

考古中的遥感与 AI

夏小康 24210200016

一、引言

考古学作为研究人类过去文明的重要学科，旨在通过对遗址、文物和人类活动的分析，揭示历史的演变与文化的传承。长期以来，考古学家依赖传统的勘探方法，结合现场发掘与实验室分析，以获得有限的历史证据。然而，随着科技的迅猛发展，尤其是人工智能（AI）和遥感技术的不断突破，考古学的研究范式正在发生深刻变化。这些新兴技术不仅拓展了考古学的研究视野，也极大提升了工作效率和精确度，推动考古研究向更加精细化、系统化和跨学科的方向发展。

人工智能技术，尤其是机器学习和深度学习，能够从庞大且复杂的考古数据中提取有价值的信息。AI 在考古学中的应用主要体现在数据分析和模式识别方面。例如，AI 可以自动分析陶器碎片、骨骼化石等遗物的图像，识别其中的微小特征，甚至预测文物的历史背景。通过大量数据的训练，AI 能够发现人眼难以察觉的细节，帮助考古学家对文物、遗址和历史背景进行更精确的解读。此外，AI 还在文物修复、三维重建等领域表现出了巨大的应用潜力，极大地推动了文物保护与修复技术的进步。

遥感技术，尤其是激光雷达（LiDAR）、卫星影像和无人机技术，提供了从宏观到微观的多维度空间数据，帮助考古学家探索地下遗址和地表痕迹。遥感技术不仅能快速、高效地对大范围区域进行考古勘探，还能够突破传统勘探方法的局限，特别是在密林、沙漠或灾区等难以进入的地方。通过卫星图像和激光雷达扫描，考古学家能够在地面无法察觉的地方发现隐藏的建筑遗迹、古代水渠、甚至古代城市的轮廓。这些技术大大缩短了考古发掘的时间，同时也减少了对环境的干扰和对遗址的破坏。

更重要的是，AI 和遥感技术的结合为考古学提供了新的视角和方法。通过 AI 算法对遥感数据的分析，研究人员能够从遥感影像中提取更加精确的信息，预测和定位潜在的考古遗址。这种技术融合不仅提升了考古发掘的精度和效率，还使得考古学的研究不再仅限于局部区域的考察，而是能够进行大范围的历史景观重建。尽管 AI 和遥感技术在考古学中的应用前景广阔，但也面临数据质量、技术普及以及伦理问题等一系列挑战。考古数据的稀缺和不完备使得训练 AI 模型存

在一定困难，且这些技术的广泛应用需要更多专业人员的支持与培训。此外，如何平衡技术应用与考古学传统方法、如何保护文化遗产的伦理问题，仍是学界和业界需要深入探讨的课题。

本综述旨在探讨 AI 和遥感技术在考古学中的应用，分析这些技术带来的创新突破及其面临的挑战，并展望未来它们在考古学研究中的发展潜力与可能性。通过对现有研究成果的总结与讨论，本文将为考古学领域的学者与技术专家提供有益的参考，帮助他们更好地理解 and 利用这些前沿技术，推动考古学的未来发展。

二、AI 技术在考古中的应用

随着人工智能（AI）技术的不断进步，尤其是机器学习、深度学习和计算机视觉等领域的快速发展，AI 已逐渐成为考古学研究的重要工具。通过高效的算法和强大的数据处理能力，AI 技术不仅能够加速考古数据的分析，还能揭示传统方法难以发现的潜在信息，从而为考古学提供了崭新的视角和突破性的解决方案。

1. 数据分析与模式识别

在考古学中，研究对象通常包括大量复杂的、杂乱无章的数据，如遗址图纸、文物图像、历史文献、考古测量数据等。传统方法往往依赖人工分析，耗时且易受主观偏见的影响。而 AI 技术，尤其是机器学习和深度学习，能够快速处理这些大规模的考古数据，通过模式识别自动发现潜在的规律与联系。例如，AI 在文物图像的自动分析中应用广泛。利用深度学习模型，计算机能够对陶器、骨骼化石、铜器等考古遗物进行自动分类、特征提取，甚至推测出遗物的来源和年代。AI 系统可以通过对大量图像数据的学习，自动识别出不同种类的陶器形状、纹饰风格，帮助考古学家更高效地进行遗物归类 and 背景分析。这种方法尤其在大规模遗物分类时具有明显优势，能够显著降低人工工作量。

