

# 白草口长城保护传承数字化进阶途径

◆ 杨继东

## 编前语

在文物保护研究中,特别是白草口长城面临着许多复杂的问题,如地理环境偏远、风雨侵蚀严重,经年累月造成一些不可预测的隐患,所以当我们走进人工智能时代时必须选择数智的方式以提高白草口长城的高质量保护和活化利用,数学模型的选择需紧密结合具体应用场景和数据特性。我们通过国内外数模使用的典型案例研读,挑出以下优化后的模型选择框架并提出实施建议,同时整合学术前沿与实际需求。

### 一、模型选择与场景适配

该框架将理论研究与工程实践相结合,既包含最新技术进展(如NeRF、多模态Transformer),又强调落地实施的标准化流程。建议根据长城及附属设施文物类型(可移动/不可移动、有机/无机材质)选择适配模型,并通过数字仿真预演验证了方案可行性,特选择如下:

## 二、前沿技术融合路径

### 1. 数字孪生系统构建

集成BIM+GIS+IoT数据流,通过联邦学习实现多遗址数据协同训练。例如兵马俑博物馆建立的文物健康度数字孪生体,实现裂缝扩展预测精度达89%。

### 2. 跨模态数据融合

采用多模态Transformer统一处理X射线荧光光谱、红外热成像等多源数据,破解青铜器铸造工艺复原难题。秦始皇帝陵博物院项目成功解码青铜剑表面处理工艺。

### 3. 可解释性增强技术

结合SHAP值分析与领域知识图谱,构建文物劣化因果推理链。大英博物馆在丝织品保护中,通过该技术发现温湿度突变对染料褪色的关键影响。



## 三、实施路线图建议

### 1. 数据准备阶段

建立标准化文物本体数据库(参照ISO 21127:2020 文化遗产信息标准)。

部署低功耗边缘计算节点(如NVIDIA Jetson Nano),实现田野环境实时数据清洗。

### 2. 模型开发阶段

优先采用迁移学习策略(如ImageNet预训练模型+微调)。

开发文物专用数据增强方法:如基于StyleGAN的纹样生成算法。

### 3. 验证评估阶段

建立多维度评估体系:技术指标(PSNR、SSIM)+保护伦理评分。

构建专家-AI协同评审机制(德尔菲法+模型可解释性模块)。

## 四、伦理与风险管控

### 1. 数字版权保护

采用区块链存证技术(如蚂蚁链文物数字指纹系统),确保重建模型的知识产权。

### 2. 干预风险预警

开发文物修复模拟沙盘系统,通过蒙特卡洛仿真预测干预措施的长周期影响。

### 3. 数据安全体系

构建符合《文化遗产数据安全白皮书》的三层加密架构:边缘端(AES-256)→传输层(量子密钥)→云平台(同态加密)。

## 五、三维扫描技术在文物修复中的应用案例

三维扫描技术近年来被广泛应用于文物保护和修复领域,它不仅能够提供高精度的数字化模型,还能够在不接触文物的情况下获取其几何信息和纹理细节。以下是几个具体的三维扫描技术在文物修复中的应用案例:

### 1. 苏州博物馆《明隐山人像真迹展》

在这个展览中,三维扫描技

术结合增强现实(AR)技术,为观众提供了虚实并置的体验。通过三维扫描仪获取文物的精确数据后,利用AR技术将虚拟信息叠加到实际文物上,使得观众可以更深入地了解文物的历史背景和文化内涵。

### 2. 故宫博物院导览服务

故宫博物院采用了三维扫描技术和扩展现实(XR)技术来提升导览服务质量。三维扫描技术用于创建文物的高精度数字模型,而XR技术则让游客可以通过智能设备看到更加丰富、生动的导览内容,极大地增强了参观体验。

### 3. 中国科技馆《超视觉AR缩影展》

此次展览利用三维扫描与AR技术重建了一些古代建筑和历史场景,使观众能够进入虚拟的历史环境中,感受文物所蕴含的文化氛围。这种技术的应用不仅有助于保护原物免受损害,还能让更多人以新颖的方式接触到文化遗产。

### 4. 北京天坛的修复工作

对于北京天坛这样具有重要文化价值的古建筑,三维扫描技术发挥了重要作用。通过对受损部分进行扫描,技术人员获得了详细的尺寸测量和形状重建数据,从而指导后续的实际修复过程。这种方法减少了手工操作可能带来的误差,并提高了工作效率。

### 5. 国家图书馆数字馆展览

国家图书馆运用三维扫描及AR技术打造了一个虚拟的数字馆展览平台。观众只需使用手机或其他电子设备,就能在线浏览高质量的文物图像及其相关信息,实现了跨越时空限制的文化传播目标。

以上案例展示了三维扫描技术如何有效地支持文物修复工作,从数据采集到最终呈现给公众,每一个环节都体现了这项先进技术对于保护人类共同遗产的重要意义。我们白草口长城要学习上面案例的使用经验,也可将白草口长城以数字化的方式让人们实现沉浸式体验、远程浏览和白草口长城上的历史重要人物对话,实现活化利用,让人们在不同场景中享受白草口长城这份世界级文化遗产的公共文化产品。

应用场景	推荐模型	数据要求	优势与局限	典型案例
环境风险预测	时空图卷积网络(ST-GCN)	多传感器时序数据+空间拓扑	捕捉环境参数时空关联,精度比LSTM提升12%	敦煌莫高窟微环境监测系统
材料退化分析	物理信息神经网络(PINN)	材料力学参数+环境监测数据	融合物理方程与数据驱动,预测腐蚀速率误差<5%	意大利比萨斜塔石灰石风化模拟
病害智能诊断	Vision Transformer(ViT)	高分辨率病害图像数据集	对壁画剥落、裂缝的识别F1-score达0.91	故宫养心殿彩画病害检测系统
三维重建	Neural Radiance Fields(NeRF)	多视角影像(>200张/件)	实现亚毫米级重建,处理复杂纹理效果优于传统ICP	三星堆青铜器数字化项目
修复方案优化	多智能体强化学习(MARL)	历史修复案例库+专家评分	动态平衡保护强度与干预成本,方案通过率提升40%	雅典卫城石材修复决策系统