

资源导刊

信息化 测绘

国际标准连续出版物号: ISSN 1674-053X 国内统一连续出版物号: CN 41-1389/D

2026

第 8 期

总第534期

实干笃行 书写“十五五”开局新篇

——河南省测绘地理信息工作半年回眸与展望

河南省测绘地理信息技术中心筑牢汛期应急测绘保障防线

真贫真扶笑开颜

河南省测绘地理信息技术中心驻村工作队工作扫描

ISSN 1674-053X



9 771674 053074

中甸 定价: 10 元



扫码关注我们

河南省测绘地理信息技术中心召开 2026年半年工作推进会



本刊讯 7月21日，河南省测绘地理信息技术中心召开2026年半年工作推进会，总结上半年工作成效，研判当前形势短板，部署下半年重点攻坚任务。

会议指出，今年以来，省测绘地理信息技术中心以树立和践行正确政绩观学习教育为统领，紧扣河南省自然资源厅党组“十二项重点”工作部署，深入实施“十个突破”，加快推进测绘地理信息事业转型升级，破难点、抓重点成效明显，“十五五”基础测绘规划形成草案，“一张图”建设取得重要进展，实景三维数字时空底座进一步夯实，“三资”清查助力基层高效能治理，军民融合测绘项目落地见效，规范化管理加快推进，为圆满完成全年各项目标任务筑牢坚实基础。

会议强调，要紧盯目标任务，持续推进“十个突破”，强化开拓创新，深化重点攻坚，狠抓工作落实，确保“十五五”开好局、起好步。一要抓党建引领，坚持把抓好党建作为最大政绩，谋划开展“学论述抓攻坚建新功”特色党建活动，推动党建与业务深度融合。二要抓服务大局，加快推进实景三维河南建设收

官，全力做好农村集体“三资”清查整治技术保障，着力推进地理信息产业发展壮大。三要抓项目攻坚，坚持项目为王，大力推进“一张图”建设、现代测绘基准体系建设、遥感影像统筹与应用，在主动服务、协同攻坚中深度融合。四要抓军民融合，持续深化军地协同创新，深耕北斗定位、实景三维、遥感解译等核心技术，努力打造河南测绘军民融合特色品牌。五要抓科技创新，聚焦部省融合项目、省重点科技项目、省厅科技项目，强化科技攻关，以科技创新赋能测绘事业转型升级。六要抓业务拓展，紧盯重点领域、重点区域，强化沟通对接、协作共赢，全力推进测绘地理信息事业可持续发展。七要抓深化改革，统筹推进制度重构、机制重塑和队伍重整，努力在深化改革中厚植发展优势。八要抓风险防范，全面增强风险意识、底线意识，高度重视意识形态安全，加强项目管理，严格保密管理，抓实安全生产，确保大局安定平稳。

会议通报了上半年重点工作情况，有关单位、处室作了典型经验交流发言。□（王宗民 / 文 陈庆贺 / 图）

用好“空间标尺” 激活数字“通用底座”

——写在第23个全国测绘法宣传日之际

◎ 本刊评论员

2026年是“十五五”开局之年，8月29日我们迎来第23个全国测绘法宣传日，本次宣传周的活动主题是“维护地理信息安全 激发时空数据潜能”。站在新征程起点，深入学习贯彻习近平生态文明思想和习近平总书记关于自然资源工作的重要论述，把测绘地理信息工作放到“十五五”高质量发展全局中审视，河南既要守牢国家版图尊严与地理信息安全这条底线，也要把时空数据这座“隐形富矿”转化为支撑现代化河南建设的现实生产力。

测绘地理信息从来不是冷冰冰的坐标与图纸，而是生态文明建设的“空间标尺”，也是数字经济的“通用底座”。习近平总书记强调，要深化人工智能等数字技术应用，构建美丽中国数字化治理体系，建设绿色智慧的数字生态文明。对河南而言，山水林田湖草沙的系统性保护、1亿多人口城镇化与粮食主产区耕地红线的协同、黄河流域生态廊道与南水北调中线渠首的精准管护，无一不需要实景三维、遥感监测、北斗定位等时空能力嵌入业务全链条。没有准确的底图，就没有科学的规划；没有安全的时空数据，就没有可靠的数字治理。

“维护地理信息安全”，是法定职责，更是国家安全的重要组成部分。测绘法赋予自然资源部门依法管理基准站、涉密成果、众源采集与对外提供服务的权责，随着智能网联汽车、低空经济、AI遥感解译等新业态爆发，地理信息从“专业小众”走向“全民生成”，一张错误地图伤害国家主权，一次违规采集泄露敏感坐标危及基础设施。《卫星导航定位基准站管理办法》自2026年1月1日起施行，正把基准站建设、备案、运维、数据出口全面纳入法治轨道。河南作为区位枢纽与数据流通大省，必须压实分类分级保护、涉密成果可信分发、过程溯源等机制，推动《河南省测绘条例》增设的“新测绘新应用”专章落地见效，让“规范使用地图，一点都不能错”从宣传口号变成行业习惯与公众自觉。

“激发时空数据潜能”，是“十五五”给测绘地理信息开出的新考卷。当前实景三维中国数据集初步建成，实景三维河南坚持边建边用，北斗三号差分信号发布，“人工智能+卫星遥感”在麦玉轮作长势监测、中原粮仓估产、文保单位“太空巡查”中已显身手；“天地图·河南”连通便民服务，地理信息数据产品挂牌交易破题，测绘成果正从“库房”走向“战场”。面向未来五年，要把时空数据与耕地保护“一张图”、城市更新、低空物流航线划设、灾害应急“平急结合”深度耦合，让数据多跑路、治理少盲区；要鼓励科研院所、车企、无人机企业合规共建行业数据空间，把数据要素与资本、劳动力精准匹配，在守护地理信息安全前提下释放乘数效应。

国家版图意识是全体社会成员的共同防线。河南连续多年把地铁专列、青少年手绘版图、校园讲座作为宣传周标配，孩子笔下“一点都不能错”的中国轮廓，正是家国认知的最初坐标。进入“十五五”，宣传应更进一步：把版图知识写进研学课程，把地理信息安全纳入企业经营合规，把标准地图服务前置到媒体发布、展会招商、App上线环节，形成“懂版图、护安全、用数据、促发展”的社会共振。

开局关系全局，起步决定后势。当“十五五”蓝图在河南大地展开，测绘地理信息工作者既是底图绘制者，也是数据安全守门人，更是时空价值转化者。让我们以第23个全国测绘法宣传日为契机，牢牢锚定“维护地理信息安全 激发时空数据潜能”，把法治意识、版图尊严、数据思维一起种进中原沃土，为现代化河南建设提供更稳的时空底座、更亮的智慧引擎。☑

测绘资讯·政策解读
文化传播·技术交流



社 长：刘立新
执行总编：肖 峰
总 编：刘鹏飞
副 社 长：左金安
副 总 编：张中强
编辑部主任：王红闯
责任编辑：王 敏
摄影总监：赵洪山
文字编辑：王 敏
栗荣晓
陈庆贺
论文编辑：张 涛
美术编辑：宋 珂
发 行：丁 翔

国际标准连续出版物号：ISSN 1674-053X
国内统一连续出版物号：CN 41-1389/D
邮发代号：36-373 定价：10 元
印刷单位：河南普庆印刷科技有限公司
编辑部：0371-65941858
广告发行部：0371-65941854
投稿邮箱：xxhch2015@163.com
QQ 通联群：185394654
地址：河南省郑州市黄河路8号

弘扬测绘正能量的宣传阵地
打造行业主流声音传播平台
孕育测绘工程师的理想摇篮

资源导刊 信息化测绘

2026年 中旬 第8期 总第534期

主管单位：河南省自然资源厅
承办单位：河南省测绘地理信息技术中心
主办单位：河南自然博物馆
编辑出版：《资源导刊》杂志社

顾问

王家耀 中国工程院院士
刘先林 中国工程院院士
李建成 中国工程院院士
龚健雅 中国科学院院士
邹友峰 河南理工大学教授
刘文锴 华北水利水电大学教授
李广云 中国人民解放军网络空间部队信息工程大学教授
王召东 河南省土木建筑学会理事长
杜清运 武汉大学资源与环境科学学院教授
姚宜斌 武汉大学教授
郭增长 河南测绘职业学院教授
毛忠民 河南省测绘地理信息技术中心原二级巡视员

河南省测绘地理信息技术中心编委会

主 任 时统成
副主任 肖 峰 武永斌 王军胜
成 员 赵海滨 赵立明 刘 畅 孙常建 李 辉 许翔云
安玉琴 寿燕翻 卢 明 王明强 付治河 张向军
田耀永 朱志军 曹 源 周学军

核心型宣传合作单位

河南省测绘学会
河南省地理信息产业协会
河南省测绘院
河南省遥感院
河南省地图院
河南省地理信息院
河南省中纬测绘规划信息工程有限公司

友谊型宣传合作单位

东网空间地理信息有限公司
济源市自然资源技术保障中心
郑州市郑土测绘服务有限公司
河南微图信息科技有限公司
师梦勘测设计集团有限公司
中建国信大数据集团有限公司

声明

本刊发表的文字、图片、光盘等的版权归《资源导刊》杂志社所有，未经本社书面许可，不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印及传播，本刊保留一切法律追究的权利。

网站合作单位



目录

CONTENTS

卷首语

- 1 用好“空间标尺” 激活数字“通用底座”
——写在第23个全国测绘法宣传日之际

国内要闻

- 4 北斗卫星导航系统已全面完成在轨升级 等8则

时政传递

- 6 河南省测绘地理信息技术中心筑牢汛期应急测绘保障防线
7 河南省测绘地理信息技术中心召开上半年全面从严治党暨
意识形态工作会议
河南省测绘地理信息技术中心驻村工作队获群众点赞

特别关注

- 8 实干笃行 书写“十五五”开局新篇
——河南省测绘地理信息工作半年回眸与展望

测绘广角

- 12 2025年度河南省亚米级卫星影像数据获取项目通过验收
西平县国土空间基础信息平台及“一张图”系统建设项目通过验收
13 云上智选土地 赋能港区发展
——河南省地图院赋能郑州航空港区数字化建设纪实

经天纬地

- 14 真贫真扶笑开颜
——河南省测绘地理信息技术中心驻村工作队工作扫描

技术应用

- 16 一种融合条带注意力机制与多尺度上下文的高分影像道路提取方法
21 融合混合注意力机制的农村黑臭水体监测识别研究
25 面向多尺度遥感目标的LSKNet-YOLOv11s检测方法

- 29 农村宅基地房屋不动产权籍调查技术与方法研究
33 分级化自然资源政务知识治理与高可信问答系统研究
36 基于多源数据融合的华北地区干旱程度遥感监测研究
40 基于北斗定位的农机智能化作业管理系统设计与实现
44 基于分布式散射体（DS-InSAR）优化的南方非城市区
地表形变长时序监测
49 多尺度特征融合GIS边界优化的广州高密度建成区建筑提取
52 基于GIS与AHP的城市公共厕所智能选址与管理系统设计
55 基于无人机摄影测量的城市道路标线识别与GIS制图
59 城市高精度道路地图生产中多种测量技术融合策略探究

文苑撷英

- 63 宠辱不惊
64 孩子们的夏夜

封面

郑州郑东新区如意湖畔 赵洪山/摄



关注

北斗卫星导航系统已全面完成
在轨升级

据中国卫星导航系统管理办公室 7 月 31 日消息，北斗卫星导航系统已全面完成在轨升级。

后续，该系统将在全力确保稳定运行的基础上，丰富发展新的导航技术手段，向全球用户提供更加稳定可靠的定位导航授时服务，努力实现 2035 年前建设完善更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系的目标。

今年 3 月，中国卫星导航系统管理办公室发布消息称，为提供更加优质的服务，将对北斗卫星导航系统实施在轨升级，对部分卫星的工作状态进行优化调整。

据悉，北斗卫星导航系统作为建设成熟、功能完备、性能优越的全球卫星导航系统，目前在轨运行卫星数量已达 50 颗，持续向各类用户提供高精度定位导航授时服务，已成为支撑行业发展、服务百姓生活的科技先锋。

《水利遥感卫星应用发展总体方案
(2026—2035 年)》印发

近日，水利部印发《水利遥感卫星应用发展总体方案（2026—2035 年）》（以下简称《方案》），明确水利遥感卫星应用体系建设方向与重点任务。

《方案》设定分阶段建设指标，明确 2030 年、2035 年两大发展节点。到 2030 年，初步建成覆盖水利核心业务的遥感应用体系，完成重点区域亚米级影像季度常态化覆盖，针对堰塞湖、堤防决口等重大水利突发险情，实现小时级高分辨率连续遥感监测。到 2035 年，全面建成完备的水利遥感卫星应用体系，升级亚米级影像全域覆盖能力，强化水源地水质遥感监测，构建全空间、全要素、全天候卫星监测感知体系。

《方案》指出，将重点推进卫星资源、数据平台、业务应用、技术标准四大体系建设，整合扩充水利遥感卫星资源，搭建集中统一的多源遥感数据归集平台，持续深化遥感技术在水利各业务场景的落地应用。

《时空智能信息产业发展白皮书（2026）》发布

近日，《时空智能信息产业发展白皮书（2026）》在北京正式发布，系统梳理了我国时空智能信息产业发展全貌，精准研判行业发展机遇、现存挑战与未来

演进趋势，为产业规范化、高质量发展提供参考与指引。

白皮书明确，时空智能是卫星导航、地理信息、遥感等传统 3S 技术与人工智能深度融合的新兴领域，当前产业已完成从基础数据供给到智能认知应用的范式升级，迈入规模化务实落地的高速发展阶段。随着空天地多模态感知体系的持续完善，时空智能技术已深度赋能城市治理、自动驾驶、低空经济、生态监测等多个重点领域。

结合产业最新动态，白皮书迭代更新前沿研究内容，聚焦时空大模型、具身智能融合、城市智能体构建等核心赛道，剖析技术落地成果与商业化路径，全面总结产业发展经验，精准预判未来发展方向，将有效助力行业主体把握市场机遇，推动时空智能产业与数字经济、实体经济深度融合。

科技

全球首个地层学 AI 大模型发布

7 月 1 日，南京大学联合之江实验室、中科院南京地质古生物所研发的全球首个地层学 AI 大模型 OneStrata，在第五届国际地层学大会上发布，地球 46 亿年演化历程自此拥有统一共享的数字化数据库。

长期以来，全球地质数据碎片化、定年标准不统一，制约深时地球科学研究。依托两大权威地质数据库，OneStrata 大模型整合全球海量地层与多源异构数据，搭建可动态更新的高精度全球地质时间轴，实现化石智能检索、物种缺失预测、地层数字化对比等核心 AI 功能，将地球历史解码变为可计算、可视化的智能工作模式。

该大模型是我国深度参与“深时数字地球”国际



大科学计划的核心成果,将推动地学研究数字化转型,为矿产勘探、古气候研究、全球生态演变分析提供统一数据底座,同时提升我国在地学领域国际科技治理话语权,为 AI 赋能地球科学开辟全新路径。

国内首个空天地一体化全域智能产品矩阵发布

7月16日,国内首个空天地一体化全域智能产品矩阵正式发布。该矩阵聚焦智能地球、低空产业、商业航天三大发展方向,可支撑气象监测、应急救援、低空物流等多领域业务场景应用。

其中智能地球系列搭建全域时空智能平台,面向商业航天、低空经济、地下空间开发、深海经济、精准气象等领域,提供智能化技术底座。低空产业全链条产品紧扣低空安全管理与低空经济发展需求,覆盖低空物流、政务巡检、应急救援、城市低空治理等典型场景,推动技术成果实景落地。商业航天系列聚焦航天器制造、卫星星座安全运行管理两大领域,为空天产业规模化、智能化建设提供全方位技术保障。

该全域智能产品矩阵实现空天地技术资源统筹融合,进一步完善空天信息产业供给体系,赋能低空经济、商业航天等新兴业态持续创新,助力空天信息产业高质量发展。

国内首颗定量高光谱智算卫星成功入轨

7月22日,由中科西光航天全自主研制的国内首颗定量高光谱智算卫星“西光贰号01星(彩云高光谱01星)”在我国东海海域成功发射入轨。此次发射标志着中科西光航天“西光系列”星座构建起“人工智能+定量遥感”高光谱智能监测体系,开启我国商业高光谱遥感智能化、定量化发展新阶段。

该卫星运行于535千米太阳同步轨道,搭载静态干涉光谱、全色光学、在轨智能处理三大核心载荷,在可见光至近红外谱段达到国内商用领先水平,拥有10米空间分辨率、7纳米光谱分辨率核心指标,兼具高精度、大幅宽观测优势,有效提升我国商业高光谱遥感数据获取与在轨智能处理综合能力。

该星是“西光系列”、云南地矿“彩云星座”首发高光谱卫星,也是中科西光航天与江实验室联合打造的首款在轨 AI 算力卫星,可为自然资源管控、生态综合治理提供全天候动态精准的遥感数据支撑。

近日,中国科学院空天信息创新研究院研究团队攻克北方森林火灾精准监测难题,成功发布2020年至2024年全球泰加林10米分辨率逐年火烧迹地数据集,大幅提升北方高纬度森林火灾监测的精度与时效性。

针对传统30米分辨率林火数据易漏判、年份错配、人工解译成本高等短板,研究团队创新研发BS2BAM自动化林火识别算法,依托卫星影像自动提取样本、构建燃烧概率模型,精细化提取火烧区域边界,摆脱传统人工解译局限。数据验证显示,新数据集遗漏误差大幅下降,总体精度达98.09%,监测准确性显著优于同类产品。

依托该高精度数据集,研究团队精准摸清近五年全球泰加林野火分布规律,明确西伯利亚中部、北美洲北部为火灾热点区域,精准锁定2023年超过1100万公顷的重大过火灾害。此次数据集发布,为北方森林野火动态监测、生态修复及全球碳循环研究提供了权威精准的数据支撑。

7月29日,武汉市测绘研究院联合大疆行业应用建成“城市智眼”低空无人机遥感监测网络,系全国首个覆盖超大城市全域的低空监测体系。

该监测体系共在武汉市布设146座无人值守无人机机场,中心城区按2千米至3千米、开发区及新城区按4千米至5千米半径布设,除禁飞区外,无人机5分钟内可抵达市域任意点位。系统采用“低空监测网+云控平台+AI算法库+多业务场景”架构,自研高精度低空时空格网,实现机场智能调度、航线自动生成、障碍物自主规避,支持一键直飞、接力续飞、临时转飞自动化作业模式。

平台搭载数十类城市治理 AI 算子,搭建飞机端、边缘端、云端三级算力,无人机完成巡查后可快速输出实景三维模型。整套基础设施实行统一建设运维、多部门共享机制,交管、生态、林业、应急等16个行业单位共用机场网络,各部门数据与访问权限独立管控,系统已整体接入城市运行一网统管平台,依托全域三维地理底座支撑交通、环保、防火、河湖监管等常态化遥感巡查工作,助力超大城市实施精细化空间治理。☑

三聚焦强本领 以练备战护安澜

河南省测绘地理信息技术中心筑牢汛期 应急测绘保障防线

◎ 李辉

当前正值主汛期，防汛救灾形势严峻紧迫。为全面夯实汛期安全保障根基，充分发挥测绘地理信息技术应急支撑作用，河南省测绘地理信息技术中心坚决落实自然资源部及河南省自然资源厅防汛工作部署，迅速进入汛期临战应急状态，聚焦组织建设、能力提升、实战演练三大关键环节，全方位抓实抓细应急测绘保障各项工作，以精准高效的测绘赋能，全力守护人民群众生命财产安全。

聚焦统筹谋划，健全应急指挥体系。河南省测绘地理信息技术中心召开应急测绘保障专题会议，印发《关于做好应急测绘保障工作的通知》，进一步优化完善应急测绘协调机制、指挥体系和沟通联动渠道，构建权责清晰、运转高效的应急工作格局。同时，督导所属各单位召开专项工作会议，层层传达落实上级防汛抗旱工作要求，压紧压实各院应急测绘保障领导小组主体责任，对汛期队伍值守、装备运维、应急响应、成果供给等重点工作周密部署、细化分工，确保灾情研判精准、抢险决策科学、应急保障到位，全面筑牢防汛救灾测绘保障制度根基。

聚焦能力提升，强化业务培训赋能。河南省测绘地理信息技术中心立足汛期应急测绘实战需求，组织所属各单位重温《应急测绘保障预案》，进一步理顺内部组织架构、分级响应流程和内外业协同联动机制。结合各单位职能优势，开展差异化实操培训，提升应急处置能力。其中，省测绘院聚焦应急坐标参考框架维护更新，开展专项技能培训；省遥感院围绕汛期灾害处置场景，开展无人机恶劣天气航飞、灾情影像快速解译、应急专题制图、野外安全防护等实操教学；省地图院坚持平急结合，将应急保障融入日常工作，常态化做好各类突发事件、重大专项地理信息保障服务；省地理信息院紧盯成果调用、快速出图、数据安全保密等关键环节，开展专项培训，全方位锻造高素质、专业化的应急测绘队伍。



聚焦实战实效，开展全链条模拟演练。该中心坚持以演促防、以练促战，组织所属各单位开展场景化、全链条应急测绘模拟演练，全面检验应急预案可行性、队伍响应力和流程闭环处置能力。省测绘院模拟应急区域基准站故障突发场景，快速调度周边基准站补位保障，全力保障抢险救援卫星定位服务连续稳定、高效运行；省遥感院模拟黄河大堤突发汛情，开展多机型无人机协同应急测绘演练，顺利完成动态可视化巡查、高清影像快速获取、大范围长航时监测等科目，整体响应效率优于一级预案响应标准；省地图院严格落实24小时专人值班、领导带班、快速出图机制，高效适配各级部门防汛研判、指挥调度、应急处置的用图需求；省地理信息院启动测绘成果应急绿色通道，实现4小时内提供现有测绘成果、完成应急专题图与影像图制作，圆满完成全流程应急保障实战检验。

下一步，河南省测绘地理信息技术中心将紧绷防汛安全之弦，持续优化应急测绘保障体系，常态化开展技能培训与实战演练，不断提升应急响应、快速处置、精准保障能力，充分发挥测绘技术、数据、平台赋能优势，以硬核测绘力量为全省防汛救灾、防灾减灾工作提供坚实支撑。☑（作者单位：河南省测绘地理信息技术中心）

河南省测绘地理信息技术中心召开上半年全面从严治党暨意识形态工作会议

○ 周正 李华

7月31日，河南省测绘地理信息技术中心召开2026年上半年全面从严治党暨意识形态工作会议，深入学习贯彻习近平党建思想，总结上半年工作，分析研判形势，部署下半年重点任务。

会议指出，要持续巩固学习教育成果，推动树立和践行正确政绩观学习教育融入日常、抓在经常、落在实处。要创新学用融合载体，分层分级开展精准培训，开展特色党建活动，做实“交叉讲党课”、书记攻坚项目，形成大抓学习的鲜明导向。要持续夯实基层基础，加强支部标准化规范化建设，推进“一支部一品牌”创建，全链条优化干部选育管用，以坚强组织体系保

障各项工作落地。

会议强调，要坚决守牢意识形态安全底线，压紧压实意识形态工作责任制，加强重点领域管控，厚植测绘文化氛围。要持之以恒推进正风肃纪反腐，常抓不懈纠治“四风”，健全管理制度，常态化开展警示教育，不断夯实拒腐防变的思想根基。

会议要求，各级党组织要切实履行全面从严治党主体责任，建好建强党建队伍，从严开展考核评价，以过硬能力作风推动全面从严治党各项任务落地见效，为测绘地理信息事业高质量发展提供坚强政治保证。

☑（作者单位：河南省测绘地理信息技术中心）

河南省测绘地理信息技术中心驻村工作队获群众点赞

○ 扶彦

近日，河南省测绘地理信息技术中心驻茶棚村工作队收到监测户许中昌赠送的锦旗，感谢驻村工作队真心帮扶、务实解难，切实解决其家中庭院硬化难题，用实干为民践行帮扶使命。

据了解，许中昌家庭生活困难，接连遭遇变故。小儿子重病离世，留下两名幼儿无人照料；大儿子收入不稳定，长期靠打零工维持生计，家中另有两名幼儿需要抚养，多重压力叠加，导致整个家庭生活负担沉重。自被纳入防止返贫监测户以来，驻村第一书记扶彦始终牵挂该户生活状况，坚持常态化入户走访。每逢节假日都会上门慰问，送去米面油等生活物资，与群众促膝长谈、问询冷暖，实时掌握家庭近况、精准摸排群众诉求，动态跟进落实帮扶举措，做到隐患早排查、困难早发现、问题早处置，筑牢民生保障底线。

在日常走访摸排中，驻村第一书记发现许中昌家新房仅完成主体建设，庭院地面迟迟未硬化。每到雨雪天气，院内泥泞湿滑，不仅给老人、孩子日常出行

带来极大不便，还存在摔倒磕碰的安全隐患。针对群众急难愁盼问题，驻村第一书记迅速对接、主动作为，第一时间协调落实帮扶资金，统筹调度人员、物料进场施工，高效完成庭院硬化施工，彻底解决了雨天出行泥泞的难题，极大地改善了该户的居住环境与生活条件。

“扶书记和工作队一直惦记着我们，经常来看望我们，这次又帮我们修好了院子，下雨天再也不用踩泥出门了，真是帮了大忙！”看着平整干净、焕然一新的庭院，许中昌满心感激，特意定制锦旗登门致谢。

一面锦旗，一份认可，更是一份责任与期许。这不仅是群众对驻村帮扶工作最真挚的肯定，更是驻村工作队扎根基层、为民服务的不竭动力。下一步，驻村工作队将持续聚焦群众急难愁盼问题，做细做实常态化走访、精准帮扶工作，用心用情用力解决好群众的操心事、烦心事、揪心事，以务实举措把帮扶工作做到群众心坎上。☑（作者单位：河南省测绘院）



● 黄河廊道 张献伟/摄

实干笃行 书写“十五五”开局新篇

——河南省测绘地理信息工作半年回眸与展望

◎ 本刊特约记者 张永强

2026年是“十五五”开局之年，也是河南省测绘地理信息事业转型升级的关键之年。上半年，全省测绘地理信息系统在河南省委、省政府及省自然资源厅党组的坚强领导下，坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，以树立和践行正确政绩观学习教育为主线，深入贯彻习近平总书记关于自然资源工作的重要论述，聚焦“1+2+4+N”目标任务体系，立足“三支撑、三服务”工作定位，深入实施“十个突破”行动，加快推进测绘地理信息事业转型升级，各项工作有序推进、亮点纷呈。

“十五五”基础测绘规划编制形成草案，实景三维数字时空底座持续夯实，“三资”清查助力农村高效能治理，“一张图”建设实现从“跟跑”到“并跑”的跨越，军民融合测绘项目成效显著……一组组数据、一项项成果，勾勒出河南测绘地理信息事业高质量发展的坚实足迹。站在下半年的新起点，全省测绘地理信息系统正以更加昂扬的姿态、更加务实的举措，凝心聚力、攻坚克难，全力冲刺全年目标任务，确保“十五五”开好局、起好步。



稳中求进 亮点纷呈

党建引领固本强基，筑牢事业发展政治根基

党建兴则事业兴，党建强则事业强。2026年上半年，河南省测绘地理信息技术中心党委始终把抓好党建作为最大政绩，以开展树立和践行正确政绩观学习教育为主线，推动党建与业务深度融合，为测绘事业高质量发展提供坚强政治保障。

中心党委抓实理论武装，依托专题读书班、处级干部研修班，实现党员干部全员参训；各级党委全面开展自查自纠，梳理问题清单，狠抓整改落实，切实把正确政绩观融入履职全过程。深化基层党建提质行动，推进“一支部一品牌”创建，常态化开展廉政警示教育，从严管控意识形态阵地，持续涵养风清气正的政治生态。

服务全省发展大局，时空底座支撑效能凸显

围绕中心、服务大局，是测绘地理信息工作的根本价值所在。上半年，全省测绘地理信息系统主动对接河南省委、省政府重大战略部署，在数智强省建设、乡村振兴、政务保障等领域彰显测绘担当。

实景三维河南建设提速增效。作为数智强省建设的核心时空数据底座，实景三维河南建设按下“加速键”。省级地形级实景三维完成100%数据生产，城市级实景三维完成92.6%数据生产；累计向国检中心报送5批成果并通过核查。全省16.7万平方千米影像和地貌数据初步完成入库，实景三维数据库管理系统软件研发加快推进。物联感知数据接入与融合取得突破，近4万路“天眼”视频监控点位完成接入，并同步开展视频数据融合技术验证。在线系统建设稳步推进，成果汇聚管理内网版、互联网版、政务外网版3个系统初步建成，业务网版正结合“一张图”建设有序推进。

农村“三资”清查技术支撑成效突出。农村集体“三资”清查整治事关基层治理效能。河南省测绘地理信息技术中心自主研发省级大数据监管平台，完成全省157个县（市、区）清查底图制作，覆盖省、市、县、乡、村五级用户5.6万余个，为基层高效能治理提供了强有力的技术支撑。归集自然资源、林业、水利等14类数据，推动省“三资”监管大数据平台上线运行，技术人员线上线下全天候提供答疑服务。该项工作得到河南省纪委监委和省自然资源厅的高度认可。

政务用图保障高效精准。常态化开展政务地图保障服务，编制河南省两会专题地图，优化政务用图保障机制。加急编制中央领导莅豫调研地图40幅，以高质量、高效率的服务得到省政府表扬。测绘地理信息作为领导决策的“千里眼”和“工具书”，作用愈发凸显。

基础测绘成果普惠共享。上半年累计对外提供测绘成果、遥感影像73批次，涵盖控制点143个、4D产品6640幅，数据总量779.9GB，节约全省财政投入约1亿元，有力支撑地质灾害调查、国土监测等各类专项工作。

深度融入自然资源主责主业，“一张图”建设实现赶超突破

全面融入自然资源管理主战场，是测绘地理信息事业转型发展的必由之路。上半年，全省测绘地理信息系统以“一张图”建设为抓手，在土地管理、矿产资源管理等领域深度嵌入、全面融合。

“一张图”建设实现跨越式发展。作为上半年最具标志性的成果，《“一张图”2026年实施方案》《“一张图”分布式数据库群河南省子库建设实施方案》首批通过自然资源部审批；河南成为全国第八个完成耕地、林地、规划类核心数据入库的省份，总体扭转了工作被动局面，实现了从“跟跑”到“并跑”的历史性跨越。搭建“1+2+N”省级分级数据库体系，完成省级主库搭建并实现部省双向互联互通；按照“一门户五中心”改造省级统一门户，统一界面、认证与服务标准，全省所有县级自然资源部门实现部、省、市、县四级政务外网贯通。

数据底座持续扩容。累计发布29期0.8米卫星遥感底图，完成用地预审、建设用地审批、重大项目等11类业务数据入库发布；完成耕地占补平衡、土地征收等系统迁云改造，用地审批系统实现部省账号互认。

监管能力持续提升。建成临时用地审批监管系统，摸排开发区闲置土地602宗，依托耕地占补平衡系统完成2.6万个图斑核查；搭建矿业权综合监管平台，保障平顶山矿业权统一登记国家试点落地；完成6个矿产类系统整合，信息化平台精简至33个，审批监管效率大幅提升。

新型基础测绘迭代升级，创新驱动转型步伐加快

转型升级是测绘地理信息事业发展的时代命题。上半年，全省测绘地理信息系统以规划编制为引领，以科技创新为动力，加快构建新型基础测绘体系，以

新质生产力推动行业转型。

规划编制高质量推进。高质量编制《河南省“十五五”基础测绘规划》草案，面向 60 余家省直单位、省辖市开展书面调研，赴安徽、江西实地学习借鉴，形成完整规划文本，为未来五年测绘事业发展划定路线图。

