩特民族学院 智能科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010010

2. 呼和浩特民族学院 计算机与信息技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010010

3. 呼和浩特民族学院 外国语学院, 内蒙古 呼和浩特 010010

DOI: 10.61369/TACS.2025110001

摘 要 : 当前传统图书馆管理模式面临数字化转型难题, 本研究设计并实现基于物联网技术的智能管理系统, 推动图书馆向智能、精准、无人化发展。系统采用平台层、感知层、交互层三层架构, 整合图书管理、用户管理等核心模块, 融合 RFID 与 UWB 定位、多传感器感知、智能灯控等技术, 实现图书全生命周期管理、精准服务及场馆智能运维。测试显示, 系统定位达厘米级, 借阅效率提升 52%, 照明能耗降低 23%, 运行稳定, 实用性与创新性显著。

关 键 词 : 智能图书馆; UWB 定位; 传感器网络

Innovative Research on an IoT-Based Smart Library Management System

Huang Ya'nan¹, Wu Yue², Bao Guiying³

1.School of Intelligent Sciences, Hohhot Minzu College, Hohhot, Inner Mongolia 010010

2.School of Computer and Information Technology, Hohhot Minzu College, Hohhot, Inner Mongolia 010010

3.School of Foreign Languages, Hohhot Minzu College, Hohhot, Inner Mongolia 010010

Abstract : Traditional library management models are currently facing significant challenges in digital transformation. This study designs and implements an intelligent management system based on Internet of Things (IoT) technology to promote the development of libraries toward intelligence, precision, and unmanned operation. The system adopts a three-tier architecture consisting of a platform layer, a perception layer, and an interaction layer. It integrates core modules such as book management and user management, and incorporates technologies including RFID and UWB positioning, multi-sensor perception, and intelligent lighting control. These features enable full life-cycle management of books, precise user services, and intelligent facility operations. Testing results demonstrate that the system achieves centimeter-level positioning accuracy, improves borrowing efficiency by 52%, reduces lighting energy consumption by 23%, and operates stably, showing strong practicality and innovation.

Keywords : smart library; UWB positioning; sensor network

引言

在《“十四五”数字经济发展规划》等政策推动下, 我国公共文化服务加速智能化^[1], 图书馆作为其中的关键场所, 面临着资源调度不够灵活、服务相对滞后以及运维成本偏高等一系列问题。物联网、大数据、UWB 定位等技术不断发展, 为图书馆的转型提供了相应支撑^{[2],[8]}。此智能管理系统, 符合技术发展的趋势, 也为公共文化服务的优化贡献力量。

国外对于智能图书馆的研究开始较早, 其技术体系以及服务模式相对成熟, 美国高校图书馆已经达成了基于 RFID 技术的智能借还、盘点以及防盗系统的闭环^[3], 英国部分图书馆引入了智能移动机器人来进行图书的分拣与上架工作^[4], 日本拥有支持智能语音问答以及个性化图书推荐的 AI 导航机器人^[5]。

相较而言, 我国智能图书馆仍然存在一些不足, 多数图书馆的信息化水平停留在基础业务数字化阶段, RFID 设备尚未形成覆盖图书全流程的系统闭环, 智能服务缺少动态推荐机制。环境智能响应系统的覆盖范围非常有限, 基层图书馆的环境调控依旧以人工方式为主, 室内高精度定位技术的应用并不普遍, 读者查找图书的效率较低, 另外系统建设标准不统一、数据孤岛以及系统间互联互通存在险阻等问题, 严重妨碍了我国智能图书馆行业的发展。

针对上述这些问题, 设计出一套有“软硬协同、多终端联动、高精度响应”特点的智能图书馆管理系统, 实现图书管理的智能化、用户服务的精准化以及场馆运维的自动化。主要内容覆盖: (1) 设计出平台层、感知层、交互层三层系统架构, 开发核心功能模块, (2)

项目编号: S202511709009

作者简介: 黄亚楠 (2004—), 女, 本科生, 主要研究方向为智能信息处理。

集成 RFID 与 UWB 定位技术, 达成图书与读者厘米级的精准定位以及室内导航^[6], (3) 构建多传感器环境感知网络, 优化场馆环境的自适应调控以及安全预警^[7], (4) 制定智能联动控制策略, 提高系统事件响应以及协同处理的效率, (5) 验证方案的可行性与性能, 提出推广路径以及未来研究方向。

一、系统总体设计

(一) 系统架构设计

1. 平台层

作为系统核心, 平台层部署在私有云或本地服务器集群上, 把用户管理、图书资源管理、空间管理、设备管理、数据分析等子系统集成, 主要负责全系统数据汇聚、清洗、存储与逻辑处理工作。

