

“5G+北斗” 通导融合技术在文博领域的应用

Application of "5G+BeiDou" Integrated Communication and Navigation Technology in Cultural Heritage Field

石秀敏¹,冯飞飞¹,刘静漪¹,王曦杰²(1. 故宫博物院,北京 100009;2. 中国联通智能城市研究院,北京 100048)
Shi Xiumin¹,Feng Feifei¹,Liu Jingyi¹,Wang Xijie²(1. The Palace Museum,Beijing 100009,China;2. China Unicom Smart City Research Institute,Beijing 100048,China)

摘要:

传统文物搬迁与博物馆运营模式在动态管控、全域感知与数据协同方面存在短板。以故宫博物院北院区为例,探讨“5G+北斗”通导融合技术在文博领域的应用方案。构建覆盖“出库—在途—入库”全流程的智能管控体系,实现动态厘米级定位、环境参数实时感知与秒级告警联动,有效降低文物运输环节的损伤风险。同时,从智慧保护、智慧管理、智慧服务、智慧决策四大维度,搭建基于高精度时空能力的业务支撑体系,推动博物馆运营从数字化向智能化、从静态管理向动态调控、从单点应用向全域协同的范式升级。

Abstract:

Traditional models of cultural relic relocation and museum operation exhibit significant shortcomings in dynamic management and control,full-domain situational awareness,and data collaboration.It explores the application and implementation schemes of "5G+BeiDou" integrated communication and navigation technology in the cultural heritage field. A full-process intelligent management and control system covering the entire chain of "warehouse outgoing—in transit—warehouse incoming" is constructed,enabling dynamic centimeter-level positioning,real-time perception of environmental parameters,and second-level alarm linkage,thereby effectively reducing the risk of damage to cultural relics during transportation.A business support system based on high-precision spatio-temporal capabilities is established across four dimensions: intelligent protection,intelligent management,intelligent service,and intelligent decision-making.This framework drives the paradigm upgrade of museum operations from digitalization to intelligence,static management to dynamic regulation,and single-point applications to full-domain collaboration.

Keywords:

5G+BeiDou;Integrated communication and navigation;Smart museum;Cultural relic relocation

关键词:

5G+北斗;通导融合;智慧博物馆;文物搬迁
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.07.003
文章编号:1007-3043(2026)07-0013-05
中图分类号:TN927
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式:石秀敏,冯飞飞,刘静漪,等.“5G+北斗”通导融合技术在文博领域的应用[J]. 邮电设计技术,2026(7):13-17.

1 研究背景与意义

故宫博物院北院区是国家“十四五”规划重大文化设施,承担故宫大型、脆弱质文物的保存、修复与展示功能,规划建设24间共约2.5万m²的现代化文物库房。文物跨院区搬迁涉及海量珍贵藏品,对定位精度、环境稳定性、全程可追溯性要求极高;传统模式依

赖人工登记、RFID近场识别与本地存储,存在定位粗放、监测滞后、溯源断裂等问题,难以满足文物安全与精细化管理需求。同时,作为面向公众的大型文博场馆,北院区需构建覆盖全域的智慧导览体系,解决传统导览路线模糊、内容单一、室内外导航衔接不畅、个性化适配不足等痛点,提升观展体验与文化传播效能。2类场景的管控需求与传统模式的局限,亟需新一代时空信息技术提供系统性支撑。

5G+北斗通导融合技术整合5G广覆盖通信与北

收稿日期:2026-05-15

斗高精度时空能力,通过多源技术融合实现智能无感切换,达成室内外一体化连续精准定位,形成广覆盖、高精度、低时延的时空服务能力,为文博领域痛点提供系统性解决方案。目前该技术已在多领域规模化应用,但在文博场景的深度融合研究仍处于起步阶段,缺乏完整技术架构与工程验证。

本文以故宫博物院北院区为研究对象,开展5G+北斗通导融合技术的文博场景适配研究,设计文物搬迁全流程智能管控方案与智慧导览体系,探索文博领域时空智能的标准化实施路径,为文化遗产智慧保护与传承提供技术支撑。