基准服务与影像统筹稳步实施。北斗基准服务稳定运行，全省 246 座北斗基准站运行有效率 90.3%，数据中心服务有效率 100%，同步申报《河南省现代测绘基准体系建设》重大项目。遥感影像统筹有序推进，完成 3 期亚米影像更新；依托“河南一号”卫星实现全省 0.5 米影像全覆盖，累计对外提供影像 33 批次、431.3 万平方千米，有效支撑了生态审计、用地核查等工作。

科技创新多点突破。围绕遥感智能解译布局 5 项省、厅级重点课题，2 项科技奖通过河南省自然资源厅推荐评审；“后土”大模型纳入“揭榜挂帅”项目，矿产资源监管场景应用、AI 智能测绘技术实现场景化落地。

拓宽多元服务赛道，军民融合、内外市场双向发力

测绘地理信息的价值在应用中彰显。上半年，全省测绘地理信息系统不断拓展服务边界，在军民融合、省直合作、省外市场等领域开辟新赛道。

军民融合特色品牌持续擦亮。上半年落地军工项目 7 个，筹备 4 项省委融办智库课题，新增 3 项定制化军工研发任务，推动军工服务从传统数据生产向智能建模、数字孪生研发升级。

跨部门协同持续深化。为审计、财政、生态环境等省直单位提供技术支撑，覆盖自然资源资产审计、大气扬尘监测、生态保护地复核、农业保险评价等多领域。

省外市场布局提速。建成省测绘院上海市桥头堡数据生产基地，落地内蒙古国标数据标准化改造、新疆化工园区测绘、安徽农险测绘项目，形成可复制的省外运营“上海模式”，持续拓展省外业务增长空间。

产业培育与行业监管并重，法治化规范化水平全面提升

产业兴则行业兴。上半年，全省测绘地理信息产业发展生态持续优化，行业监管水平不断提升。

产业培育力度加大。河南省自然资源厅联合焦作市政府、河南理工大学签订三方合作协议，打造“政府+高校+产业园”协同模式；在安阳举办低空经济

测绘赋能研讨会，与当地低空经济集团达成战略合作，探索测绘支撑低空产业新场景。

行业监管精准有效。《河南省测绘条例》《河南省测绘成果管理办法》全面落地实施，组织全域法规宣贯培训；开展 2026 年度测绘“双随机、一公开”检查，完成 2025 年质量检查“回头看”；出台行业信用管理办法，完善测绘市场信用约束机制。启动注册测绘师执业试点，选取 78 家甲级资质单位开展试点，配套出台工作规程、管理办法。

安全保密防线加固。制定测绘安全防控指引，常态化开展线上保密培训，上半年核发培训证书 342 份，对 6 家违规使用涉密成果单位发函约谈、限期整改。



形势催人奋进，使命重在担当。下半年，全省测绘地理信息系统将紧盯年初确定的目标任务，以实施基础测绘“十五五”规划为主线，坚持问题导向、目标导向、结果导向，持续推进“十个突破”，强化开拓创新，深化重点攻坚，狠抓工作落实，确保“十五五”开好局、起好步。

抓党建引领，筑牢政治保障

把抓好党建作为最大政绩，旗帜鲜明树牢大抓党建导向，以高质量党建保障各项工作提质增效。常态化开展树立和践行正确政绩观学习教育，深入推进查摆问题整改，以正确政绩观引领工作推进。谋划开展“学论述、抓攻坚、建新功”特色党建活动，实施一批书记项目，推动党建与业务深度融合。纵深推进全面从严治党，聚焦重点领域和关键环节强化廉政风险防控，严抓作风建设，落细落实意识形态工作责任制，巩固拓展风清气正的政治生态。

抓服务大局，彰显测绘担当

全速推进实景三维河南收官，完成全部成果汇交核查，围绕黄河战略、数智强省、基层治理拓展三维成果应用场景。升级农村“三资”清查省级监管平台，强化数据质量管控，持续做好全周期技术保障，擦亮测绘赋能乡村治理工作品牌。壮大地理信息产业发展平台，联动河南省测绘学会、河南省地理信息产业协会集聚高校、企业资源，主动对接发改、工信、税务部门完善产业扶持政策，落地《河南省地理信息产业

发展工作指引》，持续培育产业集聚主体。

抓项目攻坚，夯实发展根基

坚持“项目为王”，谋划、报批、实施一批重大项目，以项目实施带动人员、工作、感情“三融入”。

攻坚国土空间规划“一张图”提质升级，推动建成全省统一的“一张图”应用体系，贯通耕地保护、规划审批全业务场景，积极争取财政资金保障，拓展多部门智慧应用。加快现代测绘基准体系项目申报，紧盯评审流程推动项目尽早落地，夯实数字河南高精度时空基准。持续推进遥感影像常态化统筹，印发年度影像统筹目录，启动2027年度影像需求征集，保障“河南一号”卫星双月更新机制长效运行。常态化围绕自然资源治理痛点谋划新项目，同步完成《河南省“十五五”基础测绘规划》印发实施，指导各地同步编制市级规划。

抓军民融合，打造特色品牌

将军民融合作为服务强军战略核心抓手，持续深化军地协同创新，抓实军工项目履约落实，细化工期管控和质量标准把关，保障全年军工项目任务圆满完成。完善军地共建技术方案，力争获批国家级示范工程。抢抓军队“十五五”规划落地关键年机遇，深耕北斗定位、实景三维、遥感智能解译等核心技术援军场景，持续拓展军地协同研发项目，打造全国有影响力的军民融合测绘品牌。

抓科技创新，赋能转型升级

要把科技创新作为核心驱动力，联动高校、科研院所组建联合攻关团队，力争全年省部级科技奖项取得新突破，重点支撑低空经济、城市精细化治理技术研发。深度参与省部光谱数据库、“后土”大模型试点建设，推动科研成果转化为行业标准、技术规范。建立科技项目全周期培育机制，提前储备省、厅重点课题选题，做实做好“揭榜挂帅”项目全过程跟踪管理，严把研发质量与成果转化关口，持续提升智能测绘供给能力。

抓业务拓展，增强发展后劲

树牢服务意识、竞争意识、市场意识，健全省直单位常态化对接机制，主动上门推介测绘数据、平台服务，复制推广农村“三资”清查数字化服务模式，精准解决各部门治理技术难题。巩固省外市场布局，总结上海基地运营经验，稳定北京、江苏、内蒙古合作项目；抢抓对口援疆战略机遇，加大新疆测绘项目投入力度，开辟长期稳定省外业务增长点。



●完成上海桃浦污水厂地下隧道贯通精密测量 李锦/摄

抓深化改革，激发内生动力

坚持向改革要动力、向管理要效益，统筹推进制度重构、机制重塑和队伍重整，努力在深化改革中厚植发展优势。开展产业、人才、项目专项调研，联合院士、行业专家梳理中长期发展路径。持续完善内部管理制度，构建闭环高效运行体系。稳步推进事业单位改革，以改革破解难题。深化干部队伍建设，健全干部培育管理体系，畅通省厅、中心、市局人才交流渠道，着力锻造专业化年轻化高素质干部队伍。

抓风险防范，守牢安全底线

树牢底线思维，构建全链条风险防控体系。压实安全生产责任，落实安全员网格化管理，强化野外作业、消防安全管控，编制完善应急测绘预案，常态化开展应急演练。筑牢意识形态安全防线，规范舆情监测、人员出境、宣传阵地管理，确保领域平稳可控。规范项目、资金全流程管理，强化审计监督，严防招投标、经费使用违规违纪问题。升级保密软硬件设施，加快军工场地保密标准化改造，严格涉密数据全流程留痕审批；依托8·29全国测绘法宣传日开展版图和保密普法教育，闭环处置存量涉密成果，跟踪整改违规单位，配合开展安全联合执法，守住测绘安全红线。

2026年上半年，全省测绘地理信息系统全体干部职工攻坚克难、实干争先，交出了一份成色十足的发展答卷。面对转型期的机遇与挑战，下半年任务更加艰巨、责任更加重大。全省测绘地理信息工作者将在河南省委、省政府和省自然资源厅的坚强领导下，锚定“十五五”开局目标不动摇，以党建为引领、以项目为支撑、以创新为引擎、以安全为底线，持续提升时空信息服务保障能力，全面赋能现代化河南建设，奋力书写河南省测绘地理信息事业高质量发展新篇章。☑

2025 年度河南省亚米级卫星影像数据获取项目 通过验收

◎ 周翠凤

近日，河南省遥感院承担建设的 2025 年度河南省亚米级卫星影像数据获取项目，在郑州顺利通过专家组验收。

验收会上，来自中国人民解放军网络空间部队信息工程大学、河南省地图院、河南省水利勘测设计研究院等单位的专家组成验收组，对项目开展评审验收。专家组认真听取项目工作汇报，审阅了项目资料，对项目建设内容、运行管理、数据推送接收及保障措施等内容进行全面核查。

经质询和讨论，专家组一致认为，项目提交的河南省全域六期 L1A 级遥感影像在分辨率、波段配置、影像质量、覆盖范围、数据格式及推送服务等各项指标上均满足合同技术要求，同意项目通过验收。

据了解，该项目实施周期为 2025 年 5 月至 2026 年 4 月，期间累计统筹推送高质量卫星影像 9555 景，总数据量达 21.7TB。通过项目实施，有效扩充了河南省卫星遥感影像资源存量，拓展了遥感技术应用场景，保障了各行各业遥感应用需求。

下一步，河南省遥感院将以此次验收为契机，扎实做好项目数据运维、更新迭代和成果共享等工作，常态化开展数据核查、优化服务机制，深挖遥感数据应用价值，持续拓展遥感技术在自然资源监管、生态保护、应急防灾等领域的应用场景，不断提升全省遥感统筹服务水平，以精准高效的遥感服务助力全省自然资源治理能力现代化和经济社会高质量发展。

☑（作者单位：河南省遥感院）

西平县国土空间基础信息平台 及“一张图”系统建设项目通过验收

◎ 牛贝贝 胡惊鹏

7 月 10 日，西平县自然资源局在郑州组织专家召开项目验收会，对河南省地理信息院牵头实施的西平县国土空间基础信息平台及“一张图”实施监督信息系统建设项目开展验收。

验收会上，来自黄河勘测规划设计研究院有限公司、中国人民解放军网络空间部队信息工程大学、驻马店市自然资源和规划事务中心、河南省计量测试科学研究院等单位的专家组成验收组，认真听取项目工作汇报，审阅相关文档资料，观看成果演示。经质询和讨论，专家组一致认为，项目设计方案合理，技术路线科学，数据内容齐全，数据格式正确，安全、保密和质量控制措施得当，各项技术指标符合相关规范要求，完成合同约定的所有建设内容，同意通过验收。

据了解，该项目严格对标《自然资源部信息化建设总体方案》建设标准，系统归集西平县四大类 36 项全域自然资源基础数据，有序开展了数据清洗分析、

标准化规整、入库配图、整合优化等工作，累计完成 265 项标准化数据服务发布。同时，依托省级统一建设平台，完成西平县“一张图”实施监督信息系统六大核心功能模块配置，涵盖一张图综合应用、规划分析评价、监测评估预警等关键功能。项目构建了西平县自然资源统一空间底图，实现平台常态化、规范化稳定运行，为西平县域国土空间规划编制、日常监管、动态评估等各项业务提供坚实的数据支撑与技术保障。

下一步，河南省地理信息院将持续做好项目后续运维、技术保障、迭代优化等工作，充分发挥地理信息数据与平台系统的赋能作用，不断完善西平县自然资源数据体系和信息化建设体系，全面提升县域国土空间治理数字化、智能化、精细化水平，助力西平县经济社会高质量发展和现代化建设。☑（作者单位：河南省地理信息院）

云上智选土地 赋能港区发展

——河南省地图院赋能郑州航空港区数字化建设纪实

◎ 赵云娇

“截至7月，平台累计归集展示待出让地块136宗、总面积1.2万亩，已促成意向成交地块89宗、面积9517亩，应用成效凸显、市场认可度持续提升。”7月21日，河南省地图院项目负责人在郑州航空港区经济综合实验区自然资源和规划局土地超市平台建设项目验收会上介绍，该平台依托数字化技术，打通土地推介、企业选地、线上申报全链条服务，为航空港区产业招商与土地资源高效配置注入数字动能。

据介绍，为落实河南省“土地豫选云”平台部署，优化土地资源配置、赋能区域高质量发展，郑州航空港区自然资源和规划局立足港区产业定位与招商需求，委托河南省地图院搭建本地化“航空港区·土地超市”平台。项目对标省级建设标准，结合港区资源禀赋与产业布局特点，由河南省地图院组建专项技术专班，整合多维地理空间数据，迭代优化服务功能，建成集土地信息公示、云上智能选地、定制地块推荐、线上互动申报于一体的智能化土地服务体系。

精研数据筑底座

项目承接后，河南省地图院压实责任、细化推进举措，安排专职技术人员驻场服务，精准摸排一线应用痛点堵点。专班多次召开专题推进会，锚定工作目标、细化建设任务、明确时间节点，稳步推进项目落地见效。

依托多年空间数据治理经验，河南省地图院完成港区多源土地数据归集、标准化处理与数据库搭建。针对过往土地资料格式繁杂、标准不一、质量参差不齐等问题，专班明确统一技术路线与作业规范，通过坐标转换、拓扑核查、字段标准化填充等专业手段，破除多源数据融合壁垒。

平台严格对标省级数据交换规范，建立常态化动态数据更新机制，开发双向数据接口，实现省、区两级平台数据实时互通，有效解决传统土地管理中资料分散、精度不足、更新滞后等难题，为平台可视化看地、智能筛地、全流程线上申报等核心功能筑牢数据底座。

技术攻坚提质效

“平台实现多终端适配，政企用户可通过电脑、手机端随时查询地块详情，土地服务便捷度大幅提升。”

项目技术人员介绍。

项目专班深度融入“互联网+自然资源服务”理念，搭建电脑端、移动端协同服务体系，打造云上晒地、地块定制、线上预申报、政企互动四大核心板块。平台全面公示地块位置、规划指标、用地性质及周边配套等关键信息，以可视化线上推介打破土地招商时空限制，助力企业足不出户完成云上选地、精准对接，实现土地管理与招商服务数字化转型升级。

2026年2月，“航空港区·土地超市”平台上线试运行，开启港区土地招商“云上智能双选”新模式。试运行期间，河南省地图院通过实操演示、科普宣传等方式开展推广培训，指导用户熟练操作，并搭建常态化反馈渠道，持续迭代平台功能、优化用户体验，提升平台实用性与适配性。

数字赋能助招商

“依托土地超市平台，我们仅用3天就锁定200亩意向地块，以往至少需要半个月，数字化土地服务高效省心。”郑州航空港汽车产业投资集团相关负责人对平台成效给予高度评价。

平台依托实景漫游、区位分析、配套研判等数字化功能，分类展示各类土地资源，精准呈现地块区位、交通与产业配套优势。企业可按需智能筛选、定制匹配地块，快速掌握地块实况与出让信息，大幅提升选地与对接效率。

目前，平台已整合地块查询、需求申报、线上咨询、政企对接全链条功能，构建“云上看地、线上申报、实时沟通、全程溯源”一体化服务模式，简化对接流程、规范推介环节，让土地招商更高效、透明、精准。

下一步，河南省地图院将持续迭代平台功能，推进AI空间地理智能体、地理大模型等新技术落地应用，优化地块智能匹配算法。同时启动平台二期项目建设，新增云上地块转让相关模块，推动平台由单一土地推介载体，升级为覆盖土地全周期管理的综合性智能服务平台，为郑州航空港区产业招商引资、区域经济高质量发展提供坚实的自然资源数字化支撑。☑（作者单位：河南省地图院）

真贫真扶笑开颜

——河南省测绘地理信息技术中心驻村工作队工作扫描

◎ 本刊记者 栗荣晓

史河悠悠，缓缓流经固始县茶棚村。旧时河畔渡口舟楫往来，行旅与船夫泊岸歇脚、围坐饮茶，一方简易茶棚撑起路人片刻安闲，“茶棚”之名由此流传。

“第一书记制度还是要坚持，脱贫之后乡村全面振兴任务同样繁重，这方面还是要加强。”2025年3月，习近平总书记在贵州省黔东南州黎平县肇兴侗寨考察调研时强调。“驻村一天，就要尽责一天，把茶棚村的事办实，把群众的期盼落地。”河南省测绘地理信息技术中心派驻茶棚村第一书记扶彦的话，道出了驻村工作队的赤诚初心。扶彦带领驻村工作队，时刻牢记习近平总书记殷殷嘱托，以党建领航深耕民生、培育产业、激活治理，用实干勾勒出扎根基层、服务群众、引领发展的生动群像。

今年建党节，让我们走近这些以行动践初心的优秀共产党员，听一听他们的故事，他们的心声……

宽亮路面暖心头

道路通，百业兴。进驻茶棚村之初，驻村工作队把建设基础设施作为民生帮扶的“先手棋”。扶彦带领队员走村串户，逐项梳理诉求，把群众集中反映的出行难记在民情日记的第一页。

在扶彦的积极推动下，茶棚村两段核心道路拓宽工程先后落地。庙坎至关塘段路面狭窄，工作队联动乡贤捐赠资金实施改造，将道路两侧分别拓宽0.5米，一举解决沿线村民错车难的困扰。依托第一书记专项资金，全长2千米的茶棚至谢庄段道路拓宽工程顺利推进，既方便了村民日常出行，更让农资运输畅通无阻。

“以前拉着稻谷出门，老远需要避让对面来车，现在路宽了，走着顺畅了，心里都敞亮。”庙坎组村民马新国高兴地说。在群众眼里，变宽的不仅是脚下的路面，更是日子的奔头——实实在在的变化让乡亲们看在眼里、暖在心头。

道路通了，配套基础设施同步提档升级。工作队

完成400米明沟改造暗渠工程，告别污水漫流、异味难闻的困扰；总长2.1千米的渠道清淤护坡工程，建成后将覆盖7个村民组农田灌溉；村民服务大厅完成优化改造，新建文化墙与公示栏错落分布，既扮亮了村内公共空间，也成了政策宣传、文明引导的鲜活阵地。

与此同时，由河南省测绘地理信息技术中心捐赠的120余个环卫收集桶、40余盏太阳能路灯，补齐了村庄环卫配套与夜间照明短板。村内主街道栽种550余棵桂花树错落有致，水塘清淤工程同步推进，村容村貌持续提档。

漫步茶棚村，道路整洁、路灯明亮、绿树成荫。驻村工作队一件件落地见效的民生实事，让群众的幸福感、获得感不断提升。

木材交朋稻虾游

产业兴，则乡村兴。进驻茶棚村以来，扶彦带领驻村工作队锚定产业富民目标，实施“党支部+经营主体+农户”联动模式，一手抓特色种养培育壮大，一手抓传统产业规范升级，逐步构建起多点支撑、多元增收的产业发展格局。

稻虾综合种养是工作队打造的特色富民产业。目前，全村稻虾种养规模已达400余亩，产出的稻米与小龙虾品质上乘。为拓展销售，扶彦牵头为产品设计专属包装，对接县域农产品销售公司打通供销渠道；工作队员郝丞志踏实细心，时常查看虾田生长情况，收集在产销环节遇到的难题，及时汇总上报协调解决。

“现在渠道通了，包装也上档次，卖价上去了，我们越干越有劲。”养殖户顾义中坦言。

盘活闲置资源是工作队拓宽增收路径的关键抓手。面对边角荒地，工作队引进10余亩菊花种植项目，每亩地每年增收2000元。同时，工作队引进观赏鱼养殖企业，利用水塘发展生态养殖，既唤醒了沉睡的水面资源，也为群众开辟了低风险、稳收益的增收渠道。

作为茶棚村的传统支柱产业，30 余家木材加工厂是黎集镇税收的重要来源。2025 年以来，在工作队招商助力下，新增企业 7 家。同时，工作队联合村“两委”制定产业管理规范手册，积极引导企业合规经营、提质增效。

多元产业协同发力，让村集体经济家底愈发厚实。

“驻村工作队不仅带来了实实在在的产业项目，还带来了发展新思路，2025 年村集体经济收入 21 万元，茶棚村发展的底气更足了。”茶棚村支部书记彭伟表示。

“输血”“造血”惠生根

扶彦带领驻村工作队严格落实“三会一课”、主题党日制度，把组织优势转化为治理效能，把政策精准直达作为基层治理的核心抓手，让防返贫保障、民生帮扶、村务治理等各项举措落到实处，把暖心政策送到群众心中。

严守不发生规模性返贫底线，是政策落地的首要任务。工作队建立常态化机制，对全村 101 户脱贫户、监测户实行“一户一档、一户一策”精细化管理。刚走出校园的选调生王天昊立足自身专业特长，主动搭手协助不熟悉电脑操作的村干部整理帮扶台账、录入各类民生数据，高效做好村内数字化基础工作。

在群众家中，经常看到驻村队员宣传政策的身影，为行动不便的群众办理大小事务，把帮扶资源精准对接，守牢民生保障底线。

“多亏工作队跑前跑后，解决了我们家的大难题。”监测户易先合感激地说，“我自己想了好多办法都不行，孩子不配合拍照，眼看该享的政策难以兑现，愁得整宿睡不着。”易先合女儿患有智力障碍，身份证迟迟未能办理，残疾证和帮扶待遇没法兑现。工作队专程带着孩子前往镇上照相馆，耐心安抚孩子情绪，最终拍出证件照，按流程申领了帮扶待遇。

每逢重大节日，工作队走访困难群众，送去米面油等生活物资，把关怀送到群众心坎上。工作队联合蓼源食品公司，为困难家庭发放 400 只土鸡苗，构建“种苗发放+保底回收”帮扶模式，让帮扶从“输血”转向“造血”，助力群众增加收益。

为保证群众享有的知情权与参与权，工作队协同村“两委”严格按照“四议两公开”工作法，发挥“魅力茶棚新韵”公众号，发布惠民政策、产业动态，让群众足不出户就能知晓政策，既提升了基层治理效率，更有效凝聚全村发展共识。



● 节日慰问群众

如今的茶棚村，群众诉求有人听、困难有人帮、政策有人讲，乡亲们的日子过得越来越踏实、越来越有奔头。

雨天泥泞锦旗绣

脚下沾有多少泥土，心中就沉淀多少真情。群众的急难愁盼，工作队始终记挂在心。

监测户许中昌的小儿子突发重症不幸离世，留下两个年幼的孙子。他家院内地面一直没有硬化，雨天泥泞不堪，老人孩子进出非常不便。扶彦了解情况后，第一时间协调帮扶资金，快速完成庭院硬化。“工作队真是帮了我们家大忙，下雨天再也不用踩泥出门了。”手捧锦旗，许中昌感激地说。

日子长了，乡亲们把工作队队员当成了自家人。菜园的蔬菜熟了，会想着给工作队送一把；新收的稻米碾好了，也要让队员尝尝鲜。村里的老人逢人便说，这些干部不摆架子、办实事，像自家的晚辈一样贴心。

驻村的日常，藏在一件件细碎的小事里。森林防火、秸秆禁烧、暑期防溺水，每一项工作，工作队都和村“两委”干部、党员群众守在一起。从初来乍到的生疏到融入烟火的熟稔，把干群情谊揉进茶棚村的日常点滴，在一桩桩实事、一声声问候里愈发醇厚，成为茶棚村乡村振兴路上最温暖的底气。

星光不负赶路人，江河眷顾奋楫者。“我们工作队将始终坚守初心，为乡亲们谋增收、解难题，让乡亲们的日子越来越红火。既然接过乡村振兴的‘接力棒’，群众需要什么，我们就干什么，一步一个脚印，为茶棚村产业兴旺出谋划策、添砖加瓦，向组织交出一份合格的答卷。”扶彦满怀信心地表示。☑

一种融合条带注意力机制与多尺度上下文的高分影像道路提取方法

付佳笛 肖丹 杨振 钞琪迪

(河南省遥感院, 河南 郑州 450003)

摘要: 针对遥感影像道路提取中易受复杂背景噪声和阴影遮挡干扰导致道路断裂和漏检的问题, 研究提出一种融合条带注意力与多尺度上下文的高分影像道路提取网络 RAS-UNet。该方法以 ResNet50 替换原有编码器, 利用残差结构提取深层语义特征并抑制网络退化; 在瓶颈层嵌入 ASPP 模块, 通过不同膨胀率的空洞卷积提取多尺度特征信息; 跳跃连接处引入条带池化模块, 使网络更好地感知细长目标与复杂边界。在 Massachusetts Roads 和 DeepGlobe 数据集上的实验结果表明, RAS-UNet 的 IoU 分别达到 68.20% 和 50.39%, F1-score 分别为 81.09% 和 67.11%。该方法优于 U-Net、DeepLabv3+ 和 D-LinkNet34 等主流模型, 尤其在狭窄弯曲道路和阴影遮挡场景表现更为优异。

关键词: 道路提取; U-Net; 条带注意力机制; 空洞空间卷积池化; 语义分割

1 引言

高分辨率遥感影像道路提取是城市规划、交通管理与自动驾驶等领域的关键技术。与一般地物目标不同, 道路在影像中呈现出细长连续的几何形态、显著的尺度跨度以及易受植被与建筑阴影遮挡的光谱干扰, 这些特性使得道路提取始终面临断裂、漏检与边界模糊的挑战。传统方法依赖人工设计特征, 效率低且泛化能力有限, 已难以满足大规模应用需求。近年来, 卷积神经网络凭借端到端的特征自动学习能力, 已成为遥感道路提取的主流技术路线。

U-Net^[1] 通过对称的编码器-解码器结构与跳跃连接实现像素级分割, 在医学影像与遥感领域得到广泛应用。然而, 其浅层编码器特征提取深度不足, 对复杂背景下道路的语义表征能力有限。为此, Zhang 等^[2] 以 ResNet34 替换原始编码器, 借助残差结构增强深层特征提取能力, 但更深网络在遥感场景仍受梯度消失与特征退化的制约。在多尺度信息利用方面, Chen 等^[3] 提出的 DeepLabv3+ 以 ASPP 模块并行多膨胀率空洞卷积扩大感受野; Li 等^[4] 进一步将空洞卷积与 LinkNet 结构结合, 提出 D-LinkNet; 林娜等^[5] 将空洞卷积嵌入 U-Net 解码器以增强道路特征感知, 三者均提升了对多尺度目标的捕获能力。但上述方法的空洞率参数与全局池化设计面向自然场景通用任务, 与遥感道路尤其是细窄支路的尺度特征存在偏差, 且全局平均池化易压缩空间位置信息, 不利于细小道路

的精确定位。上述方法在一定程度上增强了全局上下文感知, 但其注意力权重对线状几何结构缺乏针对性, 难以保障狭长道路的连续性。

综上所述, 现有方法在深层语义表征、多尺度信息适配与线状几何建模三方面仍有不足, 分别导致道路与复杂背景混淆、细窄道路漏检、道路断裂与不连续。对此, 研究提出融合条带注意力机制与多尺度上下文的高分影像道路提取网络 RAS-UNet, 主要贡献如下: 鉴于深层特征退化致使道路语义表征不足, 重构编码器架构; 鉴于道路尺度差异显著容易造成细窄道路漏检, 引入多尺度上下文聚合机制; 标准卷积感受野受限致使线状目标连续性差, 为此设计条带注意力跳跃连接。

2 RAS-UNet 网络及训练

2.1 RAS-UNet 网络结构

为解决原始 U-Net 特征提取能力不足、线性地物连续性差及上下文信息利用不充分等问题, RAS-UNet 包含三个改进模块, 如图 1 所示。

(1) 骨干网络增强: 用 ResNet50 替换 U-Net 原始编码器, 构建更深的特征提取骨干, 更充分地提取道路复杂纹理及高层语义信息。

(2) 条带注意力跳跃连接: 在跳跃连接处引入条带池化模块, 采用 $1 \times N$ 和 $N \times 1$ 长条形池化核, 分别沿水平和垂直方向延伸感受野, 使网络对狭长道路结

基金项目: 河南省自然资源科技创新“揭榜挂帅”项目 (面向河南省自然资源业务的遥感解译大模型高效参数微调与影像超分技术研究)

作者简介: 付佳笛 (1993—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 主要从事遥感动态监测监督预警、实景三维河南建设等工作。

构的建模更为准确，进而提高特征图判别性。

(3) 瓶颈层多尺度融合：在瓶颈层嵌入 ASPP 模块，并行设置不同空洞率的卷积，在保持特征图尺寸不变的前提下获取多尺度上下文信息，减少道路断裂。

输入图像经 ResNet50 的 Layer1-Layer4 提取多层级特征；深层特征经 ASPP 模块多尺度聚合；解码阶段，上采样特征与经条带池化增强的浅层特征逐层融合；最后通过输出层得到分割结果。

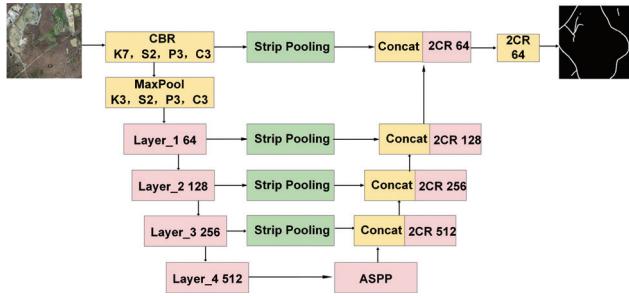


图1 融合条带注意力模块和ASPP模块的U-Net网络

2.2 ResNet 网络结构

高分辨率遥感影像中地物背景复杂且尺度差异明显，特征提取网络具备更强的深层语义表征能力。尽管 VGG^[6] 系列网络表明增加网络深度可提升网络性能，但更深的网络易出现梯度消失和退化问题，限制了其在高分遥感影像中的应用。因此，研究采用 He 等^[7] 提出的 ResNet50 作为编码器骨干网络。

ResNet 通过引入残差学习机制解决退化问题，其核心在于利用跳跃连接实现恒等映射。假设输入为 x ，拟合目标为 $H(x)$ ，残差块将学习目标转化为残差函数 $H(x)=F(x)+x$ 。这种设计使梯度能够通过快捷路径 (Shortcut) 反向传播，支持训练更深的网络，具体的网络配置如表 1 所示。研究使用的 ResNet50 包含四个阶段 (Stage1~4)，每个阶段由多个瓶颈残差块 (Bottleneck) 堆叠而成。两种残差结构如图 2 所示，图 2 (b) 的 Bottleneck 结构利用 1×1 卷积减少和恢复维度，在降低计算量的同时增加了网络深度，使其更适用于提取道路的高层语义特征。

