

基于精细化建模的倾斜摄影数据采集方法分析

周伟伟 徐菲 朱依民 吴岚

华设计集团股份有限公司 江苏南京 210000

【摘要】为了提高公路工程中三维建模的精度与效率,采用基于精细化建模的倾斜摄影数据采集方法进行研究。通过对倾斜摄影技术的应用背景进行分析,探讨了其在公路地形、路面、路基结构及桥梁隧道等信息采集中的优势。研究发现,尽管倾斜摄影技术能够在短时间内获取高分辨率的三维数据,但在实际应用中仍面临数据精度、环境因素、动态路况和多视角数据融合等技术挑战。针对这些问题,提出了优化的数据采集策略,包括改进采集方案、精细化建模技术应用流程和选择设备等。结果表明,通过合理优化数据采集策略,能够有效提升数据采集精度与建模精度,为公路工程提供更高效、精确的三维信息支持。研究认为,随着设备技术的进步和智能化处理技术的发展,基于倾斜摄影的精细化建模方法将在公路工程中得到更广泛应用,并推动公路建设与管理的智能化发展。

【关键词】精细化建模; 倾斜摄影; 数据采集; 公路工程; 三维建模; 技术挑战

1 引言

随着信息技术的迅猛发展,倾斜摄影作为一种新兴的三维数据采集技术,已在多个领域得到了广泛应用。尤其在公路工程中,精准的地形测量和设施建模对工程设计、施工、维护等各个环节至关重要。传统的测绘方法在公路建设中往往面临效率低、精度差、数据更新困难等问题,而倾斜摄影技术凭借其高效、快速、精确的特点,能够解决这些难题。通过搭载多摄像头的航空平台或无人机,倾斜摄影能够从多个角度对地面进行拍摄,并通过影像数据生成高精度的三维模型,为公路工程提供精准的空间信息支持。然而,如何在实际应用中提高数据采集的精度、处理效率以及应对复杂环境下的挑战,仍是当前研究和实践中的关键问题。基于精细化建模的倾斜摄影数据采集方法,成为了提高公路工程数据精度与施工管理水平的有效手段,亟待深入探索和优化。

2 精细化建模在公路工程中的具体应用分析

2.1 公路地形与路面信息的精准采集

公路地形与路面信息的精准采集是公路工程规划和建设的基础。通过倾斜摄影技术,结合无人机、航空摄影等设备,可以实现大范围、高精度的地形数据采集。特别是在复杂的地形条件下,倾斜摄影能从多个视角获取路面和地形的详细信息,捕捉路面起伏、弯道、坡度变化以及路面裂缝等重要特征。这些信息对于公路的设计优化至关重要,能够为工程师提供精确的三维模型,帮助他们进行更合理的路线选择、排水系统设计及交通流量分析。对于现有路段的维护和修复,精准的地形数据还能提供精准的裂

缝检测和路面沉降监测,及时发现问题并制定维护方案,确保公路的安全性与长久性。

2.2 路基结构与设施信息的精细建模

路基结构及附属设施的精细建模是保证公路工程质量和安全的重要环节。通过倾斜摄影技术与激光雷达数据的融合,可以在三维空间中精确重建路基的几何形态,包括坡度、土壤类型、排水系统以及道路两侧的基础设施(如护栏、照明设施等)。精细化建模使得这些复杂结构能以高精度形式呈现,从而帮助工程师深入分析路基稳定性、沉降等问题,确保路基的长期稳定性。对于新建公路项目,精细建模可以指导土方工程的精准施工,避免资源浪费;而对于老旧路段,模型的定期更新与监测能够及时发现潜在的路基问题,避免灾害性事故的发生,提升公路维护和管理的精确性。

2.3 桥梁与隧道的三维建模与数据采集

桥梁和隧道是公路工程中的关键设施,精准的三维建模和数据采集对于其设计、施工与维护至关重要。利用倾斜摄影技术和激光雷达等传感器,能够实现对桥梁和隧道内部及周围环境的高精度数据采集,生成三维点云模型。这些模型能够准确再现桥梁的结构细节(如桥墩、梁体、钢筋构件等)及隧道内部的空间布局,便于工程师进行力学分析、维护评估和加固设计。对于桥梁与隧道的定期监测,三维建模技术可以帮助快速识别裂缝、沉降等问题,降低人工巡检的工作量,提高设施的运行安全性。此外,通过建立精细化的三维模型,还可以对桥梁和隧道的变形进行实时监控,为后续的维护和修复提供决策支持。

2.4 数字化管理与可视化展示的实现

数字化管理和可视化展示在公路工程中实现了更高效的项目监控和管理。通过将三维建模数据集集成到GIS平台和数字化管理系统中，工程师和管理人员能够实时查看公路项目的各类数据，包括地形、路面、桥梁、隧道等信息。这种可视化方式使得项目进展、施工质量、交通流量等信息可以在三维虚拟环境中直观呈现，极大提高了信息共享与决策效率。通过与BIM（建筑信息模型）技术的结合，公路项目可以实现全过程的数字化管理，从规划设计到施工监控，再到后期的维护管理，所有环节的数据都可以得到实时更新与查询。可视化展示技术的应用也方便了与公众和相关部门的沟通，透明化管理进一步提升了工程的管理水平，降低了成本并减少了工程风险。

