

人工智能技术在古建筑保护中的应用

摘要：古建筑保护意义重大，人工智能技术为其提供新途径。该技术在数据采集与分析、模型构建、维护修复以及文化传播等方面发挥关键作用。本文通过一系列人工智能在相关领域的案例展示了其应用效果。然而，该技术面临数据采集困难、分析预测可能错误、技术依赖等潜在缺陷及伦理问题。未来需提高技术水平，加强跨学科合作，重视伦理法规建设，提升公众参与度，促进国际合作，以实现古建筑有效保护。

关键词：古建筑保护、人工智能

1.引言

古建筑作为历史和文化的载体，其保护工作对于传承文明具有重要意义。随着科技的进步，人工智能技术在古建筑保护中的应用逐渐增多，为古建筑的保护和管理提供了新的解决方案[1]。本文综述了人工智能技术在古建筑保护中的关键应用，包括数据采集与分析、模型构建、维护修复以及文化传播等方面。通过这些技术，可以有效地对古建筑的损伤进行预测和修复，从而实现更有效的保护和管理。

在数字化技术的帮助下，古建筑保护工作已经取得了显著进展[2]。数字化建模与虚拟修复技术、增强现实与虚拟现实技术、无人机技术与地理信息系统等，都在古建筑保护中发挥着重要作用。人工智能技术的应用，进一步推动了这些数字化技术的深化与创新。例如，人工智能技术可以提高数据采集的效率和精度，实现古建筑的虚拟修复和预测，为实际修复工作提供指导[3]。

然而，尽管人工智能技术在古建筑保护中展现出巨大潜力，但其应用仍面临诸多挑战。如何确保技术应用的真实性和有效性、如何处理与当地文化和历史背景的关系、以及如何平衡技术创新与传统保护方法，都是当前研究和实践中需要解决的问题。此外，人工智能技术在古建筑保护中的应用也需要遵循伦理和法律框架，确保文化遗产的保护工作既科学又合理。

本文旨在探讨人工智能技术在古建筑保护中的应用现状、挑战与未来发展方向，以为古建筑保护领域提供理论支持和实践指导。通过对现有文献的综述和

案例分析，本文将展示人工智能技术如何助力古建筑保护工作，并对未来的研究方向提出建议。

2.人工智能技术在古建筑保护中的具体应用

2.1.数据采集与分析

人工智能技术在古建筑保护中的一个重要应用是数据采集与分析。利用无人机搭载的高分辨率相机和激光雷达等传感器设备，可以快速、准确地获取古建筑的几何形状、纹理细节和结构特征等数据。这些数据为后续的数字化建模和修复工作提供了重要依据。通过使用机器学习算法对大量数据进行分析，可以快速地将数据根据建筑特征进行分类方便后续数字建模。

2.2.模型构建

在数字化建模方面，人工智能技术可以帮助构建与实际古建筑特征相同的缩小比例模型，这些模型可以用于模拟不同的环境条件和损伤情况。通过深度学习技术，可以从大量的历史数据中学习古建筑的结构特点和变化规律，从而构建出更加精确的模型。

2.3.维护与修复

人工智能在古建筑的维护与修复中也能发挥出很大的作用。通过机器学习算法分析古建筑的结构健康监测数据，可以识别出异常情况和潜在损伤，为及时采取维护措施提供依据。预测性维护模型可以根据历史数据和当前监测数据预测古建筑的未來状态，帮助决策者提前制定维护计划[9]。

2.4.文化传播

此外，人工智能还可以用于历史建筑的虚拟现实展示、互动体验等方面，向公众传播古建筑的历史文化，提高公众的古建筑保护意识。通过构建古建筑大语言模型可以更好地将其背后的历史意义和文化价值展现出来，人们可以更加深入地了解历史建筑的历史和文化内涵。

2.5.案例分析

2.5.1.案例一：机器学习优化建筑数据分类

Valeria Croce 等人提出利用机器学习（ML）方法，来自动化和加速建筑遗产的数字化重建流程[5]。具体操作如下：

研究者利用机器学习，特别是随机森林算法，对 3D 扫描得到的点云数据进行语义分割，识别并分类建筑元素，如窗户、柱子、墙壁、屋顶等。从点云中提取几何特征（如高度、平面度、线性、球形等）和色彩特征（如 RGB、HSL 或 HSV 颜色空间），用于训练分类器。使用标记的训练数据集来训练随机森林分类器，并通过验证集来评估模型性能，使用精确度、召回率、总体准确度和 F-measure 等指标。基于语义分割的结果，重建建筑元素的模板几何体，并利用 VPL 将这些几何体传播到所有属于同一类型类别的元素。最后，将重建的 3D 模型导入 BIM 软件（如 Autodesk Revit），以便进一步丰富模型信息。