2 业务需求及技术现状

2.1 故宫博物馆业务需求及数字化技术现状

2.1.1 故宫博物院的需求

2.1.1.1 故宫北院文物搬迁与运营核心需求

文物搬迁需以文物安全与完整性为核心目标,纸质文物、丝织品、大型金属文物分别对温湿度、光照、振动加速度存在严格技术阈值。传统人工记录与RFID识别方式存在定位精度低、环境感知滞后、数据无法实时回传等问题,需依托厘米级定位、毫秒级环境感知技术实现全程无损防护;通过数据互通技术完成运输轨迹、环境档案与藏品管理系统的对接,构建“实体+数字+轨迹”三维溯源体系;搭建一体化数字管控平台,实现搬迁全流程数据留痕与责任可溯。

故宫北院区作为现代化博物馆,需构建如下三大技术体系。

a) 智慧保护层面:采用环境实时监测与智能调控技术,实现库房/展厅参数动态调节、文物状态感知与虚拟修复辅助。

b) 智慧管理层面:运用藏品全生命周期溯源、跨院区业务协同、展陈全流程管控、建筑设施一体化运维等技术手段,实现文博资产与空间运营的精细化、一体化智慧管控。

c) 智慧服务层面:集成室内外无缝定位、个性化导览、AR/VR交互技术,搭建线上线下智慧传播体系。

2.1.1.2 构建智慧博物馆的需求

智慧博物馆是继传统博物馆、数字博物馆之后的新型业态,是以时空数据为核心,融合云计算、大数据、物联网、AI等技术的新型文博技术架构^[1],通过全域感知、泛在互联、智能应用,赋能藏品保护、研究、展示与服务。故宫北院区将围绕文物保存、修复、展陈、

数字传播等核心业务,构建“智慧保护、智慧管理、智慧服务、智慧决策”四位一体的技术体系,实现场馆管理精细化、跨院协同高效化、公众服务智能化,全面提升文化遗产保护、运营与传播的技术水平。

2.1.2 故宫博物院数字化技术现状

面对故宫北院区文物搬迁、日常运营及智慧博物馆建设的多重业务需求,故宫博物院在文博数字化领域已具备深厚积累与成熟应用基础,可为后续智慧化升级提供有力支撑。

故宫博物院在文博数字化领域积累深厚。在藏品管理方面,自1998年起先后建成文物账目管理、出入库、修复等系统,完成195万余件藏品档案数字化。在数字化采集方面,截至2025年已完成超100万件文物采集(数字化率超50%),制作1500余件高精度三维模型及全部开放区域360°全景影像;“数字文物库”已发布10万件高清影像,浏览量超3300万次^[2]。在技术应用方面,2005年实现展厅温湿度全面监测,并构建“中国古代可移动文物概念参考模型(CRM-ACA)”应用于知识图谱。此外,故宫博物院牵头国家重点研发计划“大型综合性博物馆数字孪生关键技术研究与服务示范”,相关国际标准已获得立项。丰硕的数字化成果为北院区智慧博物馆建设提供了坚实的数据基础、技术支撑与实践经验。

2.2 5G+北斗通导能力介绍

北斗卫星导航系统是我国自主建设、独立运行的全球卫星导航系统,是国家重要的时空基础设施和新型信息基础设施,在保障国家战略安全、推动产业数字化转型中发挥着重要的支撑作用,同时具备独具特色的短报文通信服务能力。5G作为新一代移动通信技术,具有高速率、低时延、大连接的特点^[3]。构建“5G+北斗”通导融合技术体系,已成为综合定位导航授时(PNT)体系发展的重要方向^[4]。