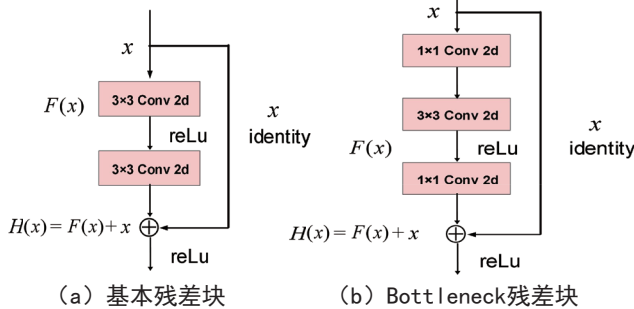


图2 两种残差结构

表1 ResNet系列网络结构

层名称	输入尺寸	18-layer	34-layer	50-layer	101-layer	152-layer
Conv1	112×112			7×7, 64, 64, 步长2		
				3×3最大池化, 步长2		
Conv2_x	56×56	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 64 \\ 3\times 3, 64 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 64 \\ 3\times 3, 64 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 64 \\ 3\times 3, 64 \\ 1\times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 64 \\ 3\times 3, 64 \\ 1\times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 64 \\ 3\times 3, 64 \\ 1\times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$
Conv3_x	28×28	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 128 \\ 3\times 3, 128 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 128 \\ 3\times 3, 128 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 128 \\ 3\times 3, 128 \\ 1\times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 128 \\ 3\times 3, 128 \\ 1\times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 128 \\ 3\times 3, 128 \\ 1\times 1, 512 \end{bmatrix} \times 8$
Conv4_x	14×14	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 256 \\ 3\times 3, 256 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 256 \\ 3\times 3, 256 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 256 \\ 3\times 3, 256 \\ 1\times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 256 \\ 3\times 3, 256 \\ 1\times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 23$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 256 \\ 3\times 3, 256 \\ 1\times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 36$
Conv5_x	7×7	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 512 \\ 3\times 3, 512 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3\times 3, 512 \\ 3\times 3, 512 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 512 \\ 3\times 3, 512 \\ 1\times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 512 \\ 3\times 3, 512 \\ 1\times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1\times 1, 512 \\ 3\times 3, 512 \\ 1\times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$
		1×1		平均池化, 1000-d fc, softmax		

2.3 ASPP 模块

空洞空间金字塔池化 (Atrous Spatial Pyramid Pooling, ASPP) 是 DeepLab 系列模型^[8-9] 的核心模块，用于解决语义分割中目标尺度变化剧烈的问题。标准 ASPP 模块采用 5 个并行分支对输入特征图采样： 1×1 卷积分支保留局部特征，3 个 3×3 卷积分支（空洞率分别为 6、12、18）提取不同尺度的上下文信息，全局平均池化分支捕获全局上下文，各分支特征图按通道拼接融合。

标准 ASPP 模块面向自然图像场景通用设计，直接用于遥感道路提取存在两点不足：一是空洞率 6、12、18 对应的感受野偏大，与道路目标尤其是细窄支路的尺度范围不匹配；二是全局平均池化在压缩空间维度的过程中易丢失细微道路的位置信息。为此，研究方法对 ASPP 模块做如下改进：(1) 将空洞率调整为 3、5、7，更能精准匹配道路特征尺度范围；(2) 去除全局池化分支，保留空间位置精度。将改进后的 ASPP 模块嵌入 U-Net 瓶颈层，在保持特征图尺寸不变的前提下可获取多尺度上下文信息，改善道路分割连贯性。调整后的 ASPP 模块结构如图 3 所示。

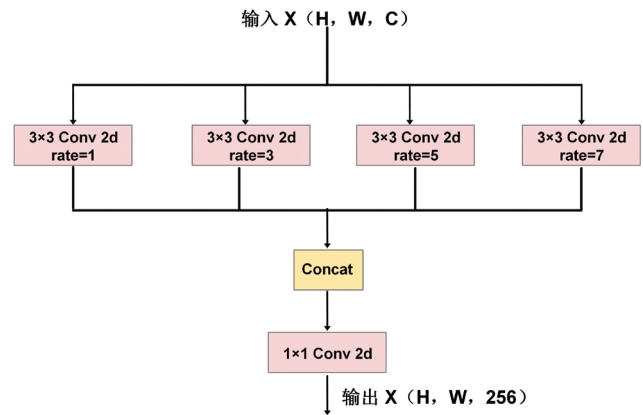


图3 调整后的ASPP模块结构

2.4 Strip Pooling 模块

卷积神经网络通常采用正方形卷积核或池化窗口，对各向同性目标（如建筑物、植被块）提取效果较好，但处理细长目标时能力受限。研究将条带池化（Strip Pooling）模块集成至 U-Net 跳跃连接，分别对水平和垂直方向的特征进行编码，保留道路局部细节与全局走向信息，Strip Pooling 模块结构如图 4 所示。

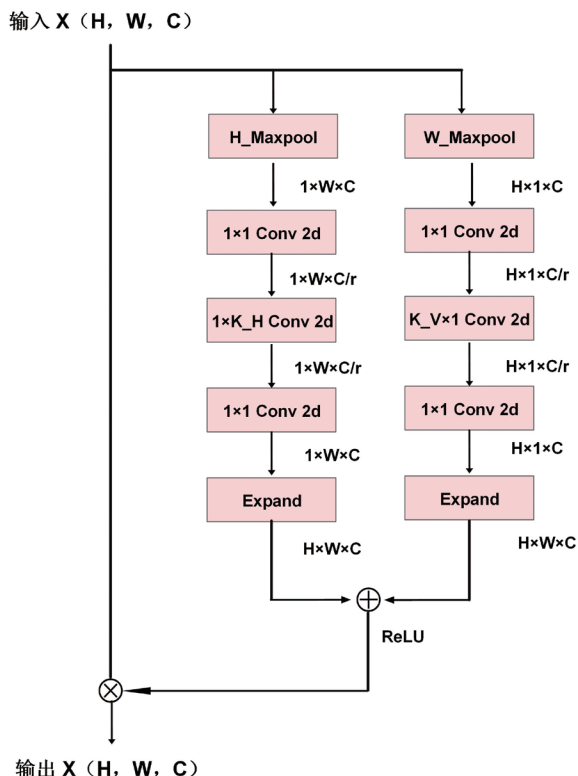


图4 Strip Pooling模块结构

条带池化模块利用 $1 \times N$ 和 $N \times 1$ 狭长窗口分别沿水平和垂直方向进行特征聚合，建立长距离上下文依赖关系，适用于捕捉道路等长条状目标。相比覆盖相同感受野的正方形内核，条带操作可显著降低参数量和计算复杂度，在提高细长目标分割精度的同时减少参数开销。水平和垂直条带池化计算公式分别是：

$$y_i^h = \frac{1}{W} \sum_{0 \leq j \leq W} x_{ij} \quad (1)$$

$$y_j^v = \frac{1}{H} \sum_{0 \leq i \leq H} x_{i,j} \quad (2)$$

式中， x 为二维张量， $x \in R^{H \times W}$ ； H 和 W 分别是空间的高度和宽度； $y \in R^H$ 和 $y \in R^W$ 分别表示水平条带和垂直条带的输出值。

2.5 损失函数

在遥感影像道路提取任务中，道路作为细长线性结构，像素占比极低，导致样本类别严重不平衡。二

元交叉熵损失（BCE）易使模型过度偏向预测背景；而骰子系数（Dice Loss）直接衡量预测与真实区域的重叠程度，对前景背景比例变化并不敏感，更适合处理不平衡样本。研究提出采用 Dice 与 BCE 组合作为总损失函数，以兼顾训练的平滑性与对极度不平衡样本的鲁棒性。

$$\text{Loss}_{\text{BCE}} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(p_i) + (1 - y_i) \log(1 - p_i)] \quad (3)$$

$$\text{Loss}_{\text{Dice}} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^N y_i p_i}{\sum_{i=1}^N y_i + \sum_{i=1}^N p_i} \quad (4)$$

$$\text{Loss}_{\text{total}} = \text{Loss}_{\text{BCE}} + \text{Loss}_{\text{Dice}} \quad (5)$$

式中， N 表示一个 batch 中的总像素数； y_i 表示第 i 个像素的真实标签值，该值为 0 时表示背景，为 1 时表示道路； p_i 表示第 i 个像素的预测标签值，其值为 0~1。模型预测为道路的概率越高时，其值越趋近于 1。

3 实验结果与分析

3.1 实验数据与环境

3.1.1 实验数据集

Massachusetts Roads Dataset: 该数据集涵盖美国马萨诸塞州波士顿都会区、郊县及乡村等多种场景，共包含 1171 张航拍影像，空间分辨率 1m，单张尺寸 1500×1500 像素。研究从官方训练集的 1108 张图像中选取 600 张进行预处理：采用滑动窗口裁剪策略，生成 2400 张 512×512 的非重叠子图，随后按 7:2:1 比例划分训练集、验证集和测试集。

DeepGlobe Dataset: 该数据集来自 CVPR 2018 DeepGlobe 挑战赛，包含 6226 张 0.5m 分辨率的 RGB 卫星影像，原始尺寸 1024×1024 像素。从中筛选出 1500 张地物分布均衡、纹理清晰的图像作为基础数据，统一裁剪为 512×512 输入网络。训练阶段采用颜色抖动、随机旋转、翻转和平移等数据增强手段扩充样本量，最终按 7:2:1 比例划分三个子集。

3.1.2 评价指标

研究选择精确率 (Precision, P)、召回率 (Recall, R)、交并比 (Intersection over Union, IoU)、综合评价指标 (F1-score, F1) 作为 RAS-UNet 模型的评价指标。IoU 表示真实值和预测值两个集合的交集和并集之比，是衡量图像分割精度的重要指标，具体计算如公式 (6) 所示。F1-score 是精确率和召回率的

调和平均值，具体计算如公式（7）到（9）所示。

$$\text{IoU} = TP / (TP + FP + FN) \quad (6)$$

$$P = TP / (TP + FP) \quad (7)$$

$$R = TP / (TP + FN) \quad (8)$$

$$\text{F1-score} = 2PR / (P + R) \quad (9)$$

式中， TP 表示实际为正且被预测为正的样本数， FP 表示实际为负但被预测为正的样本数， FN 表示实际为正但被预测为负的样本数。

3.1.3 实验配置

所有实验均在 Ubuntu 18.04 操作系统的云服务器环境进行，使用的显卡为 NVIDIA RTX 3090，模型构建与训练基于 Python 语言和 PyTorch 框架。训练的超参数设置如下：训练轮数（Epoch）为 100，批量大小（batch size）为 8，优化器采用 Adam，初始学习率设为 $1e-4$ 。

3.2 实验结果与分析

3.2.1 定量分析

将训练 U-Net、DeepLabv3+、D-LinkNet34 模型和研究提出的 RAS-UNet 模型，在 Massachusetts Roads 和 DeepGlobe 数据集上进行对比实验，精度评价结果如表 2 和表 3 所示。RAS-UNet 模型在各项指标上均优于对比模型。在 Massachusetts Roads 数据集上，精确率 81.22%、召回率 80.97%、F1-score 为 81.09%、IoU 为 68.20%。在 DeepGlobe 数据集上，各项指标分别为 65.33%、68.78%、67.11%、50.39%。DeepGlobe 数据集背景更为复杂，整体指标低于 Massachusetts Roads 数据集，但 RAS-UNet 仍显著优于其他模型，说明其具有较强的泛化能力。

表2 不同模型在Massachusetts Roads Dataset上精度评价（%）

网络模型	精确度	召回率	F1-score	IoU
U-Net	75.40	76.32	75.86	61.10
DeepLabv3+	76.84	74.63	75.72	60.93
D-LinkNet34	79.28	79.31	79.30	65.69
研究方法	81.22	80.97	81.09	68.20

表3 不同模型在DeepGlobe Dataset上精度评价（%）

网络模型	精确度	召回率	F1-score	IoU
U-Net	52.99	54.03	53.50	36.52
DeepLabv3+	60.31	62.33	61.30	44.20
D-LinkNet34	62.84	65.19	64.00	47.05
研究方法	65.33	68.78	67.11	50.39

3.2.2 定性分析

不同模型在 Massachusetts Roads 数据集的道路提取结果如图 5 所示。该数据集存在复杂背景和阴影遮挡现象，RAS-UNet 的提取效果优于其他对比模型。

U-Net、DeepLabv3+、D-LinkNet34 模型在图 5（a）至图 5（c）影像中存在较多漏检，在图 5（d）影像中道路密集区域存在不同程度的断裂现象。研究提出的方法在植被严重遮挡区域仍能提取连续完整的道路网络，且预测边缘平滑规整，有效降低了误分割率。

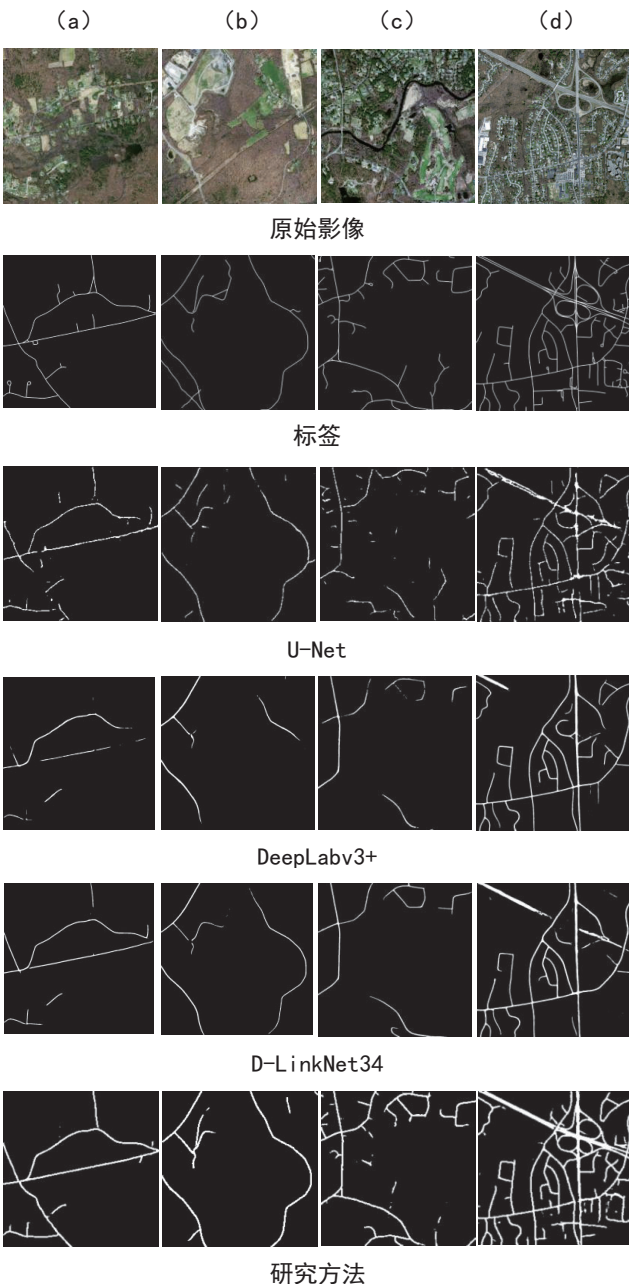


图5 不同模型在Massachusetts Roads数据集分割效果对比
不同模型在 DeepGlobe 数据集的道路提取结果如图 6 所示。U-Net 和 DeepLabv3+ 模型无法完整提取细长弯曲支路，部分支路被漏提或错提；D-LinkNet34 模型虽能提取弯曲道路，但出现断开和错提现象。对于宽大道路场景，四种模型均能提取主干道，但提取分岔路时差异较大。对于农村稀疏道路，各模型提取

结果则差异较小。

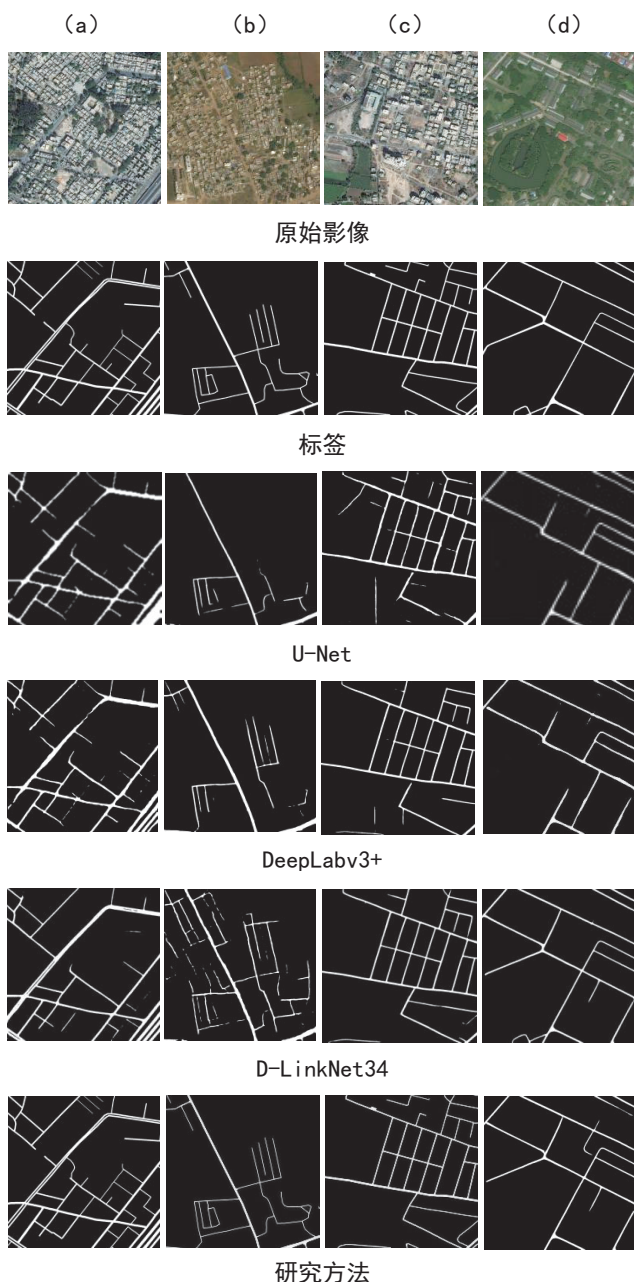


图6 不同模型在DeepGlobe数据集分割效果对比

虽然 RAS-UNet 模型能提取细长道路,但在高曲率弯道部分会出现局部漏检和断开现象,因为现有模块的感受野只能沿水平和垂直方向获取信息,难以获取其他角度的几何特征。对于直道和主干道路,检测结果与对比模型较为接近,未来可增加多角度条形卷积模块提取多方向分支。

4 结语

实验结果表明,多尺度上下文聚合与条带注意力机制的结合能够有效缓解阴影遮挡下的道路断裂问题,

提升遥感影像道路提取完整度。其中,ASPP 模块对主干道与支路的尺度差异适应显著,条带池化模块对细长弯曲道路的连续性保持贡献最大;但在高曲率弯道处,仅沿水平/垂直轴的条带感受野仍存在角度盲区,导致局部漏检。

上述局限源于当前条带卷积仅覆盖 0° 和 90° 两个方向,无法捕获斜向走向的道路分支。未来将引入多方向条带卷积 ($\pm 45^\circ$ 、 $\pm 135^\circ$) 或可变形卷积,使感受野适应任意走向的道路几何,进一步提升复杂路网的提取完整性。

参考文献

- [1] ALSHEHHI R, MARPU P R, WOON W L, et al. Simultaneous extraction of roads and buildings in remote sensing imagery with convolutional neural networks[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017,130:239-249.
- [2] ZHANG Z, LIU Q, WANG Y. Road Extraction by Deep Residual U-Net[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2018,15(5):749-753.
- [3] CHEN L C, ZHU Y, PAPANDREOU G, et al. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision(ECCV). Munich, Germany: Springer, 2018:833-851.
- [4] LI X Y, ZHANG Y L, WU X F. D-LinkNet: LinkNet with Dilated Convolutions for Road Extraction[C]//2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Valencia, Spain: IEEE,2018:3437-3440.
- [5] 林娜,张小青,王岚,等.空洞卷积U-Net的遥感影像道路提取方法[J].测绘科学, 2021,46(9):109-114,156.
- [6] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[EB/OL]. arXiv:1409.1556 [cs.CV], 2014 [2025-12-15]. <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.
- [7] HE K, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Piscataway: IEEE,2016:770-778.
- [8] CHEN L C, PAPANDREOU G, SCHROFF F, et al. Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation[J/OL]. arXiv:1706.05587,2017.
- [9] CHEN L C, PAPANDREOU G, KOKKINOS I, et al. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected CRFs[C]//International Conference on Learning Representations (ICLR).2015.

融合混合注意力机制的农村黑臭水体监测识别研究

金众格¹ 陈抒录² 段晨³

(1. 张家界学院理工学院, 湖南 张家界 427000; 2. 湘潭市勘测设计院, 湖南 湘潭 411100;

3. 湖北省地质局第六地质大队, 湖北 孝感 432100)

摘要: 针对农村复杂地物特征环境下黑臭水体遥感识别难度大、监测周期长等困难, 研究提出一种轻量级黑臭水体识别监测网络, 利用 EfficientNet-V2 的前 4 层网络切片来降低计算复杂度, 并引入混合注意力机制 CBAM 强化微小零星黑臭水体边界识别能力, 以减少影像细节在训练中的损失。监测实验结果表明, EOWD-Net 在精确性指标 P 上较 U-Net、Yolo-v3 模型高出 5.81% 和 11.45%, 在召回率 R 指标上较 U-Net、Yolo-v3 模型高出 9.01% 和 6.74%, 并通过消融实验验证引入 CBAM 模块后, EOWD-Net 模型参数量和计算量仅分别增加 1.61% 和 1.97%, 而 IoU 和 F1 指标却分别提升 6.72% 和 4.49%。实验结果说明, 在黑臭水体稀疏、均匀分布及稠密分布的情况下, EOWD-Net 模型在漏检像素和错检像素表现上较 U-Net、Yolo-v3 等模型更少, 提取识别的黑臭水体边缘细节和轮廓边界更精准, 且单一精准性指标导致的评估偏差相对最小, 综合性能最优。

关键词: 黑臭水体; 遥感识别; 混合注意力; 神经网络

1 引言

目前, 农村黑臭水体导致环境污染治理是生态文明建设的显著挑战, 不仅影响居民生活质量, 还制约农村生态经济可持续发展。因农村地域广、水体分散且监测手段有限, 传统人工巡查难以全面高效, 近年来卫星载荷和无人机载荷的遥感监测手段具有短时效、广域覆盖等优势, 为农村黑臭水体监测治理提供了快捷可靠的解决路径^[1-3]。

由于高分辨率遥感影像中农村区域地物要素背景复杂, 当前采用光谱指数法、色度识别法等传统遥感监测手段难以精准识别细小黑臭水体, 人为设置阈值使分类结果易受主观因素影响, 限制了模型的移植性。近年来, 随着计算机视觉技术的发展, 将语义分割网络与高分辨率遥感影像结合提取黑臭水体的案例逐步增多^[4]。张淳等基于 Deeplabv3+ 语义分割模型, 以 ResNet101 为骨干网络, 引入注意力机制, 配合对低照度样本进行提亮和纠色前处理, 用于提取浮萍型黑臭水体, 各项性能指标比传统方法高 30% 以上^[5]; 解明权等选取水体清洁指数、归一化黑臭水体指数和反射率光谱指数作为特征指标, 构建贝叶斯多特征融合黑臭水体识别模型, 基于高分二号卫星影像识别六安市、阜阳市和宿州市 4 个区域的黑臭水体, 总体精度为 86.72%^[6]。赵晨曦等在编码输入层加入 ASPP 模块

获取复杂光谱信息, 通过改进型 U-Net 模型提高水质分类准确性与分割效果, 实现对黑臭、富营养化水体的精准提取^[7]。

研究提出一种融合混合注意力机制的轻量级黑臭水体识别监测网络模型 (Efficient Odorous Water Detection net, EOWD-Net), 通过引入注意力模块 (Convolutional Block Attention Module, CBAM) 增强不同地物要素复杂度环境下识别黑臭水体的能力, 在本地黑臭水体实地调查空间分布数据集上, 通过对比实验验证了 EOWD-Net 模型的有效性, 研究成果可为农村区域黑臭水体监测和治理提供参考。

2 关键技术方法

2.1 EOWD-Net

融合混合注意力机制的轻量级黑臭水体识别监测网络模型 (EOWD-Net) 是一种轻量化深度神经网络, 主要由编码部分特征提取网络、骨干网络、CBAM 模块和带跳跃连接的解码部分组成, 模型总体结构如图 1 所示。其中, 编码部分特征提取网络选用孪生 EfficientNet-V2 的前 4 层网络切片, 在保留底层特征提取能力的同时, 可减少 20% 的参数与计算量。骨干网络通过类 FPN 结构提取遥感影像黑臭水体特征, 获取富含语义信息的高层特征以识别像素类别, 同时

作者简介: 金众格 (2000—), 女, 汉族, 硕士, 研究方向: 地理信息系统模型开发及遥感解译。

通信作者: 陈抒录 (1989—), 男, 汉族, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 摄影测量和国土空间规划。

保留含精确定位信息的底层特征来还原黑臭水体边界轮廓。CBAM 模块不仅能自适应调整通道特征, 筛选黑臭水体关键信息以提升识别精度, 还能为关键位置分配更高权重。而解码部分的上采样模块借助跳跃连接实现高、底层特征融合, 最终由像素级分类器输出黑臭水体边界结果。

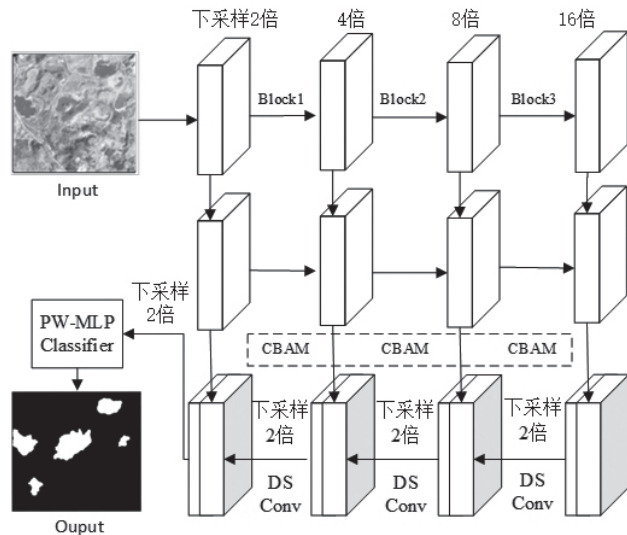


图1 EOWD-Net模型结构

2.2 解编码特征提取网络

研究基于EfficientNet-V2模型前4个阶段作编码器骨干网络架构, 目的是减少模型参数数量与计算复杂度, 高效提取黑臭水体识别所需的底层特征, 主要包括色彩、边缘、位置及纹理等信息。EfficientNet-V2模型关键部分是引入Fused-MBConv模块, 在传统MB-Conv设计上进行了优化, 将逐点卷积与深度可分离卷积的序列操作替换为单一的 3×3 标准卷积层, 通过单次操作完成空间特征提取和通道维度扩展, 降低计算资源消耗。凭借 3×3 卷积宽感受野, 该模块在浅层网络可捕获关键空间上下文信息, Fused-MBConv结构如图2所示。此外, 该模块引入残差连接与Dropout层, 协同确保梯度稳定传播, 增强模型泛化能力。

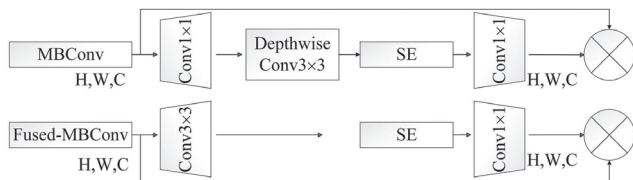


图2 Fused-MBConv结构

解码器采用渐进式上采样方法还原高分辨率特征图。每个解码块有两个输入: 一是前一解码块上采样结果, 可提升空间分辨率; 二是同尺度编码器经CBAM

模块调制生成注意力权重图的特征, 引导解码器聚焦关键部分。

解码流程共分为四步: 第一步特征对齐, 用双线性插值调整上采样特征图尺寸, 与权重图适配; 第二步注意力加权, 将对齐的特征图与权重图逐元素相乘, 抑制无关区域信息; 第三步跳跃连接融合, 将加权后的特征与对应尺度编码器特征拼接, 保留并融合信息; 第四步特征增强, 用深度可分离卷积处理拼接后的特征, 提炼精细丰富的特征表达。解码从最低分辨率特征开始, 迭代恢复至输入图像初始分辨率, 精准还原细节与结构, 输出高质量结果。

2.3 混合注意力机制

EOWD-Net模型编码器提取的多特征从卫星遥感影像被送入CBAM注意力模块进行处理, 以增强其特征表达能力。CBAM由级联的通道注意力模块(Channel Attention Module, CAM)与空间注意力模块(Spatial Attention Module, SAM)组成, 能够让EOWD-Net模型在黑臭水体识别任务中更聚焦于关键特征, CBAM结构如图3所示。

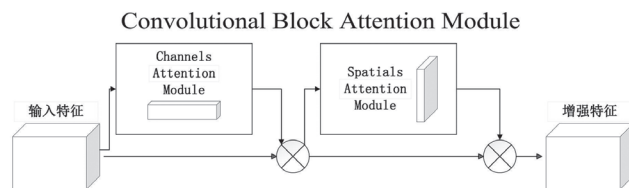


图3 CBAM结构

CAM模块沿通道维度对输入的特征图进行处理, 包含全局平均池化GAP和全局最大池化GMP。两种池化操作分别生成两个不同的通道描述符, 随后通道描述符被送入共享多层感知机MLP进行处理, 经过MLP变换后生成通道注意力权重图, 并与原始输入特征图逐通道相乘, 完成通道特征重新校准。然后SAM模块对经过CAM调制后的特征图进一步处理, 沿通道维度分别应用最大池化和平均池化操作, 生成两个二维的空间特征图。

这两个二维空间特征图通过拼接操作后, 被送入一个 7×7 的卷积层进行融合处理, 最终生成一个空间注意力权重图。该空间权重图通过逐元素的乘法操作作用于输入特征图, 实现对空间特征的重新校准, 从而突出关键区域的空间信息, 使得模型能够更加关注重要的空间位置。通过级联机制, 卷积块注意力模块CBAM能够有效引导模型关注黑臭水体识别中的关键通道特征和空间位置特征, 引入的双重注意力机制显著

提升了模型在黑臭水体监测识别任务中的性能，使其能够更精准地捕捉黑臭水体边界关键信息，从而提高识别准确性与鲁棒性^[8-9]。

3 实验分析

3.1 实验过程

实验利用国家自然资源卫星遥感云服务平台 (<http://sasclouds.com/chinese/home/>) 申请 2024 年 10 月浙江省某市高分二号卫星影像数据，通过大气校正、平差校正和图像融合等预处理操作，使用滑动窗口算法将卫星影像成果分割为 512×512 像素规格，并结合黑臭水体地面调查数据库，使用 labeling 标注工具进行人工标注，进而得到 2674 组黑臭水体空间分布数据集。

为强化 EOWD-Net 模型的泛化能力，对该数据集进行随机位置变换、翻转（随机水平翻转和垂直翻转）、锐化和添加噪声、亮度和对比度调整等一系列操作，并按 6:2:2 比例设置训练样本、验证样本和测试样本。研究区域面积约为 26.2km²，具体训练提取实验在部署了 10 块 Nvidia 4080Ti GPU（16GB ROM）的高性能计算集群上完成，具体的训练配置及相关参数如表 1 所示。

表1 硬件配置

训练配置	具体参数
操作系统	Linux
软件配置	CUDA 11.8, Pytorch1.2.2, OpenCV4.2.1, Pythonv4.2
Batch size	8
训练轮数	500
初始学习率	0.005
优化方法	ADAM

3.2 识别结果

三种模型对黑臭水体的识别提取结果对比如图 4 所示。由图 4 可知，与研究区黑臭水体空间分布数据集（真值）相比，在黑臭水体稀疏、均匀分布以及稠密分布的情况下，EOWD-Net 模型在漏检像素和错检像素表现上比其他两种模型更少，提取识别的黑臭水体边缘细节和轮廓边界更为精准，符合真实地面调查的黑臭水体形状特征；而 U-Net 模型则存在两类误差：一是 10.7% 水域被提取为正常水体，二是有 7.3% 的黑臭水体漏提率；Yolo-v3 模型提取的黑臭水体存在边缘模糊、边界连片混淆等问题，并有 4.23% 的正常地表面积被误识别为黑臭水体。

