

# AI驱动下的多模态交互场馆讲解机器人系统设计与应用研究

郭栋贤 王影\* 张潇艺 赵婷婷 李佳泽  
山东工商学院 山东烟台 264000

**摘要:** 随着文旅产业数字化转型的深入,场馆讲解服务普遍面临互动性弱、信息传递效率低、数据安全隐患突出等问题。本文设计并实现了一套融合AI多模态交互的讲解机器人系统。以烟台为试点,通过本地部署AI大模型、构建地域文化知识图谱、集成多模态技术,实现了离线可用、毫秒级响应与文化深度适配的智慧导览。系统涵盖用户端多模态导览、动态问答及管理端核心模块,经测试在响应延迟、问答准确率、运维成本等指标上表现优异,为烟台文旅数字化转型提供技术支撑,也为全国中小型场馆智能化升级提供可复制方案。

**关键词:** AI多模态交互;边缘智能;本地化知识图谱;场馆讲解机器人;智慧文旅

## 一、引言

### (一) 研究背景

数字技术与文旅产业融合催生智慧旅游发展新趋势,《智慧旅游创新发展行动计划》<sup>[1]</sup>明确培育新业态、建设沉浸式体验空间的目标。烟台文旅资源丰富,但场馆讲解存在形式单一、文化适配不足、数据安全与网络依赖等问题,亟需技术革新。

现有智慧文旅多采用“云端集中式”架构,难以满足核心需求。本研究聚焦烟台场景,融合边缘计算、知识图谱与多模态交互技术,开发AI讲解机器人系统,为产业数智化转型提供支撑。

### (二) 研究目的

一是革新游客游览体验,提供生动、精准、个性化的多模态导览服务;二是优化场馆运营管理,降低人力成本,提升管理效率;三是探索AI技术在文旅场景的创新应用路径,为产业数智化转型提供技术支撑;四是构建可复制的智慧文旅模式,为全国文旅产业发展提供标杆;五是深度挖掘烟台文化资源,推动地方文化传播与传播。

**基金项目:** 本文系2025年度山东省大学生创新创业训练计划资助项目S202511688020编号

**通讯作者:** 王影(1976.12--),女,汉族,辽宁鞍山人,硕士研究生,副教授,研究方向:信息管理与信息系统、人工智能技术应用。

**作者简介:** 郭栋贤(2003.03--),男,汉族,山东聊城人,山东工商学院本科在读,研究方向:信息管理与信息系统。

### (三) 研究意义

#### 1. 理论意义

本研究是对“本地化智能”理论在文旅场景的拓展,基于“技术-文化-场景”三维融合框架,丰富智慧文旅领域本地化智能系统的理论体系;同时作为“文化数字化”理论的技术实现路径探索,构建地域文化知识图谱与AI模型的适配机制,拓展文化数字化研究的技术维度,回应智慧文旅“技术泛化”与“文化失语”的理论争议。

#### 2. 实践意义

系统可显著提升烟台文旅场馆服务质量与游客体验,助力城市文旅品牌升级;本地化部署与低成本运维模式,破解中小型场馆智慧化改造的成本难题;通过数据反哺决策,形成“需求-技术-服务”的良性闭环。

### (四) 国内外研究现状和发展动态

#### 1. 国内研究现状

国内智慧文旅已形成“技术应用-政策支持-场景落地”格局,代表性企业及场馆已应用多模态交互与智能导览机器人,相关实践与王东涛<sup>[6]</sup>(2023)的调研结论一致。政策层面,河南、江苏等省份以专项资金推动智慧旅游落地,席建超<sup>[3]</sup>(2023)指出“数字文旅”“智慧旅游”是景区高质量发展核心方向,政策支持至关重要。

理论研究上,张云博<sup>[4]</sup>(2025)强调AI大模型引领产业智能转型,衍生出以用户体验为核心的“智慧旅游4.0”框架。但现有研究仍有不足:蒋涛<sup>[5]</sup>(2023)指出多数方案依赖云端、缺乏离线适配;文化内容通用化,未形成地域文化与AI模型深度融合。

#### 2. 国外研究现状

欧美国家文旅智能技术应用起步早,形成“沉浸式体

验-远程交互-技术赋能”发展路径。美国纽约自然历史博物馆的临场机器人、德国慕尼黑博物馆的互动装置，以及日韩的AR历史场景复原等项目，展现多模态技术潜力，与Fotis Lia<sup>[7]</sup> (2016)的研究结论契合。谷歌、微软等巨头推动多模态大模型与区块链融合，也证实相关技术价值。