2. 文物修复与三维重建

AI 技术在文物保护和修复中的应用日益增多，特别是在文物的图像修复和三维重建领域。考古学家可以使用 AI 算法对受损文物进行图像处理，从而恢复其原始形态。例如，深度学习算法可以通过学习大量完好文物的图像，自动预测并修复缺损部分，模拟文物的原貌。对于一些历史悠久、破损严重的文物，AI 不仅

能填补缺失的部分，还能根据历史资料提供修复方案，使修复效果更加符合历史真实。此外，AI 在三维重建方面的应用也尤为突出。通过计算机视觉和深度学习技术，AI 可以将考古现场或文物的二维图像转换为三维模型，重现出古代遗址和遗物的立体形态。这种三维重建技术不仅有助于展示文物的细节，还能帮助考古学家在虚拟空间中进行详细的分析和研究，尤其在文物不可移动或易损的情况下，三维重建提供了一个非常有价值的替代方案。

3. 自动化考古勘探与发掘

考古学中的实地勘探和发掘工作常常需要耗费大量时间和人力，而且有时在大范围的考古区域中很难迅速发现潜在的遗址。AI 技术通过自动化的方式提升了考古勘探的效率，尤其是在无人机和机器人等设备的辅助下，AI 可以协助考古学家进行快速、精准的现场勘探。例如，使用 AI 驱动的无人机搭载高清摄像头或激光雷达（LiDAR）进行地面扫描，AI 算法可以实时分析获取的数据，帮助考古学家快速定位潜在的考古遗址或地下结构。这种自动化勘探方法不仅可以覆盖较大的区域，还能通过深度学习识别出地面或地下的微弱痕迹，如古代建筑的遗迹、古水道的痕迹等，为考古发掘提供科学依据。

4. 考古数据整合与知识发现

考古学中涉及的研究对象通常跨越多个学科领域，例如历史学、人类学、地质学等，所需的数据也十分庞杂。传统的考古研究往往依赖人工将各类数据整合和对比分析，而 AI 则能够高效地完成这一任务。AI 算法，特别是自然语言处理（NLP）技术和数据挖掘技术，可以帮助考古学家处理和整合来自不同领域的的数据，例如将历史文献、遗址数据、考古遗物和地理数据融合，从而揭示出潜在的规律和知识。AI 系统能够通过数据挖掘从不同的数据源中发现隐含的历史信息，例如，通过对古代遗址、文物和史料的关联分析，AI 可以推断出不同文明之间的交流与互动，揭示出遗址的实际用途、功能和文化背景。此外，AI 在预测分析中的应用也具有重要价值，通过对现有数据的分析，AI 能够预测潜在的考古发现区域，帮助考古学家更加科学地规划发掘工作。

5. 文物真伪鉴定

考古学中一个重要的问题是文物的真伪鉴定，尤其是在文物市场或非法交易中，假冒伪劣文物屡见不鲜。AI 技术通过图像识别、模式匹配和数据库比对，能

够在短时间内分析文物的细节特征，帮助鉴定其真伪。例如，AI 可以通过分析文物的表面纹理、材质成分、年代特征等，判断文物是否符合历史背景和制作工艺，从而为考古学家提供科学的鉴定依据。

三、遥感技术在考古中的应用

遥感技术，尤其是激光雷达（LiDAR）、卫星成像、无人机（UAV）等技术的快速发展，极大地拓宽了考古学的研究边界。通过提供大范围、精确的地理空间数据，遥感技术为考古学家提供了新的工具，能够快速有效地勘探、分析和保护考古遗址。与传统的地面调查方法相比，遥感技术不仅提高了考古勘探的效率，还减少了对遗址的干扰，为考古学开辟了前所未有的研究途径。

