

室内融合定位技术在智慧博物馆的应用研究

Application Research on Indoor Fusion Positioning Technology in Smart Museum

冯婷婷,薛媚方,庄涛,王曦杰(中国联通智能城市研究院,北京 100048)

Feng Tingting, Xue Meifang, Zhuang Tao, Wang Xijie (China Unicom Smart City Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

近年来,随着文化强国战略的深入实施,博物馆的参观需求呈现出稳定增长的趋势。同时,室内定位技术的飞速发展,为博物馆的智慧化建设提供了强有力的支持。为了更好地服务游客,提出面向博物馆的智能导览服务建设方案。该方案以多源融合的定位算法引擎为核心,支持Wi-Fi、蓝牙、UWB、5G等多种室内定位技术,提供位置服务、智能体验、数字服务等功能,实现了游客的精准导航与个性化导览,助力博物馆的智慧化建设和运营。

关键词:

室内定位;导览服务;智慧博物馆

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.04.006

文章编号:1007-3043(2026)04-0033-06

中图分类号:TP391

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In recent years, with the deep implementation of the cultural power strategy, the demand for museum visits is exhibiting a consistent and steady growth trend. Simultaneously, the rapid development of indoor positioning technology has provided strong support for smart museums. A construction plan for intelligent navigation services tailored for museums is proposed to serve visitors better. This solution centers around a multi-source fusion positioning engine, supporting various positioning technologies such as Wi-Fi, Bluetooth, UWB and 5G. It provides location services, intelligent experiences, and digital services, achieving precise navigation and personalized guided tours for visitors. Consequently, it facilitates the intelligent construction and operation of museums.

Keywords:

Indoor positioning system; Guidance services; Smart museum

引用格式:冯婷婷,薛媚方,庄涛,等.室内融合定位技术在智慧博物馆的应用研究[J].邮电设计技术,2026(4):33-38.

0 引言

近年来,游览博物馆成为人们旅游时不可或缺的选项,这一现象主要得益于两方面的因素。首先,随着文化强国战略的深入实施,人们对传统文化的认同感和学习热情大幅度提升。其次,博物馆也在积极进行数字化升级改造,通过虚拟现实、增强现实和大数

据等技术,为游客提供更加丰富生动的展览主题和形式^[1-2]。室内定位技术有效助力了现代博物馆的智慧化建设。以室内定位为核心的智能导览服务不仅可以帮助游客获得精确的位置导航,还能使博物馆实时收集到游客流量和行为数据,进而实现客流的有效引导和资源配置的优化,提升服务质量。

1 室内定位技术发展

随着城市化进程的加速和商业综合体的迅猛发

收稿日期:2026-02-25

展,现代居民对高效精准的导航服务的需求日益增长。在此背景下,室内定位技术迅猛发展,其核心目标是在各种复杂多变的室内环境中实现位置的精准追踪,以提供更好的导航导览等应用^[3]。下面将从定位算法和定位技术2个方面来介绍当前市场的主流定位方式。

1.1 定位算法

定位算法从定位手段上分为两大类,即基于测距的定位算法和非测距定位算法。

测距定位算法是将观测信号,如到达时间(Time of Arrival, TOA)、到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)、到达角度(Angle of Arrival, AOA)、出发角度(Angle of Departure, AOD)、接收信号强度指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)等值转换为距离,再根据观测设备与已知位置的基站间的具体几何关系进行求解。在现实环境中,由于观测信号受到的干扰种类很多且强度难以预估计,所以基于测距的定位算法对设备的要求比较高。常见的不同测距技术的定位精度、成本与功耗如表1所示。

表1 常见测距技术对比

测距技术	精度	硬件成本	功耗
TOA	较高	高	高
TDOA	高	高	高
AOA	中	高	高
AOD	低	低	低
RSSI	低	低	低

非测距定位算法不测量距离,而是依赖基站网络的连通性、节点间跳数等网络自身信息来估算观测设备的位置,因此对设备要求较低,计算量和通信开销都更小,总体硬件成本和部署运维成本也更低。但在实际应用中,非测距定位算法的精确度都低于测距定位算法,因此市场占有率较低。常用的非测距定位算法有质心定位算法、距离向量-跳数(Distance Vector-Hop, DV-Hop)算法、指纹匹配定位算法等。