2.2.1 “5G+北斗”通导能力体系架构

5G+北斗通导一体架构主要从天基、地面两层完成基础能力布局。北斗导航系统、5G网络(含室外基站与室内多技术融合定位)与通信卫星协同架构如图1所示。该架构可实现室外高精度北斗服务、室内亚米级定位,并通过卫星通信弥补移动网络覆盖盲区提升整体定位服务能力。

a) 天基层:天基层由北斗导航卫星和通信卫星组成,提供全域广域定位、授时服务,为全场景应用提供统一时空基准。系统具备导航定位和通信数传两大

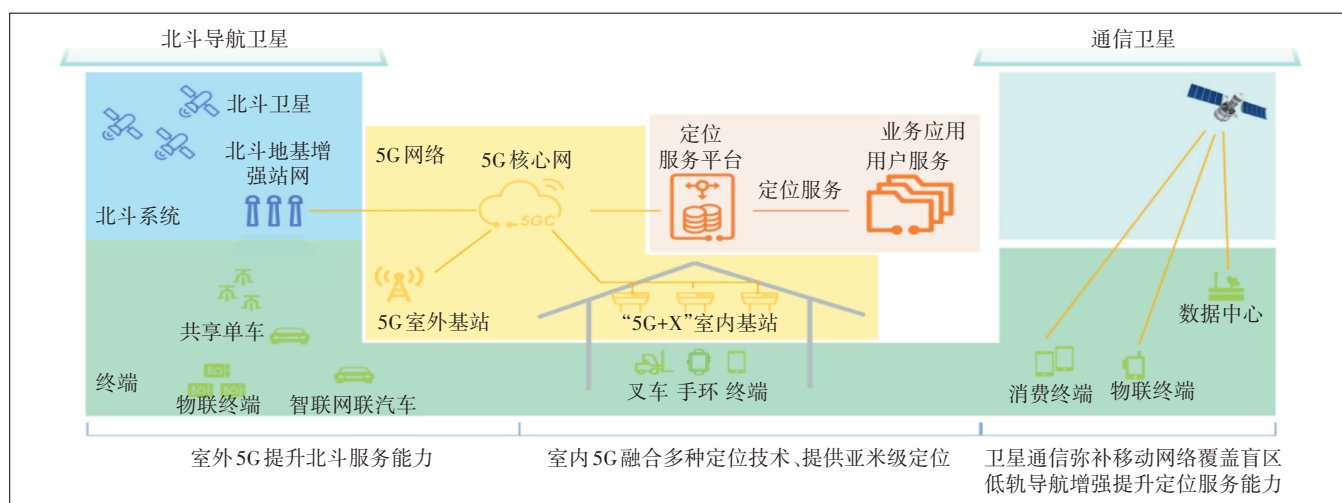


图1 “5G+北斗”通导能力体系架构

功能,可提供定位导航授时、短报文通信、星基增强、地基增强、精密单点定位等服务^[5]。

b) 地面层:通过北斗地基增强站、5G室外基站、5G室分基站、室内外定位设备(UWB、蓝牙等)、物联网传感器,实现定位精度提升、数据实时回传与网络协同覆盖^[6]。5G网络与室内外定位设备(如UWB、蓝牙)协同,可弥补卫星信号在室内、复杂建筑遮挡区域的覆盖短板,实现室内外定位的无缝衔接^[7]。

2.2.2 “5G+北斗”通导能力体系架构关键技术

a) 室外北斗 RTK/PPP-RTK 差分定位^[8]:依托地面基准站播发轨道偏差、卫星钟差、电离层延迟、对流层延迟等多维差分改正数,通过载波相位双差观测模型消除公共系统误差,完成整周模糊度固定解算,实现动态厘米级定位。

b) 室内 5G+X 融合定位算法:融合 5G 定位、北斗定位、惯性导航、UWB、蓝牙等技术,通过卡尔曼滤波优化,实现分米级定位^[9],实现室内外定位无缝切换。

3 基于“5G+北斗”的文物搬迁全流程管控

结合故宫博物院业务需求,依托“5G+北斗”通导融合技术高精度时空定位、低时延传输、全域连续感知的核心特性,支撑文物搬迁全流程闭环管控。运输环节实现动态厘米级定位、轨迹实时绘制、越界与环境异常秒级联动,保障转运全程可控;库房环节融合室内定位技术,实现文物实时追踪、柜架精准定位与自动化盘点,完善全流程追溯体系。

