

测绘工程中航空摄影资料解译精度提升的关键因素研究

徐章琼

湖南杰宇测绘系统有限公司 湖南 长沙 410000

【摘要】：航空摄影资料解译精度直接关系到测绘成果的可靠性。针对传统解译方法在复杂地物识别中存在的局限，提出融合高分辨率影像数据与智能化处理算法是提升精度的核心路径。通过分析影像分辨率、控制点布设及解译人员经验对结果的影响，建立多因素耦合的精度控制模型。实验结果表明，引入深度学习辅助解译与多源数据融合策略，能显著降低解译误差，为高精度测绘提供技术支撑。

【关键词】：航空摄影测量；解译精度；影像分辨率；智能解译；精度控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.063

1 航空摄影资料解译中的精度制约因素

1.1 影像空间分辨率与清晰度的限制

影像空间分辨率决定了航空摄影资料对地物细节的表达能力，是制约解译精度的基础性因素。当分辨率不足时，地物边界模糊，细小地物难以辨识，导致混合像元增多，直接影响分类与矢量化精度。成像过程中受大气湍流、传感器抖动及天气条件影响，影像易出现模糊、噪声与几何畸变，进一步削弱解译可靠性。高精度测绘要求影像具备足够的地面采样距离，以确保关键地物特征的完整性与可识别性，因此，提升原始影像的清晰度与空间分辨能力，是实现高精度解译的前提条件。

1.2 地面控制点布设的合理性影响

地面控制点作为连接像方坐标与物方坐标的基准，其布设方案直接影响航空影像的几何纠正精度。控制点分布不均、数量不足或位置选择不当，易导致区域网平差模型畸变，尤其在地形起伏较大区域，高程控制点缺失将显著影响三维坐标解算的准确性^[1]。控制点的量测精度与影像匹配质量同样关键，粗差的存在会传播至整个解译成果中。科学布设具有代表性和稳定性的地面控制点，是保障解译结果空间一致性和几何精度的重要环节。

1.3 解译人员经验与主观判断偏差

人工解译过程中，解译人员对地物光谱特征、纹理结构及上下文关系的理解程度，直接决定判读结果的准确性。不同人员在知识背景与实践经验上的差异，易导致对同类地物的判别标准不统一，产生边界勾绘偏差或属性误判。尤其在复杂地类交界区域，主观判断的不稳定性更加突出。建立标准化解译标志与作业规范，结合辅助信息进行交叉验证，有助于降低人为因素对解译精度的不利影响，提升成果的一致性与可信度。

2 提升解译精度的数据获取优化策略

2.1 高分辨率传感器的选型与应用

在航空摄影数据采集阶段，传感器的核心性能指标直接决定了原始数据的几何与辐射质量。选择具备高调制传递函数特

性的数码航摄影仪，能够有效提升影像的边缘锐度与细节还原能力，减少因光学系统模糊导致的地物轮廓失真。针对不同测绘比例尺需求，需匹配相应像元大小的焦平面阵列，确保地面采样距离满足规范要求，避免因欠采样造成高频信息丢失。同时，传感器的动态范围与信噪比特性不容忽视，在光照条件复杂的区域，宽动态范围可防止高亮区域过曝与阴影区细节缺失，低噪声水平则保障了后续影像匹配与特征提取的稳定性。集成高精度惯性测量单元的传感器系统，能够实时记录曝光瞬间的姿态参数，为无地面控制点或稀疏控制点条件下的快速成图提供技术支撑，从而从源头降低几何畸变对解译精度的制约。

2.2 多时相多光谱影像的融合采集

单一光谱波段的影像往往难以全面反映地物的物理属性，引入多光谱信息可显著增强地物间的可分性。通过同步采集可见光、近红外乃至短波红外波段的数据，构建多维特征空间，能够有效区分光谱响应相似的地物类型，如不同植被覆盖度的林地与农作物。多时相数据的获取策略则针对地表覆盖的动态变化特性，利用物候差异或地表湿度变化规律，在不同时间节点进行重复拍摄，通过变化检测算法剔除临时性干扰物的影响，提取稳定可靠的地物边界^[2]。在数据融合层面，采用基于小波变换或主成分分析的融合算法，将高分辨率全色影像的空间细节注入到多光谱影像中，生成兼具高空间分辨率与丰富光谱信息的融合产品。这种多维度数据采集模式不仅提升了影像的解译判读能力，还为自动化分类算法提供了更具代表性的训练样本，减少了因光谱混叠导致的误判率。

2.3 飞行姿态与成像几何条件控制

航空摄影过程中的平台稳定性直接关系到影像的内部几何结构，姿态角的剧烈变化会引入投影差与像点位移，增加后续正射校正的难度。采用高稳定性无人机或有人机平台，配合三轴增稳云台，能够有效抑制机体滚转、俯仰与偏航对成像光轴的影响，确保影像序列间的重叠度与航向一致性。在航线设计阶段，需根据地形起伏情况优化基准面高程，合理设置像片重叠度，特别是在高差显著区域，适当增加旁向重叠度以保证