1.2 定位技术

常见的室内定位技术有二维码、蓝牙、Wi-Fi、超宽带(Ultra-Wideband, UWB)、5G基站等,其对比如表2所示。

1.2.1 二维码

二维码定位技术是一种零维定位,用户主动扫描二维码时即可判定用户当前位置在二维码对应展品

表2 常见定位技术对比

定位技术	精度/m	定位范围/m	成本	手机终端适配性
二维码	-	-	低	普通手机
蓝牙	BLE 4	5~10	低	普通手机
	BLE 5	0.3~1		
Wi-Fi	5~15	<100	低	普通手机
UWB	<0.3	<100	高	少数支持UWB的手机
5G	<1	<200	高	5G手机

设施附近。由于其成本低廉,现场施工改造简便,在国内景区得到广泛应用^[4]。使用二维码不仅可以获得用户定位信息,还可以与展品详情、多媒体讲解等内容相结合,提供多种导览互动形式,但是只能实现存在性定位,不具备实时追踪条件,并且需要用户主动发起扫码请求,交互操作过多。

1.2.2 蓝牙

蓝牙技术起源较早,技术发展成熟,并且安装部署和调试的成本较低,因此基于蓝牙的室内定位方案也占有较高的市场份额。蓝牙定位系统由定位标签、蓝牙信标、蓝牙网关及后端数据服务器构成。蓝牙信标不断向周围广播蓝牙信号,同时接收用户定位标签(通常是智能手机)的信号,通过蓝牙网关汇集数据,并在服务器端解算出具体的位置^[5]。根据环境复杂度和人流量情况,需要6~10 m部署一个蓝牙信标,才能保证定位精度达到要求。在实践中,蓝牙4.0使用RSSI方法能够达到5~10 m的定位精度,蓝牙5.1版本开始支持基于AOA和AOD测向和定位,能够达到0.3~1 m的定位精度。

1.2.3 Wi-Fi

Wi-Fi定位通常使用指纹算法,用户打开智能设备的Wi-Fi功能时,会探测到附近的Wi-Fi热点信号强度和MAC地址等信息,将这些信息与预先建立的数据库进行比对,就可以估算出设备的大致位置。Wi-Fi定位的优点在于成本低廉且覆盖范围广泛,可以利用现有的手机终端进行,无需额外部署专用设备。然而,其定位精度受人流、环境变化等的影响较大^[6-7],在商用环境中只能达到5~15 m的定位精度。

1.2.4 UWB

UWB定位技术是一种利用超宽带无线电信号进行高精度定位的方法。UWB信号的穿透力较强,具有较强的抗干扰能力和高分辨率特性,能够在复杂环境中实现亚米级的稳定定位,适用于室内环境以及存在大量障碍物的区域。然而,UWB信号衰减较快,通常

适用于中短距离定位,实现大规模定位需要部署的基站密度较高^[8];同时,定位终端需要专用的UWB定位模组,硬件和系统实现较为复杂,成本较高,不适合大规模普及。

1.2.5 5G

定位是5G新能力,3GPP组织在2019年的R16版本中新增了定位服务器新网元,定义了基于NR和5GC的定位架构;2020年,R17版本将普通商用定位精度提升到了米级以下,工业互联网等高精场景提升到了0.2 m以下,并在后续版本中持续演进5G定位能力,使其成为5G-A的关键能力之一。5G定位最大的优势就是依托于运营商通信网络,可以实现用户的无感定位。但是5G定位技术的商业成熟度较低,在需要新建5G网络的场景(例如新建高精工业厂区)中落地应用更多,对于存量市场改造成本较高,推广难度大。

1.3 小结

受项目预算、环境复杂度、施工条件以及定位精度要求等多重因素的制约,商超、展馆、工厂、医疗等不同领域在项目实施过程中,通常会根据实际情况选择最适合的定位技术。多源室内定位的深度融合技术也逐渐发展起来,并在市场落地与实际应用中体现出竞争优势^[9-12]。