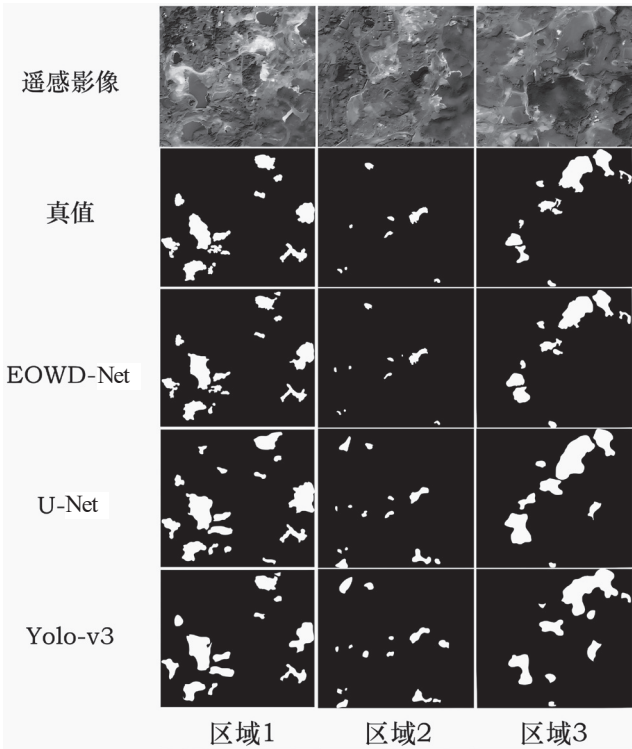


图4 识别提取结果对比

3.3 模型对比验证

研究从模型性能和模型精准性评价两个角度来对比各模型识别提取效果。性能指标具体由参数量（Param）、计算量（FLOPs）及推理速度（Inf）组成。其中 Param 为模型中可训练参数总和，由权重与偏置项组成，直接体现模型存储空间要求和复杂度；FLOPs 为浮点运算次数，用于评估模型前向传播时的计算复杂度；Inf 则是指模型每秒能够处理的尺寸为 512×512 的图片张数^[10]。同时，为定量评估黑臭水体识别提取模型的精准性，以精确率（Precision, P）、召回率（Recall, R）、F1 值（F1-score）以及交并比（Intersection over Union, IoU）等作为模型精准性评价指标。具体计算公式如下：

$$P = \frac{N_{tp}}{N_{tp} + N_{fp}} \quad (1)$$

$$R = \frac{N_{tp}}{N_{tp} + N_{fn}} \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{2 \times P \times R}{P + R} = \frac{2N_{tp}}{2N_{tp} + N_{fp} + N_{fn}} \quad (3)$$

$$IoU = \frac{N_{tp}}{N_{tp} + N_{fp} + N_{fn}} \quad (4)$$

式中， N_{tp} 为识别出的黑臭水体区域、实际标签也为黑臭水体区域的像素数量； N_{fn} 为识别出的背景区域、

实际标签为黑臭水体区域的像素数量； N_{fp} 为识别出的黑臭水体区域、实际标签为背景区域的像素数量； N_m 为识别出的背景区域、实际标签也为背景区域的像素数量。

三种模型的性能和黑臭水体识别效果对比如表 2 所示。从表 2 数据可以看出，EOWD-Net 模型在参数量 Param 上相比 U-Net、Yolo-v3 模型分别减少 63.69% 和 82.24%，在计算量（FLOPs）上相比 U-Net、Yolo-v3 模型分别减少 51.51% 和 47.23%，在推理速度上 EOWD-Net 模型的推理速度达到 44.26fps，远高于 U-Net（18.22fps）和 Yolo-v3（10.85fps）模型。从模型精准性上来看，EOWD-Net 模型在 P 指标上较 U-Net、Yolo-v3 模型高出 5.81% 和 11.45%，在 R 指标上较 U-Net、Yolo-v3 模型高出 9.01% 和 6.74%，这说明 EOWD-Net 模型在识别黑臭水体的正确率上优于其他两种模型，并在误提和漏提黑臭水体方面均有一定优势；IoU 指标差异说明 EOWD-Net 模型提取的黑臭水体边界与真值重合性相对最好；F1-score 指标上的差异则说明 EOWD-Net 模型中单一精准性指标导致的评估偏差相对较小。综合结果表明，EOWD-Net 模型在各项指标上表现更优。

表2 模型识别效果对比

模型	精准性指标				性能指标		
	$P/\%$	$R/\%$	$F1/\%$	IoU/%	Param/M	FLOPs/G	Inf/fps
U-Net	84.23	77.62	80.24	76.65	1.57	5.32	18.22
Yolo-v3	79.18	79.56	81.24	71.27	3.21	4.89	10.85
EOWD-Net	89.42	85.31	85.12	84.38	0.57	2.58	44.26

3.4 消融实验

为验证 CBAM 模块在提升黑臭水体识别精度方面的有效性，对 EOWD-Net 模型加入 CBAM 模块前后的性能差异进行了对比实验，结果如表 3 所示。

从表 3 数据可以看出，在引入 CBAM 模块后，EOWD-Net 模型的参数量和计算量仅分别增加 1.61% 和 1.97%，然而 IoU 和 $F1$ 指标却分别提升 6.72% 和 4.49%，此外， P 指标和 R 指标也呈现出微弱增长。消融实验结果表明，CBAM 模块的引入使得 EOWD-Net 模型在参数量和计算量增加幅度较小的情况下，显著提升了黑臭水体的提取性能。

表3 使用CBAM模块前后性能对比

多尺度CBAM模块	$P/\%$	$R/\%$	$F1/\%$	IoU/%	Param/M	FLOPs/G
无	84.17	82.24	80.63	77.71	0.561	2.53
有	85.42	83.31	85.12	84.38	0.57	2.58

4 结论

农村生态环境治理的关键任务在于精准高效地掌握零星黑臭水体的分布状况，而农村复杂的地物特征环境存在黑臭水体遥感识别难度大、监测周期长等困难。对此，研究设计了一种轻量级农村黑臭水体识别监测网络模型 EOWD-Net，利用孪生 EfficientNet-V2 的前 4 层网络切片来减少计算复杂度，并引入混合注意力机制 CBAM 模块，有效增强对零星黑臭水体边界的识别能力。

研究针对某流域实施了黑臭水体监测识别，实验结果显示，EOWD-Net 模型在精确性指标 P 上分别比 U-Net 和 Yolo-v3 模型高出 5.81% 与 11.45%，在召回率 R 指标上分别比 U-Net 和 Yolo-v3 模型高出 9.01% 与 6.74%。消融实验表明，EOWD-Net 模型在参数量与计算量上仅分别增加 1.61% 和 1.97% 的前提下，IoU 和 $F1$ 指标分别提升 6.72% 和 4.49%。结果显示，在黑臭水体分布稀疏、均匀分布和稠密分布等情况下，EOWD-Net 模型在漏检和错检像素方面均显著优于 U-Net 和 Yolo-v3 模型，且识别的黑臭水体边缘细节和轮廓边界精准度更高，在单一精准性指标上表现更为均衡，评估偏差较小，综合性能评估表现最优。

参考文献

[1] 胡国庆,陈冬花,刘聪芳,等.基于高分二号的城市黑臭水体动态监测[J].国土资源遥感,2021,33(1):30-37.

[2] 刘甜甜,张明,冯继锋,等.基于GF-2影像的农村黑臭水体遥感识别与动态监测[J].测绘通报,2025(5):8-14.

[3] 孙永彬,卢辉雄,李启亮,等.“算法-标志”协同的小微黑臭水体高分遥感识别方法[J].地球信息科学学报,2024,26(12):2788-2804.

[4] 陈正华,兰思香,张锦水,等.城市黑臭水体遥感监测的研究现状与展望[J].遥感技术与应用,2025,40(4):909-922.

[5] 张淳,葛毅,任越,等.基于优化的DeeplabV3+网络和高分影像分割浮萍型农村黑臭水体[J].遥感技术与应用,2023,38(6):1433-1444.

[6] 解明权,闵松寒,杨辉,等.基于贝叶斯卷积网络的农村黑臭水体遥感识别算法研究[J].环境科学学报,2024,44(3):215-226.

[7] 赵晨曦,宋钰,胡敬芳,等.改进U-Net网络的遥感图像水质分割算法[J].遥感信息,2023,38(4):137-143.

[8] 庞世燕,郝京京,左志奇,等.融合密集连接和自注意力机制的高分辨率遥感影像变化检测方法[J].测绘学报,2024,53(12):2244-2253.

[9] 牛艺婷,郭超,卢俊,等.联合密集连接与注意力的遥感影像变化检测[J].测绘与空间地理信息,2023,46(12):33-37.

[10] 李启亮,卢辉雄,孙永彬,等.知识驱动的疑似黑臭水体遥感识别方法研究[J].生态环境学报,2025,34(3):451-460.

面向多尺度遥感目标的LSKNet—YOLOv11s检测方法

陈松 朱康

(河南省遥感院, 河南 郑州 450003)

摘要: 针对遥感图像目标检测存在尺度差异大、小目标密集及背景复杂的问题, 研究提出基于大核选择性注意力的YOLOv11s改进方法。在骨干网络引入LSKBlock替换C3k2, 通过并联小核与大核深度可分离卷积提取多尺度感受野特征, 利用空间选择门控自适应融合; 颈部网络以BiFPN替代PANet, 通过加权双向融合优化多尺度特征交互; 采用WiouV3替代CIoU, 通过动态非单调聚焦机制优化梯度分配。在DIOR数据集上, 研究方法以8.58M参数量达到79.83% mAP50, 较基线提升1.56个百分点, 参数量减少9.1%。LSKNet的自适应感受野选择机制有效应对了遥感目标尺度差异大的挑战, 为多尺度目标检测提供了轻量化改进方案。

关键词: 遥感目标检测; YOLOv11s; 大核选择性注意力; 双向特征金字塔; Wiou损失函数

1 引言

遥感图像目标检测是地理空间信息智能解译的核心技术, 已广泛应用于城市规划、环境监测、军事侦察和灾害评估等领域^[1]。与自然图像相比, 遥感图像目标尺度跨度极大(从数像素的车辆到数百像素的港口、机场), 小目标(面积 $< 32 \times 32$ 像素)占比超过69%, 目标排列密集且背景复杂^[2], 对检测算法的多尺度建模能力提出了更高要求。两阶段检测器如Faster R-CNN^[3]虽精度较高, 但计算开销大, 难以满足实时性需求。

针对遥感多尺度目标检测问题, BiFPN^[4]通过加权跨尺度连接实现高效特征融合, LSKNet^[5]通过大核分解卷积和空间选择门控实现自适应感受野调整。然而, 现有改进多数针对YOLOv5或YOLOv8^[6]设计(如李科文^[7]等), 在最新YOLOv11架构上的系统消融分析尚不充分。

针对上述不足, 研究以YOLOv11s为基线, 从主干特征提取、多尺度特征融合和损失函数三个维度提出协同改进方案, 在DIOR数据集上开展系统性消融实验, 评估各改进模块在先进架构上的独立效能与边际贡献。

2 研究方法

本节展示LSKNet-YOLO的整体结构与具体改进。考虑到遥感目标检测对参数量、检测效率及多尺度融

合能力的要求, 研究选取YOLOv11s^[8-10]作为基线模型, 通过引入LSKBlock、BiFPN和WiouV3等改进模块, 在骨干特征提取、多尺度特征融合和损失函数三个维度实现针对性优化。

2.1 改进YOLOv11s-LSKNet网络结构

研究以YOLOv11s为基础检测框架, 针对遥感目标多尺度、大长宽比及背景复杂等特点, 从特征提取网络和特征融合网络两个维度进行改进, 整体结构如图1所示。

(1) 主干网络(Backbone): YOLOv11s骨干网络共11层, 第2、4、6、8层为C3k2模块, 依次对应P2(1/4)至P5(1/32)四个特征金字塔尺度。研究仅将P3/P4/P5(第4、6、8层)的C3k2替换为LSKBlock, 保留P2层C3k2不变——浅层高分辨率特征语义信息较弱, 而P3~P5层经逐步抽象后语义更为丰富, 大核感受野在此类深层特征中更能发挥上下文建模优势, 且计算开销更低。

(2) 颈部网络(Neck): 采用BiFPN替代原始PANet, 通过可学习权重对不同输入特征进行加权双向融合, 取代PANet的简单拼接与C3k2处理组合, 多尺度信息在双向传播中得以更完整保留(详见2.3节)。

(3) 检测头(Detection Head): 沿用YOLOv11s的解耦检测头(采用与TOOD^[11]相似的任务对齐标签分配策略), 在P3(1/8)、P4(1/16)、P5(1/32)

作者简介: 陈松(1988—), 男, 汉族, 硕士, 助理工程师, 主要从事机器学习、计算机视觉、卫星遥感解译监测及算法研究。

三个尺度分别预测小、中、大目标。每个检测头通过两路独立卷积分支分别预测分类得分与边界框回归参数，并引入 Distribution Focal Loss^[12] 优化边界框分布。

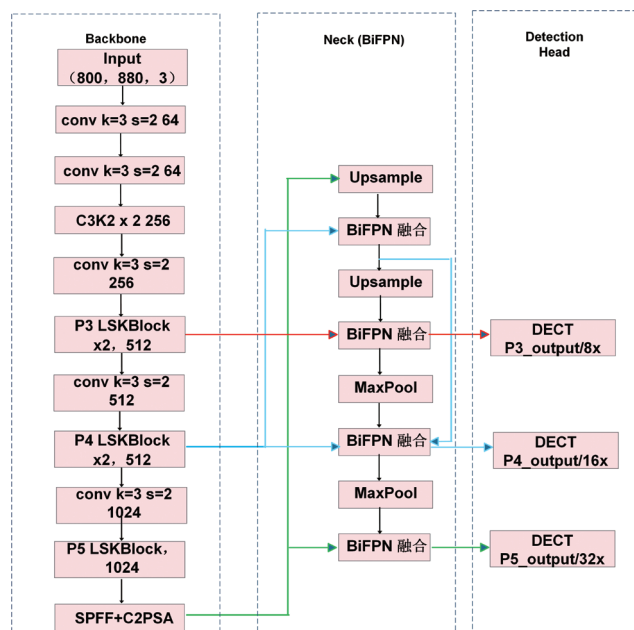


图1 改进YOLOv11s-LSKNet整体网络结构

2.2 LSKNet 大核选择性注意力模块

LSKNet 的核心思想是通过大核深度可分离卷积获取多尺度感受野，再通过空间选择门控机制为每个位置自适应选择最优上下文范围。该机制分为两个阶段：

第一阶段：并联两组不同尺寸的深度可分离卷积，分别提取多尺度特征。给定输入特征图 $X \in R^{C \times H \times W}$ ，小核分支使用 $k \times k$ ，深度可分离卷积能捕获局部细节，大核分支使用 $(k+2) \times (k+2)$ ，深度可分离卷积（扩张率 $d=3$ ）捕获大范围上下文，并分别生成特征图 U_1 和 U_2 ：

$$U_1 = DWConv_k(X) \quad (1)$$

$$U_2 = DWConv_{k+2}(X) \quad (2)$$

第二阶段：将 U_1 和 U_2 沿通道维度拼接，经通道压缩、空间注意力生成和逐位置重加权，在空间维度动态选择大核或小核响应。空间选择注意力 A 的计算过程为：

$$A = \sigma(\text{Conv}_{1 \times 1}(\text{GAP}(\text{Concat}(U_1, U_2)))) \quad (3)$$

最终输出为两路特征的加权融合：

$$Y = A \cdot U_1 + (1 - A) \cdot U_2 \quad (4)$$

其计算复杂度为 $O(k^2CHW)$ ，相比标准大核卷积的 $O(k^2C^2HW)$ 降低了约 C 倍。式中， σ 为 Sigmoid 函数，GAP 为全局平均池化。通过该机制，LSKNet 在空间维

度为不同位置动态选择最优感受野——大核特征在大范围上下文区域（如港口、机场）占主导，小核特征在局部纹理区域（如车辆、船舶）占主导。与 CBAM 等通道—空间注意力^[13] 不同，LSKNet 通过竞争式空间选择实现感受野自适应调整，在扩展感受野的同时保持轻量级特性。LSKNet 模块结构如图 2 所示。

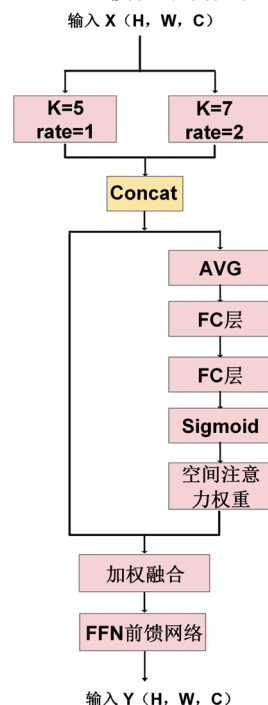


图2 LSKNet模块结构

2.3 BiFPN 双向特征金字塔网络

为增强多尺度特征融合能力，研究在颈部网络部署 BiFPN 替代 PANet。BiFPN 通过上、下采样双向路径实现高低分辨率特征的高效融合，兼顾不同尺度目标的检测需求。其自适应加权融合机制可规避传统 FPN 等权融合的缺陷，在背景占比极高的遥感图像中主动聚焦小目标特征，避免被背景噪声掩盖。BiFPN 网络结构如图 3 所示。

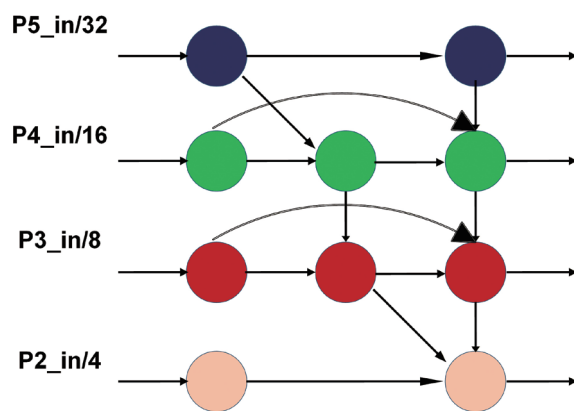


图3 BiFPN网络结构

2.4 WIoU 损失函数

YOLOv11s 原有损失函数采用 CIoU 作为边界框回归损失，其在 IoU 基础上引入中心点距离和纵横比一致性惩罚项。然而 CIoU 对所有锚框采用统一梯度分配策略，在遥感图像目标纵横比多样、锚框质量差异显著的场景下缺乏适应性。为此，研究引入 WIoUv3^[14] 损失函数，通过动态非单调聚焦机制根据锚框质量自适应调整梯度增益。WIoUv1 的损失定义为：

$$L_{\text{WIoUv1}} = R_{\text{WIoU}}(1 - \text{IoU}) \quad (5)$$

式中， L_{WIoUv1} 为 WIoUv1 损失函数， R_{WIoU} 为中心点距离惩罚项，用于衡量预测框与真实框中心点之间的归一化距离。IoU 为预测框与真实框的交并比； $(1 - \text{IoU})$ 为基础 IoU 损失。WIoUv3 引入离群度 β 用于评估锚框质量：

$$\beta = \frac{L^*_{\text{IoU}}}{L_{\text{IoU}}} \quad (6)$$

式中， L^*_{IoU} 为当前锚框的 IoU 损失， L_{IoU} 为 IoU 损失的滑动平均值，作为锚框质量评估的动态基准，用于归一化离群度。

非单调聚焦系数 r 的计算方式为：

$$r = \frac{\beta}{\delta \cdot \alpha^{(\beta - \delta)}} \quad (7)$$

式中， r 为非单调聚焦系数； β 为锚框离群度； α 和 δ 为超参数，用于控制聚焦曲线的形状和峰值位置。WIoUv3 的最终损失为：

$$L_{\text{WIoUv3}} = rL_{\text{WIoUv1}} \quad (8)$$

式中， L_{WIoUv3} 为 WIoUv3 的最终损失函数； r 为非单调聚焦系数； L_{WIoUv1} 为 WIoUv1 损失。

该机制的核心思想是：中等质量锚框获得最大梯度增益，高质量锚框（ β 较小）获得较小增益以避免过拟合，低质量锚框（ β 较大）同样获得较小增益以抑制有害梯度干扰。在遥感场景中，小目标占比高，其对应锚框质量通常较低，WIoU 的非单调聚焦机制有助于在保护小目标梯度的同时抑制低质量锚框的干扰。

3 实验与分析

3.1 实验设置

研究采用 DIOR 数据集（23463 幅光学遥感图像，800×800 像素，涵盖机场、港口、车辆等 20 类目标），按公开标准划分：训练集 9288 幅（含 5326 幅标注 +3962 幅纯背景）、验证集 1161 幅、测试集 1162 幅。

采用目标检测领域通用的平均精确率均值（mAP）作为评价指标，包括 mAP50（IoU 阈值为 0.50），以

mAP50 为主要评价指标。

实验在单张 NVIDIA RTX 3090 24GB GPU 上进行，Ultralytics 框架（8.4.62），PyTorch 后端。统一设置为：随机种子 42、输入 800×800、batch size 16、epoch 100、SGD 优化器（momentum0.937，weight decay 5×10^{-4} ）、初始学习率 0.01、余弦学习率调度。

3.2 消融实验结果

为评估各改进模块的贡献，在统一实验条件下进行消融实验，以 YOLOv11s 为基线，依次验证 LSKNet、BiFPN 和 WIoUv3 三项改进模块的单独与协同效果，结果如表 1 所示。

表1 DIOR数据集消融实验结果

序号	模型	输入尺寸	mAP50/%	ΔmAP50/%	参数量
1	Baseline	800	78.27	—	9.44M
2	+LSKNet	800	79.07	+0.80	8.17M
3	+BiFPN	800	78.54	+0.27	9.85M
4	+WIoUv3	800	78.36	+0.09	9.44M
5	研究方法	800	79.83	+1.56	8.58M

消融实验结果表明：

（1）LSKNet 模块：在 P3/P4/P5 层引入 LSKBlock 后，mAP50 达 79.07%（+0.80%），参数量从 9.44M 降至 8.17M（-13.5%），是唯一同时实现精度提升与参数量降低的模块。

（2）BiFPN 模块：采用 BiFPN 替代 PANet 后，mAP50 达 78.54%（+0.27%），参数量增至 9.85M（+0.41M）。

（3）WIoUv3 损失函数：引入 WIoUv3 后，mAP50 达 78.36%（+0.09%），参数量保持 9.44M 不变，提升有限，原因是 DIOR 数据集标注质量高、锚框噪声小，非单调聚焦优势难以充分发挥。

（4）协同效果：三项改进模块同时引入后，mAP50 达 79.83%（+1.56%），参数量降至 8.58M（-9.1%）。三项单独改进之和为 1.16 个百分点，协同改进后达 1.56 个百分点，产生 0.40 个百分点的正向协同增益。

3.3 与现有方法的对比

为验证研究方法的有效性，在 DIOR 数据集上与近年主流遥感目标检测方法进行对比，结果如表 2 所示。

表2 DIOR数据集不同检测方法对比

方法	骨干网络	输入尺寸	mAP50/%	Params/M
YOLOv5s	CSPDarknet-C3	640	73.4	7.0
YOLOv8n	CSPDarknet-C2f	640	74.1	3.0
YOLOv8s	CSPDarknet-C2f	640	74.4	6.0
YOLOv8m	CSPDarknet-C2f	640	75.3	22.0
YOLOv11s	CSPDarknet-C3k2	800	78.27	9.44
研究方法	CSPDarknet-LSKNet	800	79.83	8.58

研究方法以 8.58M 参数量实现 79.83% mAP50, 超越 YOLOv11s (9.44M, 78.27%) 1.56 个百分点, 参数量减少 9.1%, 验证了 LSKNet 替换 C3k2 的有效性。与 YOLOv8 系列相比, 研究方法以 22.0M 的 YOLOv8m 的 1/3 参数量实现 4.53 个百分点精度提升, 以略高于 YOLOv8s (6.0M) 的参数量实现 5.43 个百分点增益。需要指出的是, YOLOv5s 至 YOLOv8m 采用 640×640 输入, 而 YOLOv11s 和研究方法采用 800×800 输入, 输入分辨率不同导致结果不直接可比, 更大分辨率对遥感小目标检测更为有利。故该差距不能完全归因于模型结构改进, LSKNet 与 C2f 的对比有待在相同输入尺寸下进一步验证。在相同 800×800 条件下, 研究方法较 YOLOv11s 的精度提升完全归因于骨干网络改进, 其大核选择性注意力机制通过自适应感受野选择有效应对了遥感目标尺度差异显著、背景复杂度高的挑战。

为直观验证研究方法在遥感典型场景的检测性能, 在 DIOR 数据集上选取四类典型场景进行可视化对比分析, 结果如图 4 至图 7 所示。

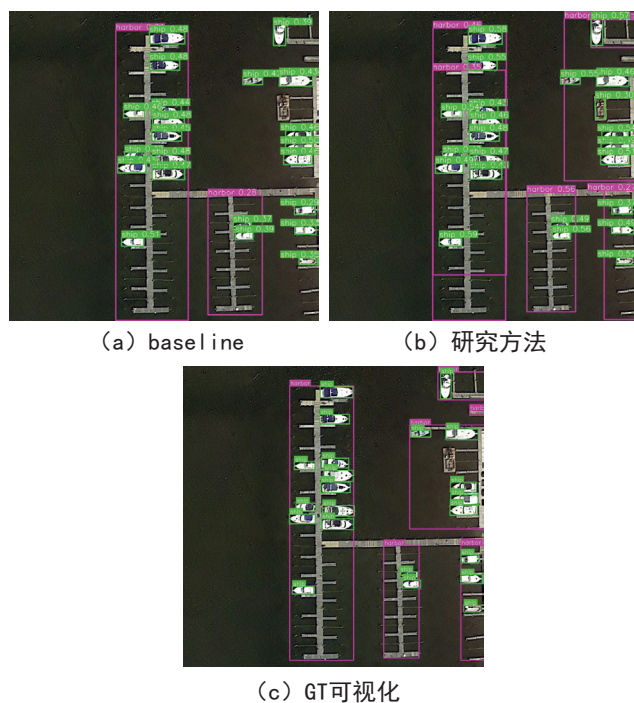


图4 港口船舶密集场景

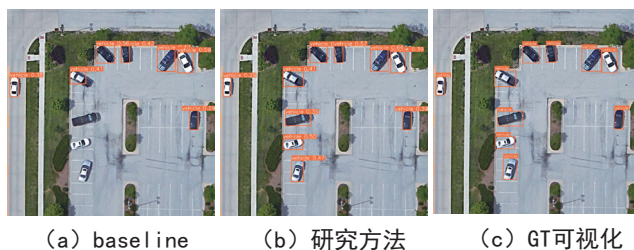


图5 密集车辆

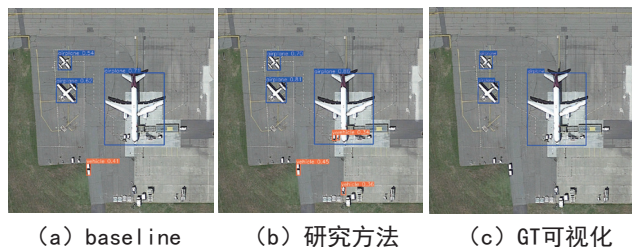


图6 飞机+车辆

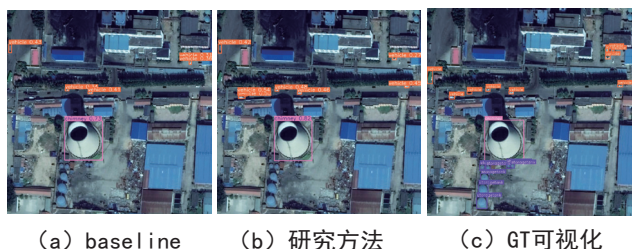


图7 工业区场景

基于四类遥感典型场景的对比分析, LSKNet 模块的改进效果呈现明确的场景依赖性。在港口船舶密集场景中, 基线 (baseline) 仅检出 2 个港口 (召回率 33.3%) 和 22 艘船舶, 而 LSKNet 模块检出 5 个港口 (83.3%) 和 24 艘船舶, 港口召回率提升 50 个百分点, 船舶置信度亦显著提升 (0.5 阈值下保留数从 2 艘增至 9 艘)。在密集车辆场景中, 基线漏检 3 辆 (召回率 70%), LSKNet 模块完整检出 10 辆 (100%), 空间选择机制增强了密集小目标的特征辨识度。在稀疏飞机场景中, 两者均检出 3 架飞机 (精度 100%), 但 LSKNet 模块因过度敏感导致车辆误检从 1 个增至 4 个, 表明其在简单场景中增益有限, 且存在过度激活问题。在工业区场景中, 两类模型均完整检出烟囱; 储油罐检测方面, 基线检出 5 个 (71.4%), LSKNet 模块检出 8 个 (含 1 个误检), 大核感受野对中等尺度圆形目标建模有效。然而, 两类模型均完全漏检全部 10 辆车辆, 揭示了大目标遮挡背景下超小目标检测仍是当前机制的薄弱环节。

4 结论

研究提出基于 LSKNet 的 YOLOv11s 改进方法, 以 8.58M 参数量在 DIOR 数据集上实现 79.83% mAP50, 较基线提升 1.56 个百分点, 参数量减少 9.1%。消融实验结果表明, 骨干网络改进 (LSKNet+0.80%) 的贡献显著优于颈部融合 (BiFPN+0.27%) 和损失函数优化 (WIoU+0.09%), 三者协同产生 0.40 个百分点的正向交互增益, 表明感受野自适应建模是遥感目标检测中

(下转第 32 页)

农村宅基地房屋不动产权籍调查技术与方法研究

冯建坡

(新密市自然资源和规划局土地储备中心, 河南 新密 452370)

摘要: 农村宅基地不动产权籍调查是不动产统一登记、宅基地制度改革的基础性前置工作, 传统人工测绘、纸质权属调查模式存在效率低下、界址精度偏低、权属问题处置标准不统一等弊端。基于宅基地确权登记政策要求, 研究提出以数字化地籍测绘技术为核心, 探究宅基地及地上住宅权籍调查技术体系与实施路径, 通过梳理前期资料归集、外业权属核查、房地一体测绘、内业建库全作业流程, 对比衡量多源测绘技术在山地、平原、老旧村落等场景的适配性, 并针对宅基地超占、祖遗房产、共用院落、权属交叉等疑难权属问题制定标准化处置方案。结合项目实践, 构建了航测底图、RTK 补测、入户核验、房地一体建库一体化作业流程, 健全成果质量管控体系。研究表明, 数字化房地一体权籍调查技术兼具作业效率与测绘精度, 标准化权属认定可降低不动产登记纠纷, 研究成果可为农村宅基地房地一体登记、不动产数据库建设提供有益的技术参考。

关键词: 房地一体; 宅基地; 不动产权籍调查; 测绘技术; 权属认定

1 引言

宅基地是农村集体建设用地的核心, 关乎农民居住权益、乡村稳定, 也是深化土地制度改革、推进乡村治理、盘活闲置土地的重要抓手。当前, 全国正在有序推进宅基地房地一体确权登记, 权籍调查作为前置核心工作, 负责权属核查、界址划定与面积测算, 是规范登记管理、化解权属矛盾、落实管控政策的重要基础。随着一户多宅、违规超占等历史问题的集中整治, 行业对调查工作的精度、效率和处置规范提出更高要求。

乡村不同区域的地形、建筑布局与权属状况差异较大, 加之房屋翻修、传承流转、用地调配等因素, 衍生出界址模糊、房地权属分离、共用院落权责不清、祖宅无证、违规超占等诸多难题。传统人工量测、纸质登记模式作业强度大、精度不足、周期偏长, 且各类疑难问题缺乏统一处置标准^[1], 易引发权属纠纷, 增加基层管理负担, 也会制约农村不动产数据库建设, 难以适配规模化、数字化的确权登记工作需求。