理论研究依托“体验经济”与“本地化智能”理论，国外方案存文化适配、成本及合规局限，与国际主流研究方向一致。

### (五) 创新点与项目特色

#### 1. 创新点

端侧智能，离线可用。将本地化AI引擎与轻量化大模型部署于终端，实现基础功能离线稳定运行，减少网络依赖，保障服务连续性。

多模融合，高效交互。整合语音、视觉、定位数据与边缘计算，本地快速处理数据，降低交互延迟，提供流畅实时反馈。

知识图谱，文化深耕。构建烟台特色结构化知识图谱，让回答更精准适配本地文化，助力烟台文化传承。

#### 2. 项目特色

一是所有数据本地化存储，确保安全合规与数据主权；二是本地模型与数据库协同实现毫秒级响应，提升交互体验；三是轻量部署大幅降低运维成本，适配中小型场馆；四是知识库灵活融入地方民俗与方言，增强文化认同。

### 二、研究内容

本研究聚焦烟台市文旅场馆智慧化升级需求，以AI技术为核心，围绕“现状诊断-技术研发-系统构建-应用验证”展开，核心研究内容如下：

#### (一) 现状调查及政策融合

本研究通过文献分析、问卷调查与实地考察，对烟台市博物馆、蓬莱阁等场馆的游客、员工及管理者进行多维度调研。基于用户体验与传播学理论，系统剖析讲解服务互动弱、内容更新慢、资源整合不足等痛点，结合烟台文旅政策导向，提出“技术适配-资源整合-合规保障”三维升级策略，并融入“文旅七进”体系，推动形成“政策-技术-市场”协同闭环。

#### (二) 技术选型

##### 1. 本地化AI大模型部署

为实现数据安全与毫秒级响应，系统采用本地部署方案，基于轻量化MoE模型并通过知识蒸馏进行参数压缩，在NVIDIA Jetson Orin边缘设备上实现百亿参数模型的稳定运行。结合FPGA加速，确保AR渲染延迟低于16ms。

##### 2. 烟台文化知识图谱构建

整合烟台历史、非遗、地理与方言等多维度数据，运用SpaCy与规则引擎抽取实体关系，并利用图神经网络(GAT)进行表征优化，构建包含超10万节点的可动态更新知识图谱，实现AI与地域文化的深度适配。

##### 3. 多模态交互与边缘计算融合

集成语音、视觉及手势识别技术，实现离线语音唤醒(响应 $\leq 200\text{ms}$ )、视觉触发讲解等功能。通过边缘计算本地实时处理多模态数据，显著降低交互延迟，提升参观沉浸感。

##### 4. 隐私安全防护体系搭建

遵循《个人信息保护法》<sup>[2]</sup>，构建覆盖数据存储、传输与处理的全流程安全体系。采用AES-256加密、区块链存证及联邦学习架构，并设立三级权限管理，确保所有数据在本地闭环内处理，实现“零外传”。

### (三) 机器人系统功能分析与设计

#### 1. 用户端功能模块

系统提供多模态导览、动态问答、个性化游览、沉浸互动及设备控制五大核心功能，支持普通话、英语与烟台方言交互，并可实现AR合影、智能避峰及AI短视频生成等个性化服务。

#### 2. 管理端功能模块

管理端具备知识库可视化编辑、AI辅助讲解生成、机器人集群监控、游客行为分析等功能模块，支持与本地票务、预约系统对接，旨在提升运营管理效率。

### (四) 系统测试与试点应用

基于猎户星空机器人平台进行开发与部署，并在烟台市博物馆等场馆开展试点。通过功能、性能及用户体验测试，持续优化系统响应速度与问答准确率。依据试点数据评估应用成效，最终形成可复制的智慧文旅解决方案。

### 三、技术路线

本研究采用“需求驱动+技术预研”双轮驱动的技术路线，分六个阶段推进：

#### (一) 边缘计算层开发

采用MLPerf Inference评估设备推理性能，通过正交实验法优化传感器布局，利用蒙特卡洛模拟预测网络负载并设计弹性伸缩策略，保障边缘节点稳定运行。

蒙特卡洛模拟公式如下：

$$L(t) = \lambda(t) \cdot \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} d\tau \quad (1)$$

其中， $L(t)$ 为时间 $t$ 的网络负载， $\lambda(t)$ 为事件到达率(泊松过程)， $\beta$ 为衰减系数。

## (二) AI能力层开发

基于迁移学习微调 Wav2 Vec2.0 模型实现方言识别, 通过模型剪枝与量化压缩 YOLOv8s 模型 (减少 30% 参数量), 模型剪枝公式如下:

$$\min_{\theta} L(\theta) + \lambda \theta_1 \quad (2)$$

其中,  $L(\theta)$  为模型损失函数,  $\theta_1$  为参数  $L_1$  范数 (稀疏性约束)。采用对比实验评估不同多模态融合策略, 提升 AI 模型适配性与运行效率。