2 博物馆对定位的需求

中国博物馆数量在全球范围内名列前茅,但每百万人口仅拥有4家博物馆,这一数字明显低于其他一些拥有较多博物馆的国家。结合未来发展规划,中国的博物馆数量仍有较大的增长空间。截至2023年,国

家统计局数据显示,全国共拥有6 140家博物馆(见图1),备案博物馆达到6 833家,这充分体现了国家对推动文化事业与满足民众需求的重视。国家文物局发布的数据表明,2023年中国博物馆接待观众12.9亿人次,创下历史新高,举办展览4万余个、教育活动38万余场。

随着博物馆游览热度的持续高涨,众多博物馆开始主动探索智能化路径,以提升参观者的整体体验并优化自身的运营效率^[13]。在这种背景下,定位技术的引入尤为重要。首先,定位技术可以显著提升游客的参观体验,通过在博物馆内部提供精准的导航服务,帮助参观者轻松找到感兴趣的展品和展厅,避免在寻找路径时浪费时间。其次,借助定位技术,博物馆可以实现导览服务的智能升级和展馆的管理优化。当参观者接近某个展品时,系统可以自动推送相关的文字、音频或视频解说,让参观者获得更深入的理解和更丰富的信息,而不再依赖传统的文字说明或人工导览。此外,定位技术能够帮助博物馆进行人流管理和数据分析。通过实时监测参观者的流动情况,博物馆可以优化展览布局,减轻某些展区的拥挤程度,同时也能收集到观众的兴趣偏好和行为习惯数据,有助于博物馆在未来策划和调整展览内容^[14]。因此,定位技术不仅提升了参观者的舒适度和便利性,还为博物馆的运营和管理提供了强有力的支持,成为现代博物馆不可或缺的技术手段。

3 智能导览服务建设方案

通过上述分析,迫切需要应用室内定位技术,将

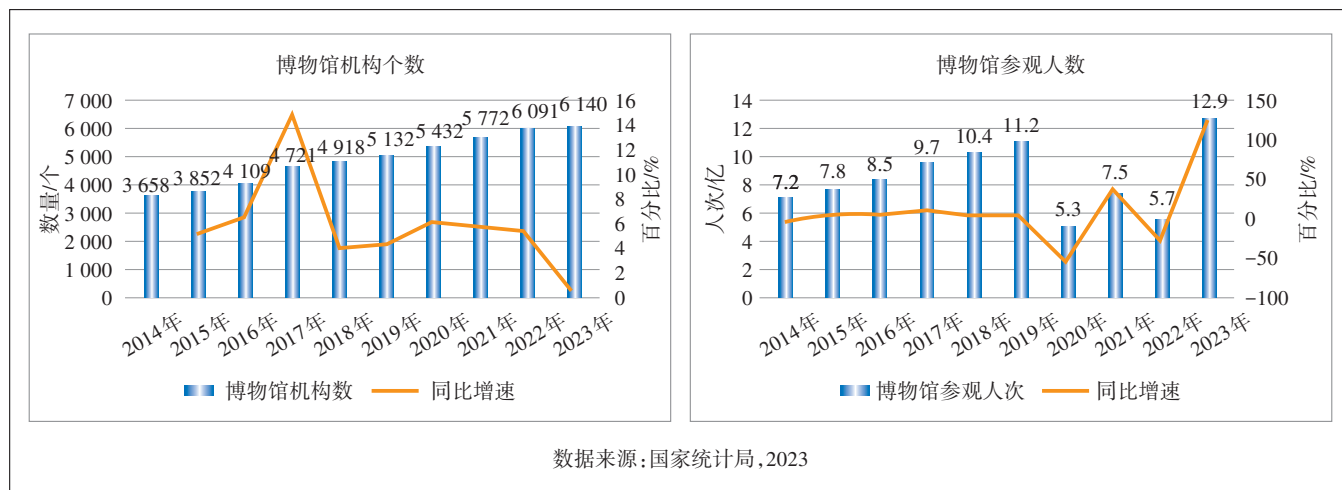


图1 博物馆机构数量和参观人数统计

智能导览与博物馆运营管理、游客体验进行有机结合,形成一套高效、智能且用户友好的导览服务系统。智能导览服务通过整合高精度室内定位技术、优化管理和提升游客体验的多项功能设计,全面提升博物馆