立体模型的连续性。成像时刻的太阳高度角与方位角对影像的阴影效应具有决定性影响,过长的阴影会掩盖地物细节,干扰纹理分析。选择太阳高度角适宜的时段进行数据采集,能够减少地形阴影对地物识别的遮蔽作用,提升影像的光照均匀性,为后续的辐射一致性处理与自动解译创造有利的几何与光照条件。

3 智能化解译技术与算法改进路径

3.1 深度学习在地物自动识别中的应用

卷积神经网络通过构建多层级的非线性映射结构,实现了对航空影像中地物光谱、纹理及空间上下文信息的深度挖掘。全卷积网络架构的引入,使得端到端的像素级分类成为可能,通过编码器-解码器结构的特征金字塔,有效融合了深层语义信息与浅层细节特征,解决了传统方法在地物边界定位上的模糊性问题。针对航空影像中目标尺度变化大、形状不规则的特点,引入空洞卷积与空间金字塔池化模块,扩大了网络的感受野,增强了模型对多尺度目标的适应能力。同时,注意力机制的嵌入使得网络能够自适应地聚焦于地物的关键判别区域,抑制背景噪声的干扰。迁移学习策略的应用,利用在大规模自然图像数据集上预训练的权重进行微调,缓解了测绘领域标注样本稀缺的问题,提升了模型在复杂场景下的泛化性能,减少了人工设计特征的主观性,为高精度自动化解译提供了技术支撑。

3.2 多尺度分割与特征提取算法优化

面向对象的影像分析范式依赖于多尺度分割算法对影像进行同质区域的聚合,分割尺度的合理性直接决定了后续特征提取的准确性。改进的多尺度分割算法综合考虑了光谱异质性与形状异质性,通过优化区域合并的判别准则,使得分割边界能够更精确地贴合地物的实际轮廓^[3]。针对不同地类对尺度的敏感性差异,采用多分辨率分割策略,在建筑物密集区采用较小的尺度参数以保留细节,在均质植被覆盖区采用较大的尺度参数以提高计算效率。在特征提取阶段,构建高维特征空间,涵盖光谱矩、植被指数、纹理特征及形态学特征,利用主成分分析或线性判别分析进行特征降维,剔除冗余信息,保留最具判别力的特征组合。特征标准化处理消除了不同量纲特征间的数值差异,确保了分类器在训练过程中的稳定性,提升了地物识别的精度与鲁棒性。

3.3 人机协同解译模式的构建

尽管自动化解译技术取得了显著进展,但在处理复杂地物关系与模糊判读场景时,仍需结合专家知识进行干预与修正。人机协同解译模式通过建立交互式解译环境,实现了算法自动提取与人工精修的有机结合。解译人员利用智能标注工具,对自动化解译结果进行局部修正与属性赋值,修正后的样本实时反馈至模型训练集,驱动模型在线更新与迭代优化。知识图谱技术的引入,将地学规律与解译专家的经验规则编码为计算机

可理解的逻辑约束,指导算法在分类过程中的推理决策,减少逻辑错误的发生。版本控制系统记录解译过程中的每一次修改,保障了数据的可追溯性。这种协同模式充分发挥了计算机在处理大规模数据时的高效性与人类在复杂认知任务中的优势,提升了整体解译工作的效率与精度,满足了高精度测绘工程对成果质量的严格要求。

4 精度控制模型与质量评价体系构建

4.1 多因素耦合的误差传播分析

航空摄影资料解译精度受制于数据获取、处理算法与人为判读等多重环节的交互作用,其误差并非孤立存在,而是遵循特定路径进行累积与扩散。构建多因素耦合的误差传播模型,需系统剖析几何畸变、辐射失真与分类偏差之间的内在关联。传感器姿态角的微小波动引发的像点位移,经立体匹配算法放大后,将导致数字表面模型的高程误差,进而影响正射影像的几何纠正精度。影像分割尺度与地物实际尺寸的不匹配,会造成光谱特征的混合,这种特征不确定性在分类过程中传递,最终表现为地物边界的锯齿状失真或属性错分。利用蒙特卡洛模拟方法对误差源进行敏感性分析,量化各环节误差对最终成果的贡献度,识别出对精度影响权重最大的关键节点。通过建立误差传递函数,描述从原始影像到解译成果各阶段不确定性的演变规律,为制定针对性的精度控制策略提供理论依据。

4.2 解译成果的定量精度验证方法

定量精度验证是评估解译成果可靠性的核心环节,需建立基于独立验证样本的统计评价体系。选取具有代表性的验证点集,确保其在空间分布与地类构成上与解译区域保持一致,避免因样本偏差导致精度评估的失真。采用混淆矩阵作为基础分析工具,计算生产者精度、用户精度、Kappa系数及总体分类精度等指标,全面反映不同地类的识别效果与误差分布特征^[4]。针对矢量数据的几何精度验证,利用高精度参考数据进行套合分析,计算线状地物的平面位置中误差与面状地物的边界偏差,量化解译成果的空间一致性。引入面向对象的验证策略,将解译图斑与验证数据进行拓扑关系匹配,评估地物形状特征的保真度。通过分层抽样与统计推断,将局部验证结果推广至整个测区,客观描述解译成果的精度水平,为后续的质量改进提供数据支撑。