3.1 文物运输高精度定位与溯源

依托北斗 RTK/PPP-RTK 差分定位与 5G 通信融合

技术,构建文物运输全流程高精度路径管控与可视化溯源一体化体系。

a) 高精度定位部署:针对珍贵易损文物转运的高安全技术要求,在运输车体与文物包装箱(柜)上部部署北斗高精度定位终端,通过 5G 网络将定位数据低时延回传至搬迁管控平台,完成文物动态厘米级定位解算^[10]。

b) 轨迹监测与回溯:管控平台可秒级获取文物实时坐标、行驶速度等数据,完成运输轨迹精准绘制,支持实时监测与历史轨迹回溯^[11],从根本上解决传统定位方式精度粗放的痛点。

c) 平台针对预设运输路线、装卸区域及危险路段设置多维电子围栏,车辆越界、路线偏离或违规停留时立即触发告警;支持历史轨迹回放、路径合规性核查与全程责任追溯,规避运输失联、偏航、私自改道等隐患,为文物安全转运提供时空技术支撑。

d) 全流程可视化与溯源管理:依托前述高精度定位、轨迹监测与电子围栏管控能力,构建文物搬迁全流程可视化管控平台,实现出库—在途—入库全链路数据汇聚与可信溯源。平台基于统一时空数据模型,融合多源数据,结合 GIS 地图与时间轴搭建可视化看板,实现时空轨迹与环境参数叠加展示、异常高亮预警,自动生成电子溯源报告。文物入库后,对接库房室内定位体系,支撑实时追踪、货架精确定位与智能盘点,夯实转运至仓储全环节数字化管理底座。

3.2 运输环境实时感知

基于 5G+北斗通导融合技术,搭建文物运输全流程环境实时感知与异常告警系统,构建“监测感知—

异常研判—应急处置”闭环技术管控机制。文物运输环境监测工作流程如图2所示。

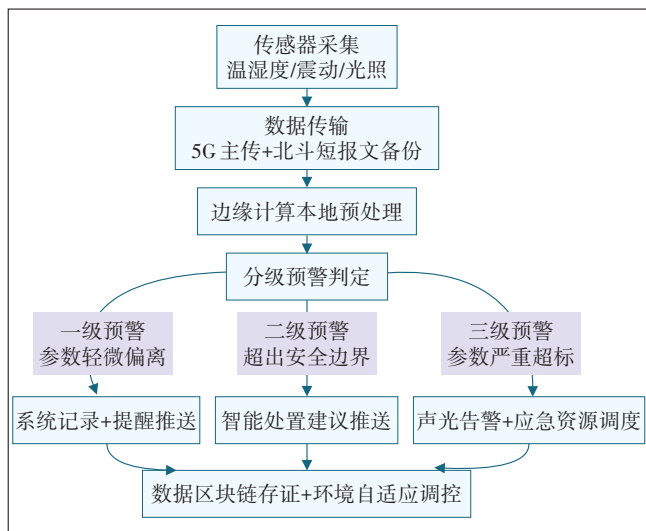


图2 文物运输环境监测工作流程

在文物包装箱(柜)与运输车厢内部署低功耗智能传感终端,实时采集温湿度、振动、光照等环境参数,数据以5G为主链路,低时延回传管控平台,保障监测数据连续传输。

管控平台依据文物材质设定个性化环境阈值,构建三级预警机制,分级触发提示、处置建议与声光告警及应急响应。告警联动智慧保护模块,通过车载边缘计算调控车厢环境,同步推送告警与精准位置调度应急资源,全流程数据经区块链存证,降低环境波动对文物的损伤风险。

4 “5G+北斗”故宫智慧导览与态势感知应用

4.1 高精度导览与个性化服务

“5G+北斗”融合室内定位技术,为观众提供室内外无缝衔接的高精度导览与智能化、个性化文博服务,确保观众在院区全域可获取连续稳定的位置服务。整个智慧导览服务流程如图3所示。