的运营效率和游客互动体验。

3.1 方案架构

智能导览服务整体分为传感层、数据层、能力层和服务层,其架构如图2所示。

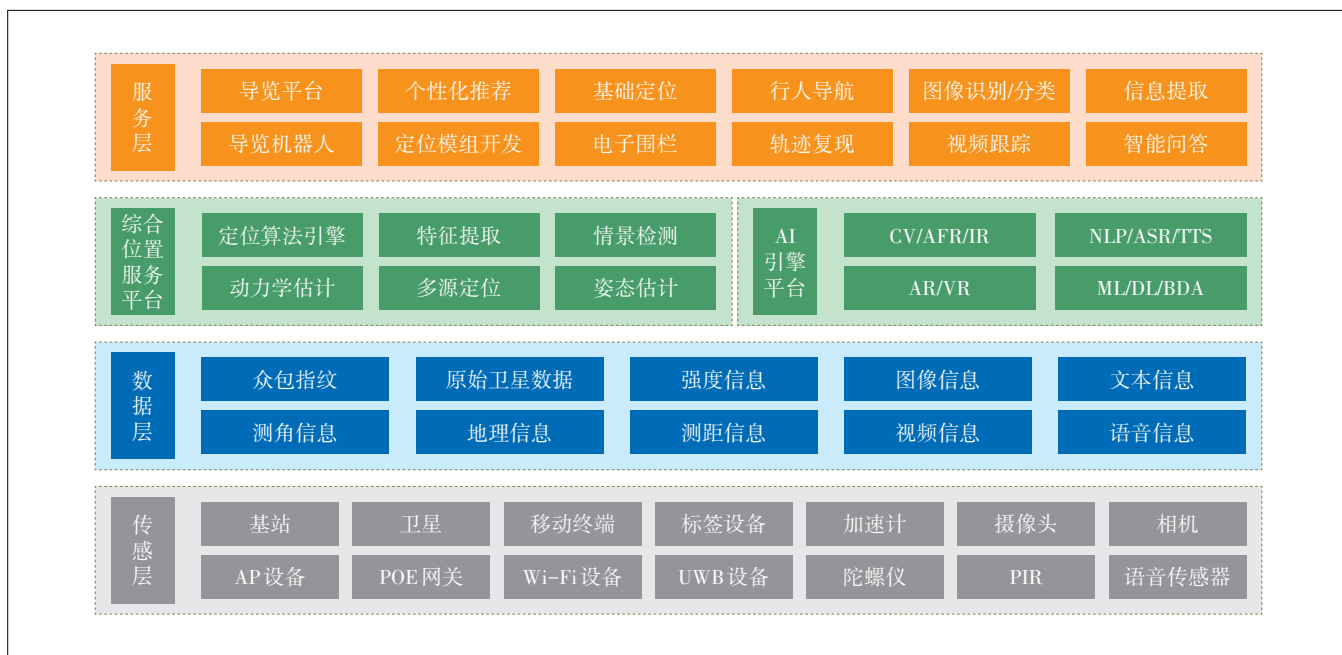


图2 智能导览服务方案架构

传感层通过传感器采集数据以供能力层的算法模型使用,可灵活接入多种技术传感设备,例如基站、UWB、蓝牙、摄像头等设施。数据层将采集到的数据进行分类存储,通过编制元数据字典、规范数据格式来实现多业务平台之间的数据互联互通。能力层包含2个平台,分别为综合位置服务平台和AI引擎平台。综合位置服务平台以定位算法引擎为核心,具有多源定位、特征提取、动力学估计、姿态估计等位置相关能力;AI引擎平台具备图像识别、语音识别与合成、自然语言处理等能力。服务层以API、SDK或本地化部署的形式向用户提供智能导览、位置服务、智能交互、视频追踪等服务。

