# 多源遥感数据融合在村庄空间结构优化中的应用研究

莫业飞
广西壮族自治区地理信息测绘院　广西 柳州　545000

**摘　要**　随着农村建设和土地利用的快速变化，村庄空间结构优化面临数据滞后、边界不清晰及分析精度不足等问题。多源遥感数据融合技术通过整合不同分辨率、不同时相和不同传感器的数据，实现信息互补与精度提升，为村庄空间结构优化提供了高效支持。本文结合多源遥感数据处理方法，探讨了其在边界识别、动态更新、空间尺度统一、信息融合及评价指标体系建设等方面的应用路径，为村庄规划与可持续发展提供技术参考。

**关键词**　多源遥感；数据融合；村庄空间结构；边界识别；空间优化

**Application Research of Multi-Source Remote Sensing Data Fusion in Village Spatial Structure Optimization**

Mo Ye-fei
Guangxi Zhuang Autonomous Region Geomatics Center, Liuzhou 545000, Guangxi Province, China

**Abstract**　With the rapid evolution of rural construction and land use, the optimization of village spatial structures faces challenges such as data obsolescence, ambiguous boundary delineation, and insufficient analytical precision. Multi-source remote sensing data fusion technology, by integrating data from varying resolutions, temporal phases, and sensor platforms, facilitates information complementarity and accuracy enhancement, thereby providing robust support for the optimization of village spatial structures. This paper employs multi-source remote sensing data processing methodologies to explore application pathways in boundary identification, dynamic updating, spatial scale harmonization, information fusion, and the establishment of evaluation index systems. The findings aim to provide a technical reference for village planning and sustainable development.

**Key words**　Multi-Source Remote Sensing; Data Fusion; Village Spatial Structure; Boundary Identification; Spatial Optimization

村庄空间结构是乡村规划和土地利用管理的重要基础，其优化对于提高土地利用效率、改善居住环境和促进农村可持续发展具有重要意义。然而，传统村庄空间结构分析依赖单一数据源，存在分辨率低、信息滞后和更新困难等问题。随着遥感技术的快速发展，多源遥感数据融合为获取高精度、多时相、动态更新的空间信息提供了可能，为村庄空间结构优化提供了新的技术手段和应用路径。

## 1　多源遥感数据融合在村庄空间结构优化中的应用重要性

多源遥感数据融合在村庄空间结构优化中应用价值显著，可以融合光学影像、雷达影像、高分辨率卫星数据、无人机航拍数据，获得精确的空间信息。光学影像空间分辨率0.5 ~ 5 m，可用于建筑轮廓和道路提取；雷达影像在降雨或云雾覆盖条件下仍然可以获取地表信息，弥补光学影像的盲区；高分辨率卫星数据可以提供1 ~ 2 m分辨率的地块级土地利用信息，无人机航拍数据可以实时获取厘米级分辨率影像，用于微尺度地形和建筑提取。通过融合这些多源数据，并利用像素级配准、特征级分类及决策级融合算法，把村庄边界识别的精确度提升到米级误差范围以内，实现土地利用类型识别的准确率超越90%，融合之后的高精度数据既可支撑村庄布局改良、道路网络规划及公共设施布置，又可为动态监测和土地利用改变剖析提供牢靠根基，从而为科学规划和可持续发展提供技术保证。

## 2　当前村庄空间结构优化中常见问题分析

### 2.1 村庄边界提取不准确

村庄边界提取的准确度关乎空间结构改良的可信度，不过在实际操作中常常被遥感数据的分辨率和影像品质所约束，光学卫星影像像Sentinel-2的空间分辨率为10 ~ 20 m，不能细致地辨别小建筑和窄道路边界，致使边界误差在5 ~ 15 m之间；高分辨率卫星影像如WorldView-3具有0.3 m分辨率，可以辨认单体建筑外形，但是当多种来源的数据融合的时候，由于影像时间不同步，易出现边界形状存在不一致情况。无人机航拍数据能

够达到0.05 ~ 0.1 m的地物分辨率，但是航拍的覆盖面积有限，不能够形成全村连续影像，导致边界提取有空白区域或者重叠误差。并且村庄边缘土地类型多样，包含农田、道路、绿地、水体，单一光谱特征难以区分建筑与农田，传统分类算法在提取边界时容易混淆，导致错识或者漏识[1]。