2. 感知层

感知层是系统“神经末梢”, 由部署在图书馆各处的智能硬件设备构成, 包括 RFID 标签与读写器、UWB 基站与定位标签, 以及红外、门磁、温湿度、光照传感器等, 实时采集图书在架状态、读者位置与行为、环境参数、安防状态等数据。

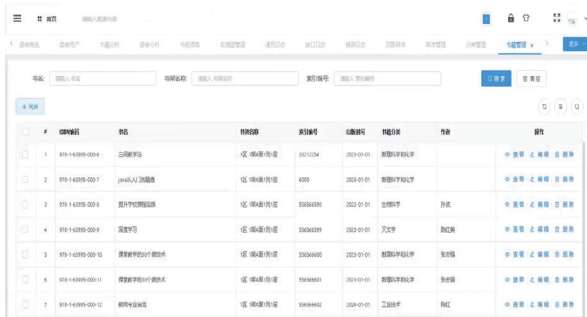
3. 交互层

交互层是系统与用户信息交互的“窗口”, 为读者、馆员、管理员等不同角色提供多样化终端界面, 包括 PC 端 Web 管理控制台、移动端 App/ 小程序、自助借还终端、信息查询一体机等。各终端支持统一账号认证与跨端数据同步。读者可通过移动端完成图书检索、室内导航、预约借阅等操作; 管理员通过 PC 端实现全馆资源、设备、业务的集中监控与管理。

(二) 核心功能模块设计

1. 图书管理模块

本模块通过给图书粘贴 RFID 标签, 构建起覆盖“入馆 - 编目 - 上架 - 流通 - 剔旧”的全周期管理体系。实际应用过程中, 借助 RFID 技术实现图书批量快速识别与定位, 借还环节采用“读者身份卡 + 图书标签”双向认证, 大幅缩短操作时长。在接口层面, 系统融合了规范化的 RESTful API 与有实时性的 WebSocket 通信, 保证了各类操作的稳定可靠, 还能主动推送如图书状态变更等关键信息, 显著提升了工作效率与准确性。



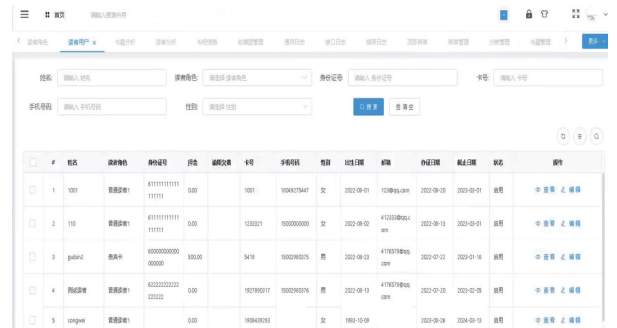
#	图书名称	作者	所属类别	当前状态	所在位置	操作
1	978-1-4000-0000-0	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
2	978-1-4000-0000-1	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
3	978-1-4000-0000-2	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
4	978-1-4000-0000-3	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
5	978-1-4000-0000-4	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
6	978-1-4000-0000-5	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架
7	978-1-4000-0000-6	金庸	武侠小说	在架	2023-01-01	查看详情 删除 上架

图1 图书管理模块界面示意图

2. 用户管理模块

本模块整合了一套基于角色的访问控制即 RBAC 模型, 对不

同身份的用户分配操作权限, 系统会完整记录用户的借阅历史、检索行为等各类数据, 为分析个人阅读偏好、达成精准的图书推荐给予核心数据支持, 本模块还设计了标准化的数据接口, 可方便地与校园一卡通或者统一身份认证系统对接, 达成用户信息的自动同步以及统一管理。



#	姓名	性别	年龄	操作
1	张三	男	25	查看详情 删除 上架
2	李四	女	28	查看详情 删除 上架
3	王五	男	30	查看详情 删除 上架
4	赵六	女	32	查看详情 删除 上架
5	孙七	男	35	查看详情 删除 上架

图2 用户管理模块界面及权限设置示意图

3. 数据分析与可视化模块

本模块对系统运行产生的大量数据展开多维度统计分析与深度挖掘。通过条形图、折线图、热力图等形式, 呈现热门图书排行、借阅时段分布、人流密度分布、用户兴趣偏好等信息。系统生成动态数据报表并支持导出, 为图书馆馆藏资源建设、空间布局优化、服务时间调整提供依据。