无人机航测^[2]、RTK 动态测绘、房地一体化建库^[3]等数字化技术为权籍调查升级提供支撑, 但不同技术适配各类村落的效果差异明显^[4-5], 基层实操中存在技术选型盲目、作业流程碎片化、权属问题处置标准不统一、成果质量控制体系不完善等痛点。研究结合确权登记工作实际, 梳理资料归集、外业权属核查、房地测绘、内业入库全流程工作要点, 对比无人机航

测与 RTK 测绘在三类乡村场景的优缺点; 针对违规超占、祖遗无证房产、共用院落、权属交叉等高频纠纷, 制定基层适用的标准化处置方案。依托乡镇实地确权项目, 搭建“航测底图先行、RTK 精准补测、入户权属核实、房地一体建库”作业流程, 健全全流程质量管控体系, 补齐传统调查质控短板。

研究旨在克服传统调查精度不足、效率低下、处置标准混乱等问题, 分场景优化测绘技术组合, 统一权属疑难处置规范, 提升宅基地调查整体精度与作业效率。研究形成的成套技术方案, 能够为基层自然资源部门开展确权登记、建设县域不动产数据库、调处土地权属纠纷、精细化管控宅基地资源提供实操参考, 助力农村宅基地制度改革稳步推进。

2 研究内容与技术路线

2.1 研究内容

结合当前农村宅基地权属复杂、数字化测绘技术适配性不足、基层确权作业不规范等现实问题, 立足房地一体确权登记工作要求, 针对性开展多项专项研究, 具体内容如下:

- (1) 梳理农村宅基地房地一体权籍调查全流程工作内容, 明确前期资料归集、外业入户权属核查、房地一体化测绘、内业数据整合入库核心作业要点。
- (2) 对比分析无人机航测、RTK 动态测绘两类主流数字化测绘技术, 在平原聚居村落、山地零散村落、

作者简介: 冯建坡 (1982—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事测绘地理信息管理工作。

老旧宗族院落三类乡村场景的适配优势与应用短板，破解基层技术盲目选型问题。

（3）聚焦宅基地违规超占、祖遗无证房产、院落共用、权属交叉叠加四类高频权属疑难问题，贴合基层作业实际，制定标准化、可落地的权属处置方案，统一问题处置标准。

（4）依托乡镇宅基地权籍实测工程项目，构建适配乡村复杂地貌的一体化作业模式，完善权籍调查全流程成果质量管控体系，弥补传统调查质控缺失短板。

（5）优化分场景数字化测绘技术组合，提升宅基地权籍调查作业效率与测绘精度，为基层宅基地确权、不动产数据库建设、权属纠纷调处、宅基地精细化管理提供技术方案。

2.2 技术路线

研究立足基层宅基地权籍调查作业痛点，依次开展流程梳理、技术优选、问题整改与模式搭建，最终打造出标准化、易落地、适配乡村多样地貌的作业体系，确保成果贴合基层确权实际工作。首先，研判行业现状，梳理出技术选型杂乱、作业流程零散、权属标准不一、质量管控不足等现实问题。其次，拆解资料归集、外业核查、现场测绘、内业入库全流程规范。再次，结合不同乡村地貌对比无人机航测与RTK测绘的优劣，制定差异化技术方案；同时针对常见权属纠纷明确统一处置流程与判定标准；依托实地项目搭建多技术融合、权责清晰的一体化作业流程与全流程质控体系。最后，整合优化方案，形成完整作业体系，为县域宅基地确权和资源管控提供支撑。技术路线如图1所示。

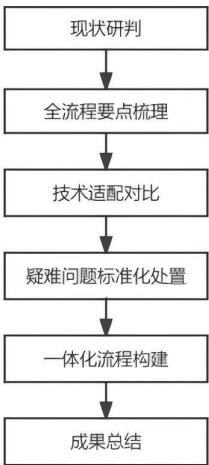


图1 技术路线

2.3 关键技术

（1）乡村异构资料智能归集脱敏整合技术
研究聚焦当前宅基地管理工作中的突出难点，重

点解决存量档案资料零散割裂、版本混杂、格式标准不统一、信息隐私防护压力大、宗地数据冗余重复、编码体系互不衔接等一系列问题。统筹整合二轮土地确权档案、传统宅基地权属证书、村级管理台账、户籍信息、规划红线资料以及历史卫星遥感影像等多源确权数据，依托国土确权专属核心算法与纸质档案灰度阈值分割辅助技术，一站式完成资料集中归集、信息矢量化提取、敏感信息隐私脱敏、重复宗地数据清理、房地信息编码关联绑定等全流程处理，实现各类基础资料的规范化治理。

面对图文台账、遥感影像等多类型异构数据普遍存在特征错位、噪声干扰、无效信息冗余等问题，结合部分纸质档案破损、泛黄、清晰度不足的现状，采用多模态异构融合注意力算法开展技术处理，完成不同档案模态的特征对齐与智能降噪，有效攻克因画质、格式、分辨率差异造成的信息匹配难题，实现老旧档案精准矢量化提取。针对多轮确权工作叠加引发的宗地重复建档、已拆除房屋宗地未及时注销、坐标点位匹配偏差等数据乱象，运用优化后的DBSCAN密度聚类去重算法，结合宗地坐标、编码、权利人等多维属性开展综合判定，自动甄别并批量清理冗余、失效数据，全面提升宅基地宗地数据的准确性、规范性与完整性。

（2）遮挡自适应无人机航测立体建模测绘技术

农村宅基地房屋布局零散、植被遮挡密集、院落结构复杂，传统人工测绘与常规无人机航测技术易因树木、院墙、相邻建筑遮挡，出现影像盲区、点位缺失、模型扭曲等问题，难以精准获取房屋轮廓、界址边界与立体空间信息，无法满足不动产权籍调查高精度、全覆盖的作业要求。遮挡自适应无人机航测立体建模测绘技术可针对农村复杂测区环境动态调整航摄角度、重叠度与成像参数，智能识别各类遮挡区域并完成补采建模，有效突破传统航测的成像局限，全面采集宅基地及房屋的二维纹理与三维空间数据，构建无盲区、高还原度的实景立体模型，精准还原房屋结构、院落边界、地形地貌等核心权籍要素，从数据采集源头解决遮挡导致的测绘精度不足、数据残缺等行业难题。

在农村宅基地房屋不动产权籍调查技术体系中，该技术重构传统外业摸排、人工测距的作业模式，依托立体建模成果快速完成房屋权属界址提取、建筑面积精准测算、房地空间关系校核等核心工作，适配1:500高精度地籍测绘标准，有效降低外业实地核查与补测工作量，大幅提升权籍调查的作业效率与成果

准确性。同时，其自适应遮挡处理能力可有效规避农村复杂地物干扰带来的权属边界模糊、数据偏差、成果返工等问题，保障权籍调查数据的完整性、规范性与唯一性，为农村宅基地确权登记、权属纠纷调处、不动产数据库搭建提供精准可靠的三维数据支撑，完善了复杂乡村场景下不动产权籍调查的技术体系，具备极强的实用性与推广价值。

（3）四类疑难权属边界矢量分割确权技术

农村宅基地房屋不动产权籍调查普遍存在老旧宅基地边界模糊、改扩建权属重叠、邻里界址争议、地物边界混杂等四类疑难权属边界问题，传统人工指界、常规测绘甄别方式精度低、主观性强，难以形成标准化、精准化的权属边界成果。四类疑难权属边界矢量分割确权技术可针对性破解上述行业痛点，依托矢量数据精细化分割算法，结合宅基地地物特征、权属档案资料与实地勘测数据，对模糊、重叠、争议、混杂的四类疑难边界进行分类甄别、精准拆分与矢量重构，有效规避传统调查中边界界定模糊、权属划分偏差、成果规范性不足等问题，大幅提升农村宅基地权属边界划定的精准度与科学性，为权籍基础数据采集筑牢技术支撑。

该技术体系适配农村宅基地分散布局、地物复杂、历史权属情况多样的调查场景，是优化农村宅基地不动产权籍调查技术体系的重要创新方法。在实际调查研究与实操应用中，通过对四类疑难权属边界开展定向矢量分割、边界拟合与确权校核，可精准厘清宅基地四至范围、房屋占地边界与集体土地权属界限，标准化输出权属边界矢量成果，有效化解邻里权属纠纷、解决历史遗留权属界定难题。同时，该技术能够实现权籍调查数据的数字化、标准化入库，保障宅基地确权登记成果的真实性、唯一性与合规性，进一步完善农村房地一体权籍调查流程，提升农村不动产确权登记工作的效率与规范化水平。

3 研究成果

紧扣农村宅基地制度改革、不动产统一登记全域落地政策要求，针对传统人工测绘、纸质权属调查效率低、测绘精度不足、异构资料统筹难、疑难权属处置标准碎片化等痛点，融合三项专项数字化技术，搭建全流程数字化宅基地房地一体权籍调查技术体系，形成适配多元乡村地貌、复杂权属场景、合规落地的成套成果，研究成果如下：

（1）研究乡村异构资料智能归集脱敏整合技术，补齐内业资料处理短板。选取某县域 12 个行政村（山地村 3 个、老旧聚居村 5 个、平原散居村 4 个）2147 宗宅基地，针对老旧纸质权证、涉密户籍材料等 8 类异构资料开展试验。数据显示，相较人工模式，该技术资料整合效率提升 72.6%，资料错配率从 9.1% 降至 1.3%，隐私信息脱敏合规率 100%，单村跨村镇权属数据融合耗时由 7~10 天压缩至 1.5 天内，有效解决了历史资料溯源难、涉密资料流转不合规等问题。技术效果对比见图 2 所示。

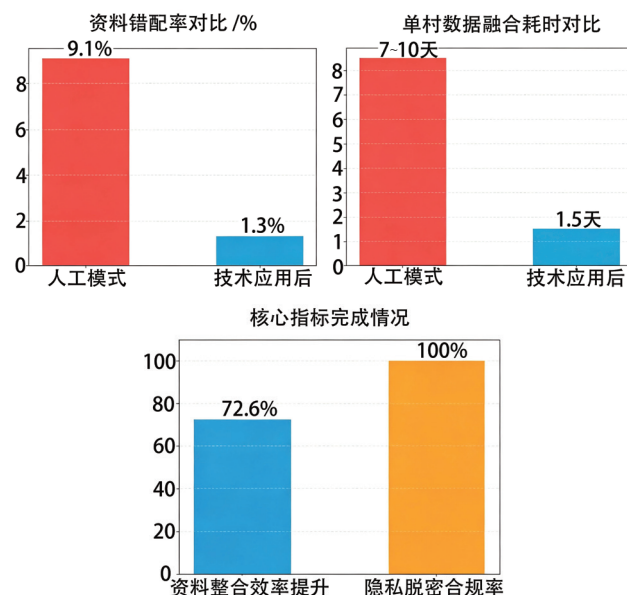


图2 智能归集脱敏整合技术效果对比

（2）优化遮挡自适应无人机航测立体建模测绘技术，适配差异化外业测绘场景。选取四类乡村典型场景 362 宗宅基地开展比对试验，依据《地籍调查规程》（GB/T42547—2023）核验，常规航测界址中误差 $\pm 7.2\text{cm}$ 、人工丈量误差 $\pm 12.5\text{cm}$ 。该技术结合 RTK 作业模式，界址中误差控制在 $\pm 3.1\text{cm}$ 内，房屋建模点位精度提升 56.9%；单村测绘工期由 7 天缩短至 2 天，遮挡区域漏测率由 21.7% 降至 2.4%。RTK 技术赋能乡村外业测绘效能对比如图 3 所示。

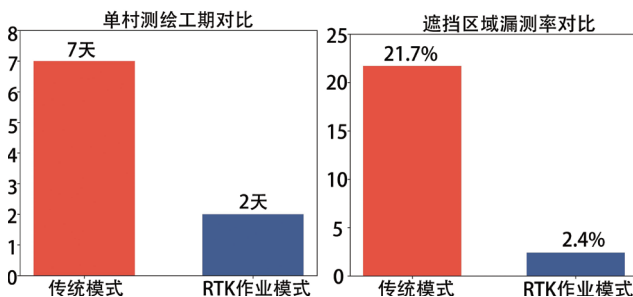


图3 RTK技术赋能乡村外业测绘效能对比

(3) 构建四类疑难权属边界矢量分割确权技术,统一处置标准。依托辖区 489 宗存量疑难宗地(超占 207 宗、祖遗分户 112 宗、共用院落 96 宗、权属交叉 74 宗)核验,传统人工确权异议率为 28.4%、单宗办结 12 天;应用该分割技术后,确权异议率降至 4.1%,单宗办结缩短至 3 天,权属边界分割合规率为 98.2%,有效弱化了人工研判主观性,减少了权属信访与登记纠纷。

(4) 耦合三大技术,搭建一体化作业流程及多级质量管控体系。选取 2 个试点乡镇 3216 宗宅基地开展全域核验,建立航测、确权、入库全环节质量控制机制,宗地成果一次性合格率 97.5%,较传统模式提升 19.3%,登记返工率下降 67.8%,形成可复制、可质检、适配县域批量确权的标准化作业规范。

4 结语

实证表明,整合多种技术的数字化房地一体化权属调查方案,兼顾外业测绘效率、宗地界址精准度、

权属认定合规性,结合试点全域量化数据证明:试点区域整体权属调查综合工期缩短 61.2%,宗地界址精度满足国家一类地籍确权标准,年度宅基地权属登记纠纷同比下降 70.3%,可高效完成多元地貌村落权属调查工作,规范化技术确权模式能够有效减少不动产登记权属纠纷。

参考文献

[1] 董若慧.农村宅基地及房屋不动产权籍调查方法探究:以山西祁县为例[J].华北自然资源,2025(124):137-140.
[2] 赵爱华,王少文.无人机倾斜摄影测量在农村不动产调查中的应用:以兰溪市农村宅基地及住房权籍调查为例[J].科学技术创新,2021(26):82-84.
[3] 刘云波,赵鲁宁.农村不动产权籍调查成果自动入库的设计实现[J].浙江国土资源,2020(4):42-44.
[4] 杨春晓.探究农村宅基地及房屋不动产权籍调查方法[J].农村市场,2026,7(5):13-15.
[5] 朱立松,郑勇刚,赵斌,等.农村不动产权籍调查的方法研究与应用[J].测绘与空间地理信息,2020,43(11):207-209.

(上接第 28 页)

比特特征融合更关键的性能瓶颈。然而,研究方法仍存在局限:一是仅在 DIOR 单一数据集上验证,泛化性有待在 DOTA、HRSC2016 等数据集上检验;二是工业区场景中两类模型均完全漏检超小车辆($< 16 \times 16$ 像素),大目标遮挡背景下的超小目标检测仍是薄弱环节。后续研究将针对上述问题,在更多数据集上验证泛化能力,并探索 LSKNet 与 Transformer 检测头的协同设计及面向超小目标的增强策略。

参考文献

[1] 程攀,袁翔,李戈,等.遥感影像小目标检测研究进展[J].中国图象图形学报,2023,28(6):1662-1684.
[2] Li K,Wan G,Cheng G,et al.Object detection in optical remote sensing images: A survey and a new benchmark[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2020,159:296-307.
[3] Ren S,He K,Girshick R,et al.Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2017,39(6):1137-1149.
[4] Tan M,Pang R,Le Q V.EfficientDet: Scalable and efficient object detection[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),2020:10781-10790.
[5] Li Y,Hou Q,Zheng Z,et al.Large selective kernel network for remote

sensing object detection[C]//Proceedings of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV),2023:16794-16805.
[6] 徐彦威,李军,董元方,等. YOLO 系列目标检测算法综述[J].计算机科学与探索,2024,18(9):2221-2238.
[7] 李科文,朱光磊,王辉,等.联合双重注意力机制和双向特征金字塔的遥感影像小目标检测[J].遥感学报,2024,28(12):3231-3248.
[8] Redmon J,Divvala S,Girshick R,et al.You only look once: Unified, real-time object detection[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016:779-788.
[9] 徐丹青,吴一全.光学遥感图像目标检测的深度学习算法研究进展[J].遥感学报,2024,28(12):3045-3073.
[10] Jocher G, Qiu J. Ultralytics YOLO11[EB/OL].2024.<https://github.com/ultralytics/ultralytics>
[11] Feng C,Zhong Y,Gao Y,et al.TOOD: Task-aligned one-stage object detection[C]//Proceedings of IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV),2021:3490-3499.
[12] Li X,Wang W,Wu L,et al.Generalized Focal Loss: Learning Qualified and Distributed Bounding Boxes for Dense Object Detection[C]//Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).2020.
[13] 吴建成,郭荣佐,成嘉伟,等.注意力特征融合的快速遥感图像目标检测算法[J].计算机工程与应用,2024,60(10):204-213.
[14] Tong Z,Chen Y,Xu Z,et al.Wise-IoU: Bounding box regression loss with dynamic focusing mechanism[EB/OL].arXiv preprint arXiv:2301.10051,2023.

分级化自然资源政务知识治理与高可信问答系统研究

郭克楠

(南阳市自然资源和规划发展研究中心, 河南 南阳 473000)

摘要: 自然资源政务知识存在空间差异性、时间限制性及行政级别性, 以往手工管理、关键词检索存在速度慢、容易出现理解偏差等问题, 直接利用通用大语言模型又存在事实“幻觉”、来源不可靠等不足, 因此, 研究提出以省-市-区县三级层叠式知识管理体系为依托的高可信问答方法, 结合检索增强生成 (RAG)、知识图谱技术, 采用三路召回机制提高检索准确性, 嵌入全流程事实校验、来源自动标注模块, 保证生成结果的可信性。实验结果表明, 系统在问答准确率等指标上远胜于传统检索、通用大模型基线, 可有效满足自然资源政务场景智能化、高可信问答需求。

关键词: 自然资源; 政务知识治理; 分级知识库; 知识图谱; 高可信问答

1 引言

随着数字政府建设的推进, 自然资源管理工作也向智能化、数字化方向迈进^[1]。自然资源政务知识包括政策法规、规划标准、审批流程、历史批文等, 具有很强的地域性及时效性, 各省、市、区县政策各不相同, 政策文件更新较快, 以往知识管理以人工整理、关键词检索为主, 查询效率低, 政策解读不准确, 三级政策不贯通, 难以满足公众咨询及内部业务查询需求。

大语言模型 (LLM) 的出现, 使智能问答系统与用户的交互性得到较大提升, 但应用于自然资源领域政务知识问答时, 易出现违背事实的“幻觉”现象, 且通用大模型无法提供回答出处和来源, 与政务服务对政务信息准确性、可追溯性要求相悖。为解决此问题, 借助知识图谱与检索增强生成 (RAG) 技术, 前者用结构化的语义网络增强逻辑推理, 后者用外部检索从源头上抑制“幻觉”, 弥补模型自身专业知识不足^[2]。基于此, 研究建立了省-市-区县三级层叠式自然资源政务知识库, 运用两者技术搭建高可信智能问答系统, 实现政务知识规范化管理及可信生成, 为社会公众、业务人员提供有事实依据、有来源支撑的政策咨询。

2 相关技术基础

2.1 知识图谱技术

知识图谱是以“实体-关系-实体”三元组为基本构成元素的结构化语义网络, 用于直观呈现现实世界各事物间的关系, 借助知识图谱可把政务领域分散

的政策文本、审批流程、机构职能等信息整合为结构化的知识网络, 实现语义检索、知识推理、智能问答等功能, 知识图谱构建一般包括数据采集、实体抽取、关系抽取、本体设计、图谱存储等步骤, 主流图数据库有 Neo4j、Hugegraph 等^[3]。知识图谱技术要素关系如图 1 所示。

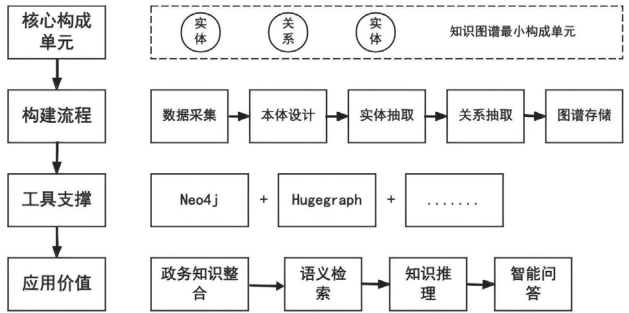


图1 知识图谱技术要素关系

2.2 检索增强生成技术

检索增强生成 (RAG) 是一种结合外部数据库检索技术和大语言模型生成技术的方法, 在面对用户的查询请求时, 先在外库知识库中检索出相关知识点, 再把检索结果与用户提问一起输入大型语言模型, 由模型根据检索到的知识点生成相应答案^[4]。这一技术方法弥补了大型语言模型知识更新不及时、领域专精不足、“幻觉”等缺陷, 保留了大型语言模型自然语言生成优势。

2.3 政务智能问答系统

政务智能问答系统是数字政府建设的重要组成部分, 以自然语言为媒介, 为民众提供政务信息咨询便

作者简介: 郭克楠 (1984—), 女, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事自然资源信息化及平台应用、国土空间地理信息数据治理等工作。

捷服务,初期政务智能问答系统以关键词、模板匹配为准,语义理解能力较弱,随着深度学习、大模型技术的发展,以语义分析、生成式人工智能为依托的政务智能问答系统成为行业主流,但现有政务智能问答系统多存在知识库更新慢、回答可信度低、政策层级复杂等问题,制约着政务智能问答系统在自然资源领域的应用成效^[5-6]。

3 分级化自然资源政务知识治理体系构建

3.1 三级层叠式知识架构设计

结合自然资源管理的不同层级特点,研究设计了省-市-区县三级层叠式知识架构模型,如图2所示。该模型以自上而下的逐级设计为基础,各层级知识库相互独立又互相关联,在此框架下实现政策的逐级下发、精准落实。最上端为省级知识库,包括国省层面的法律法规、政策文件、总体规划以及普遍适用的标准规范等内容,在内涵上具有宏观性和基础性特点,是各级制定相关政策所依据的知识源。第二层是市级知识库,是对上级政策进行贯彻落实,并结合本地实际有针对性地开展工作的,起承上启下作用。第三层为区县级知识库,包含具体办事指南、历史批文、地块信息、现场勘查数据等涉及当地民众和基层人员的相关知识。以上三层级之间利用政策援引关系进行关联而构成知识网络,当出现一个具体用户查询需求的情况下,系统会自动搜索出相关联的所有政策,并提供完整准确的回答。

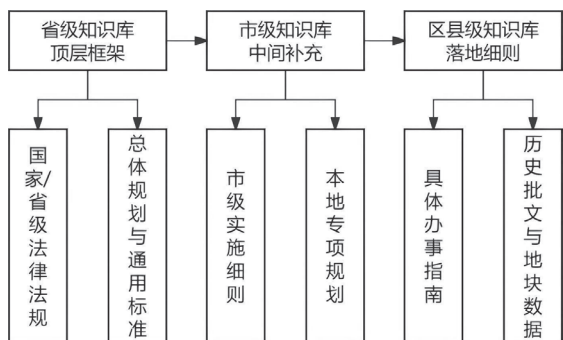


图2 省-市-区县三级层叠式知识架构

3.2 多源异构数据处理

自然资源政务数据来源多样、种类繁多,有政策文件、历史批文、勘测报告、空间数据等,为将这些不同格式的原始数据转换成结构化知识,研究制定“文本层+语义层”双层清洗规范:

文本层:先对原始数据进行格式化清洗,将PDF、Word、图片等不同格式的文件转换成文本格式,

再去除冗余信息,剔除页眉页脚、水印、空白页等无关信息,最后进行错误纠正,纠正OCR识别错误和文本排版错误。

语义层:运用自然语言处理技术对文本进行语义解析、分词、词性标注、命名实体识别、关系抽取,提取“用地预审”“管制要求”“地块指标”等实体,以及“包含”“适用于”“修改于”等语义关系,把长文档按层级切分成结构化数据块,每个数据块关联所在章节路径、标题层级、发布时间等元信息,保留原文档的逻辑结构。

3.3 分级知识图谱构建

研究设计了面向数据处理的三层业务知识图谱来直接表示业务过程与数据之间的关系。首先定义了自然资源领域的关键本体,即政策文件、审批事项、地块、机构、人员实体类型,以及“发布”“包含”“适用”“审批”的关系类型。然后采用实体抽取及关系抽取方法抽取结构化数据单元中的三元组信息,构建对应的省级、市级、区县级知识图谱;采用Hugegraph图形数据库进行存储,支持高效的图检索及图推理服务,并提供三级权限管理,对不同级别的用户开放不同程度可见的知识。同时,还设计知识图谱动态更新机制,在新政策发文后可以自动进行数据处理、图谱更新,以保证知识的时效性。

4 高可信智能问答系统设计与实现

4.1 系统整体架构

研究设计的高可信智能问答系统采用五层架构,包括用户交互层、接入层、生成层、校验层和数据支撑层,具体架构如图3所示。

用户交互层:为用户自然语言输入提供界面,接收用户问题,返回回答结果,并允许用户对回答结果进行满意度评价,为知识库优化提供反馈。

接入层:从三级知识库中检索与用户问题相关联的知识片段,运用混合检索机制,在检索时既考虑检索的全面性,又保证检索结果的准确性。

生成层:根据检索到的知识片段,运用大语言模型生成自然语言回答,运用结构化Prompt引导模型,只用检索到的知识生成回答,防止“幻觉”现象。

校验层:对生成的回答进行事实校验,标注回答来源,保证回答的准确性及可追溯性。

数据支撑层:搭建三级结构化知识底座,为全流程检索、生成、校验环节提供统一可信的知识来源;

同时对用户交互反馈数据池，存储用户对回答结果的满意度评价、修改建议等信息，为知识库迭代更新和检索、生成模型的持续优化提供数据支撑。

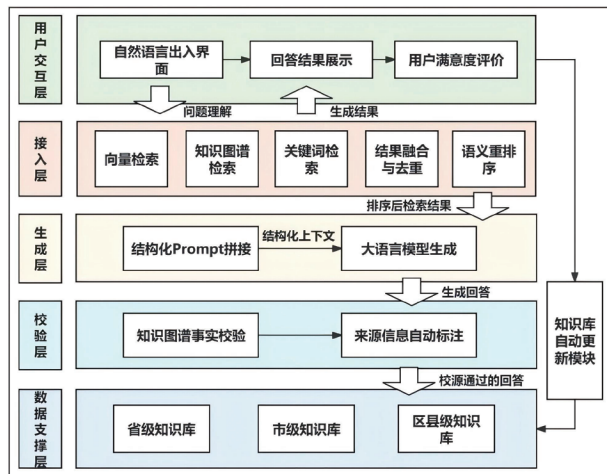


图3 系统架构

4.2 混合检索引擎设计

为提升检索的完整性与准确性，运用“向量相似度+知识图谱关联+关键词”三路召回策略。向量检索方面，运用 BAAI/bge-small-zh 中文预训练模型将用户问题、知识库数据块向量化，计算余弦相似度，召回 Top-K 最相关语义片段，向量检索利用问题与知识间的语义关系，克服关键词检索语义孤立的局限。知识图谱检索对用户问题进行实体抽取，从知识图谱中找出与该实体相关的所有其他实体及关系，获得这些实体的结构化知识信息，弥补向量检索只顾单点知识点而不涉及全局逻辑关联的不足。关键词检索也是必要的，即用 BM25 算法进行关键词匹配，召回包含问题中关键词的知识片段，关键词检索防止重要信息丢失，提升检索召回率。三路召回去重，再用 bge-reranker-v2-m3 模型对所有候选答案进行排序，取最相关的前五位答案作为生成的回答。

4.3 高可信生成与校验机制

为增强回答的可信性，研究设计全链条高可信生成及校验机制：其一，结构化 Prompt 注入，即在生成回答时，把搜索到的事实碎片、客户问题、生成的命令整合成结构化的 Prompt，迫使模型只能依据提供的知识生成回答，不得虚构；其二，事实校验，即在生成回答后，用知识图谱校验回答中涉及的重要信息及关键词的真实性，把回答中的实体、关系与知识图谱信息进行比对，对不符合知识图谱的信息进行标记并剔除，最后在回答末尾自动添加引证标签，注明文件名称、发文单位、发文时间、条款具体条目等内

容。如：“来源：《XX 省自然资源管理办法》（XX 政发（2023）12 号）第三条”。来源标注便于用户查阅原文件，核实回答的准确性。

4.4 知识库自动更新机制

为改善传统知识库更新慢的缺陷，借助人机协作实现知识库自动更新，即：当用户问题系统不能回答或用户对系统回答不满意时，自动将用户问题交给人工客服，人工客服回答后，系统自动将新的问答对存入知识库，同时更新对应的向量索引和知识图谱；对已有问题但答案不准确的，根据人工客服的回复更新原有知识，使得知识库不断积累和优化，系统问答能力不断提升。

5 系统测试与效果验证

5.1 实验环境与数据集

研究基于 Python 语言实现了系统原型，大语言模型采用 DeepSeek-R1-32B，向量数据库使用 Chroma，图数据库使用 Hugegraph。实验环境配置为：Intel Xeon Gold 6248R CPU，NVIDIA A100 40GB GPU，64GB 内存。

为了评价系统功能，根据地级市的自然资源政务特点构建测试库，收集近 5 年省级政策文件 86 份、市级政策文件 124 份、区县级政策文件 217 份、历史批文 3200 余份，构建了包含 15000 余个实体和 28000 余条关系的知识图谱。另外，还梳理出 500 个自然资源领域高频问答问题，包括政策咨询类、办事指南类、审批流程类等问题，交由 3 名长期从事自然资源领域的研究人员进行标注，形成测试集。

5.2 评价指标

用六大指标评价系统性能：（1）问答准确率：系统正确回答的问题数目占总问题数目的比例；（2）术语一致率：系统回答中所用专业术语与官方规范专业术语一致的比例；（3）溯源准确率：系统回答中标注的来源信息准确比例；（4）平均响应时间：系统从接收问题到返回回答的平均时间；（5）高频问题解答率：系统正确回答高频问题的比例；（6）同义问题解答率：系统正确回答同义不同表述问题的比例。

5.3 对比实验与结果分析

为了验证研究系统的优越性，将其与传统关键词检索系统、通用大模型（通义千问）进行对比实验，结果如表 1 所示。

（下转第 39 页）

基于多源数据融合的华北地区干旱程度遥感监测研究

孙萌 卜江颜

(河南省遥感院, 河南 郑州 450003)

摘要: 干旱作为一种渐进性自然灾害, 对农业生产、水资源安全及生态环境构成严重威胁。传统基于站点的干旱监测方法空间分布稀疏, 难以准确反映干旱的空间异质性。以河南省开封市为研究区, 融合 Sentinel-2 与 Landsat-8 多源遥感数据, 构建温度植被干旱指数(TVDI), 结合 CHIRPS 降水数据计算的标准化降水指数(SPI)进行交叉验证, 开展典型区域 2025 年 5~6 月农业干旱遥感监测。研究结果显示: 2025 年 5 月研究区 TVDI 值主要集中在 0.4~0.7, 以正常至轻度干旱为主; 6 月 TVDI 值显著升高, 0.8 以上的重度干旱区域大幅扩展, 覆盖研究区南部大部及东部部分地区, 与冬小麦主产区高度重叠。TVDI 与 SPI 在空间分布和时间演变上具有高度一致性, 验证了 TVDI 在华北平原农业干旱监测中的适用性与可靠性。研究为区域尺度干旱动态评估与农业抗旱决策提供了技术支撑。

关键词: 干旱监测; 温度植被干旱指数(TVDI); 多源遥感数据融合; 农业干旱; Sentinel-2; Landsat-8

1 引言

干旱作为一种渐进性自然灾害, 对农业生产、水资源安全、生态环境和经济社会发展造成深远影响。在全球气候变化背景下, 极端干旱事件频发, 干旱灾害的实时监测与预警已成为防灾减灾领域的重要研究课题^[1-2]。