3 倾斜摄影数据采集中的关键技术问题

3.1 数据精度与分辨率的要求

在公路工程中，数据精度和分辨率直接影响到三维模型的质量和可靠性，进而影响到设计、施工和维护决策的准确性。倾斜摄影技术虽然具有快速采集大范围数据的优势，但其精度和分辨率仍然是应用中的关键问题。尤其在复杂地形、狭窄道路或山区等区域，较低的精度可能导致数据缺失或误差，从而影响到公路工程的设计与施工方案。为了满足公路项目对高精度数据的需求，必须使用高分辨率的传感器和优化的影像处理算法。然而，高分辨率数据量巨大，存储和处理成本较高，这对数据处理的效率和及时性提出了挑战。此外，倾斜摄影数据的精度也受限于飞行高度、传感器的性能以及影像重建算法的准确性。如果数据精度无法达到设计要求，可能导致三维模型出现偏差，影响后续的施工质量、风险评估和资源调度。

3.2 环境因素对数据采集的影响

倾斜摄影数据采集的精度和质量受到环境因素的显著影响。尤其在公路工程中，复杂多变的自然和人为环境条件使得数据采集面临诸多困难。首先，天气状况如雾霾、雨雪、强风等都会影响到飞行平台的稳定性与传感器的拍摄效果，导致影像模糊或数据丢失。尤其在山区或交通繁忙的城市区域，频繁的天气变化和不断变化的气候条件对数据采集的时间窗口提出了更高要求。其次，采集区域的地理环境特征也对数据质量有重要影响。道路的曲率、坡度、立交桥或隧道等结构的复杂性，会使得倾斜摄影的数据采集更加困难，尤其在较为狭窄的区域或高架道路上，飞行平台可能无法保持最佳的拍摄角度，导致数据不完全或精度不足。此外，城市和乡村的建筑物、交通设施、植被等

地物也会对影像的质量产生干扰，影响数据的提取与重建。因此，如何应对这些环境因素，保障数据采集的稳定性和高质量，是公路工程中采用倾斜摄影技术面临的一个重大挑战。

3.3 多视角数据融合的挑战

多视角数据融合是倾斜摄影技术的核心优势之一，它可以通过多角度、多视点的影像数据，生成更加全面、细致的三维模型。然而，在公路工程中，不同视角的影像融合过程中常常会遇到诸多挑战。首先，不同视角的影像可能存在几何畸变，尤其是在复杂地形或交通繁忙的城市道路上，视角差异可能导致影像重叠部分出现偏差，影响数据的准确性和一致性。其次，数据融合过程中，影像的匹配和重建精度是关键问题。由于公路工程涉及的区域广阔，且地形、路面、桥梁等结构复杂，影像数据的匹配容易受到噪声、反射、遮挡等因素的干扰，导致无法准确融合。这就需要依赖于更为复杂的图像匹配和优化算法，但这些算法的精度和效率仍然是限制多视角数据融合应用的瓶颈。另外，不同飞行平台或传感器的影像在光照、分辨率和成像方式上的差异，也给数据融合带来了困难。如何克服这些技术难点，提升多视角数据的融合质量，使得三维模型更加真实和精确，是公路工程中倾斜摄影应用的技术瓶颈之一。

3.4 动态路况下数据采集的难点

在公路工程项目中，动态路况是数据采集过程中不可忽视的一个关键问题。公路上的交通流量、天气变化以及施工现场的动态因素，都会对倾斜摄影数据的采集产生影响。首先，交通流量的变化可能导致车辆的遮挡或道路的临时封闭，使得某些路段无法正常采集数据。尤其是在城市道路、繁忙的高速公路或特殊区域（如隧道、桥梁）等地方，动态路况可能严重干扰拍摄过程，导致数据采集的不完整或失真。此外，施工现场的变化也会影响数据采集的精度。例如，公路建设过程中，路面经常会进行开挖、铺设、加固等操作，这些变化会造成地面形态的快速变化，倾斜摄影技术可能难以实时捕捉到这些变化，导致数据与实际情况不匹配。高频次的路面修复、交通设施更替等，也给数据更新和建模带来了挑战。在动态环境下，如何提高数据采集的实时性和适应性，确保数据的全面性和准确性，是公路工程中倾斜摄影应用中的难点之一。