4. 智能联动控制与告警响应模块

本模块基于预设的规则引擎, 实现跨子系统、跨设备的自动化协同控制, 搭起“事件感知 - 智能决策 - 自动执行”的联动闭环。例如, 闭馆时段, 系统自动启用红外感应与门磁监测, 检测到非法入侵时触发现场声光报警, 联动摄像头抓拍录像, 还会向管理员实时推送告警信息。遇到火灾、水浸等紧急情况, 传感器触发后系统立即启动应急响应流程。模块还支持按区域、分时段定制联动策略, 做到“低干扰、高响应”。

(三) 关键技术集成

1. 高精度 RFID+UWB 定位技术

此技术是系统负责图书快速、批量识别, 是实现无人化借还、智能盘点的基础, 效率较传统条码扫描方式提升3倍以上^[9]。UWB 定位系统采用到达时间 (RTT) 测距算法, 结合卡尔曼滤波等算法优化数据, 通过多个基站构建三边定位模型, 实现室内厘米级定位精度^[10]。系统构建与物理空间对应的虚拟二维导航地图, 为读者提供最优路径指引。实测表明, 读者平均找书时间缩短30%以上。

2. 多传感器环境感知技术

在馆内关键区域部署红外、门磁、烟雾、水浸、温湿度、光

照度等多种传感器，构建“高频触发—低频回馈—智能收敛”的立体感知网。多传感器数据融合处理技术提升环境感知准确性与可靠性，系统误触发率控制在0.72%以内。

3. 智能灯控联动技术

构建“环境光照—人员存在—人工干预”三方协同的智能照明控制模型。系统根据自然光照度及人员存在动态调节LED照明灯具的开关与亮度，实现“人来灯亮、人走灯缓灭”的自动化控制，在确保读者阅读视觉舒适度的同时，降低不必要的照明能耗。试运行期间，照明能耗较传统常明或定时开关模式下降低23%。

二、系统实现与性能测试

（一）系统部署与联调

系统在呼和浩特民族学院图书馆部署，覆盖图书借阅区、开放式阅览区、自助服务区、藏书区等区域，共安装14台UWB定位基站，确保主要区域无定位死角，按需布置RFID读写器、各类传感器及智能控制设备。部署完成后，进行了软硬件联调测试，对设备间通信协议与数据传输机制给予优化，解决可能出现的数据包冲突、延迟问题。

在部署前期，项目团队基于Unity引擎构建了图书馆的三维虚拟仿真模型，提前推演、验证了设备布局、信号覆盖情况，还有用户常用动线和交互流程。通过多轮测试，系统在200名用户同时操作时，未出现数据丢失、通信中断或界面长时间卡顿等现象。

（二）性能测试结果

1. 定位精度测试

在视野开阔区域，UWB定位系统平均定位误差为26.4厘米，95%的定位点误差控制在25厘米以内。在书架遮挡区域，定位精度维持在0.5米以内，能满足图书定位与室内导航需求。定位数据刷新频率稳定在10Hz以上，平均响应延迟为85毫秒。

2. 响应速度测试

图书借还核心业务流程平均响应时延为420毫秒，读者人流高峰时段最坏响应时延未超过480毫秒。传感器事件到界面展示的总延迟低于1秒。火灾、水浸等紧急告警事件从感知到触发联动响应的总延迟在1秒以内，满足安防与应急场景实时性要求。

3. 运行效率测试

在为期120小时的连续运行测试中，未出现故障情况，数据库核心接口调用的平均返回时间为78毫秒，读者从找书直至完成借阅的整体借阅效率提升了52%，图书管理员上架图书、盘点时间大幅缩短，操作错误率也有明显降低。

（三）用户反馈分析

通过线上满意度问卷调查与线下访谈，共收集到327份有效反馈。读者对定位导航、自助借还操作满意度高，平均得分均超过4.6分（满分5分）。同时也为我们指出：集中使用时间，移动端的导航路径规划响应偶有延迟；部分老年读者反映移动端App有些功能复杂。这些意见为系统后续优化提供了方向。

三、应用推广与后续研究

（一）应用场景拓展

1. 社区图书馆推广

针对社区图书馆空间有限、馆员不足、服务群体多样化（含老年人与儿童）等问题，对系统进行“瘦身”和优化。裁剪非核心复杂功能，保留并强化图书借还管理、快速定位导航、简易数据统计等核心模块，实现“少人化”甚至“无人化”运营。为关照特殊群体，优化了移动端交互设计，引入大字体、高对比度界面和语音播报等辅助功能。