传统干旱监测主要依赖气象站点观测数据, 计算标准化降水指数(SPI)、相对湿度指数等。然而, 气象站点空间分布稀疏, 难以准确反映干旱的空间异质性, 且数据获取存在时滞^[3]。随着遥感技术的快速发展, 利用卫星遥感数据进行大范围、高时空分辨率的干旱监测成为研究热点。

目前, 基于遥感的干旱监测指数主要包括植被指数法、热红外温度法和蒸散发法等。归一化植被指数(NDVI)能够反映植被生长状况, 但对干旱响应存在滞后性; 温度植被干旱指数(Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)结合地表温度和植被指数, 但受地表异质性影响较大^[4]; 蒸散胁迫指数(ESI)、蒸散指数(ETI)通过量化实际蒸散发与潜在蒸散发的差异来表征干旱程度, 对土壤水分和植被水分胁迫响应敏感, 近年来在干旱监测中显示出良好的应用前景^[5]。此外, GRACE 重力卫星观测的陆地水储量变化(TWSC)可以反映区域水资源总量变化, 为大尺度干旱监测提供了新途径^[6]。

近年来, 多源遥感数据融合技术显著提升了干旱监测的精度与时效性。例如, Sentinel-2 提供高空间分辨率的植被信息, Landsat-8 则具备稳定的热红外波段, 二者协同可有效构建“温度-植被”特征空间, 为 TVDI 反演奠定数据基础^[7]。已有研究表明, TVDI 在华北、西北等农业主产区对土壤水分和作物胁迫具有较强敏感性^[8]。同时, 将遥感干旱指数与传统气象干旱指数(如 SPI)进行对比验证, 已成为评估遥感产品可靠性的常用方法^[9]。

尽管 TVDI 应用广泛, 但在降水集中、作物类型单一的黄淮海平原, 其对典型农业干旱事件(如冬小麦灌浆期干旱)的响应机制仍需深入验证。特别是在 2025 年春夏之交, 华北地区遭遇显著降水亏缺与异常高温, 亟须高精度遥感手段支撑干旱评估。因此, 以华北平原某区县为典型研究区, 融合 Sentinel-2 与 Landsat-8 数据反演 TVDI, 并结合 CHIRPS 降水数据计算 SPI, 旨在揭示 2025 年 5~6 月研究区干旱时空分布特征, 评估 TVDI 在农业干旱监测中的适用性, 为区域抗旱减灾提供科学依据。

2 研究区概况

研究区位于华北平原黄河流域南岸, 总面积约 6266 km²。区域地势平坦, 以平原地形为主, 土壤以潮土为主, 保水保肥性能中等。研究区气候属暖温带大

作者简介: 孙萌(1985—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事摄影测量、遥感监测等工作。

陆性季风气候，年平均降水量一般为 670~700mm，其中 60%~70% 集中于 7~8 月，降水时空分布不均。作为重要的粮食主产区，研究区冬小麦种植面积达 380 万亩，占耕地面积的 75% 以上，农业生产对气候波动极为敏感。近年来，干旱已成为制约区域农业可持续发展的主要气象灾害。2025 年 5~6 月期间，研究区平均气温较常年同期偏高 2.5℃，降水距平百分率低于 -45%，表现出典型春夏转换期干旱事件特征，对正处灌浆期的冬小麦生长造成显著胁迫，具有典型的农业干旱代表性。

3 研究数据及方法

3.1 研究数据

研究使用 Sentinel-2 MSI Level-2A 与 Landsat-8 TIRS Level-1T 两类遥感影像，均在 Google Earth Engine (GEE) 云平台进行处理分析。Sentinel-2 影像空间分辨率为 10m，时间分辨率为 5 天；Landsat-8 影像空间分辨率为 30m、时间分辨率为 16 天。为保证时相一致与分析精度，选取 2025 年 5~6 月期间各 1 景云量较低、覆盖完整的影像进行研究。预处理包括大气校正、云掩膜、波段裁剪及指数/温度计算；Sentinel-2 用于 NDVI 反演，Landsat-8 用于地表温度 (LST) 反演。为统一空间尺度，利用 GEE 云平台将 Sentinel-2 影像重采样至 30m，并保持坐标系统一致，以便后续空间分析。

3.2 研究方法

温度植被干旱指数 (TVDI) 是一种基于光学与热红外遥感数据反演地表干旱状况的方法。该指数综合考虑了归一化植被指数 (NDVI) 与地表温度 (LST) 的关系，通过反映二者在“温度-植被特征空间”的分布特征来估算土壤水分状况，计算公式如下：

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (1)$$

$$LST_{min} = a + b \times NDVI \quad (2)$$

$$LST_{max} = c + d \times NDVI \quad (3)$$

式中， a 、 b 、 c 、 d 分别为干边和湿边的拟合系数。TVDI 能够有效揭示植被覆盖区表层土壤湿度的空间变化特征，在区域干旱监测中具有物理意义明确、计算简便、适用性强等优点，特别适用于特定年份或季节内区域干旱程度与空间分布的研究。

研究利用 Sentinel-2 MSI Level-2A 数据计算归一化植被指数 (NDVI)，采用 Landsat-8 TIRS

Level-1T 数据计算地表温度 (LST)，并在 Google Earth Engine (GEE) 云平台进行数据融合，以反演 TVDI，然后根据计算结果，将 TVDI 划分为五个等级，以反映不同区域的干旱程度，具体的划分标准如表 1 所示。

表1 干旱等级划分标准

等级	类型	TVDI
1	重度湿润	$0 < TVDI \leq 0.2$
2	轻度湿润	$0.2 < TVDI \leq 0.4$
3	正常	$0.4 < TVDI \leq 0.6$
4	轻度干旱	$0.6 < TVDI \leq 0.8$
5	重度干旱	$0.8 < TVDI \leq 1.0$

为验证 TVDI 在区域干旱反演中的准确性，研究进一步在 GEE 云平台调用 CHIRPS 降水数据集，计算标准化降水指数 (SPI)，并将其与 TVDI 结果进行对比分析，以评估 TVDI 对研究区干旱状况的反映能力。SPI 公式如下：

$$SPI = \frac{p - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

式中， p 是当前时间段的降水量， μ 是该地区长期降水量的均值， σ 是该地区降水量的标准差。SPI 分级通常如下：SPI > 2 表示极端湿润， $1.5 < SPI \leq 2$ 表示湿润， $-1.5 \leq SPI \leq 1.5$ 表示正常， $-1.5 < SPI \leq -2$ 表示干旱，SPI < -2 表示极端干旱。

4 研究结果与讨论

4.1 TVDI 时空分布特征

2025 年 5~6 月 TVDI 空间分布情况如图 1 所示，其中，图 1 上部为 2025 年 5 月 TVDI，下部为 6 月 TVDI，右边为局部放大图。由图 1 可知，2025 年 5 月研究区 TVDI 空间分布呈现明显的东西差异格局，研究区西部及中部地区周边 TVDI 值较高 (0.6~0.8)，表现为轻度至中度干旱，而东部部分地区 TVDI 值较低 (0.2~0.4)，处于轻度湿润状态，从局部放大图可以看出，干旱分布具有明显的空间异质性，呈现斑块状镶嵌分布，这与地形微起伏、土壤质地差异及灌溉条件的空间变化密切相关。

2025 年 5 月研究区整体干旱程度相对温和，TVDI 值主要集中在 0.4~0.7，属于正常至轻度干旱范围，重度干旱区域 (TVDI > 0.8，图 1 红色区域) 呈零星分布，主要出现在城市建成区周边以及西北部丘陵过渡地带，面积占比较小。到 2025 年 6 月，研究区干旱形势急剧恶化，空间格局发生显著变化，重度干旱区域 (TVDI > 0.8) 从 2025 年 5 月的零星分布扩展为

大面积连片分布，主要集中在研究区中部和南部。从图1局部放大图可以清晰看出，这些区域的TVDI值普遍超过0.8，部分像元甚至接近0.9~1.0，其中西南地区大部形成明显的干旱核心区，红色高值区连片分布，与2025年5月形成鲜明对比。研究区是重要的冬小麦主产区，2025年6月正值灌浆期，干旱对产量影响极大，同时干旱分布的空间破碎度增加，重度干旱、轻度干旱和正常区域交错分布，呈现出更加复杂的空间格局，这种细尺度的空间变化反映了局地灌溉条件、土壤持水能力等因素的影响。此外，研究区及周边各地区均呈现高TVDI值，除反映真实干旱外，也受到城市不透水面、建筑物热辐射等因素的影响，导致TVDI在城市区域存在一定的高估。

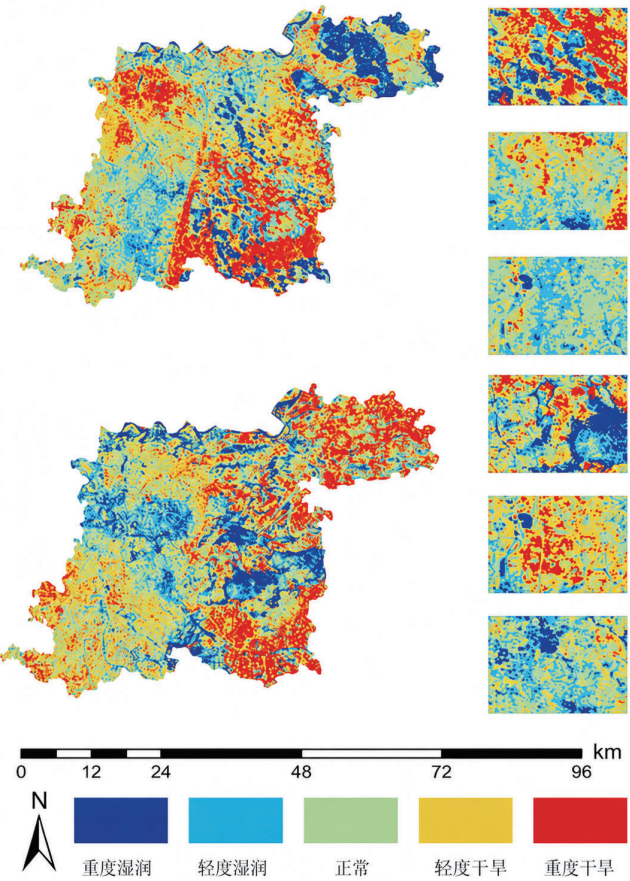


图1 2025年5~6月TVDI空间分布情况

4.2 TVDI 与 SPI 交叉验证

为验证 TVDI 结果的可靠性，研究同步计算了基于 CHIRPS 降水数据的 SPI，结果如图2所示。由图2可知，2025年5月研究区 SPI 值多为-1.0~-1.5，属轻度至中度干旱；6月 SPI 普遍≤-1.5，部分地区达-2.0以下，进入重度至极端干旱等级。

研究对 TVDI 与 SPI 进行空间相关性分析，结果如

表2所示。由表2可知，两者在2025年5月和6月的皮尔逊相关系数分别为-0.72和-0.81 ($P < 0.01$)，存在显著负相关，符合干旱指数的理论关系(降水减少→SPI降低→TVDI升高)。特别是在2025年6月重度干旱区域，两种指数的空间重合度达到78.3%，这表明 TVDI 能够有效反映由降水亏缺引发的农业干旱过程。

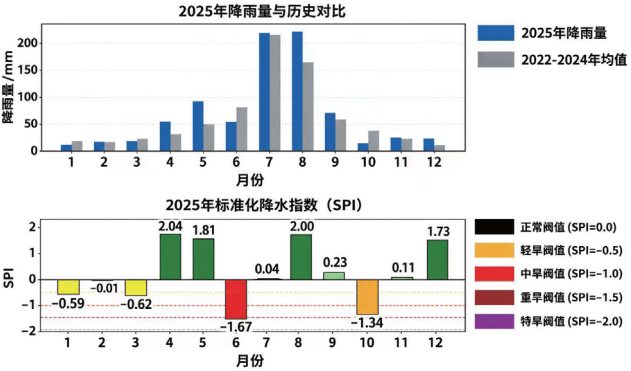


图2 2025年按月计算SPI结果

表2 TVDI和SPI相关性分析

时期	相关系数 (<i>r</i>)	<i>P</i> 值	显著性	空间干旱空间重合度
5月	-0.72	<0.01	较显著	64.5%
6月	-0.81	<0.01	较显著	78.3%

5 结论

研究基于 Sentinel-2 与 Landsat-8 多源遥感数据，在 Google Earth Engine (GEE) 云平台构建 TVDI，对研究区 2025 年 5~6 月农业干旱进行监测，并结合 CHIRPS 降水数据计算的 SPI 值进行对比验证，得出结论：

(1) 2025 年 5 月研究区 TVDI 值主要集中在 0.4~0.7，以正常至轻度干旱为主，重度干旱区域零星分布于西北部；至 6 月，TVDI 值显著升高，0.8 以上的重度干旱区域大幅扩展，覆盖研究区南部大部及东部部分地区，与冬小麦主产区高度重叠，对粮食生产构成严重威胁。这一变化与 2025 年 5~6 月持续高温少雨的气候背景一致：同期平均气温较常年偏高 2.5℃，降水距平百分率低于-45%。

(2) TVDI 与 SPI 值在时空分布上高度一致。2025 年 5 月 SPI 值多为-1.0~-1.5，属轻度干旱；2025 年 6 月 SPI 值普遍≤-1.5，部分地区达-2.0以下，进入极端干旱等级。两种指数在空间分布和时间演变上呈现高度一致性，尤其在 2025 年 6 月重度干旱区域重合度较高，验证了 TVDI 在华北平原农业干旱监测中的有效性与适用性。

(3) 多源遥感数据融合可兼顾高空间分辨率与热红外信息,为区域尺度干旱动态评估提供了可靠技术路径。Sentinel-2 提供 10m 高空间分辨率的植被信息,Landsat-8 提供 30m 空间分辨率的热红外数据,二者融合有效支撑了 TVDI 的精确反演。

(4) TVDI 能够有效捕捉冬小麦灌浆期的水分胁迫状况,对由降水亏缺引发的农业干旱过程响应敏感。但在局部区域(如城市建成区、水体周边)存在高估或低估现象,这主要源于地表覆盖异质性对“干边/湿边”拟合的影响。

参考文献

[1] 王莺,张强,王劲松,等.21世纪以来干旱研究的若干新进展与展望[J].干旱气象,2022,40(4):549-566.
[2] 郭建平.气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J].应用气象学报,2015,26(1):1-11.

[3] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.农业干旱监测研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(11):1835-1848.
[4] 孙丽,陈怀威,赵利军,等.中国冬小麦区遥感干旱监测模型应用[J].农业工程学报,2010,26(1):243-249.
[5] Anderson M C, Hain C, Wardlow B, et al. Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the Continental United States[J]. Journal of Climate, 2011,24(8): 2025-2044.
[6] Li B, Rodell M, Kumar S, et al. Global GRACE data assimilation for groundwater and drought monitoring: Advances and challenges[J]. Water Resources Research, 2019, 55(9): 7564-7586.
[7] 张立福,彭明媛,孙雪剑,等.遥感数据融合研究进展与文献定量分析(1992-2018)[J].遥感学报,2019,23(4):600-616.
[8] 杜灵通,田国良,余涛,等.植被供水指数及其在区域干旱监测中的应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2004,29(1):25-29.
[9] Wei W, Zhang J, Zhou L, et al. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data[J]. Environmental Science and Pollution Research,2021, 28(16):20408-20425.

(上接第 35 页)

表1 不同系统性能对比

评价指标	研究系统	关键词检索	通义千问
问答准确率/%	89.2	57.6	75.8
术语一致率/%	93.7	74.3	81.2
溯源准确率/%	100	0	0
平均响应时间/s	2.5	1.0	1.8
高频问题解答率/%	94.5	62.3	82.1
同义问题解答率/%	87.3	41.5	78.6

由实验结果可知,研究系统各指标均显著超过关键词搜索引擎及通用大模型。问答准确率方面,研究系统得分比关键词搜索引擎高出 31.6 个百分点,比通义千问高出 13.4 个百分点,这是混合检索机制与高可信生成机制共同作用的结果。术语一致率方面,研究系统的术语一致率达 93.7%,表明该系统能准确运用自然资源领域术语。溯源准确率方面,研究系统来源标注准确率达到 100%,对用户具有很好的说服力。在平均响应时间上,研究系统为 2.5s,满足用户实时查询需求。同时,对高频问题、同义问题的解答,研究系统也表现出良好性能,说明其语义理解能力及泛化能力较强。

6 结论与展望

针对自然资源政务知识管理、智能问答存在的问题,研究提出分级化自然资源政务知识治理体系,构建

基于 RAG 与知识图谱的高可信智能问答系统,以省-市-区县三级层叠式知识架构实现多源异构数据的标准化、分级管理,以混合检索引擎提高知识检索精度,以全流程事实校验、来源标注机制实现回答的可信性保障。实验结果表明,研究系统在自然资源政务问答方面具有较好性能,可提高政务服务效率和质量。下一步研究将增加系统多模态数据处理能力,实现图片、图纸等空间数据的问答;增加系统复杂多轮推理能力,实现更复杂业务问题的问答;探索跨部门知识融合,实现自然资源与其他政务部门知识的互联互通。

参考文献

[1] 林晓菲,王芙蓉,崔蓓,等.数字政府建设背景下的自然资源信息化管理优化:从管理到治理[J].测绘通报,2025(6):151-155.
[2] 戴建光,吴国超,杭炳辉.RAG驱动的自然资源与规划智能问答系统的构建[J].城市勘测,2026(1):31-35.
[3] 袁博,施运梅,张乐.基于知识图谱的问答系统研究与应用[J].计算机技术与发展,2021,31(10):134-140.
[4] 赵静,汤文玉,霍钰,等.大模型检索增强生成(RAG)技术浅析[J].中国信息化,2024(10):71-72,70.
[5] 李琳娜,丁楷,韩红旗,等.基于知识图谱的中文科技文献问答系统构建研究[J].中国科技资源导刊,2024,56(4):51-62.
[6] 王芳,魏中瀚,连芷萱.政务智能问答系统评价指标体系构建与测评问题编制[J].图书情报知识,2023,40(6):98-111.

基于北斗定位的农机智能化作业管理系统设计与实现

刘晓光^{1, 2} 张磊^{1, 2} 李群^{1, 2}

(1. 河南省测绘院, 河南 郑州 450003; 2. 河南省自然资源科技创新中心(北斗高精度定位与应用关键技术研究), 河南 郑州 450003)

摘要: 针对现有农机作业精度低、重漏播严重、调度滞后等突出难题, 研究综合利用融合北斗三号 B2B 高精度定位、CAN 总线、4G/5G 通信与云边协同架构的方法, 设计“车载终端—边缘网关—云管控平台”三层系统架构; 开展基于 RTK-PPP 融合定位算法、作业面积栅格化计量模型、动态路径规划与队列调度算法等关键技术研究, 研发了基于北斗定位的农机智能化作业管理系统。田间试验表明, 该系统直线跟踪误差 $\leq 2.1\text{cm}$, 作业面积计量相对误差 $\leq 1.8\%$, 平均调度响应时间 0.9s, 较传统人工作业效率提升 52.4%。系统性能满足精准农业装备的精度指标要求, 可为农机全程无人化作业提供关键技术支撑。

关键词: 北斗定位; 农机智能化; 云边协同; RTK-PPP 融合; 栅格化计量; 作业管理系统

1 引言

精准农业融合导航、通信与自动化控制技术开展精细化田间管理, 是我国农业转型升级的核心方向, 而北斗三号全球卫星导航系统的全面组网, 为农业装备智能化升级提供了关键技术支撑。推动北斗与农机装备深度融合, 更是破解我国农村劳动力短缺、农机操作人员缺口大且老龄化的农业发展瓶颈、适配现代农业规模化发展需求的重要路径^[1]。当前国际上 GNSS 自动转向系统已得到规模化应用, 但国外主流产品或对北斗兼容性不足、或设备成本高且适配中国农田场景效果差; 国内虽在北斗农机导航研究上取得一定进展, 部分企业已实现单机北斗导航功能^[2], 却仍存在农机集群协同调度机制缺失、作业数据智能化分析应用能力薄弱的问题, 尚未形成覆盖“定位—作业—调度—评估”的全流程管理体系^[3]。通过对现有农机作业系统的调研与测试, 发现当前农机作业技术方案存在三大核心短板: 一是单机虽能实现厘米级定位精度, 但缺乏有效集群调度机制, 多机协同易出现路径冲突、作业重叠, 降低整体作业效率; 二是作业面积计量算法设计简单, 未考虑垄宽重叠、定位漂移等实际误差, 计量精度难以匹配精准农业要求^[4]; 三是系统多采用“终端—平台”二级架构, 架构设计不完善, 不仅数据传输延迟较高, 边缘侧数据处理能力也较为薄弱, 无法实现作业状态的实时响应与智能决策, 亟待针对性优化升级。

研究旨在设计一套基于北斗定位的农机智能化作业管理系统, 解决现有技术存在的精度、效率与协同性问题, 提出“云—边—车”协同的三层管理体系, 通过边缘网关实现数据实时处理与本地决策, 云平台负责全局调度与数据分析, 弥补传统二级架构性能缺陷; 设计 RTK-PPP 融合定位与栅格化面积计量模型, 结合北斗三频信号与多源传感器数据提升定位稳定性, 通过栅格化分析修正重叠与漂移误差; 开发可复制的北斗农机智能化作业管理系统, 实现硬件标准化集成与软件模块化设计, 适配多种农机类型与作业场景; 并以西平县试验为例, 通过随机区组, 验证研究方法的有效性, 为农机全程无人化作业提供技术支撑。

2 系统设计

2.1 技术路线

基于北斗定位的农机智能化作业管理系统采用“需求分析—架构设计—模块开发—集成测试—田间验证”的技术路线。首先基于精准农业作业需求, 明确功能与性能指标; 其次设计“云—边—车”三层架构, 规划感知层、传输层、平台层与应用层的技术实现方案; 随后开发高精度定位、面积计量、路径规划与调度等关键模块, 实现硬件集成与软件编码; 接着进行系统集成测试, 验证各模块兼容性与整体性能; 最后在实际农田场景开展对比试验, 通过与人工驾驶、传统 GNSS 导航系统的性能进行对比, 验证系统的有效性与

作者简介: 刘晓光(1989—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事外业航测、外业踏勘采集、内业制图处理等工作。

优越性。总体技术路线如图 1 所示。

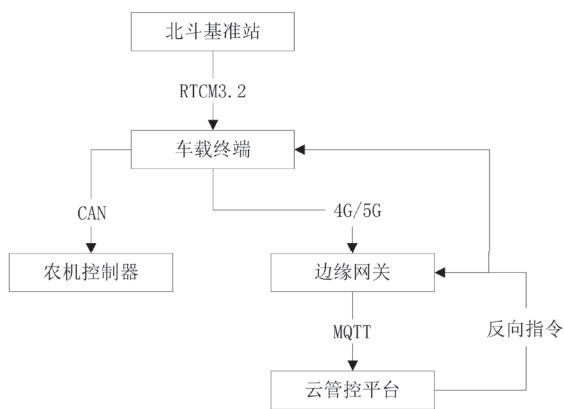


图1 总体技术路线

2.2 总体架构

系统采用分层设计思想，构建“感知层—传输层—平台层—应用层”总体架构，实现数据全面感知、可靠传输、智能处理与高效应用。系统总体架构如图 2 所示。

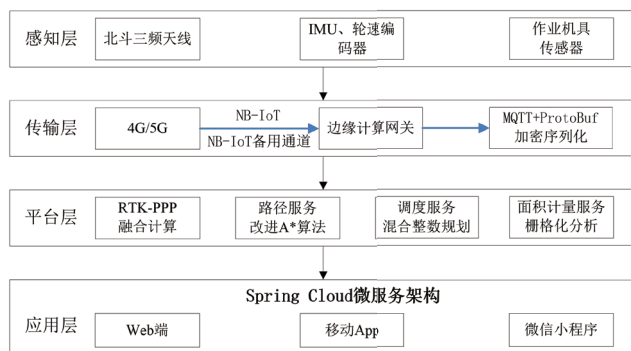


图2 系统总体架构

(1) 感知层：作为系统数据采集基础，感知层集成多种传感器与定位设备，包括北斗三频天线、惯性测量单元（IMU）、轮速编码器及作业机具传感器。北斗三频天线接收 B1C/B2a/B3I 三频信号，为定位计算提供原始数据；IMU 实时采集农机姿态角与加速度信息，辅助定位修正；轮速编码器获取农机行驶速度与里程数据，用于运动状态分析；作业机具传感器监测播种深度、施肥量等参数，实现作业状态感知^[5]。

(2) 传输层：采用 4G/5G 与 NB-IoT 双链路传输方案，保障数据传输的实时性与可靠性。5G 主通道用于传输高清定位数据、实时视频等大容量高带宽数据，NB-IoT 备用通道用于传输低功耗状态数据，当主通道故障时自动切换，切换时延 < 3s。数据传输采用 MQTT 通信协议结合 ProtoBuf 数据序列化技术，实现数据压缩与加密传输，降低带宽占用并保障数据安全。

(3) 平台层：基于 Spring Cloud 微服务架构构建，

将系统功能拆分为多个独立服务模块，包括定位服务、路径服务、调度服务与面积计量服务。定位服务负责 RTK-PPP 融合定位计算与定位结果分发；路径服务根据地块数据与作业需求生成最优作业路径；调度服务基于多机作业状态实现动态队列调度；面积计量服务通过栅格化分析计算作业面积与重漏播情况。各服务通过服务注册与发现机制实现协同工作，提升系统的可扩展性与维护性。

(4) 应用层：面向不同用户群体提供多终端应用服务，包括 Web 端、移动 App 与微信小程序。Web 端主要面向管理人员，支持作业订单管理、农机集群监控、作业质量分析等功能；移动 App 适配农机操作人员，提供路径导航、作业状态查看、紧急报警等功能；微信小程序用于农户查询作业进度与质量报告，实现作业过程的全程追溯。

2.3 功能设计

系统功能围绕农机作业全生命周期设计，主要有定位导航、作业管理、集群调度与质量评估模块。定位导航模块实现 RTK-PPP 融合定位与路径跟踪，为农机提供精准导航指引；作业管理模块涵盖作业任务下发、机具状态监测、重漏播识别与面积计量功能，实现作业过程精细化管理；集群调度模块基于动态路径规划算法，实现多机作业序列优化与冲突规避；质量评估模块通过分析定位数据与作业数据，生成作业精度、效率、油耗等指标的质量报告。各模块相互协同，形成完整的农机智能化作业管理闭环。

3 关键模块设计

3.1 RTK-PPP 融合算法设计

为提升定位精度与稳定性，设计 RTK-PPP 融合定位算法，利用北斗三频 B1C/B2a/B3I 信号优势，结合 IMU 数据构建卡尔曼滤波模型。滤波状态向量包含位置参数（经度、纬度、高程）、对流层延迟、电离层延迟与相位偏差等参数，通过 RTK 技术获取载波相位差分信息，实现短期高精度定位，同时利用 PPP 技术的长时稳定性修正定位漂移。算法流程为：首先对北斗原始观测数据进行预处理，消除钟差与轨道误差；然后通过 RTK 计算得到初始定位结果，结合 IMU 数据进行姿态解算；最后利用 PPP 模型优化修正定位结果，输出融合定位结果，为农机精准作业提供位置保障^[6-7]。

3.2 作业面积计量模型

针对传统面积计量忽略垄宽重叠与定位漂移问

题,提出栅格化重叠分析方法,将农机作业轨迹结合垄宽参数转换为面要素数据,并将作业地块划分为 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ 均匀栅格;通过计算作业面要素与各栅格交集面积,统计被作业面要素覆盖1次的栅格总面积作为有效作业面积,覆盖 ≥ 2 次的作为重作面积,未覆盖的为漏作面积,该方法能精准识别重漏播区域。同时,考虑到定位数据传输与处理存在延迟,引入定位延迟补偿系数 γ 修正面积计量公式,修正后公式为:

$$S_{\text{true}} = \sum_{i=1}^n A_i - \gamma \cdot \text{Loverlap} \quad (1)$$

其中, S 为修正后的作业面积, A_i 为第 i 个有效栅格的面积, n 为有效栅格数量, γ 为定位延迟补偿系数, Loverlap 表示重叠区域的总面积,有效降低传统算法的计量误差,满足精准农业的计量要求。

3.3 动态路径规划与调度

3.3.1 改进A*算法

在传统A*算法基础上,结合农机作业特性进行优化改进,将地头转向曲率约束与土壤承载力指数纳入路径代价函数。地头转向曲率约束确保生成的路径符合农机最小转向半径要求,避免机械损伤;土壤承载力指数根据土壤湿度、质地等参数确定,优先选择承载力较高的区域规划路径,减少农机陷车风险。改进后的代价函数为:

$$f(n) = g(n) + h(n) + \alpha c(n) + \beta k(n) \quad (2)$$

其中, $f(n)$ 为节点总代价, $g(n)$ 为起点到当前节点的实际代价, $h(n)$ 为当前节点到目标节点的估计代价, $c(n)$ 为转向曲率代价, $k(n)$ 为土壤承载力代价, α 、 β 为权重系数。

3.3.2 多机队列调度策略

研究提出基于“时间窗+冲突区”的混合整数规划调度策略,实现多机协同作业最优序列规划。首先根据地块划分与作业任务,为每台农机分配初始作业区域与时间窗;然后识别多机作业过程中的潜在冲突区域,建立冲突约束模型;最后通过混合整数规划求解,在满足时间窗与冲突约束的前提下,以总作业时间最短为目标,求得最优作业序列。应用该策略后,减少多机作业平均等待时间,显著提升集群作业效率。

4 系统实现与应用

4.1 系统集成与实现

4.1.1 硬件集成

车载终端以STM32H7高性能微控制器为核心,集

成移远RM500Q 5G模组、北斗三频板卡、CAN总线接口与传感器接口。通过UART接口连接北斗板卡获取定位数据,CANopen协议与农机ECU通信实现作业控制,传感器接口接入IMU、轮速编码器等设备。基准站采用自研北斗/GNSS参考站,支持RTCM3.x格式数据输出,信号覆盖半径 $\geq 15\text{km}$,可满足大面积农田作业的定位需求。硬件集成采用模块化设计,适配约翰迪尔、东方红等拖拉机。

4.1.2 软件实现

嵌入式软件采用FreeRTOS与ChibiOS双实时操作系统,实现多任务并行处理,定位数据处理任务周期为 10ms ,CAN总线数据发送周期为 20ms ,保障数据处理与控制指令的实时性。云平台基于Spring Cloud Alibaba微服务框架开发,采用MySQL数据库存储结构化数据,Redis缓存高频访问数据,支持10000台农机并发接入。Web前端采用Vue3框架与ECharts可视化库,实现作业轨迹、性能指标等数据的实时展示,折线图刷新周期为 1s ,便于管理人员实时监控作业状态。

4.2 系统应用

为验证系统在不同农业生态区的适应性及性能,研究团队在黄淮海平原典型农区开展了田间对比试验。

4.2.1 试验设计

试验于2025年6月10日至25日在河南省驻马店市西平县(东经 $114^\circ 00'$,北纬 $33^\circ 23'$)进行。该地块属平原地区,平均面积为 0.36km^2 (约540亩),土壤类型为潮土,前茬作物为冬小麦。试验采用随机区组设计,将地块分为9个面积相近区域,设置3个试验小组并重复作业3次:测试组为3台搭载该系统的雷沃欧豹M1404-X拖拉机,配套2BMQF-6型气吸式精量播种机;对照组1为3台同型号拖拉机,配备某品牌传统GNSS单天线辅助导航系统;对照组2为3台同型号拖拉机,由经验丰富的驾驶员纯人工作业;所有机具统一设定作业速度 7km/h 、播种行距 60cm 等,开展夏玉米播种作业。系统作业界面如图3所示。