人工智能在该工作中的应用主要体现在通过机器学习算法对大量的点云数据进行自动化的语义分割和分类，从而加速和优化了从点云到 H-BIM 模型的转换过程。这种方法不仅提高了效率，还减少了人为主观性，为建筑遗产的数字化保护和重建提供了新的解决方案。

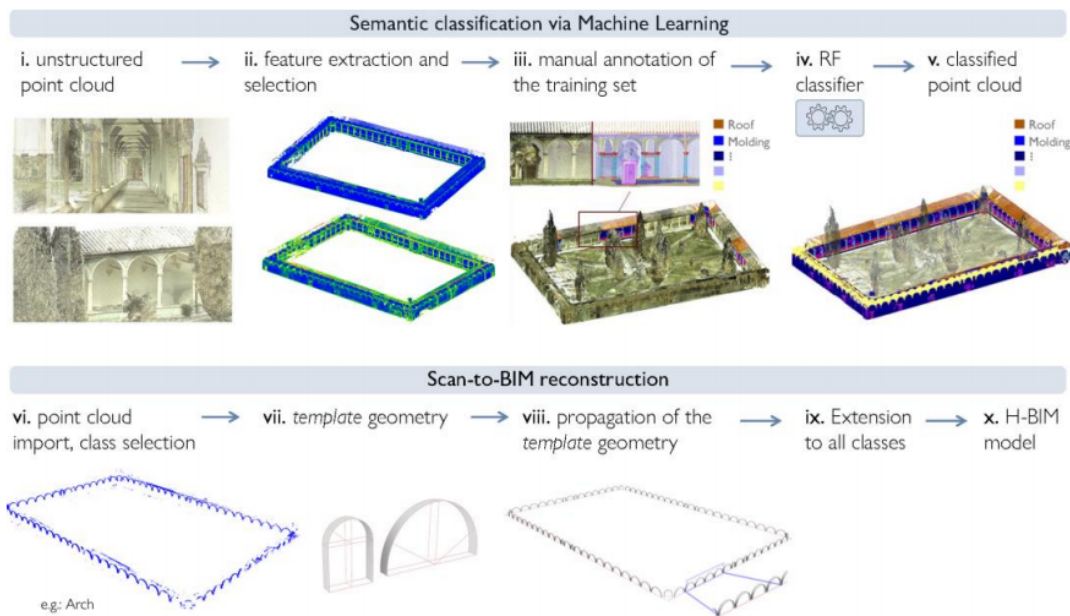


图 1：采用机器学习进行数据分类的流程图

2.5.2.案例二：深度学习辅助 3D 建模

Wang Zhihong 等人结合深度图像估计、球面投影映射和 3D 对抗生成网络等技术实现对古建筑的 3D 建模[6]。具体操作如下：

研究者使用编码器-解码器（自动编码器）网络结构来估计单图像的深度图，以提取图像的有效特征并生成更好的深度图。通过深度图将深度信息转换为点云，并使用立体几何方法转换表面信息，生成 3D 对象的表面形状。引入识别模块到 3D 对抗生成网络中以解决自遮挡问题，减少细节丢失，并提高重建结果的细节。结合 BIM 技术和 3D 激光扫描技术，进行古建筑的 3D 建模，提高建模的准确性。同时使用 Unity3D 开发软件构建虚拟环境，导入 3DS MAX 等建模软件制作的 3D 模型，实现古建筑的虚拟展示。