### 2.2 空间信息更新滞后，难以反映最新发展态势

村庄建设活动与土地利用改变速度较快，新农村创建，农房改建及道路拓宽项目里，单凭遥感数据更新周期长，难以做到即时监测，以Landsat系列影像为例，其更新周期达16 d，MODIS影像虽可实现1 d更新频率，但空间分辨率仅为250 m，无法细致表现村庄建筑布局和道路网络改变情况。在实际分析过程中，由于数据滞后，新建建筑和道路未被及时体现，村庄空间结构改善方案所依托的基础数据可能与实际状况有所差别，进而影响规划方案的合适性与可操作性。此外，历史影像与现状数据比较时，受时间差距影响较大，很难精确量化土地利用改变速率和空间扩展趋向，加大了改善决策的不确定性。

### 2.3 数据分辨率差异导致分析结果不一致

多源遥感数据在空间分辨率、光谱波段和成像角度上存在差异，光学影像分辨率可达0.3 ~ 10 m，SAR影像空间分辨率一般为1 ~ 30 m。不同数据源直接叠加分析时会存在尺度差异，使得土地利用分类结果差异较大，同一建筑物在高分辨率影像中可完整提取，在低分辨率影像中则会被模糊化或者与周边农田混淆，影响道路网络连通性分析和公共设施布局优化。多时相影像还存在几何畸变、方位角偏差和大气散射影响，未进行精确配准时，分析结果可能产生几米到十几米的空间误差，影响土地利用统计、人口分布评估和空间结构优化评价。

### 2.4 多源数据融合方法单一，信息利用效率低

在现有村庄空间结构优化研究中，多源数据融合大多采用像素级或者特征级融合手段，如依靠加权平均法、主成分分析及最大似然分类算法等，缺少融合深度学习或者决策级融合的综合办法，单一方法在应对不同分辨率、不同传感器类型的数据时，很难充分利用各种数据的互补信息，光学影像可以提供建筑和道路的纹理特征，但是对植被覆盖和水体信息的敏感度不高，雷达影像在植被覆盖或者湿润土壤环境下能获取到高度信息，不过在建筑边界提取上精确度有限。如果融合方法太简单，就容易出现信息冗余或者信号丢失，提取出来的空间信息精度达不到村庄布局优化所要求的高精度标准，使得分析效率低而且结果不可信[2]。

## 3 多源遥感数据融合在村庄空间结构优化中的应用研究

### 3.1 提高边界识别精度，采用多源影像交叉验证

边界识别精度是村庄空间结构优化的关键问题，要达成高精度识别，可以采用多源影像交叉验证方法，把光学卫星影像、雷达影像、高分辨率卫星数据及无人机航拍数据结合起来：光学卫星影像（Sentinel-2）有10 ~ 20 m的分辨率，可以获取村庄整体的边界轮廓，但是对小型建筑物和狭窄道路的识别比较模糊，误差在5 ~ 15 m之间；高分辨率卫星影像（WorldView-3）可以做到0.3 m的分辨率，可以提取单体建筑轮廓和道路边界，不过会碰到由于时相不同造成的边界错位问题；无人机航拍数据的分辨率可以做到0.05 ~ 0.1 m，可以捕捉到细微的建筑特点和道路拓扑结构，但是航拍范围有限，不能够完全涵盖整个村庄；雷达影像（TerraSAR-X）分辨率1 ~ 3 m，在云雾雨天中也可获得地表高度，对建筑物高程和道路坡度的分析有优势。通过不同来源的影像在像素级上进行配准，然后采用Canny算子、Sobel算子和基于纹理特征的分类方法进行特征级边界提取，最后在决策级采用交叉验证方法进行边界比对，可以将村庄边界识别精度提高到米级误差范围，减少错识和漏识，提高空间结构优化基础数据的可靠性[3]。

### 3.2 构建动态更新机制，实现实时数据更新

在村庄空间结构优化中，创建动态更新机制是解决数据滞后问题的核心环节。借助多源遥感数据实现及时的空间信息更新：高分辨率卫星影像PlanetScope有3 m的分辨率和每日观测频率，可对村庄区域执行近实时监测，获取到新建建筑、道路拓宽、农田改造等动态信息；无人机航拍影像的分辨率达到0.05 ~ 0.1 m，用于关键区域的微尺度数据补给，实现局部细节的精确更新。动态更新流程包含自动影像下载、辐射校正、几何配准及特征提取，全部处理时间在30 min以内，以保证数据可以迅速应用。变化检测算法结合多时相影像来分析建筑扩展面积、道路长度及农田调整状况，其中建筑轮廓变化精确度达0.1 ~ 0.3 m，土地覆盖变化识别误差在1 m以内，从而实现精准的动态监测。数据管理借助云计算平台与数据库系统完成自动存储并执行版本管理，支持对多源数据实施叠加及查询，保证不同分辨率与传感器类型的数据可被统一调取。在此基础上可生成实时村庄空间结构图及变化热力图，助力规划部门可迅速决策，使道路网络布局、公共设施布局更合理，土地利用变化趋势可监测，空间结构优化更科学且及时。