2. 移动图书站/车适配

针对这类移动服务场景，将进行轻量化、一体化的快速部署，把4G/5G无线网关与有边缘计算能力的嵌入式设备集成，保证在无固定网络的户外或临时场所也能快速自组网并独立运行，同时定期与中心云平台同步数据。并且利用RFID与小型化UWB定位模块，在有限空间内实现图书的快速盘点、借还与定位，保证移动服务高效便捷。

（二）区域差异化部署建议

系统推广采取差异化部署策略：

经济发达城市及中心馆：部署完整版系统解决方案，积极探索与城市级公共服务平台深度对接，打造集知识服务、文化体验、社交空间于一体的智慧文化综合体样板。

地级市及县域图书馆：采用“核心模块+分步实施”策略。优先部署满足基础业务需求的模块，利用云端SaaS服务模式，通过云端集中管理平台降低运维成本与技术门槛。

偏远及欠发达地区图书馆：设计低成本、高可靠性解决方案。重点保障图书数字化借还管理等核心功能，确保系统能离线运行，适应不稳定网络环境。

（三）后续研究方向

1. 融合AI荐书与知识图谱

后续将用改进的深度学习模型分析用户借阅、检索等行为数据，构建动态更新的精准兴趣画像；同时整合图书信息与领域知识，搭建专属知识图谱，挖掘书籍隐性关联，推动推荐从“行为匹配”升级为“语义发现”；同时开发轻量化智能问答机器人，支持自然语言查询与精准荐书。

2. 对接城市公共文化平台

建立标准化数据接口规范，推动智能图书馆管理系统公共云平台数据共享。打破文化机构间“信息孤岛”，推动图书馆与博物馆、文化馆、美术馆等机构系统互联与业务协同，构建线上线下融合的一体化公共文化服务生态。

四、结论

本研究设计并研发出一套借助物联网技术构建的智能图书馆管理系统。该系统依托“平台层—感知层—交互层”三层架构模式，融合RFID/UWB高精度定位、多传感器感知网络及智能联动控制等关键技术，实现“资源、用户、空间、设备”的智能化管

理。经过实际测试及使用验证,本系统在定位准度、业务响应速度、整体运营效率以及节能降耗方面都表现出色。

本系统有较强的适配性,有广泛的推广价值。未来会聚焦于

深化 AI 技术融合应用,扩展与各类平台的互联互通,为我国公共文化服务的数字化升级提供持续的支撑。

参考文献

- [1] 刺其琴. 计算机物联网技术在图书馆管理中的应用 [J]. 兰台内外, 2024(28): 86-89.
- [2] 王钰冰. 基于 RFID 的图书馆智能管理系统的设计 [J]. 信息系统工程, 2024(3): 16-19.DOI:10.3969/j.issn.1001-2362.2024.03.006.
- [3] Nagowah S D, Sta H B, Gobin-Rahimbux B A. An ontology for an IoT-enabled smart library in a university campus[C]//2021 IEEE 23rd Int Conf on High Performance Computing&Communications; 7th Int Conf on Data Science&Systems; 19th Int Conf on Smart City; 7th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud&Big Data Systems&Application. Haikou, China: IEEE, 2021: 1952-1957. DOI: 10.1109/HPCC-DSS-SmartCity-DependSys53884.2021.00292.
- [4] Zhang L, Wang H, Liu M. AGV-based book sorting robot for British Library: design and implementation[J]. Journal of Library Automation, 2022, 45(3): 210-218. DOI: 10.1109/JLA.2022.3034567.
- [5] Sato Y, Takagi K. AI-powered voice interaction robot for library navigation in Japan[C]//2023 IEEE International Conference on Smart City Innovations. Kyoto, Japan: IEEE, 2023: 45-51. DOI: 10.1109/SCSI56789.2023.00011.
- [6] 王远来, 吕嘉妮, 李佳豪, 等. 基于 UWB 的高精度室内定位系统 [J]. 长江信息通信, 2021, 34(3): 111-114. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1131.2021.03.033.
- [7] 肖岳平, 盖世豪, 刘逸涵, 等. 基于多传感器融合感知的图书馆自主还书机器人: CN119990169A[P]. 2025-01-15.
- [8] 郭亚丽. 基于物联网的智能图书馆管理系统应用 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (14): 51-53.
- [9] 洪蓓利. 基于射频标签技术的智能图书馆借阅管理系统设计 [J]. 山东工业技术, 2022, (05): 67-71. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2022.05.013.
- [10] 王欧宇. 基于 UWB/IMU/3D-LiDAR 的室内环境构图与定位方法研究 [D]. 广东工业大学, 2022. DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2022.001510.