DOI:10.13203/j.whugis20260223 文章编号:1671-8860(2026)07-1509-01

# 基于精细化空谱表征学习的高光谱图像分类算法研究

徐一楚 武汉大学计算机学院,湖北 武汉,430072

# Research on Hyperspectral Image Classification Algorithms Based on Fine-Grained Spectral-Spatial Representation Learning

*XU Yichu* School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China

中图分类号:P237 文献标识码:D

高光谱图像由数十至数百个连续窄波段构成,能够记录精细的地物光谱响应,具有较强的类别判别能力,在土地覆盖制图、精准农业监测等任务中应用广泛。高光谱图像分类是高光谱解译的重要环节,直接影响后续信息提取与应用分析的可靠性。同时,高光谱影像存在维度高、波段相关性强、冗余与噪声易累积等问题,复杂地物在尺度、形态和方向上的差异也进一步增加了分类难度。因此,如何实现高效、精细的空谱联合表征,是高光谱图像分类的关键问题。

基于此,该文聚焦精细化空谱联合表征学习,围绕空谱信息由粗粒度、静态式建模向精细化、自适应表征演进的需求,沿着空谱联合建模—层级交互融合—选择性上下文筛选—动态专家自适应的技术主线开展研究,以提升模型对复杂地物、多尺度场景和困难样本的判别能力、鲁棒性与泛化性能。主要研究内容与创新点如下:

1)针对高光谱影像中尺度差异显著、空谱信息紧密耦合所带来的表征困难,现有方法往往难以同时兼顾空间域多尺度上下文刻画与光谱域全局依赖建模,导致跨尺度结构关系表达不足、细微光谱差异利用不充分。因此,该文提出空谱自注意力学习网络,通过空间与光谱建模增强联合表征能力。其中,构建金字塔空间注意力机制以在多尺度层级上聚合局部细节与全局背景信息,并显式融合不同尺度像素间的空间关联。同时,引入全局光谱Transformer,在光谱维度建立跨像素的长程相关性,强化谱间依赖与判别性差异的表达,从而提升空谱表征的区分度与稳健性。

2)针对现有空谱融合方法多发生在输出或决策阶段、特征学习过程中缺乏显式空谱交互,以及全量自注意力计算开销较高、难以兼顾全局建模与高效融合的问题,该文提出空谱层级交互融合分类网络。该网络将空谱交互前移至特征提取阶段,引入视觉状态空间模型增强全局上下文建模能力,并结合通道注意力自适应聚合光谱响应,以突出判别性光谱信息。同时,设计空谱交互模块,从空间和光谱两个维度对特征进行动态重加权,促进跨维度信息融合。在层级结构下,网络于不同阶段逐步完成特征提取与交互融合,形成多尺度空谱联合表示,从而提升模型的鲁棒性和分类性能。

3)针对Transformer全量交互易引入冗余与无关信息、难以聚焦判别性空谱上下文的问题,该文提出空谱双重选择融合网络,在感受野选择与Token选择两个层面引入选择性建模机制,以减少干扰并提升上下文利用效率。具体而言,提出核选择性融合Transformer块,自适应确定更合适的上下文感受野,并在空间与光谱两个视角内聚合有效信息。同时,构建Token选择性融合Transformer块,在融合过程中筛选并强化关键空谱Token,抑制无关响应,从而获得更具判别性且更易解释的空谱表征。

4)针对统一静态的空谱融合范式难以适应高光谱样本差异,易造成空谱信息利用不足与融合偏置的问题,该文提出空谱混合专家动态融合网络,实现面向样本差异的动态自适应建模。具体而言,该文将混合专家机制引入高光谱图像分类,构建基于Mamba的空间-光谱混合专家框架,通过稀疏激活实现样本级专家调度与动态融合。其中,混合专家模块集成空间路由专家与光谱共享专家,以增强空谱特征的动态学习能力,并提升模型对不同样本分布的适应性。同时,引入不确定性引导的纠正学习策略,对边界模糊区域和混合像元等高不确定样本进行特征精炼,从而降低预测的不确定性,提升复杂场景下分类结果的稳定性与可靠性。

作者简介:徐一楚,2026年6月毕业于武汉大学(指导教师:张乐飞教授、张良培教授),研究方向为高光谱图像处理、遥感基础模型。xuyichu@whu.edu.cn

引文格式:XU Yichu. Research on Hyperspectral Image Classification Algorithms Based on Fine-Grained Spectral-Spatial Representation Learning[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2026, 51(7): 1509. DOI:10.13203/j.whugis20260223.(徐一楚.基于精细化空谱表征学习的高光谱图像分类算法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(7):1509. DOI:10.13203/j.whugis20260223.)