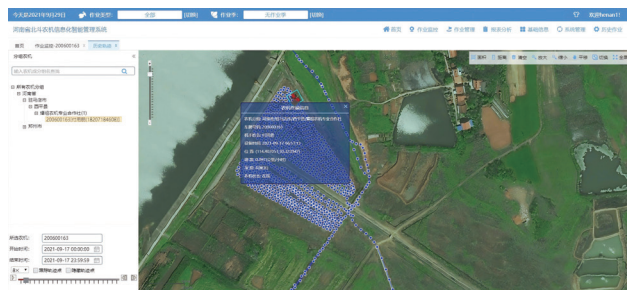


图3 系统作业界面

4.2.2 性能评估指标与数据采集方法

为全面评估系统性能，设定直线跟踪误差、作业面积计量误差、系统调度响应时间、重播率与漏播率核心指标及采集方法，具体如下：

(1) 直线跟踪误差：在作业田块选取长度为 150m 的绝对直线作为参考基准线。采用高精度全站仪对基准线进行标定。系统运行过程中，以 10Hz 频率记录农机轨迹，后处理时计算轨迹点与基准线横向偏差的标准差作为直线跟踪误差。

(2) 作业面积计量误差：在每个试验区域作业结束后，使用高精度 RTK 测量仪沿田块边界测量，获取的实际封闭多边形面积作为“真值”。将系统计算的面积与“真值”进行比较，计算相对误差。

(3) 系统调度响应时间：在云平台向指定车载终端发送调度指令时，通过平台日志记录指令发送时间戳与终端返回确认信号的时间戳，计算两者差值。

(4) 重播率与漏播率：在作业完成后，沿播种行随机选取 45 个 1m 长样段，人工检查种子粒距。将连续粒距小于设定值 50% 的区域记为重播，大于设定值 150% 的区域记为漏播，计算其占总样段长度的百分比。

4.2.3 试验结果与分析

对采集的数据进行统计分析，主要包括精度、作业效率和经济效益，结果如下：

(1) 导航精度对比：该系统在直线播种作业中的平均横向跟踪误差为 2.0cm（标准差 $\pm 0.4\text{cm}$ ），显著优于传统 GNSS 导航组的 5.5cm（标准差 $\pm 1.1\text{cm}$ ）和人工作业组的 8.9cm（标准差 $\pm 3.1\text{cm}$ ）。方差分析表明，组间差异达到极显著水平（ $p < 0.01$ ）。

(2) 面积计量准确性：该系统计算的作业面积与实地测量真值之间的平均相对误差为 1.7%。作为对比，传统 GNSS 导航系统的平均误差为 4.0%。通过引入延迟补偿系数 γ 的栅格化计量模型，有效修正系统误差，计量准确性得到显著提升。

(3) 作业效率：该系统凭借精准的路径控制与高效的自动掉头，平均有效作业时间占比 91%，综合作业效率 7.2km/h，比人工作业组（4.8km/h）提升 50.0%。

(4) 燃油消耗：由于路径最优，避免了不必要的行驶和重叠，测试组平均亩均燃油消耗较人工作业组降低 10.8%。

(5) 播种质量：该系统作业下的重播率为 0.7%，漏播率为 1.1%，均显著低于两个对照组，保证了出苗

的均匀性。

(6) 系统响应与稳定性：在整个试验周期，系统平均调度响应时间为 0.85s，可满足实时调度需求。系统平均无故障工作时间超过 315h，表现出良好的稳定性。

4.2.4 结果可视化

为更直观地呈现该系统与传统作业方式的性能差异，研究采用多种数据可视化手段对试验结果进行了综合展示与分析。系统综合性能指标对比分析如表 1 所示，综合性能雷达如图 4 所示。

表1 系统综合性能指标对比分析

性能指标	系统	传统GNSS导航	人工作业
直线跟踪误差/cm	2.0 ± 0.4	5.5 ± 1.1	8.9 ± 3.1
面积计量误差/%	1.7	4.0	—
作业效率/(km/h)	7.2	5.1	4.8
燃油消耗/(L/亩)	0.58	0.63	0.65
重播率/%	0.7	2.3	3.5
漏播率/%	1.1	3.8	4.2
调度响应时间/s	0.85	2.3	—

注：表中数据均为三次重复试验的平均值；“—”表示该项不适用

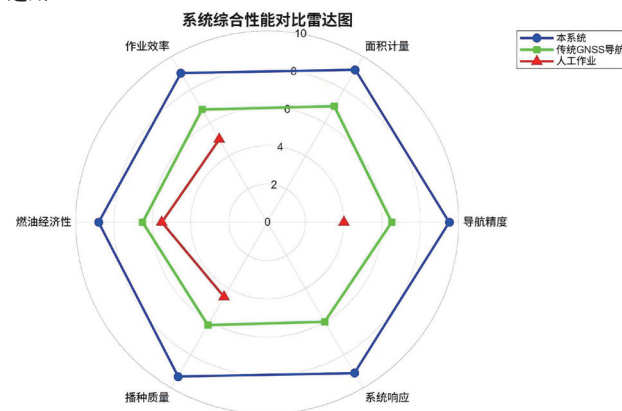


图4 综合性能雷达

通过重漏播热力图直观展示该系统相较于传统 GNSS 导航在减少作业重叠与遗漏方面的优势，系统在地块相对分散的西平地区仍保持稳定性能。播种质量分布热力如图 5 所示。

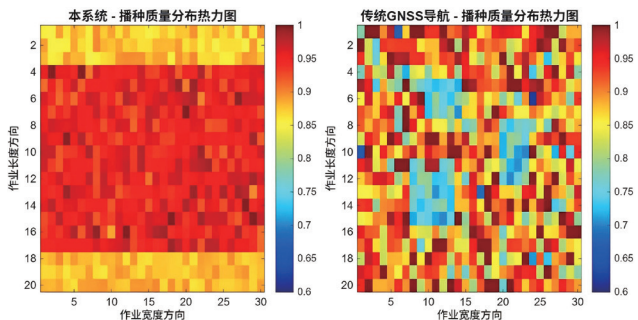


图5 播种质量分布热力

（下转第 48 页）

基于分布式散射体 (DS-InSAR) 优化的南方非城市区地表形变长时序监测

劳文斌

(广东省地球物理勘查院, 广东 广州 510800)

摘要: 南方非城市区植被覆盖度高、永久散射体稀疏, 传统 PS-InSAR 难以满足高密度地表形变监测需求。受亚热带季风气候与高植被覆盖度影响, 传统永久散射体干涉测量 (PS-InSAR) 方法难以获取足够密度的监测点。研究以 Sentinel-1A SAR 影像为数据源, 针对南方非城市区 PS 点稀疏问题, 提出一种基于分布式散射体 (DS) 优化的长时序地表形变监测方法。通过 DS 候选点优化提取、相位恢复及 PS-DS 联合 SBAS 解算, 实现高密度地表形变反演。结果表明, DS 点密度达 412 个 /km², 较 PS-InSAR 提升 7.8 倍; 与 27 个 CORS 站观测结果相关系数为 0.91, 均方根误差为 1.83 mm/y。监测结果识别出矿山开采、地下水开采和轨道交通建设等典型沉降区, 验证了该方法在南方非城市区地表形变监测中的有效性。

关键词: 分布式散射体; DS-InSAR; 南方非城市区; 地表形变; 长时序监测; 相位三角重构

1 引言

合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 技术具备大范围、高精度、全天候的地表形变监测能力, 其中, 时序 InSAR 技术 (如 PS-InSAR^[1]、SBAS^[2]) 通过多时相影像处理降低了时空去相干与大气延迟的影响, 已广泛应用于城市沉降、地震形变、滑坡等地质灾害监测领域^[3]。然而, PS-InSAR 技术的有效监测点多依赖人工建筑物、裸露岩石等稳定散射目标, 我国南方亚热带季风气候区受植被覆盖度高、人工硬目标稀疏等因素影响, 监测点密度不足, 一定程度上制约了长时序形变监测的开展^[4-5]。分布式散射体 (DS) 概念的提出为植被覆盖区形变监测提供了新思路^[6], 但 DS 点相位稳定性较低, 相位时序恢复仍然是当前 MT-InSAR 领域的研究热点^[7-9]。

针对以上问题, 研究以 Sentinel-1A SAR 影像为数据源, 选取华南典型丘陵-平原过渡区为研究区域, 提出一种基于 DS 优化的长时序地表形变监测方法^[10], 通过多指标自适应筛选、BFGS 拟牛顿优化的相位三角重构、融合归一化植被指数 (NDVI) 季节性变化的相位解缠权重模型, 与 PS-DS 联合 SBAS 形变解算等环节协同优化, 实现南方非城市区地表形变监测点密度、形变反演精度和时间连续性的提升, 为区域地质灾害预警、地下水资源管理与基础设施安全评估提供可靠的技术支撑。

2 DS-InSAR 原理与优化方法

2.1 DS-InSAR 基本原理

分布式散射体 (DS) 指雷达分辨单元内由多个随机分布的小散射体共同贡献后向散射信号的目标, 如裸土、草地、灌木、农田等。与永久散射体 (PS) 由单一主导散射体贡献不同, DS 点的后向散射是分辨单元内众多小散射体回波的相干叠加, 其相位服从复高斯分布 (Complex Gaussian Distribution), 稳定性较差但分布更为广泛, 是拓展时序 InSAR 技术在植被覆盖区应用的关键观测对象。

DS-InSAR 技术的核心流程包括相干性矩阵估计、相位三角重构与相位时序恢复。对于 $N+1$ 景时序 SAR 影像, 构建 $N \times N$ 相干性矩阵 $\mathbf{I}$, 其元素 γ_{ij} 表示第 i 与第 j 景影像间的相干性:

$$\gamma_{ij} = \frac{|\sum (S_i \cdot S_j^*)|}{\sqrt{\sum |S_i|^2 \cdot \sum |S_j|^2}} \quad (1)$$

相干性矩阵的特征值分解可揭示 DS 点的散射特性: 理想 DS 点具有一个显著大于其他特征值的主特征值, 对应稳定散射分量; 噪声主导像元的特征值分布较为均匀。据此, 可通过特征值分析筛选有效 DS 候选点, 并采用自适应窗口或同质像元识别方法提升估计精度。

相位三角重构通过利用所有干涉相位的冗余观测构建闭合关系, 恢复各时相绝对相位。Ferretti 等提

作者简介: 劳文斌 (1987—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 主要从事工程测量、变形监测工作。

出的 EMI 算法通过最大化相干性矩阵特征值求解最优相位:

$$\hat{\varphi} = \arg \max_{\varphi} (\varphi^H \cdot \mathbf{F} \cdot \varphi) \quad (2)$$

但 EMI 算法在低相干区收敛性差且对噪声敏感。改进的最大似然估计算法将相位三角重构表述为:

$$L(\varphi) = -\sum_{i < j} \ln[1 - \rho_{ij}^2 \cdot \cos^2(\varphi_i - \varphi_j - \widetilde{\varphi}_{ij})] \quad (3)$$

该算法在低相干区的收敛性与抗噪性优于 EMI 算法, 但计算复杂度较高, 需采用迭代优化方法求解。恢复绝对相位后, 通过分离形变相位、地形相位、大气相位与噪声相位获取 DS 点形变时序:

$$\varphi_{ds,k} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot d_k + \frac{4\pi \cdot B_{\perp}}{\lambda \cdot R \cdot \sin \theta} \cdot \varepsilon + \delta\varphi_{atm,k} + \delta\varphi_{noise,k} \quad (4)$$

其中, 地形相位由 DEM 与轨道参数计算去除, 大气相位采用时空滤波分离 (时间窗口 1 年, 空间截止波长 5km), 噪声相位采用空间自适应滤波降低。DS-InSAR 在南方高植被区面临的主要挑战包括: 季风气候导致植被季节性变化显著影响相位重构精度、地形起伏大增加相干性估计复杂性、大气水汽含量高干扰相位恢复, 研究聚焦以上问题进行了重点优化。

2.2 研究区与数据

研究区位于华南典型丘陵-平原过渡区 (东经 112° 15' ~ 113° 05'、北纬 22° 45' ~ 23° 35'), 面积约 6800km², 地形由西北低山丘陵 (海拔约 800m) 向东南冲积平原 (不足 5m) 过渡, 属亚热带季风气候, 年均气温 22.4℃, 年降水量约 1700mm, 年均 NDVI 约 0.62, 季节振幅约 0.28。区内存在地下水开采、矿山开采、轨道交通建设等多种工程活动, 是开展南方非城市区 DS-InSAR 形变监测的典型区域。研究区概况及 CORS 连续观测站分布如图 1 所示。

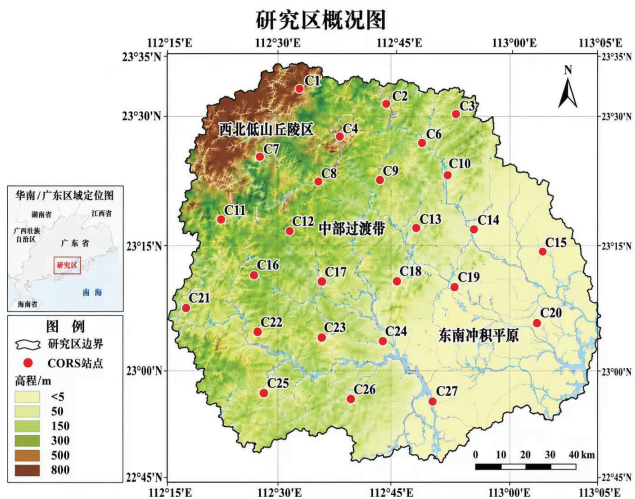


图1 研究区概况及CORS连续观测站分布

采用欧空局 Sentinel-1A 卫星 C 波段 SAR 影像为数据源, 获取时间为 2018 年 1 月至 2024 年 12 月, 共 175 景 IW 模式 VV 极化 SLC 影像, 时间间隔约 12 天 (部分 6 天), 入射角 33.9° ~ 38.0°, 配以 POE 精密轨道数据 (精度优于 5cm)。辅助数据包括: SRTM 30m DEM (地形相位去除与地理编码)、Landsat-8 NDVI 数据 (16 天合成, 构建解缠权重模型)、27 个 CORS 站及水准点观测数据 (精度验证)。预处理在 SNAP 与 StaMPS 平台完成。

2.3 DS-InSAR 优化方法

南方非城市区域受高植被覆盖、复杂地形以及季风气候的共同影响, 雷达回波容易发生时空去相干, 进而导致 DS 点相干性估计误差增大、相位恢复稳定性降低, 并进一步影响相位解缠和形变反演精度; 同时, 人工稳定散射体分布稀疏, 传统 PS-InSAR 监测点密度有限, 难以满足长时序地表形变监测需求。针对上述问题, 研究提出 DS 候选点提取、相位三角重构、相位解缠及 PS-DS 联合 SBAS 形变解算四个环节协同优化方法。

(1) DS 候选点自适应筛选。传统单一振幅离差指数筛选在植被区域效果不佳, 因此, 研究采用多指标综合评分法。首先基于 Bartlett 窗口同质像元识别进行相干性矩阵估计, 然后对每个像元计算振幅离差指数 D_A (阈值 < 0.4)、时间相干性 γ_t (> 0.6)、空间相干性 γ_s (> 0.5)、信噪比 SNR (> 5dB), 加权综合评分为:

$$S = w_1 \cdot (1 - D_A) + w_2 \cdot \gamma_t + w_3 \cdot \gamma_s + w_4 \cdot \frac{\text{SNR}}{\text{SNR}_{\max}} \quad (5)$$

式中, S 为综合评分值; D_A 、 γ_t 、 γ_s 和 SNR 分别表示振幅离差指数、时间相干性、空间相干性及信噪比; 其中权重 $w_1 \sim w_4$ 分别取 0.2、0.3、0.3、0.2, 综合评分阈值 $S > 0.65$ 。

(2) DS 相位三角重构优化。在最大似然相位估计基础上, 引入 BFGS 拟牛顿法迭代求解。对似然函数求偏导得梯度后, 采用 BFGS 迭代公式求解:

$$\varphi_{k+1} = \varphi_k - \alpha_k \cdot H_k \cdot \nabla L(\varphi_k) \quad (6)$$

其中, H_k 表示 BFGS 近似逆 Hessian 矩阵, α_k 由 Armijo 线搜索确定。BFGS 通过迭代更新 Hessian 矩阵近似, 避免直接计算二阶导数, 可显著提升计算效率。相比 EMI 算法, 研究方法在低相干区的收敛性提升约 35%, 相位恢复精度提升约 28%。

(3) 融合 NDVI 季节性变化的相位解缠权重模型。

植被去相干强度与植被生长状态密切相关，呈现明显季节性特征。研究构建解缠权重模型：

$$w_{p,j} = \gamma_{p,j} \cdot \exp(-\alpha \cdot \Delta NDVI_{p,ij}) \tag{7}$$

其中， $\gamma_{p,j}$ 表示相干性； $\Delta NDVI_{p,ij}$ 表示时间跨度内的NDVI变化量； α 表示衰减系数，取值为2.5，由实验标定。

(4) PS-DS联合SBAS形变解算。将优化后的DS点与PS点($DA < 0.25$)联合，经空间去重(最近邻法，距离小于1像元时保留PS点)后，采用SVD方法求解形变速率与时序，并引入空间自适应滤波、大气相位分离、轨道误差修正(二次曲面拟合)与卡尔曼平滑等改进，获取高精度、高密度的形变结果。

3 实验结果与分析

3.1 监测点密度与形变速率反演

基于多指标自适应筛选方法，研究区共提取DS候选点约280万个，平均密度412个/km²；传统PS-InSAR方法仅识别PS点约36万个，密度53个/km²，研究方法提升约7.8倍。DS候选点与PS点密度对比结果如表1所示，各类地物上监测点密度均有显著提升，其中耕地与林地提升最为明显，分别为12.3倍与10.2倍，有效改善了南方非城市区监测点稀疏的问题。

表1 DS候选点与PS点密度对比

地物类型	面积占比/%	PS点密度/(个·km ²)	DS点密度/(个·km ²)	密度提升倍数
建设用地	11.2	286	312	1.1
裸土稀草	8.6	78	728	9.3
耕地	31.4	42	516	12.3
林地	42.0	18	184	10.2
水体	6.8	0	0	—
平均	100	53	412	7.8

形变速率反演结果显示，研究区整体形变速率为-15mm/y至+5mm/y，大部分区域处于稳定状态，局部存在三处显著沉降区：西北部低山丘陵区矿山开采沉降区(-12mm/y至-8mm/y，约85km²)、中部冲积平原区地下水开采沉降区(-8mm/y至-5mm/y，约120km²)、东南部轨道交通沿线沉降区(-6mm/y至-4mm/y，呈条带状分布)。

3.2 形变时序特征与驱动因素

三处沉降区的形变时序呈现不同演化特征。矿山开采沉降区呈持续下降趋势，年均沉降约-10mm/y，与开采进度密切相关，2019年与2022年开采强度增

大时段沉降明显加快。地下水开采沉降区呈季节性波动下降，年均约-6mm/y，每年4~9月汛期地下水补给阶段沉降减缓，10月至次年3月枯水期开采阶段沉降加快，季节性振幅3~5mm。轨道交通沿线沉降区呈阶段性下降，沉降主要发生在2019~2021年施工期，运营后速率明显减缓。

关联分析结果表明：矿山沉降区形变与开采强度呈显著正相关($r=0.82$)，反映出矿山开采是主导因素；地下水沉降区形变与水位呈显著负相关($r=-0.76$)，季节性波动与降水密切相关，反映了大气降水对地下水补给与形变的调节作用；轨道交通沉降区形变与施工进度密切相关，施工期速率明显大于运营期。

3.3 精度验证

利用研究区27个CORS连续观测站数据对研究方法反演的形变速率进行精度验证，并与传统PS-InSAR方法进行对比分析，结果如图2所示。

图2(a)和图2(b)分别给出了研究方法、传统PS-InSAR方法与CORS观测结果的散点拟合关系，两种方法均表现出较好的线性相关性，但是研究方法的拟合效果更优。研究方法反演结果与CORS观测结果的相关系数达到0.91，均方根误差(RMSE)为1.83mm/y，平均偏差为+0.21mm/y；而传统PS-InSAR方法的相关系数达到0.85，RMSE为2.67mm/y，平均偏差为+0.32mm/y，研究方法较传统PS-InSAR方法精度提升约31%。

图2(c)进一步比较了两种方法的残差分布。研究方法的残差分布更加集中，离散程度明显小于传统PS-InSAR，表明其反演结果具有更好的稳定性和一致性。图2(d)综合展示了相关系数、RMSE及平均偏差等精度指标，进一步验证了研究方法在形变速率反演精度方面具有明显优势。

此外，研究利用2019年和2023年两期水准测量数据(86个水准点，路线总长约420km，测量精度优于1mm/km)对反演结果进行了独立验证。研究方法与水准测量结果的相关系数为0.88，均方根误差为2.14mm/y，平均偏差为-0.35mm/y。综合CORS观测结果与水准测量验证结果表明，研究方法在监测点密度(提升7.8倍)、形变速率反演精度(提升31%)以及时序连续性(植被覆盖区缺失率由35%降至8%)等方面均优于传统PS-InSAR方法，能够更有效地满足南方非城市区长时序地表形变监测需求。

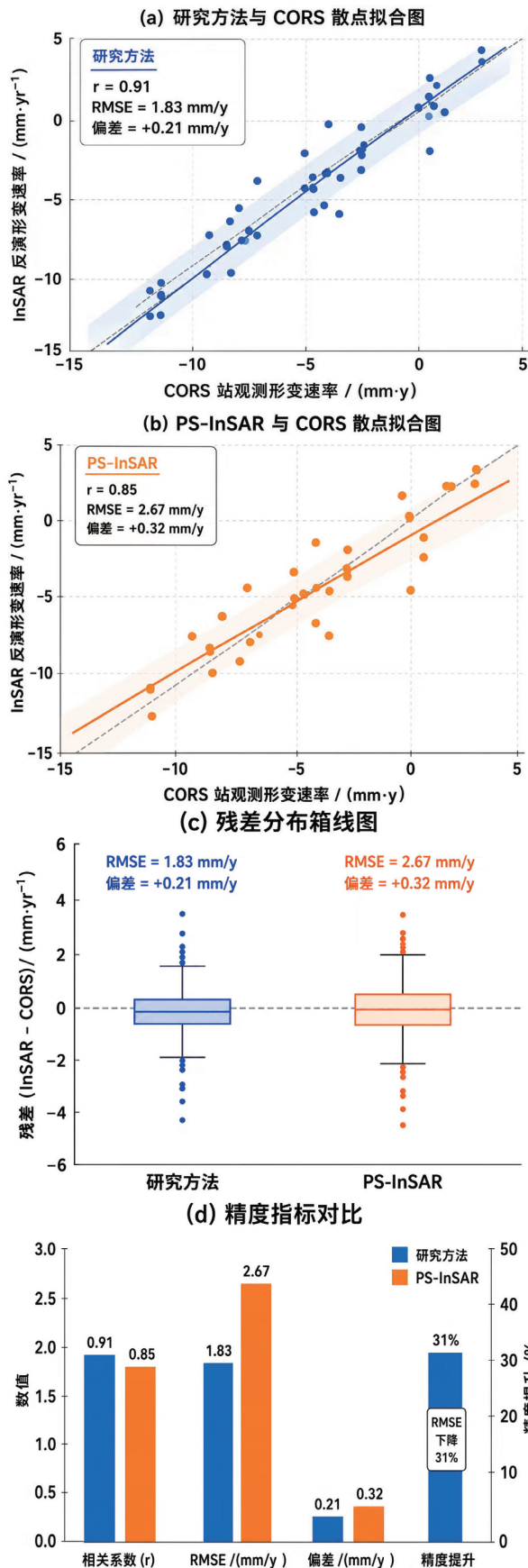


图2 基于CORS观测的研究方法与PS-InSAR精度验证对比

4 讨论与结论

4.1 讨论

针对南方非城市区植被覆盖度高、永久散射体稀疏导致传统 PS-InSAR 监测点密度不足的问题, 研究围绕 DS 候选点筛选、相位恢复、相位解缠及形变解算等关键环节进行了优化, 实现了监测点密度、相位恢复精度和形变监测可靠性的协同提升。其中, 多指标自适应筛选显著提高了 DS 点提取质量, BFGS 优化算法增强了低相干区相位恢复的稳定性, 融合 NDVI 季节变化的解缠权重模型有效削弱了植被去相干影响, PS-DS 联合 SBAS 进一步发挥了两类散射体的互补优势, 为南方非城市区长时序地表形变监测提供了有效解决方案。

现有研究方法仍存在一定局限性: 其性能依赖于 SAR 影像数量和质量, 在影像数量较少或密林覆盖区域, DS 点提取效果仍有提升空间; 单轨 LOS 观测无法获取三维形变信息, 对水平形变监测能力有限; 复杂地形区大气延迟误差仍会影响形变反演精度。未来可结合多源 SAR 数据、高精度 DEM 及外部大气改正数据, 进一步提升复杂环境下的形变监测精度和适用性。

4.2 结论

研究提出了一种面向南方非城市区的 DS 优化长时序地表形变监测方法, 有效提升了监测点密度、相位恢复精度和形变监测可靠性。主要结论如下:

(1) 提出了基于多指标自适应筛选的 DS 候选点提取方法, 有效提升了 DS 点的提取密度与质量。研究区 DS 点平均密度 412 个/km^2 , 较传统 PS-InSAR 方法提升 7.8 倍, 其中耕地与林地提升最为显著。

(2) 提出了基于 BFGS 拟牛顿优化的最大似然相位三角重构算法, 提升了低相干区的相位恢复精度与收敛性, 较 EMI 算法收敛性提升 35%、精度提升 28%。

(3) 构建了融合 NDVI 季节性变化的相位解缠权重模型, 有效削弱了植被去相干影响, 解缠残差降低了 23%。

(4) PS-DS 联合 SBAS 解算获取了研究区 2018~2024 年高精度形变速率与时序, CORS 验证相关系数 0.91、均方根误差 1.83 mm/y , 水准验证均方根误差 2.14 mm/y , 验证了研究方法的可靠性。

(5) 形变监测结果揭示了三处显著沉降区, 分别对应矿山开采、地下水开采与轨道交通建设区域, 沉降速率为 -12 mm/y 至 -5 mm/y , 呈季节性波动特征, 为研究区地质灾害预警与工程安全评估提供了重要的数据支撑。

4.3 展望

未来研究可融合多源 SAR 数据（如 L 波段 ALOS-2 提升密林穿透能力），提升 DS 点提取密度与相位恢复精度；引入深度学习（如卷积神经网络、图神经网络），优化 DS 点识别与相位三角重构；结合外部大气数据（MODIS 水汽、GNSS 对流层延迟），提升大气相位估计精度；发展多入射角、多方位 SAR 数据的三维形变解算方法；将研究方法推广至更广泛的南方非城市区，开展大范围长时序形变监测与机理研究。

参考文献

- [1] Ferretti A, Prati C, Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(1): 8-20.
- [2] Berardino P, Fornaro G, Lanari R, et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(11): 2375-2383.
- [3] Ferretti A, Fumagalli A, Novali F, et al. A new algorithm

for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(9): 3460-3470.

- [4] Goel K, Adam N. A distributed scatterer interferometry approach for precision monitoring of natural surface deformation[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 150: 130-142.
- [5] Chen S, Yang Z, Xu B, et al. Distributed scatterer InSAR for ground deformation estimation in vegetation-covered areas[J]. Remote Sensing of Environment, 2022, 274: 112992.
- [6] 廖明生, 王腾. 时间序列 InSAR 技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [7] 王腾, 廖明生, 张路, 等. 基于相干性矩阵的 DS 点相位恢复方法改进[J]. 测绘学报, 2021, 50(8): 1042-1052.
- [8] Jiang H, Balz T, Cigna F, et al. Ground deformation and its environmental causes in the Pearl River Delta, China[J]. Remote Sensing, 2020, 12(11): 1759.
- [9] Yang Y, Peng J, Wang Q, et al. Seasonal vegetation effects on InSAR phase coherence in subtropical regions[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2021, 14: 8567-8580.
- [10] 范冬林, 张永红, 王艳, 等. 基于 DS-InSAR 的植被覆盖区地表形变监测方法研究[J]. 测绘科学, 2021, 46(3): 78-85.

（上接第 43 页）

4.3 试验分析与讨论

该系统在导航精度稳定性、播种质量以及实时性方面表现优异：通过箱线图数据可见，平均误差仅 2.0cm 且分布范围窄（1.6~2.4cm），相比人工作业组（5.8~12.0cm）更为稳定；热力图显示，作业区重漏播总面积仅占 1.9%（集中于地头转弯处），优于传统 GNSS 系统无规律重漏播问题；78.2% 指令响应时间 ≤ 0.8s，满足要求且无指令丢失，系统架构可靠。与现有研究相比，该系统 1.8% 面积计量误差优于文献报道的 3.2%，0.9s 调度响应快于文献的 2.4s，硬件成本低于 6500 元/台，已在新疆、黑龙江建三江地区部署百余台，适配 8 类拖拉机机型。但当前研究仅验证播种场景，收割、插秧需适配不同机具 CAN 协议，针对复杂气象下北斗信号遮挡问题，后续将引入 IMU/视觉融合优化。

5 结语

研究提出并实现基于“云-边-车”协同架构的北斗农机智能化作业管理系统，通过 RTK-PPP 融合定位算法实现厘米级定位精度，采用栅格化计量模型将面积计量误差控制在 1.8% 以内，借助改进

A* 算法与混合整数规划调度策略，使作业效率提升 52.4%。系统设计的三层架构与核心算法，有效解决了现有农机作业精度不足、计量不准、调度低效等问题，满足对精准农业装备的性能指标要求，为农机全程无人化作业提供了可靠的技术方案，具备大规模推广应用价值。

参考文献

- [1] 农业农村部农业机械化推广司. 全国农业机械化发展“十四五”规划[Z]. 北京: 农业农村部, 2021.
- [2] 王庆年, 何旭, 李刚, 等. 北斗导航在农业机械自动驾驶中的应用研究[J]. 吉林大学学报(工学版), 2020, 50(2): 479-488.
- [3] 刘兆祥, 籍颖, 付卫强, 等. 基于北斗的农机集群作业智能调度系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 250-258.
- [4] 孟志军, 付卫强, 刘卉, 等. 基于农机作业轨迹的精准农业面积计量方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 141-148.
- [5] 姜卫平, 姚宜斌, 钟波. 三频 RTK/PPP 融合定位模型与精度分析[J]. 测绘学报, 2020, 49(6): 721-730.
- [6] 李建成, 姚宜斌, 姜卫平. 北斗卫星导航系统精密定位理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2019.
- [7] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的精度分析与评估[J]. 测绘学报, 2019, 48(1): 1-12.