4.3 闭环反馈式质量控制机制设计

传统的质量控制模式多为事后检验,难以有效遏制误差在解译流程中的累积。闭环反馈式质量控制机制通过建立过程监控与动态修正的交互体系,实现对解译精度的主动管理。在解译流程的关键节点设置质量检查点,实时提取中间成果的质量指标,与预设的精度阈值进行比对。当检测到偏差超出容许范围时,触发预警机制,自动回溯至前序处理环节进行参数调整或数据重处理。解译人员根据质量报告对自动化解译结果进行

人工修正，修正后的样本作为新增训练数据反馈至分类模型，驱动模型参数的在线更新与优化，提升模型对特定场景的适应能力。版本控制系统完整记录每次质量检查与修正操作，形成可追溯的质量日志。这种动态调整的控制模式将质量保障融入解译全过程，通过持续的反馈与优化，确保最终成果的精度稳定达到预定标准。

5 工程应用验证与精度提升效果分析

5.1 典型区域测绘项目的实验设计

实验区域的选取综合考虑了地形地貌、地物复杂度及土地利用类型的多样性，以全面检验解译策略的有效性。项目采用统一的航空摄影平台，在设定的基准航高下获取高分辨率影像数据，同步采集高精度惯性导航系统与全球导航卫星系统数据，为后续的几何处理提供初始参数。实验设计包含对照组与实验组，对照组沿用传统的目视解译与基于像素的分类方法，实验组则集成应用前文所述的高分辨率数据优化策略与智能化解译算法。在数据预处理阶段，严格控制影像的辐射一致性与几何精度，利用区域网平差技术进行整体纠正。针对不同地类设置特定的解译样本库，确保训练样本的代表性与纯净度。实验流程涵盖影像融合、多尺度分割、特征提取、自动分类及人工编辑等环节，详细记录各阶段的处理参数与耗时，为后续的精度与效率分析提供完整的过程数据。

5.2 不同解译方案的精度对比结果

通过对多组解译成果进行定量精度验证，揭示了不同技术方案在解译效果上的显著差异。基于混淆矩阵的统计分析表明，实验组的总体分类精度与 Kappa 系数均明显高于对照组，特别是在建筑物密集区与细小线状地物的提取上，精度提升效果突出。自动化解译结合人机协同修正的方案，在保持较高用户精度的同时，显著提升了生产者精度，减少了漏提与错提现象^[5]。

象^[5]。几何精度检测结果显示，采用优化数据获取策略的影像，其平面位置中误差控制在更小的范围内，地物边界更加平滑，拓扑关系更加合理。深度学习模型在处理光谱异质性强的地物时，表现出更强的鲁棒性，能够有效区分光谱特征相近的干扰地物。不同方案的对比结果验证了数据质量与算法优化对提升解译精度的关键作用，证明了集成化技术路线的优越性。

5.3 优化策略在实际工程中的适用性

集成化的精度提升策略在实际工程应用中展现出良好的适应性与推广价值。高分辨率传感器与多光谱融合技术的结合，能够满足不同比例尺测绘项目对数据质量的严苛要求，尤其在城市精细化建模与生态环境监测等场景中优势明显。智能化解译算法大幅提高了数据处理效率，缩短了项目周期，降低了对人工解译的依赖程度，同时通过人机协同模式保证了成果的专业性与可靠性。闭环反馈式质量控制机制能够及时发现并纠正解译过程中的偏差，确保成果质量的稳定性。然而，在地形极端复杂或地物光谱特征高度混杂的区域，仍需依赖解译人员的专业知识进行干预。该优化策略为航空摄影测量工程提供了系统化的技术框架，可根据具体项目需求灵活调整技术路线，具有广泛的工程应用前景。

6 结语

航空摄影资料解译精度的提升依赖于数据获取、算法优化与质量控制的协同作用。高分辨率传感器与多光谱融合技术为解译提供了高质量的数据基础，深度学习与多尺度分割算法增强了地物识别的准确性，闭环反馈式质量控制机制保障了成果的可靠性。典型区域的工程验证表明，集成化的技术路线能够显著提升解译精度与效率，满足高精度测绘工程的实际需求。未来的研究应进一步优化算法的泛化能力，拓展多源数据的融合深度，推动航空摄影测量技术向更高精度、更智能化的方向发展。

参考文献:

- [1] 柳鹏飞.影像重叠度对无人机航空摄影测量精度的影响分析[J].甘肃科技,2025,41(7):71-74.
- [2] 乔燕英.无人机航空摄影测量影像数据快速处理技术[J].智能城市应用,2025,8(1):123-125.
- [3] 杨阳阳,赵叶,田野.矿山高精度地形测绘中无人机航空摄影测量实践研究[J].世界有色金属,2025(20):195-197.
- [4] 蒋洋洋,黄新波.基于无人机航空摄影测量的高陡边坡勘察研究[J].智能城市,2025,11(5):46-48.
- [5] 余峰,苏宁英.航空摄影测量成果质量控制方法探讨[J].经纬天地,2025(6):41-44.