## (三) 知识中枢开发

运用 SpaCy+ 规则引擎提取非结构化数据中的实体关系, 通过图神经网络 (GAT) 优化节点表征学习, 采用 A/B 测试对比不同检索策略, 提升知识图谱检索准确率与响应速度。

## (四) 隐私与安全开发

开展隐私预算分析评估差分隐私对数据可用性的影

响, 差分隐私公式如下:

$$\epsilon_{total} = \sum_{k=1}^k \epsilon_k \quad (3)$$

其中,  $\epsilon_{total}$  为总隐私预算,  $\epsilon_k$  为第  $k$  次数据发布的隐私预算。通过渗透测试模拟攻击场景, 利用 TLA+ 形式化验证权限控制逻辑, 构建全方位安全防护体系。

## (五) 扩展与运维开发

使用 Postman 进行接口测试验证 API 功能与性能, 构建设备故障树诊断模型, 采用孤立森林算法挖掘日志检测异常行为, 保障系统稳定运维。

## (六) 系统集成与优化

每季度开展可行性评估与技术迭代, 结合用户反馈与 A/B 测试持续优化系统功能与体验, 最终实现系统在智能性、安全性与文化传播力三个维度的领先。

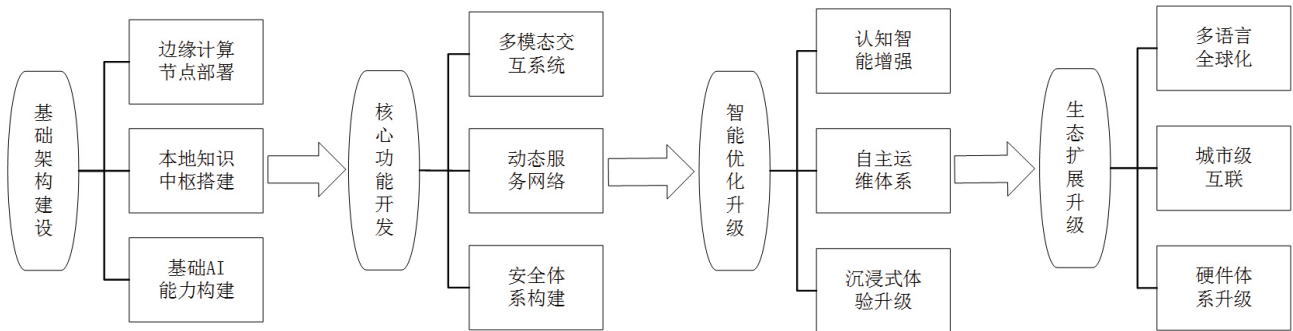


图1 技术路线图

## 四、结论与展望

本研究以烟台文旅场馆为场景, 研发了基于边缘智能与本地知识图谱的 AI 多模态讲解机器人系统。通过本地部署轻量化大模型、构建动态文化知识图谱、融合多模态交互与边缘计算, 实现了离线可用、毫秒级响应与文化深度适配的智慧导览。测试表明, 系统在响应延迟、问答准确率与运维成本上表现优异, 为中小型场馆智慧化提供了可行路径。

未来将拓展多语种与可穿戴设备支持, 深化情感化交互研究, 并探索基于联邦学习的多场馆数据协同机制, 以推动系统在更广泛文旅场景中的应用与迭代。

## 参考文献

[1] 文化和旅游部办公厅, 中央网信办秘书局, 国家发展改革委办公厅, 等. 关于印发《智慧旅游创新发展行动计划》的通知[Z]. 办资源发〔2024〕82号. 2024-05-06.

[2] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国个人信息保护法[L]. 中华人民共和国主席令第九十一号. 2021-08-20.

[3] 席建超. 以“数字文旅”“智慧旅游”推动景区高质量发展[N]. 中国旅游报, 2023-10-09 (002).

[4] 张云博. AI推动文旅产业智能转型: AI大模型引领的新时代[J]. 旅游学刊, 2025, 40 (02): 32-41.

[5] 蒋涛. 场景与心智: 关于AI大模型在文旅领域应用的问题思考[J]. 北京第二外国语学院学报, 2023, 45 (12): 41-45.

[6] 王东涛. 展厅机器人市场分析: 从技术发展、应用场景、市场规模和未来趋势谈起[J]. 机器人技术与应用, 2023 (04): 70-80.

[7] Fotis Lia. Experiencing Personalised Heritage Exhibitions Through Multimodal Mixed Reality Interfaces [J]. Procedia CIRP, 2016, 53: 231-236.