1. 激光雷达（LiDAR）在考古中的应用

激光雷达（LiDAR）技术是一种通过激光扫描测量地面或物体的三维形状和表面特征的遥感方法。LiDAR 技术能够穿透森林、植被等遮挡层，获得地面高度信息，生成精确的数字高程模型（DEM）。这使得 LiDAR 成为发现和研究地下遗址、古代建筑及地形变化的强大工具。在考古学中，LiDAR 技术已被广泛应用于揭示被植被覆盖或地下埋藏的遗址。例如，LiDAR 被用于揭示中美洲的玛雅文明遗址，通过扫描密林，考古学家发现了大量隐藏的建筑遗迹、道路网络、城市布局等。传统方法需要大量人力和时间去勘探，而 LiDAR 能够在较短时间内获取大范围的精准数据，从而大大提高了考古发掘的效率和精确度。此外，LiDAR 技术还能帮助考古学家在复杂地形中进行研究，如沙漠、山区等传统勘探方法难以到达的地方。通过从空中获取精确的地面数据，考古学家能够详细分析遗址的布局、功能分区以及与周围环境的关系，为考古研究提供更全面的视角。

2. 卫星遥感技术的应用

卫星遥感技术通过搭载卫星传感器获取地面数据，具有大范围、实时、低成本的优势，能够为考古学家提供全球范围内的地理信息。这项技术尤其在寻找潜在遗址、地貌研究和古代人类活动痕迹的分析中表现突出。卫星遥感的应用首先体现在遗址发现与定位上。通过分析卫星影像，考古学家可以识别地面上的文化遗迹，如道路、建筑、墓葬和水利设施等。例如，利用高分辨率的卫星影像，考古学家可以发现古代城市的轮廓，甚至识别出埋藏在地下的建筑遗址。此外，卫

星影像还可以帮助分析地貌变化、河流路径等自然环境因素，这对于理解古代文明的发展与衰落、迁徙路线以及资源利用等方面有着重要意义。通过与 AI 技术结合，卫星影像中的潜在遗址能够被自动化识别。AI 的深度学习算法能够分析大规模的遥感数据，自动检测出特定的地形特征，如古代人工结构的痕迹，并对其进行分类和预测，为考古学家提供更有价值的研究线索。

3. 无人机 (UAV) 在考古中的应用

无人机 (UAV) 技术在近些年迅速成为考古勘探和研究中的重要工具。无人机搭载高清相机、激光雷达传感器等设备，能够以低成本、高效率的方式获取精细的地面数据，特别是在一些难以到达的地区，如高山、森林、沙漠或城市遗址等。无人机最常见的应用之一是拍摄考古遗址的高分辨率图像。这些图像不仅能够帮助考古学家进行详细的现场测量和分析，还能生成三维地形模型，为遗址的立体复原提供数据支持。此外，无人机搭载的激光雷达传感器可以进一步提升勘探精度，获取地面高度数据，帮助考古学家精确绘制地形图和分析地下结构。无人机技术的灵活性使得它能够在短时间内对广阔区域进行全面勘测，并能够实时获取数据。特别是在考古现场的长期监测中，无人机能够定期飞行，拍摄地面变化，帮助研究者及时发现新的遗迹，监测遗址的保护状况。

4. 遥感技术在古环境重建和考古景观分析中的应用

遥感技术不仅仅用于考古遗址的发现和勘探，也为古环境重建和考古景观分析提供了重要工具。通过对卫星图像和 LiDAR 数据的长期分析，考古学家可以重建古代的自然环境，了解古代人类活动与环境之间的互动关系。例如，考古学家可以通过遥感技术分析古代水域的变化，重建古代河流、湖泊、湿地等水文环境。通过对这些环境的研究，考古学家能够推测古代文明如何利用水资源、发展农业以及形成定居点。遥感数据还能够帮助研究古代的交通网络，揭示不同地区之间的联系和文化交流。此外，遥感技术在考古景观的研究中同样发挥着重要作用。通过分析遗址周围的地理、地形和土地利用变化，研究者能够了解古代人类如何与自然环境相互作用，如何选择遗址的位置，甚至推测古代社会的经济活动、社会组织和文化特征。