3.2 定位算法引擎

定位算法引擎是整个智能导览服务的基石,通过高精度的定位服务,用户可以自动触发AR体验和数字内容推荐。

单一的定位方法已无法满足高精度、全覆盖和低成本的要求,多源融合的定位方法在室内外环境中能够提供更高的定位精度。定位算法引擎支持Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、全球卫星导航系统(Global Navigation

Satellite System, GNSS)、UWB、行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)等多种信号源,它基于粒子滤波技术来预测目标运动位置,减少定位的随机性并提升准确度。整个定位算法引擎按照功能的不同,划分为5个主要模块,包括采样定位终端、模型训练服务器、状态监测服务器、配置服务器以及融合定位服务器,其架构如图3所示。

采样定位终端包含采样和定位2个模块,用户使用采样模块获取定位信息,并对相应楼宇的位置指纹进行采样。当模型训练服务器接收到采样数据后,进行定位地图与采样数据的模型训练,并将模型文件推送至融合定位服务器。融合定位服务器定期接收模型服务器上传的定位模型文件以及配置服务器的配置文件,根据用户输入信号量返回预测位置,并定时向状态监控服务器发送系统状态信息,在提供实时精准位置信息的同时保证服务的稳定运行。状态监测服务器定期收集并分析融合定位服务器的关键数据(如CPU、内存使用率等),通过Web图表展示性能指标,以监测服务器的运行状况并支持数据决策。配置服务器管理全部模块的配置信息并及时将其更新至