4 基于精细化建模的优化数据采集策略

4.1 数据采集方案的优化设计

在公路工程中，优化数据采集方案至关重要，特别是

在大规模、复杂地形或高交通密度的区域。优化设计应结合项目特点，明确采集目标、范围和精度要求。例如，在山区或复杂地形中，采集路径和飞行高度需要经过精心规划，避免建筑物、桥梁等结构的遮挡影响数据质量。飞行路径的选择应根据道路的弯曲、坡度等特征设计，确保各个区域的覆盖率和数据的高精度。另一方面，采集时间也需要根据天气、光照和交通流量等因素进行调整，以减少动态环境对数据质量的影响。此外，还应根据不同的设施类型（如桥梁、隧道、路基等）设计多角度、多视点的采集策略，以全面捕捉公路工程的各项特征。通过合理的方案设计，能够有效提升数据采集的精度、效率，减少后期数据处理的难度，从而为公路工程的设计、施工和运维提供更可靠的数字支持。

4.2 精细化建模技术的应用流程

精细化建模技术在公路工程中广泛应用，主要通过精确的影像处理和数据重建来生成高质量的三维模型。应用流程通常包括四个主要阶段：首先是数据采集阶段，通过无人机、激光雷达等设备获取地面及设施的原始数据。然后，进入数据处理阶段，利用影像匹配、几何校正、点云滤波等技术进行数据的预处理，确保数据的高精度。接着，通过多视角影像融合、三维重建算法生成公路地形、路面、桥梁等设施的初步三维模型。在此基础上，进行精细化建模，包括模型优化、去噪、细节增强等，确保模型的几何精度和空间一致性。最后，经过优化的三维模型可以用于公路设计、施工规划、风险评估、设施管理等各个环节，为项目提供全面、精确的数据支持。精细化建模技术使得公路工程在施工和运营过程中能够实现更精确的决策和管理，提升工作效率并降低风险。

4.3 优化采集精度与建模精度的策略

在公路工程中，采集精度和建模精度的优化是确保项目成功的关键。首先，优化采集精度可以通过选择高性能的传感器和合理的飞行参数来实现。高分辨率的影像传感器和高精度的GNSS定位系统能够有效提高采集数据的准确性。合理设计飞行高度和重叠度，确保数据采集过程中每个区域得到充分覆盖和多角度的数据支持，从而减少盲区和误差。其次，精细化建模技术的应用能够显著提高建模精度。在三维建模过程中，通过多源数据的融合（如激光雷达点云和影像数据）来减少单一数据源的偏差，同时优化建模算法，进行后处理和细节优化，确保生成的模型与实际场景高度一致。此外，在数据处理过程中，可以采用精度检验、交叉验证等方法，定期校正数据，及时发现误

差并进行调整。

4.4 采集设备与传感器的选择与应用

在公路工程中，选择适合的采集设备和传感器是确保数据质量的关键。首先，飞行平台的选择需要根据工程规模和需求来决定。对于小范围的公路项目，采用无人机（UAV）进行数据采集可以提供灵活、快速的解决方案；而对于大范围的高速公路项目，固定翼航空器则更适合其长时间的飞行能力和广泛的覆盖范围。其次，传感器的选择应考虑精度和适应性。高分辨率的摄影机可以提供细致的影像数据，而激光雷达（LiDAR）则能够提供精确的三维点云数据，尤其在复杂地形和隐蔽区域，LiDAR能够穿透障碍物并提供准确的地面高程信息。除此之外，集成GPS/IMU系统能够提供高精度的位置和姿态数据，确保图像与地面位置的准确匹配。通过结合多种传感器（如激光雷达、高清摄像头、GPS等），能够互补其优缺点，提升数据的精度和全面性。选择合适的设备和传感器，不仅能提高数据采集效率，还能为后续的数据处理和三维建模提供坚实的数据基础。

5 结论

综上所述，文章分析了基于精细化建模的倾斜摄影数据采集方法在公路工程中的应用，探讨了该技术在精准三维建模和数字化管理中的重要性。通过对倾斜摄影数据采集中的关键技术问题的分析，提出了优化数据采集方案的策略，包括提高数据精度、选择合适的采集设备、应对环境因素的影响等。尤其是在动态路况下的数据采集、数据精度与分辨率的要求、多视角数据融合等方面，仍然存在一定的技术挑战。为此，精细化建模的应用流程和优化策略具有重要的现实意义。未来的研究应进一步推动设备技术的进步，提升数据处理算法的精度，探索更多适应复杂环境的采集模式。同时，随着智能化和自动化技术的进步，公路工程领域将能够更高效、更精准地完成三维建模和数字化管理，推动公路建设和维护的精细化与智能化发展。

参考文献：

- [1] 汪子璐. 面向机载LiDAR点云的建筑物三维建模方法研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
- [2] 张森桂, 胡艺. 三维激光扫描技术在景区危岩扫描监测中的应用[J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(05): 128-130+133.
- [3] 徐光霁, 刘梅. 民族文物铜鼓三维数据的采集与应用探索——以“西汉云雷纹大铜鼓”为例[J]. 文博论丛, 2022, (00): 91-98.