5. 遥感数据与 AI 技术结合的前景

遥感技术与 AI 技术的结合，使得考古学家可以对大规模遥感数据进行高效

处理和智能分析。AI 可以通过机器学习算法从遥感图像中自动提取出潜在的考古遗址，甚至根据已有的数据预测新的遗址位置。这种智能化的数据分析能力大大提高了考古发掘的效率和准确性。例如，结合 AI 的遥感技术可以通过对古代城市布局的自动分析，帮助考古学家快速识别和定位城市遗址的位置和规模。AI 还能够分析不同类型的遥感数据（如卫星影像、LiDAR 数据等），通过数据融合，提供更为全面的考古景观分析。

四、应用实例

1、使用高分辨率无人机图像进行基于机器学习的陶片检测^[1]

这篇文章详细介绍了一种结合无人机高分辨率图像、摄影测量学、机器学习和地理空间分析的自动化工作流程，用于提高考古调查的效率和准确性。文章的核心贡献在于首次提出了一个概念验证，即利用无人机拍摄的高分辨率图像，通过 Google Earth Engine 云计算平台结合机器学习技术，自动识别和记录考古遗址中的陶片分布。这种方法不仅可以减少传统考古调查所需的人力和时间，还能提供更精确的分布图，有助于文化遗产的管理和保护。文章通过在希腊阿德拉斯和赞西的考古项目（APAX）中的两个地块进行的案例研究，展示了该技术的有效性。研究结果表明，自动化方法在识别陶片方面具有较高的准确率，并且比传统步行调查方法更快速。此外，文章还讨论了该方法的局限性和未来发展，包括提高检测率、减少误报以及在不同环境和条件下的适用性。总体而言，这项研究为考古调查领域带来了创新的技术手段，预示着考古学研究可能进入一个新的时代。

2、基于 CNN 的深度学习模型，利用 CORONA 卫星图像检测坎纳特竖井^[2]

这篇文章介绍了深度学习在考古遥感领域的应用，特别是自动化检测伊拉克库尔德地区埃尔比勒平原上的卡纳特（qanat）竖井。研究者们利用深度卷积神经网络（CNNs）对冷战时期的 CORONA 卫星图像进行分析，以识别地下卡纳特系统的垂直井口的半圆形开口。这项工作是首次尝试在不依赖光谱图像分辨率或非常高（亚米）空间分辨率的历史卫星图像上使用自动化技术。研究结果表明，深度学习可以在小数据集的情况下成功应用于自动化检测具有相对统一特征的考古特征，如卡纳特竖井。文章还讨论了如何通过扩大训练数据集、优化 CNN 模型

以及改进模型性能来提高检测的准确性,并强调自动化检测并不是替代人类专家,而是通过减少手动任务,使研究人员能够将有限的时间集中在结果的验证和分析上,从而开启新的研究机会。

3、利用激光雷达和多光谱卫星数据自动检测考古古墓^[3]

这篇文章详细介绍了一个创新的算法,该算法结合了混合多尺度地形模型(MSRM)基础的深度学习和多时相 Sentinel-2 卫星数据的机器学习,用于在西班牙西北部的伊比利亚地区自动检测考古土丘。研究者们利用随机森林(RF)机器学习分类器对 Sentinel-2 卫星数据进行土壤分类,创建了一个二元地图,标识出可能存在考古土丘的区域。接着,他们采用了 YOLOv3 深度学习模型,该模型在预处理过的 LiDAR 数据上进行训练,以识别土丘的形状。预处理步骤包括使用 MSRM 来增强 LiDAR 数据中的地形特征,使其更适合于深度学习模型的分析。此外,研究者们还开发了数据增强(DA)方法,以提高检测器的有效性,并通过公开可访问的计算环境,如 Google Earth Engine (GEE) 和 Colaboratory,确保了方法的可访问性、可重复性和可重用性。在伊比利亚半岛的加利西亚地区进行了测试,该地区因其规模、已知的土丘墓葬传统以及高质量训练和测试数据的可用性而成为理想的测试区域。研究结果表明,该算法在检测已知土丘方面表现出色,检测率达到 89.5%,平均精度为 66.75%,召回值为 0.64,精确度为 0.97。这使得研究者们能够在近 30,000 平方公里的区域内检测到 10,527 个土丘,这是迄今为止应用此类方法的最大区域。