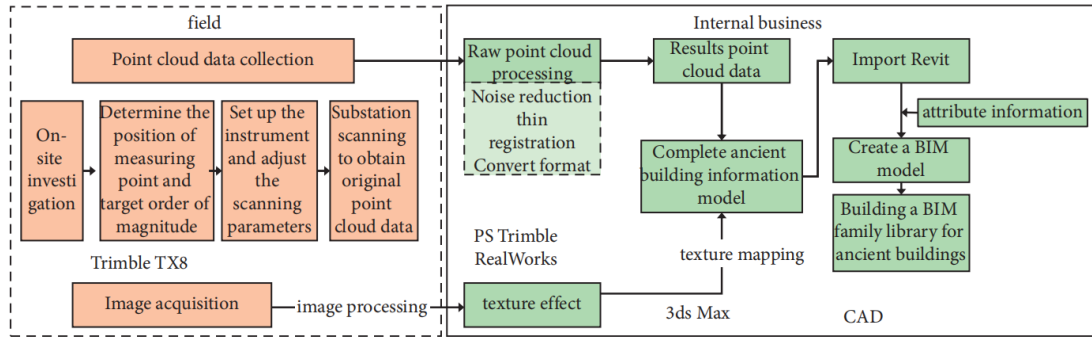


图 2：古建筑 3D 模型重建流程图

人工智能在该工作中的应用主要体现在深度图像估计、3D 模型重建、虚拟环境构建等方面，这些技术的应用显著提高了古建筑模型重建的效率和准确性。

2.5.3.案例三：深度学习实现古建筑表面的缺陷修复

Zheng Zou 等人基于深度学习的自动化方法，用于对古建筑表面的缺陷进行分割、修复和分类[7]。具体操作如下：

研究者以故宫的三种类型的龙纹瓦当（Goutou）为研究对象，使用 You Only Look At CoefficientTs（YOLACT）对其进行实例分割，以获得缺陷部分的掩码。应用基于生成对抗网络（GAN）的图像修复算法 Generative Image Inpainting with Contextual Attention（GIP）算法用于重建图像中的缺陷部分。使用 Residual Neural Network-50（ResNet-50）深度残差网络，对重建后的图像进行分类，验证了人工智能修复效果，并通过分类结果评估了修复图像的质量。结果表明，重建图像的分类准确率平均提高了 13.1%，最高提高了 23.5%。这表明这项工作提出的方

法对于古建筑表面缺陷识别和修复有很大作用。

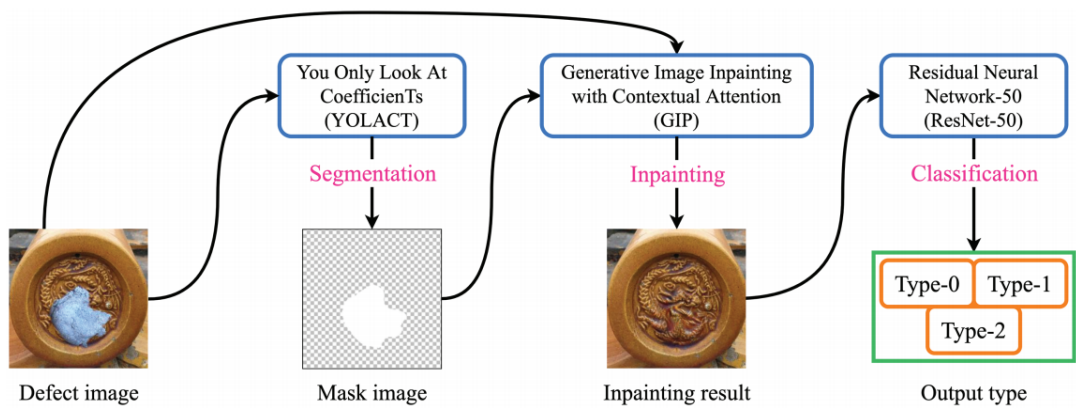


图 3：龙纹瓦当识别和修复的流程图

人工智能在该工作中的应用主要体现在图像识别、分类、修复等方面，这些技术的应用显著提高了古建筑模型重建的效率和准确性。

2.5.4.案例四：构建互动大预言模型，传播古建筑文化

香港科技大学博士后张佳莹带领团队成员梁振宇、陈泽富在缺乏结构化数据的情况下，利用多模态大语言模型（Multimodal Large Language Models -MLLMs）和 3D Gaussian Splatting (3DGS) 构建了一个用于遗产建筑保护的数字孪生智能体[8]。以 3DGS 技术为基础，实现了高效、精细的古建筑数字模型重建，高度还原了古建筑真实场景，解决了复杂建筑物三维模型轻量化的问题，并支持使用者虚拟参观体验。该成果在广州石室圣心大教堂上得以验证。所提出的方法对历史建筑构件识别的验证准确率高达 95.6%。



(1)立面(2)玫瑰窗(3)多层花饰(4)飞扶壁(5)拱形窗(6)双塔

图 4：广州石室圣心大教堂建筑构件

此外，团队利用大语言模型 A I 为古建数字模型构建了对话互动的智能体。这一数字孪生智能体具备与用户进行对话和互动的能力，用户只需输入模糊的查询指令，数字模型便会亮起相应的构件并呈现相关的信息。