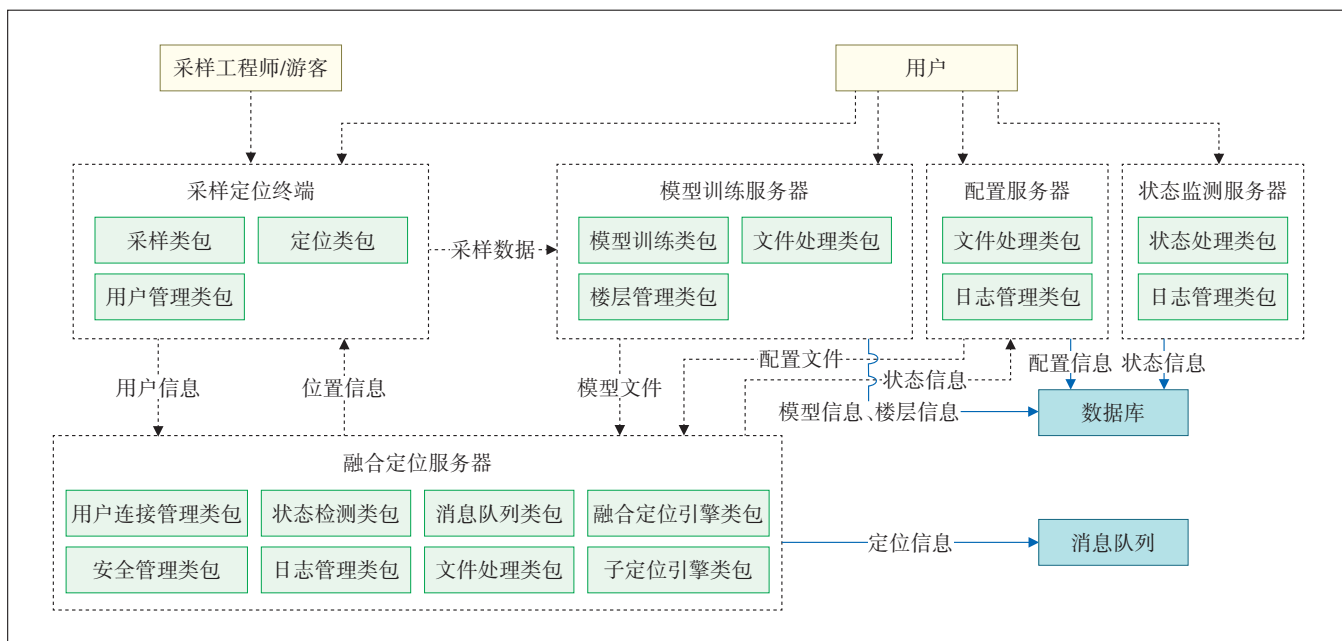


图3 定位算法引擎架构

其他服务器,以确保系统配置与最新的操作需求相匹配。

3.3 功能设计

智能导览服务凭借定位算法引擎可精确获得用户的实时位置,并与AR交互等前沿技术结合^[15],为用户提供位置服务和智能体验两大类功能,分别如图4和图5所示。同时,面向博物馆运营方,智能导览服务还提供数字管理功能(见图6),助力高效运营与精准服务。

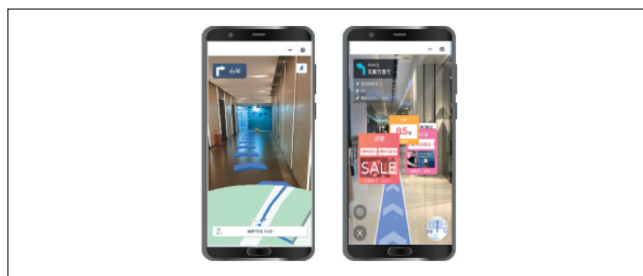


图5 智能体验

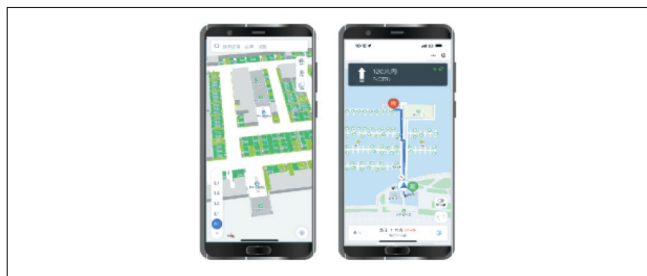


图4 位置服务

3.3.1 位置服务

位置服务主要包含4项功能,分别是室内定位、路网规划、行程跟踪和机器人导览。

室内定位功能使用多源融合的定位技术,实现了高精度的室内定位,为游客提供实时位置反馈。路网规划功能制定最短路径,并自动纠正游客偏离路线的



图6 数字管理

情况,可极大提升游客的游览效率。行程跟踪功能则为游客提供主题路线和应急情况的逃生路线,确保游客在紧急情况下能够迅速找到安全出口。机器人导览功能集成了智能语音、语义理解以及人脸识别技术,为游客提供全面而个性化的导览服务。

3.3.2 智能体验

智能体验主要包含4项功能,分别是立体交互地

图、AR讲解交互、AR可视化导航和AR游戏互动。

立体交互地图功能提供楼层切换和地图端搜索服务。游客可以通过该模块与3D地图和兴趣点(Point of Interest, POI)进行交互。AR讲解交互功能依托于游客的实时位置和摄像头扫描信息,为游客提供个性化的AR讲解服务,帮助他们更深入地了解展览内容。AR可视化导航功能通过AR技术显示导航路径,指导游客到达目标地点。AR游戏互动,例如AR寻宝,为游览过程增添参与感和趣味性。

3.3.3 数字管理

数字管理主要包含5项功能,分别是资讯数字化、内容数字化、服务数字化、管理数字化和大数据平台。

资讯数字化功能通过数字化方式展示博物馆的基本信息、地理位置和最新动态,方便游客获取相关信息。内容数字化功能为游客提供多媒体介绍,根据游客实时位置,自动调取音视频内容数据进行智能讲解。服务数字化通过实名制认证和在线预约等方式,提升游览效率。管理数字化功能主要服务于博物馆信息的高效更新维护,包括展览时间、场馆变动、展品位置、状态等,为管理提供更加便捷的解决方案。大数据平台功能旨在分析游客的注册信息和活动轨迹,帮助管理人员深入了解游客属性与偏好,提供更加精准的服务。