文章还讨论了算法的可访问性和可重复性,所有使用的数据处理和分析代码均作为补充材料公开提供,并且可以在 GitHub 上找到。这使得其他研究者可以轻松复现和应用这一算法,即使他们自己的计算资源有限。研究者们计划将这一方法应用于其他存在土丘的地区,并在未来的研究中使用更新版本的 YOLO 算法,以进一步提高检测的准确性和效率。总的来说,这项研究为考古土丘的自动检测提供了一个有效的工具,有助于改进全球范围内的考古研究和文化遗产管理。

4、遥感技术在乌发现两处丝绸之路古城遗址^[4]

这篇文章详细描述了在乌兹别克斯坦东南部的塔什布拉克和图贡布拉克两

个考古遗址进行的无人机激光雷达（UAV-lidar）调查研究。这些遗址位于海拔 2000 至 2200 米的高度，是丝绸之路上的大型高山城市中心，年代跨度为 6 至 11 世纪。研究团队利用 UAV-lidar 技术，结合超高分辨率表面建模和半自动特征检测，对这些遗址进行了详细的考古特征识别和绘图。在 Tugunbulak，研究人员绘制了一个占地 120 公顷的大型城市区域，包括复杂的建筑和防御结构，这是迄今为止在中亚高山地区发现的最大、最全面的中世纪城市之一。在 Tashbulak，他们覆盖了 24.4 公顷的区域，揭示了约 7 公顷的密集建筑布局。这些发现不仅展示了中世纪中亚高地城市基础设施的广泛性和复杂性，而且为理解这些地区在丝绸之路贸易网络中的作用提供了新的视角。

研究还通过与地面穿透雷达（GPR）数据的比较，验证了 UAV-lidar 技术在识别和绘制考古特征方面的准确性和可靠性。通过这种方法，研究人员能够在 Tashbulak 遗址中识别出与 GPR 数据相匹配的地下建筑结构。此外，研究还探讨了 UAV-lidar 技术在高海拔侵蚀环境中的适用性，并讨论了在这些地区进行考古调查的潜力和挑战。这些发现挑战了以往关于高山地区城市发展受限的传统观点，揭示了高地社区在丝绸之路时期的政治、经济和社会结构中扮演的独特角色。研究结果强调了 UAV-lidar 技术在考古领域的巨大潜力，尤其是在那些因地形复杂或植被茂密而难以进行传统考古调查的地区。

五、总结与展望

AI 考古中的遥感技术，特别是无人机激光雷达（UAV-lidar）、高分辨率卫星影像和深度学习算法的应用，正在彻底改变考古领域。这些技术能够提供从厘米级细节的三维点云数据到大范围的地表特征识别，极大地提高了考古遗址探测的效率和准确性。随着技术的不断进步，未来的 AI 考古预计将实现更高分辨率的数据采集、更精准的深度学习算法、多传感器数据融合以及云计算辅助的大规模数据处理，这将不仅促进考古发现，还将加强文化遗产的实时监测和保护工作。此外，跨学科合作、数据共享和伦理考量也将是推动 AI 考古技术发展的关键因素，确保这些强大的工具能够以负责任和可持续的方式用于探索和保护人类历史。

引用文献

- [1] Orengo, H.A.; Garcia-Molsosa, A. A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning-based potsherd detection using high-resolution drone imagery. *J. Archaeol. Sci.* 2019, 112, 105013.
- [2] Mehrnouch, S.; Mehrtash, A.; Khazraee, E.; Ur, J. Deep Learning in Archaeological Remote Sensing: Automated Qanat Detection in the Kurdistan Region of Iraq. *Remote Sens.* 2020, 12, 500.
- [3] Berganzo-Besga, I.; Orengo, H.A.; Lumbreras, F.; Carrero-Pazos, M.; Fonte, J.; Vilas-Estévez, B. Hybrid MSRM-Based Deep Learning and Multitemporal Sentinel 2-Based Machine Learning Algorithm Detects Near 10k Archaeological Tumuli in North Western Iberia. *Remote Sens.* 2021, 13, 4181.
- [4] Frachetti, M.D., Berner, J., Liu, X. et al. Large-scale medieval urbanism traced by UAV-lidar in highland Central Asia. *Nature* 634, 1118–1124 (2024).