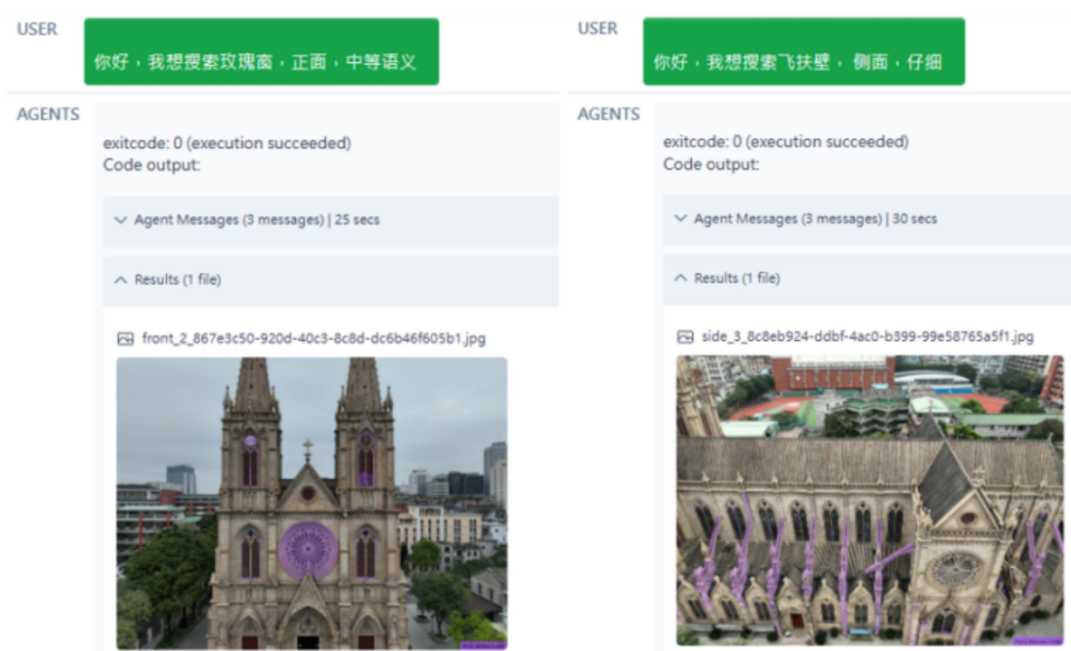


图 5：大语言模型 AI 互动界面

2.6.未来研究方向

尽管人工智能技术在古建筑保护中展现出巨大潜力，但仍有许多挑战和研究方向值得探索。首先，如何进一步提高数据采集的效率和准确性，尤其是在复杂环境下，是一个重要的研究方向。其次，开发更加精确和可靠的损伤预测模型，以提高预防性维护的效率和效果，也是一个亟待解决的问题。

此外，如何将人工智能技术更好地整合到古建筑保护的实践中，包括与传统保护方法的结合，也是一个重要的研究领域。探索人工智能技术在不同文化和历史背景下的适用性和效果，以及如何在全球范围内推广这些技术，也是未来研究的关键方向。

最后，考虑到人工智能技术在古建筑保护中涉及的伦理和隐私问题，制定相应的伦理准则和政策也是一个重要的研究议题。

3.人工智能技术的伦理问题与潜在缺陷

3.1.伦理问题

人工智能技术在古建筑保护中的应用引发了一系列的伦理问题。首先，技术的介入可能会对古建筑的真实性和完整性造成影响。在数字化和虚拟修复过程中，

如何确保不改变古建筑的历史和文化价值是一个重要议题。此外，人工智能技术可能会在无意中强化对某些文化历史的特定解读，从而忽视了多元文化视角和历史背景的复杂**错误!未找到引用源。**。

数据隐私和所有权也是人工智能应用中的关键伦理问题。在收集和分析古建筑相关数据时，必须确保遵守数据保护法规，尊重当地社区的隐私和文化权利。此外，随着人工智能技术在文化遗产保护中的深入应用，如何公平地分享由此产生的经济和文化利益也是一个需要解决的问题。

3.2.潜在缺陷

尽管人工智能技术为古建筑保护提供了新的工具和方法，但也存在一些潜在的缺陷。首先，技术的不完善可能导致错误的分析和预测，从而影响保护决策的准确性。其次，人工智能技术的应用需要大量的数据支持，而在某些情况下，高质量的历史数据可能难以获得，这限制了技术的有效应用。