3.4 小结

智能导览服务采用模块化的设计与微服务架构,有效降低了程序耦合度,增强了系统的可维护性与可扩展性。依靠多源融合的核心定位算法引擎,智能导览服务提供了精准的室内定位、便捷的路网规划与行程跟踪,还融入了立体交互地图、AR讲解等创新元素,极大地丰富了游客的参观体验。同时,数字管理模块的引入,实现了资讯、内容、服务及管理的全面数字化,为博物馆的高效运营与精准服务提供了有力支撑,为博物馆的智能化转型与服务升级开辟了新的路径。

4 结论与展望

多种定位技术融合的室内高精度定位,是博物馆智能导览服务的核心。它不仅为游客提供了无缝衔接的精准定位导航体验,也为沉浸式立体交互地图及趣味AR游戏互动等前沿功能奠定了坚实的位置信息基础,极大地丰富了参观者的体验层次,同时为博物馆的运营策略优化、资源高效配置提供了宝贵的数据

支持,助力博物馆更加科学、精准地管理。展望未来,下一步的发展将聚焦于提升定位精度与系统的稳定性,同时加强数据隐私与安全的保护措施,确保用户信息的安全无忧。此外,还可以将应用场景拓展至购物中心、医院等多元化领域,以更加广泛的服务范围和优化升级的用户体验引领智能服务的新风尚。

参考文献:

- [1] 王荣,宁静,苗翩.智慧旅游背景下博物馆旅游质量提升研究[J].可持续发展,2023,13(5):1478-1483.
- [2] 张晓东,韩立钦,王利军.基于时空信息云平台的景区智能导览系统设计[J].矿山测量,2018,46(5):81-84.
- [3] 席瑞,李玉军,侯孟书.室内定位方法综述[J].计算机科学,2016,43(4):1-6,32.
- [4] 张莉娜,廖辰刚.图书馆微信公众平台二维码定位导向系统研究[J].图书馆理论与实践,2016(7):97-100.
- [5] 吴小竹,陈崇成,刘先锋,等.集成iBeacon室内定位的文化旅游虚拟导览系统[J].计算机工程,2016,42(10):6-11.
- [6] 郭旋.基于蓝牙、地磁和Wi-Fi定位技术的博物馆室内定位实验研究[J].东南文化,2022(增刊2):101-107.
- [7] 叶子.博物馆移动导览中的综合性室内定位方法研究及系统实现[D].杭州:浙江大学,2015.
- [8] 刘鹏.UWB技术在展馆智能语音导览系统中的应用[J].中国科技信息,2023(5):63-65.
- [9] 赵稳稳,罗智杰,曹阳,等.基于多模融合的室内定位算法研究[J].现代电子技术,2017,40(18):7-10.
- [10] 杨超.智慧博物馆视阈下室内定位的技术方法探析[J].科学教育与博物馆,2021,7(3):262-269.
- [11] 赵万龙,孟维晓,韩帅.多源融合导航技术综述[J].遥测遥控,2016,37(6):54-60.
- [12] 朱晨迪,贾俊,张斌,等.融合地图信息与Wi-Fi地标的室内粒子滤波定位算法[J].山东科技大学学报(自然科学版),2020,39(1):91-99.
- [13] 王琳.基于文旅融合背景的博物馆旅游经济发展研究[J].西部旅游,2024(10):109-111.
- [14] 耿然.馆藏文物及博物馆的数字化管理探讨[J].文物鉴定与鉴赏,2021,207(12):109-113.
- [15] 周璟瑜.增强现实技术在博物馆教育中的应用研究[J].自然科学博物馆研究,2017,2(增刊2):99-103.

作者简介:

冯婷婷,博士,主要从事5G+北斗定位导航技术在智能城市领域的技术研究与产品研发工作;薛媚方,工程师,主要从事5G+北斗定位导航技术在智慧城市领域的产品研发工作;庄涛,工程师,硕士,主要从事智慧城市领域ICT解决方案及产品研发工作;王曦杰,工程师,硕士,主要从事5G+北斗定位导航技术在智慧城市领域的产品研发工作。