a) 全域定位支撑:依托融合定位技术,确保观众在院区全域可获取连续稳定的位置服务,为智慧服务奠定基础。

b) 伴随式智能导览:系统根据观众实时位置,自动触发附近展品的语音讲解与图文介绍,实现“走到哪、讲到哪”的伴随式导览。

c) 个性化推荐与多端适配:通过用户行为分析与智能推荐技术挖掘观众兴趣偏好,动态推送个性化展

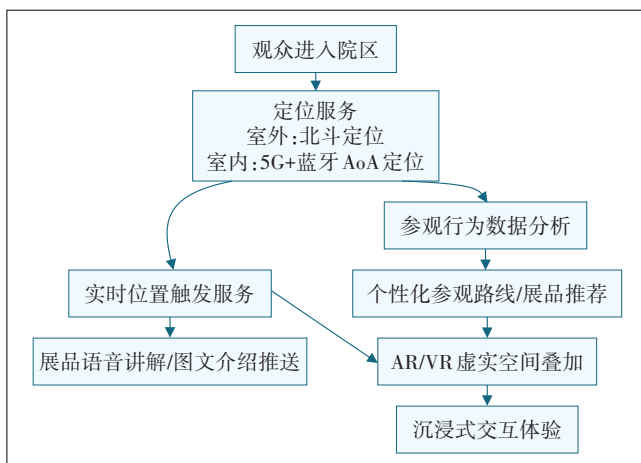


图3 室内外无缝高精度导览服务流程

览、文创及参观路线;支持小程序、APP及导览终端多端使用,全面提升观展便捷性与文化体验深度。

4.2 空间交互与沉浸式体验

以高精度时空定位技术为核心支撑,为AR/VR沉浸式展示赋予精准空间交互能力。

a) 虚实叠加与数字再现:观众使用智能终端时,系统通过定位技术获取实时位置与朝向信息,将虚拟内容精准叠加于现实场景,实现动态文物解读;观众驻足展区时,系统自动触发历史场景三维复原动画,完成传统工艺流程数字化再现。

b) 低时延同步与多人交互:借助5G低时延传输技术,保障虚拟内容与观众动作实时同步,通过多人协同交互技术,支持同一空间内多名观众对虚拟文物操作互动。

4.3 文博大数据分析与态势感知

基于空天地一体化数据采集与汇聚技术,构建全域大数据分析态势感知体系,核心内容包括如下2点。

a) 多源数据全域汇聚:通过空天地一体化数据采集技术,实现文物位置与状态、环境监测参数、观众动线行为、设备运行能耗、安防告警等多源异构数据的实时采集与全域汇聚,搭建统一的文博大数据资源池。多源数据汇聚架构如图4所示。

b) 三维态势智能分析:依托时空数据建模与大数据分析技术,从三大维度实现全局态势感知,一是安全态势:实时监测文物环境异常与位置越界,动态评估风险等级并主动预警;二是服务质量:分析展厅客流密度、展品热度与观众满意度,识别服务薄弱环节;三是运营效率:评估设备能耗、人员调度与跨院协同

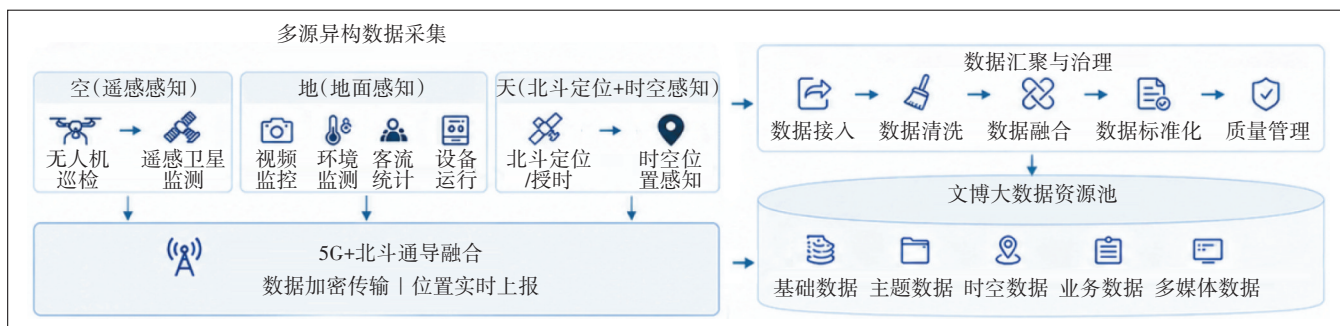


图4 多源数据汇聚架构

效能,挖掘管理优化空间。

5 总结与展望

本文以故宫博物院北院区为案例,构建了“5G+北斗”通导一体技术在文博领域的应用体系。在文物搬迁场景中,实现全流程智能管控,达成动态厘米级定位、环境实时感知与秒级告警联动;在智慧导览领域,依托室内外无缝融合定位,打造全域智慧服务,实现展品精准讲解、路线智能规划与虚实沉浸式交互,全面推动博物馆运营从数字化向智能化、从静态管控向动态调控、从单点应用向全域协同的升级。该系统依托技术融合赋能,助力博物馆实现多维度深层次转型。