古建筑往往分布广泛且所处环境复杂多样，对于数据的采集工作带来诸多不便。例如，部分古建筑位于偏远山区或者交通不便的地区，使得携带专业的数据采集设备（如高精度激光扫描仪、各类传感器等）到达现场存在困难，增加了采集成本和时间成本。而且，古建筑本身结构复杂，存在诸多遮挡、难以触及的部位，这给获取完整、全面的数据造成了阻碍，可能导致采集到的数据存在缺失或者不准确的情况。像在采集古建筑内部结构信息时，一些狭小空间或者高处的梁架结构等，利用常规手段难以获取清晰准确的数据。再者，对于一些历史久远的古建筑，其历史资料数据可能存在记录不完整、不准确甚至缺失的情况，与新采集的数据在融合分析时也会带来数据质量参差不齐的问题，进而影响人工智能算法的训练效果和分析准确性。

技术的依赖性也是一个问题。过度依赖技术可能导致保护专家忽视传统的保护方法和经验，而这些传统方法在某些情况下可能更为有效。此外，人工智能技术的应用可能会增加保护工作的经济成本，特别是在技术基础设施不发达的地区。

3.3.未来研究方向

针对上述伦理问题和潜在缺陷，未来的研究需要关注以下几个方向。首先，需要制定明确的伦理准则和政策，以指导人工智能技术在古建筑保护中的应用，

并确保技术的介入不会损害古建筑的历史和文化价值[9]。其次，研究如何平衡技术创新与传统保护方法的关系，确保技术的应用能够增强而非取代传统的保护实践。

此外，还需要探索如何提高人工智能技术在数据稀缺情况下的应用效果，以及如何降低技术应用的经济门槛，使其能够在全球范围内得到广泛应用。最后，研究如何公平地分配由人工智能技术带来的经济和文化利益，确保所有利益相关者都能从中获益。

4.总结与未来展望

本文综述了人工智能技术在古建筑保护中的多元化应用，包括数据采集与分析、模型构建、维护修复以及文化传播。通过具体案例分析，本文展示了人工智能技术如何提高古建筑保护的效率和准确性，以及在实践中所面临的挑战。同时，本文也探讨了人工智能技术应用中的伦理问题和潜在缺陷，强调了在技术应用中需要考虑的伦理准则和潜在风险。

4.1.未来展望

展望未来，人工智能技术在古建筑保护领域的应用预计将实现显著进展。随着技术的持续革新，我们有望见证数据采集工具的精准度、数据分析算法的效率以及模型构建技术的先进性得到大幅提升。这些技术的进步将为古建筑保护工作带来更高的科学性、系统性和精确性。

4.2.结语

人工智能技术为古建筑保护提供了新的视角和工具，但其应用也伴随着伦理问题和潜在风险。未来，我们需要在技术创新的同时，注重伦理和法规的建设，加强跨学科合作，提高公众参与度，并加强国际合作。只有这样，我们才能确保古建筑得到有效的保护，为后代留下宝贵的文化遗产。

参考文献

- [1] Mazzetto S. Integrating Emerging Technologies with Digital Twins for Heritage Building Conservation: An Interdisciplinary Approach with Expert Insights and Bibliometric Analysis[J]. *Heritage*, 2024, 7, 6432–6479.
- [2] 张广雷. 数字化技术在古建筑保护中的应用[J]. *数字化用户*, 2024, 16: 059-060.
- [3] 曹盛盛, 王超逸. 还原与活化——人工智能在建筑文化遗产保护中的应用[C]//中国设计理论与国家发展战略学术研讨会——第五届中国设计理论暨第五届全国“中国工匠”培育高峰论坛会议论文集. 上海: 中国设计理论与国家发展战略学术研讨会, 2021.
- [4] BOESGAARD C, HANSEN B V, KEJSER U B, et al. Prediction of the indoor climate in cultural heritage buildings through machine learning: first results from two field tests [J]. *Heritage Science*, 2022, 10(1): 176-188.
- [5] Croce V, Caroti G, Piemonte A, et al. H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction[J]. *Sensors*, 2023, 23(5): 2497.
- [6] Wang Z, Xiong H. Analysis of the Application of Deep Learning in Model Reconstruction of Ancient Buildings[J]. *Advances in Multimedia*, 2022, 4273937:10.
- [7] Zou Z, Zhao P, Zhao X. Automatic segmentation, inpainting, and classification of defective patterns on ancient architecture using multiple deep learning algorithms[J]. *Structural Control and Health Monitoring*, 2021, 28(7): e2742.
- [8] 张佳莹.创新研究成果发布：新一代数字孪生和人工智能为古建筑保护注入新活力[N/OL]. *China Daily*, 2024-04-07[2024-06-03].
<https://tech.chinadaily.com.cn/a/202404/07/WS6612473ca3109f7860dd872c.html>.
- [9] 程远, 黄继忠, 张悦, 等. 人工智能在文物保护中的应用[J]. *自然杂志*, 2024, 46(4): 261-270.