### 3.3 引入多分辨率数据匹配算法，统一空间尺度

在村庄空间结构优化中，多源遥感数据存在空间分辨率和

尺度上的差异，若直接进行叠加分析则会出现信息错位与统计偏差。因此，必须要借助多分辨率数据匹配算法来达到空间尺度的统一。高分辨率卫星影像（如WorldView-3）的分辨率为0.3 m，能够精准地提取出单体建筑、道路边界以及小型水体的信息；中分辨率光学影像（如Sentinel-2）的分辨率为10 m，可以提供村庄整体的土地利用状况和地形概览，雷达影像（如TerraSAR-X）的分辨率为1～3 m，在降雨或者云雾天气下能够获取建筑物的高程及地表的粗糙度信息。多分辨率匹配首先要把不同分辨率的影像按照像素重采样与几何校正方法调整成同一张网格，可以使用双线性插值、三次卷积插值或者最近邻插值等方法，把误差控制在0.5～1 m之间，并且还要结合控制点来进行校正从而消除几何畸变。特征级匹配通过建筑轮廓、道路纹理、水体边界进行空间对齐，采用图像配准算法与相似性度量方法进行精细调整。最后将高分辨率影像、雷达影像、DEM数据（分辨率为5 m）统一到同一空间尺度上，用于建筑密度分析、道路连通性评价、土地利用分类等，保证不同来源的数据在空间叠加、统计分析、优化决策等方面的一致性和可比性，提高村庄空间结构分析的精度和可靠性，为科学规划提供数据支撑[4]。

### 3.4 采用多方法融合技术，提升信息提取效率

信息提取效率是多源遥感数据应用的关键指标之一[5]。单一的融合方法很难使多源多尺度遥感数据的互补优势发挥出来，因此可以在像素级、特征级及决策级融合的基础上，引入机器学习及深度学习算法进行高效的信息提取。像素级融合利用加权平均与主成分分析方法，融合光学影像与雷达影像，前者分辨率在0.5～10 m范围内，后者分辨率为1～3 m，从而得到基础地物信息。特征级融合利用提取图像上的纹理、形状和光谱的特征进行分类。例如建筑物的边缘的提取就可以用纹理对比度、边缘的梯度特征进行提取，允许误差为0.2～0.5 m。决策级融合把多种数据源的分类结果加以融合，利用投票法或者模糊综合评价或集成神经网络做出最后的分类决策。如卷积神经网络（CNN）这样的深度学习模型，可以接受高分辨率影像及无人机航拍数据作为输入，从而产生出建筑物、道路和农田这些分类图层，识别精确度能够达到90%～95%，且提取效率得到了明显改善。采用多方法融合技术之后，能在很短的时间内对大量村庄的数据实施处理，同时保证信息的完整性和分析的精确度，为空间结构的改善提供有力的支持[6]。

## 4 结束语

多源遥感数据融合在村庄空间结构优化中有明显应用价值，光学影像、雷达影像、高分辨率卫星数据和无人机航拍数据融合后，可实现边界识别精度提升、数据动态更新、多分辨率统一及信息提取效率提高。融合的高精度、多时相空间信息为建筑布局优化、道路网络规划和公共设施配置提供可靠依据；量化评价指标体系可科学评价优化效果。将来随着传感器分辨率改善和算法优化，融合技术在村庄空间规划中的作用会更大，为科学决策和可持续发展提供数据基础和技术保证。

## 参考文献

[1]朱广伟.多源遥感数据融合在土地监测中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(5):95-97.

[2]周雷,周浩卓.遥感数据处理中多源数据融合方法研究[J].科技创新与应用,2025,15(14):162-165.

[3]杨晓晨.多源遥感数据融合与耦合模型驱动的河流水文季节性时空分异机制研究[J].资源导刊,2025(8):32-34,38.

[4]舒谜,林辉,杨旸谷.基于多源遥感数据决策级融合估测森林蓄积量[J].中南林业调查规划,2025,44(1):50-56.

[5]宋杰,张朝,韩继冲.基于GEE与多源遥感数据融合反演高时空分辨率物候[J].遥感学报,2024,28(11):2910-2926.

[6]张艳红,横霞. 我国农村空间结构优化研究[J].调研世界,2009(11):9-11.

（本文编辑　杜宇琪）