a) 感知模式转变:实现从被动记录到主动感知的升级,完成文物运输、库房管理数据的实时自动采集,依托实时监测实现异常即时预警与风险前置管控。

b) 溯源能力转变:实现从模糊轨迹到精准溯源的升级,依托厘米级定位和连续环境监测,构建文物全生命周期溯源链条;同步沉淀观众参观数据,为展陈优化与服务迭代提供量化支撑。

c) 管控模式转变:实现从静态管理到动态调控的升级,依托实时感知数据完成文物存储环境自适应调节与运输路径优化;结合客流数据实现展厅人流疏导与路线智能调配。

d) 服务模式转变:实现从标准化供给到个性化适配的升级,依托高精度定位与行为分析定制差异化参观路线与个性化讲解;结合AR/VR技术还原历史场景,推动文化传播从单向展示转向双向互动。

未来将持续开展文物搬迁算法验证,优化文物运输全流程管控技术体系;深化智慧导览场景的技术迭代,融合多模态大模型、AR/VR等技术,升级个性化交互与沉浸式体验能力;持续推动技术与AI、数字孪生

的深度融合,完善博物馆全场景数字孪生应用体系,推动“5G+北斗”时空智能技术在文博领域的规模化、标准化应用,为文化遗产的智慧保护与活态传承提供持续的技术支撑。

参考文献:

- [1] 张小朋. 基于统一数据平台和大语言模型的智慧博物馆技术路径研究[J]. 信息与管理研究, 2025, 10(3): 1-16.
- [2] 故宫博物院. 故宫博物院数字文物库[EB/OL]. [2026-04-07]. <https://digicol.dpm.org.cn/>.
- [3] 洪学敏,许雪婷,彭放,等. 基于5G移动通信系统融合定位的关键技术与系统架构演进[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2021, 60(3): 571-585.
- [4] 李建文,王乐,张越. 北斗-5G 融合定位关键技术及在智慧文旅中的应用[J]. 卫星应用, 2024(8): 35-40.
- [5] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统公开服务性能规范(3.0版)[EB/OL]. [2026-04-26]. <https://www.doc88.com/p-10259852780267.html>.
- [6] 中国联通. 5G智能室内数字化定位技术白皮书[R]. 2025.
- [7] 马雨薇,武建锋,赵爱萍,等. 一种北斗+5G试验场景构建及联合定位结果分析[J]. 时间频率学报, 2024, 47(3): 202-209.
- [8] 章繁,柴洪洲,王敏,等. BDS-3三频非差非组合PPP模糊度快速固定[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2025, 50(4): 656-665.
- [9] 张凯丽,涂锐,李芳馨,等. 基于5G+UWB的室内定位算法研究[J]. 全球定位系统, 2024, 49(3): 38-44.
- [10] 曹新运. 北斗/GNSS广域快速精密单点定位研究进展[J]. 科技导报, 2025, 43(18): 45-54.
- [11] 薛嘉琛,武建锋,焦喜康,等. 一种基于北斗+5G的联合定位系统[J]. 无线电工程, 2022, 52(6): 1004-1012.

作者简介:

石秀敏,毕业于北京商学院,研究员,学士,主要从事博物馆数智化建设相关研究工作;冯飞飞,毕业于解放军信息工程大学,助理研究员,学士,主要从事博物馆数智化建设相关研究工作;刘静漪,毕业于美国俄勒冈州立大学,馆员,硕士,主要从事博物馆藏品数字化管理相关研究工作;王曦杰,毕业于中国传媒大学,青托人才,工程师,硕士,主要从事智慧文旅、博物馆相关产品研发工作。