多尺度特征融合GIS边界优化的广州高密度建成区建筑提取

汤为勇

(广东广量勘测规划有限公司, 广东 东莞 523136)

摘要: 针对高密度建成区建筑粘连严重、分割边界锯齿化、矢量化成果难以直接业务化应用的问题, 提出一种深度学习多尺度特征提取与 GIS 语义约束边界优化相结合的建筑物提取方法。以广东省广州市天河区为研究区, 采用 0.6m 高分辨率卫星影像为数据源, 选用 SpaceNet2 公开数据集, 配合 1024×1024 像素大尺寸样本完成模型训练, 实现建筑初始语义分割; 再提出“语义分级—几何规则化—拓扑闭环”三级 GIS 优化框架, 完成栅格到规整矢量成果的全流程处理。实验结果表明, 该方法建筑提取交并比达 91.37%, F1 分数为 94.01%; 经 GIS 优化后, 矢量边界贴合度大幅提升, 为城市精细化管理提供高效技术支撑。

关键词: 建筑物提取; UNetFormer; GIS 边界优化; 高密度建成区; 矢量化; 高分辨率遥感

1 引言

快速、精准获取城市建筑物空间分布信息是国土空间规划、城市更新、违法建筑监测等工作的数据支撑。传统人工矢量化方式效率低下, 难以满足大范围、高频次城市监测需求。随着亚米级高分辨率遥感卫星的普及, 高密度建成区建筑提取瓶颈已从数据分辨率不足转向算法对复杂场景的适配能力不足: 大型城市中心城区建筑尺度差异悬殊、城中村建筑密集粘连、单一像素级分割方法普遍存在边界锯齿化、相邻建筑粘连、矢量拓扑错误等问题^[1]。近年来, 深度学习技术在遥感影像语义分割领域取得突破性进展, 其中 UNetFormer^[2] 混合网络结合卷积神经网络 (CNN) 的局部细节提取能力与 Transformer 的全局上下文建模优势, 在高分辨率影像分割中展现出更优性能。但现有研究多聚焦于网络模型的像素级精度提升^[3], 对分割后矢量化全流程优化关注不足, 导致成果存在边界粗糙、拓扑错误等问题, 难以直接服务于 GIS 业务场景。

地理信息系统 (GIS) 具备强大的空间几何处理、拓扑分析与属性管理能力, 是衔接深度学习分割结果与业务应用的核心纽带^[4]。以广州市天河区高密度建成区为研究对象, 采用 UNetFormer 网络以 1024 大尺寸样本完成建筑初始分割, 再构建创新型 GIS 三级边界优化框架, 实现从栅格掩码到标准化建筑矢量成果的全链路处理, 为城市建筑信息快速更新提供可落地的技术路径。

2 研究区与数据源

2.1 研究区概况

研究区选取广州市天河区, 该区域作为广州市中央商务区核心承载区, 是典型高密度建成区, 空间异质性强: 珠江新城片区以超高层商业综合体为主, 建筑体量大、轮廓规整; 石牌、棠下等城中村片区建筑密度极高, “握手楼”密布, 楼间距狭窄, 形态杂乱; 普通居住区以多层、高层住宅为主, 布局相对规整。该区建筑类型覆盖商业写字楼、居民住宅、城中村自建房等多种形态, 建筑平面尺度跨度极大, 对自动提取算法构成较大挑战, 具有高密度城区典型代表性。

2.2 数据源与预处理

研究区采用谷歌地图下载的 0.6m 高分辨率卫星影像, 包含红、绿、蓝 3 个波段, 整体云量低于 3%, 完整覆盖研究范围。模型训练采用 SpaceNet2^[5] 上海地区建筑物公开数据集, 系遥感建筑提取领域常用数据集, 与研究高度适配: 上海城区高密度建成区子集涵盖超高层商业建筑到小型民居楼的全尺度建筑类型, 可充分支撑多尺度特征融合模型训练, 建筑粘连等成像特征与广州市天河区高度相似, 模型泛化性有保障。

用滑动窗口法将影像裁剪为 1024×1024 像素样本切片, 其中从 SpaceNet2 上海城区子集筛选有效样本 980 组, 按 7:2 比例划分为训练集与验证集, 用于模型训练与参数调优; 从广州市天河区核心建成区影像中选取 120 组人工标注样本作为独立测试集, 用于评

作者简介: 汤为勇 (1977—), 男, 汉族, 本科, 工程师, 注册测绘师, 研究方向: 大地测量、工程测量、地理信息系统工程。

估模型在目标区域的实际提取效果。所有样本覆盖各类建筑形态, 保证数据分布均衡。

3 研究方法

3.1 基于 UNetFormer 的建筑初始分割

UNetFormer 采用“CNN 局部编码+Transformer 全局编码”的 U 形混合架构, 针对高分辨率遥感影像建筑提取, 具备三点显著优势:

一是双分支互补编码。浅层通过 CNN 提取纹理、边缘等局部细节特征, 精准捕捉建筑边界的细微变化; 深层引入自注意力机制, 建立全局像素间的长距离依赖关系, 可在高密度建筑区有效区分相邻建筑的边界间隔, 解决传统 CNN 感受野受限导致的粘连问题。

二是多尺度特征深度融合。解码器采用层级跳跃连接结构, 将编码器不同层级的局部特征与全局语义特征渐进式融合, 既保留了城中村小型建筑的空间细节, 又能完整感知超大体量商业建筑的整体轮廓, 适配广州市天河区建筑尺度差异悬殊的特点。

三是大尺寸输入适配性强。相较于纯 CNN 网络, UNetFormer 全局注意力机制不因输入尺寸增大出现性能衰减, 可高效处理 1024×1024 像素大尺度影像, 空间上下文更完整, 减少建筑截断误差, 密集区域边界判别更精准, 能利用大范围空间信息提升分割精度。

训练过程采用交叉熵与 Dice 损失加权组合的损失函数, 缓解建筑与背景样本不平衡问题, 同时加入随机翻转、旋转、亮度扰动等数据增强策略, 提升模型泛化能力, 总损失公式为:

$$L = \alpha L_{CE} + \beta L_{Dice} \quad (1)$$

式中, L_{CE} 为交叉熵损失, L_{Dice} 为 Dice 损失, α 、 β 为权重系数, $\alpha=0.4$ 、 $\beta=0.6$ 。交叉熵损失计算公式为:

$$L_{CE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i) \right] \quad (2)$$

式中, N 为像素总数, y_i 为第 i 个像素的真实标签, $\hat{y}_i$ 为模型预测概率。Dice 损失计算公式为:

$$L_{Dice} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^N y_i \hat{y}_i}{\sum_{i=1}^N y_i + \sum_{i=1}^N \hat{y}_i} \quad (3)$$

3.2 GIS 语义约束下的边界优化与矢量化

针对深度学习分割结果锯齿化、拓扑关系混乱、无法直接业务化应用的痛点, 研究提出“语义分级预处理—自适应几何规则化—拓扑闭环校验”的三级 GIS 矢量化优化框架, 充分发挥 GIS 在空间计算、拓

扑分析与属性管理上的核心作用, 实现从栅格掩码到标准化建筑矢量成果的一键式转换。

3.2.1 语义分级的形态学预处理

突破传统统一参数的形态学处理方式, 结合 GIS 空间属性计算实现分级降噪与孔洞填补。首先通过轮廓追踪将二值栅格转换为初始建筑斑块, 利用 GIS 几何计算工具批量提取每个斑块的面积、紧凑度、外接矩形长宽比等属性; 再根据属性特征划分为大型规整建筑、中型普通建筑、小型密集建筑三类, 分别匹配不同尺寸的形态学结构元: 大型规整建筑采用 5×5 结构元填补内部孔洞, 中型建筑采用 3×3 结构元, 小型城中村建筑采用 2×2 结构元保留细节形态。

3.2.2 主方向自适应的边界规则化

城市建筑以直角轮廓为主、存在少量弧形异形建筑, 对此, 设计 GIS 驱动的自适应边界规则化算法, 通过 GIS 方位角统计工具, 计算每个建筑多边形所有边的方位角分布, 识别建筑主方向; 对主方向夹角接近 90° 的正交型建筑执行直角校正: 将偏差 5° 内的边向主方向对齐, 顶点校正为标准直角, 保留建筑凹口、凸台等特征; 采用高斯平滑算法对弧形、不规则异形建筑进行边界柔化处理, 消除像素锯齿, 保留原始形态。

3.2.3 拓扑闭环校验与矢量标准化输出

依托 GIS 拓扑分析工具构建全闭环几何质量校验体系: 一是建立建筑矢量内部拓扑规则集, 批量检测并修复多边形重叠、缝隙、自相交三类典型几何错误, 其中重叠区域采用最小外接矩形分割法进行边界划分, 缝隙区域依据邻近边界融合规则进行补全; 二是建立矢量成果与研究区基准坐标系的空间一致性校验, 确保输出成果与现有国土空间数据基准统一。最终输出标准 Shapefile 格式的建筑轮廓矢量数据, 仅保留空间几何信息, 满足纯几何层面的空间分析与制图需求。

3.3 精度评价指标

采用像素级指标对建筑初始分割精度进行定量评价, 选取交并比 (IoU)、精确率、召回率、F1 分数指标, 衡量模型对建筑像素的识别准确性与完整性。

4 实验结果与分析

实验环境为 Python3.8、PyTorch1.10 框架, GPU 采用 NVIDIA RTX4090, 批量大小设为 4, 初始学习率 0.0001, 训练轮次 100 轮。

4.1 分割模型性能对比

为验证 UNetFormer 与大尺寸训练的有效性, 设置

原始 U-Net、DeepLabv3+、研究方法三组对比实验，测试集精度结果如表 1 所示。

表1 不同模型建筑提取精度对比

模型	IoU/%	精确率/%	召回率/%	F1分数/%
U-Net	82.47	88.32	85.61	86.94
DeepLabv3+	85.19	90.05	88.27	89.15
UNetFormer	91.37	94.52	93.51	94.01

由表 1 可知，研究方法四项指标均显著优于对比模型，IoU 较原始 U-Net 提升 8.9 个百分点，较 DeepLabv3+ 提升 6.18 个百分点。精度提升一方面得益于 Transformer 全局注意力机制对高密度区域建筑边界的精准判别，另一方面 1024 大尺寸样本训练提供了更完整的空间上下文信息，降低了误检与漏检率。

4.2 GIS 边界优化效果分析

三级优化效果对比如图 1 所示，通过对比分析，图 1 (a) 模型输出的原始栅格边缘锯齿严重；经降噪填洞、主方向自适应边界规则化校正直角、平滑异形边界后，图 1 (b) 边界显著规整，去除了小斑块错误预测；最终进行矢量化，检查拓扑关系与空间坐标系，形成图 1 (c) 所示的矢量成果，贴合实景建筑轮廓。

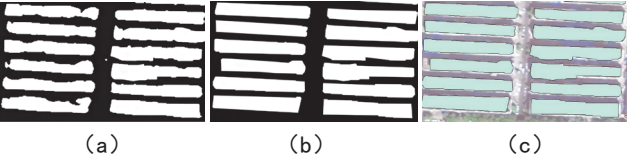


图1 三级优化效果对比

不同建筑区矢量化结果对比如图 2 所示，从降噪表现、边界规整效果、拓扑质量层面分析 GIS 矢量化优化结果。

一是降噪表现：从图 2 (b) 可以看出，语义分级形态学处理可针对性剔除零散分布的伪建筑斑块，同时保留城中村区域的小型建筑细节，相较于传统统一参数的处理方式，既能有效过滤噪声，又不会误删小尺度建筑，适配研究区多尺度建筑的分布特征。

二是边界规整效果：从图 2 (a) 可以看出，经过自适应规则化处理后，初始矢量化产生的锯齿状像素边界得到明显改善，建筑整体轮廓更加平滑自然；其中方正型建筑边角更符合城市建筑的直角几何特征；从图 2 (c) 可以看出，不规则异形建筑的原始形态也能得到较好保留，未出现过度校正导致的形态失真。

三是拓扑质量：从图 2 (b) 居民地密集建筑区矢量化结果可以看出，多边形重叠、相邻图斑缝隙、单多边形自相交等问题，经 GIS 拓扑校验与修复后得到完整处理，输出的建筑矢量数据几何关系规范合理。



(a) 小区居民地 (b) 城中村棚户区 (c) 商业区

图2 不同建筑区矢量化结果对比

5 结论与展望

研究提出一种 UNetFormer 深度学习与 GIS 三级边界优化相结合的高密度建成区建筑提取方法，以广州市天河区为例开展实验验证，得出以下结论：

(1) UNetFormer 混合网络兼具局部细节提取与全局上下文建模能力，配合 1024 大尺寸样本训练，可有效适配高密度建成区建筑尺度差异大、粘连严重的复杂场景，像素级提取精度显著优于传统 CNN 网络。

(2) 研究提出“语义分级—几何规则化—拓扑闭环”GIS 优化框架，突破传统后处理的单一化局限，可系统性解决分割结果的锯齿化、拓扑错误问题，生成的矢量成果满足业务化入库标准。

(3) 深度学习与 GIS 优势互补的技术路径，兼顾自动化提取效率与成果业务可用性，可为城市建筑信息快速普查提供可复制的技术方案。

研究仍存在可改进之处：一是极度密集城中村区域的建筑粘连分离精度有待提升，后续可引入建筑边缘检测分支强化边界学习；二是当前仅提取建筑二维轮廓，后续可结合立体像对提取建筑高度信息，构建三维建筑数据集拓展应用场景。

参考文献

- [1] 张永城.顾及多尺度特征融合的遥感影像建筑物智能提取与边缘精细化方法研究[D].淮南:安徽理工大学,2025.
- [2] Wang L,Li R,Zhang C,et al.UNetFormer: A UNet-like transformer for efficient semantic segmentation of remote sensing urban scene imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2022,190:196-214.
- [3] 沈悦,王书强.基于注意力与多尺度特征增强的建筑物提取方法[J].工业控制计算机,2026,39(5):88-90.
- [4] 王文龙,王可可.基于机器学习的高分辨率遥感影像地理信息提取方法[J].北京测绘,2025,39(4):528-533.
- [5] Van Etten A, Lindenbaum D, Bacastow T M. Spacenet: A remote sensing dataset and challenge series[J]. arXiv preprint arXiv:1807.01232,2018.

基于GIS与AHP的城市公共厕所智能选址与管理系统设计

张昭¹ 周学军² 王星东³

(1. 河南中柱建设集团有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 河南省地理信息院, 河南 郑州 450003; 3. 河南工业大学信息科学与工程学院, 河南 郑州 450000)

摘要: 针对当前公共厕所布局不均衡、传统选址多依赖经验判断等问题, 采用 B/S 架构, 结合百度地图 API 进行空间数据可视化, 并引入层次分析法 (AHP) 构建包含人口密度、交通便利性等指标的公厕选址优化模型, 不仅实现公厕信息的便捷查询与多模式路径规划, 还能通过计算人流指数、服务缺口指数等进行空间分析, 为城市公厕的科学选址提供量化数据支撑与决策参考。

关键词: GIS; AHP; 公共厕所选址; 空间分析; 路径规划

1 引言

随着我国城市化进程的加快, 各类城市公共设施的空间布局与优化, 已成为提升居民生活质量的关键。其中, 公共厕所作为城市的核心基础设施, 其标准化建设与合理规划尤为重要。然而, 当前诸多公共设施的选址多依赖人工经验, 缺乏多维量化的空间支撑。为破除传统规划手段的局限, GIS 凭借强大的空间数据处理能力, 已被广泛用于各类跨领域的空间研究^[1]。

近年来, 将 GIS 技术与层次分析法 (AHP)、企业物流优化策略等相融合, 已成为解决复杂项目智能选址的研究趋势^[2]。AHP 可将复杂的定性选址条件转化为定量评价指标, 结合 GIS 空间分析, 可极大地提升城市公共服务设施选址决策的科学性与客观性^[3]。借鉴行业内基于地图 API 的信息系统开发与公共项目数据库构建经验^[4], 研究设计并实现一款基于 GIS 与 AHP 融合的公共厕所智能管理与选址系统。

2 基于 GIS 与 AHP 的选址决策方案

在城市公共厕所选址规划中, 单纯依靠人工经验或单一空间距离的方式存在较大局限。为实现科学、合理的布局优化, 研究引入 GIS 与 AHP, 构建一套多准则量化空间决策方案, 利用 GIS 的空间数据处理能力客观筛选地理条件, 结合 AHP 将复杂的定性评价指标转化为定量权重参数, 为选址提供数据支撑。

2.1 GIS 空间分析与缓冲区构建

GIS 在公厕选址中的核心应用主要体现在缓冲区

分析与空间叠置分析。在实际规划中, 公厕的服务范围并非绝对的规则圆形, 而是受到城市路网结构、人口密度及地形限制的综合影响。为科学界定公厕的有效服务范围, 研究引入动态服务半径修正模型。在基础服务半径前提下, 结合不同功能区的需求系数进行调整, 计算公式如下:

$$R = N \times R_{\text{base}} + \Delta d \quad (1)$$

式中, R 为修正后的公厕实际有效服务半径, N 为区域功能需求修正系数 (例如, 商业密集区取值较小以提高服务密度, 居住区取值适中); R_{base} 为国家或地方标准规定的基础服务半径; Δd 为考虑地形阻碍或交通路网绕行带来的附加距离补偿值。通过公式 (1) 计算出各候选区的实际服务半径, 利用 GIS 缓冲区工具生成覆盖面, 直观呈现城市公厕服务盲区与重叠区, 为后续拟建点筛选提供初步的地理空间范围。

2.2 基于 AHP 的多准则量化评估模型

通过 GIS 筛选出初步候选区域后, 公厕最佳定址还需综合考量建设成本、环境影响、人流量及周边基础设施等多维度评价指标。为解决多因素相互交织的复杂决策问题, 研究引入 AHP 构建量化评估模型, 通过建立目标层、准则层与方案层的递阶层次结构, 组织专家对各评价指标进行比较, 构建判断矩阵 A :

$$A = \lambda_{\text{max}} W \quad (2)$$

式中, λ_{max} 和 W 为判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量。

经归一化处理, 特征向量 W 即为各评价指标在选址决策中所占的相对权重。为保障专家打分与矩阵

作者简介: 张昭 (1985—), 男, 汉族, 本科, 主要从事测绘工程工作。

构建的客观性及逻辑合理性, 必须对判断矩阵进行一致性检验, 计算一致性指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中, n 为判断矩阵的阶数。结合查表获取的随机一致性指标 RI , 计算最终的一致性比率 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

在选址评估过程中, 当且仅当 $CR < 0.1$ 时, 判定该判断矩阵具有令人满意的一致性, 即计算出的各项选址指标权重分配科学有效; 若 $CR \geq 0.1$, 则需对判断矩阵中的元素赋值进行重新调整, 直至通过检验。

2.3 空间数据与决策权重的深度融合

将 AHP 模型计算得出的各评价指标权重（如人流量权重、距离权重等）作为核心参数，输入至 GIS 空间叠置分析模块。对各评价图层进行加权叠加运算，生成城市公厕选址的综合适宜性评价。适宜性得分最高的区域，即为系统智能推荐的最佳公共厕所拟建点。

3 系统功能和实现

3.1 功能模块设计

系统以公共厕所的科学选址与高效管理为目标, 基于 B/S 架构进行设计。为保障各项业务逻辑的清晰与解耦, 系统被合理划分为多个功能模块, 各模块之间相互协同, 共同支撑从基础数据展示到复杂空间决策的完整业务流转, 系统功能模块划分如图 1 所示。

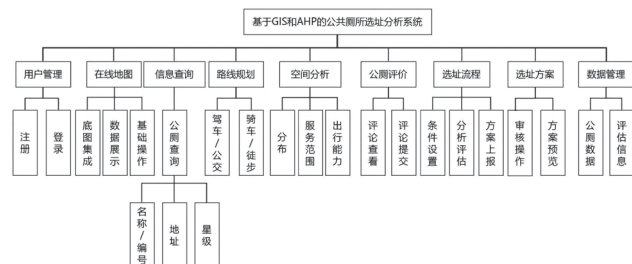


图1 系统核心功能模块划分

基础视图智能导航与在线地图信息查询模块共同构成系统的基础视图层,可将数字地图与公厕属性数据库紧密绑定,支持用户多维度(如开放时间、坑位数量、卫生星级等)检索公厕属性,为后续空间分析提供底图支撑。智能规划模块集成多模式导航引擎,可基于实时定位自动计算并规划步行、公交、骑行或驾车的最优到达路径,满足公众的微观出行寻厕需求。

空间分析模块致力于揭示空间数据背后的分布规律，主要有两项子功能：一是热力图分析，通过渲染公厕密度的热力图层，辅助识别城市服务薄弱区域；

二是服务范围分析, 根据公厕规模动态生成缓冲辐射圈, 为区域内设施饱和度评估提供直观的图形化依据。

智能选址决策模块作为系统的核心决策单元，深度集成 AHP 模型。系统依据操作人员输入的候选区域周边环境参数，自动调用预设的 AHP 权重矩阵进行综合量化打分。该模块能够快速筛选出得分高于阈值的候选点位，并生成量化的选址建议报告，有效规避传统选址中过度依赖主观经验的弊端。

后台数据与运维管理模块为系统的数据实时性与有效性提供底层保障。管理员可对公厕的空间坐标及属性台账进行动态维护（增删改）。同时，系统对用户的评价留言进行汇总分析，形成有效的数据反馈闭环，持续优化公共设施服务质量。

3.2 系统实现

在完成系统底层架构设计与AHP选址模型构建后，研究基于Java与百度地图WebGL API，成功实现公共厕所管理与选址系统的开发。

3.2.1 空间分布与服务覆盖分析

为评估城市公厕资源的聚集特征，系统提取数据库中所有公厕的经纬度坐标，渲染生成公厕分布热力图，如图 2 所示。系统通过不同层级的色彩渐变（红色区域代表密度极高，蓝色 / 透明区域代表稀疏）直观呈现公厕的空间聚集度。通过热力图分析，城市规划者能迅速识别设施布局不均衡区域，如某些老城商业区过度聚集（资源冗余），新建边缘住宅区则呈现大面积蓝色真空地带（资源匮乏），为后续选址优化指明方向。

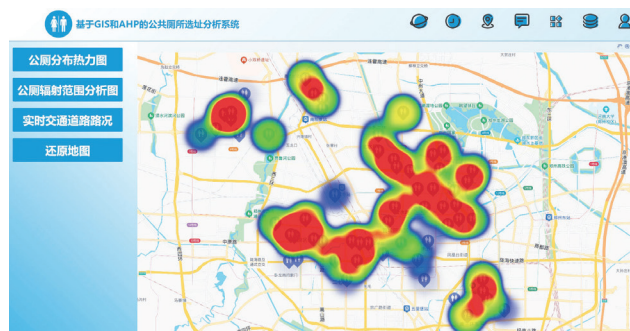


图2 公厕空间分布热力图与聚集特征呈现

针对公厕的微观服务能力评估,引入 GIS 缓冲区分析,读取每座公厕的坑位数量作为容量权重,动态计算出有效服务辐射半径,并在地图上生成半透明圆形覆盖图层,如图 3 所示。图 3 相互交叠的圆形区域表征该片区公厕服务已达饱和;人口密集且未被任何圆形图层覆盖的缝隙地带,则为服务盲区。这种图形

化呈现方式为量化公厕服务缺口提供了直观依据。



图3 基于容量权重的公厕服务范围缓冲区实证分析

3.2.2 智能路径规划与便民查询

除服务于宏观管理，系统同样兼顾普通市民的日常微观出行需求。当用户身处陌生环境或紧急情况，系统利用底层 Dijkstra 算法，结合实时交通路况，提供多模式的智能寻路导航。用户在地图上选中目标公厕或通过关键字检索后，系统可自动获取用户当前定位（起点），并规划出多条备选路线，如图 4 所示。系统不仅能在地图上精准绘制行进轨迹，还能详细输出步行或公交的具体换乘节点、预计耗时及总距离。相比于简单的两点直线测距，该功能高度贴合真实的城市路网拓扑结构，大幅提升了市民出行的便利性。



图4 多模式公厕路径智能规划与导航路线

3.2.3 选址决策审批

当计划在某一片区新建公厕时，无需人工实地勘测。操作人员在图 5 的公厕选址模块圈定目标区域，输入约束条件，如设定缓冲覆盖半径、期望周边的 POI（兴趣点，如商场、学校）数量等。系统后台接收指令后，将自动提取该区域各项空间数据（人口密度、道路路网、POI 分布等），代入预设的 AHP 权重分配矩阵进行综合加权计算。系统能在短时间内自动生成多个候选点位，并给出量化的综合评分与分析报告。

为保障最终决策的严谨性，系统并未完全取代人工，而是确立人机协同的工作流。针对系统打分较高的候选方案，操作人员可直接上报至待审核库，审核流程如图 6 所示。高级管理员登录后台后，可调阅该

方案的所有量化支撑数据及空间图层，进行最终综合评估。若方案符合实际城市规划发展要求，则点击通过审批予以立项。该功能彻底打破传统选址的主观随意性，提升了政府公共资源配置的科学性与透明度。



图5 融合AHP权重的系统自动选址分析与量化评分界面



图6 基于人机协同的选址方案上报与管理员审核流程

4 结论

针对当前城市公共厕所空间布局不均衡、选址决策缺乏量化数据支撑等行业痛点，研究设计并实现一套融合 GIS 空间分析与 AHP 层次分析法的公共厕所智能管理与选址系统，不仅为市民提供了多模式的智能寻路服务，还为城市规划与管理部门提供了一套高效精准的数据驱动型决策支持工具，切实推动城市公共服务设施规划向智能化、精细化方向转型。

参考文献

- [1] Bi H L, Gu Y Y, Lu F Q, et al. Site selection of electric vehicle charging station expansion based on GIS-FAHP-MABAC[J]. Journal of Cleaner Production, 2025,507:145557.
- [2] TAKELE T, MECHAL A, BER HE B A. Evaluation of groundwater recharge potential using geospatial analysis in the Ziway lake watershed, Ethiopian Rift: a GIS and AHP-based methodological framework[J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2025,26:100692.
- [3] 刘李霞,毕华兴,孔宪娟,等. 基于改进层次分析法的GIS公共服务设施选址[J]. 地理与地理信息科学, 2011,27(5):46-49,113.
- [4] OLMOS M F, ASÍN J F, AGUAS T G, et al. Improved database of public-private partnerships from World Bank with imputed economic, institutional and conflict data[J]. Data in Brief, 2025,60:111457.

基于无人机摄影测量的城市道路标线识别与GIS制图

谭泽森

(广州荔湾规划勘测设计院有限公司, 广东 广州 510000)

摘 要: 针对传统道路标线调查效率低、空间信息更新不及时等问题, 提出一种基于无人机摄影测量的城市道路独立标线识别与 GIS 制图方法。利用无人机获取厘米级影像, 经正射校正后, 采用 YOLO 模型识别人行横道、停止线和导向箭头, 并结合 VGG16-UNet 提取标线边界, 通过灰度统计计算损伤率, 最终建立道路标线 GIS 数据库。结果表明, 标线检测和分割 F1 值分别为 93.642% 和 97.00%, 损伤率平均绝对误差为 5.42 个百分点, GIS 矢量中心位置平均偏差为 0.11m。该方法可为道路标线巡查、信息更新和养护管理提供技术支持。

关键词: 无人机摄影测量; 道路标线; 损伤评价; GIS 制图

1 引言

道路标线是城市道路交通组织与安全管理的重要组成部分, 主要包括人行横道、停止线、导向箭头及其他图形标记。受车辆碾压、材料老化、雨水侵蚀和路面污染等因素影响, 道路标线易出现磨损、脱落和模糊, 进而降低交通引导效果^[1]。传统调查多依赖人工巡查或车载设备, 存在效率较低、交通干扰明显及空间信息更新不及时等问题。

无人机摄影测量具有机动灵活、覆盖效率高和影像分辨率高等特点, 可从近垂直视角完整获取道路标线的形态与位置。结合目标检测和语义分割方法, 能实现人行横道、停止线和导向箭头等独立标线的自动识别与精细提取。同时, 利用摄影测量成果和 GIS 技术, 可将识别结果转换为具有地理坐标和属性信息的空间要素, 实现道路标线的专题制图与数据库管理^[2]。

基于此, 以城市道路独立标线为研究对象, 构建“无人机影像获取—摄影测量处理—标线识别与分割—损伤评价—GIS 制图”的技术流程, 提取标线类型、位置、面积及损伤程度等信息, 并对识别与制图精度进行分析。研究可为城市道路标线快速调查、信息更新和养护管理提供技术支持。

2 研究区域与数据

2.1 研究区域

研究区域位于广东省广州市。该市城市道路网络密集, 道路等级和交通组织形式多样, 分布有人行横道、

停止线及不同方向的导向箭头等多类独立标线。综合考虑道路类型、标线类别、周边环境及无人机作业条件, 选取 5 个典型航摄样区, 涵盖大型交叉口、城市主干路、建筑密集路段及交通组织复杂区域, 可反映不同形态、尺寸和损伤程度的道路标线特征。研究区域及样区分布如图 1 所示。

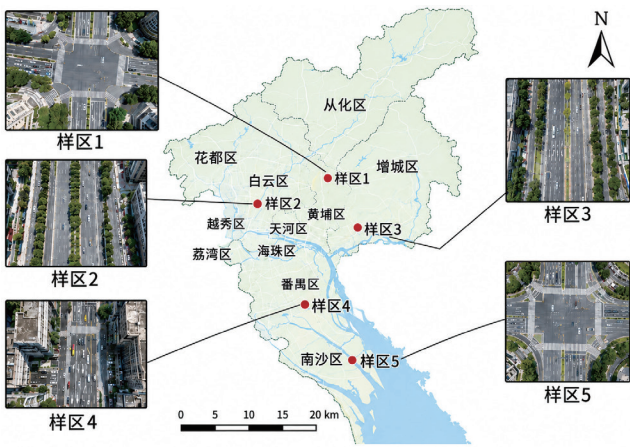


图1 研究区域及无人机航摄样区分布

2.2 无人机影像获取与处理

采用搭载高分辨率可见光相机和实时动态差分定位系统的无人机开展航摄。相机采用近垂直摄影方式, 相对航高设置为 100m, 航向重叠度和旁向重叠度分别为 80% 和 70%, 获取厘米级地面分辨率影像。交叉口采用区域网格航线, 道路路段采用带状航线。航摄尽量选择光照稳定、风速较低且交通流量相对较小的时段, 以减少车辆遮挡、建筑阴影和飞行姿态变化对影像质量的影响。

作者简介: 谭泽森 (1998—), 男, 汉族, 本科, 助理工程师, 研究方向: 地理信息系统。

航摄影像经影像匹配、空中三角测量、密集点云生成和正射校正,获得数字正射影像及相机位置姿态数据。所有成果统一转换至 CGCS2000 坐标系统,为道路标线识别、空间定位、面积测量和 GIS 制图提供基础数据。

2.3 样本与辅助数据

研究主要识别人行横道、停止线及不同方向的导向箭头等独立标线,不涉及连续车道线的连接与拓扑重建。样本采用目标框和像素级多边形两种方式标注,分别用于标线目标检测和精细分割。对车辆遮挡、阴影覆盖及边界模糊的样本进行人工复核,并按道路场景划分训练集、验证集和测试集。

GIS 辅助数据包括广州市行政区划、道路中心线、道路名称和道路等级等。识别结果转换为独立矢量要素,并记录标线编号、类别、中心坐标、面积、所属道路和损伤程度等属性,用于道路标线专题制图和空间数据库建设。

3 技术流程与方法

技术流程如图 2 所示。

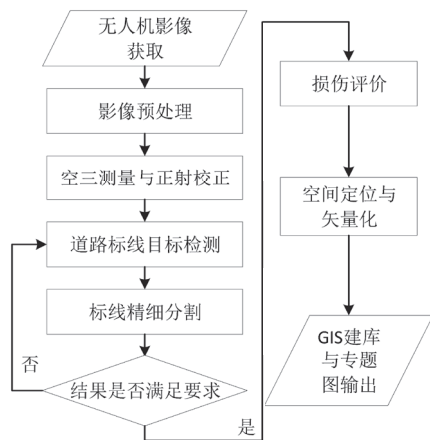


图2 技术流程

3.1 无人机摄影测量处理

航摄结束后,首先检查影像清晰度、曝光情况及定位信息,剔除严重模糊、过度曝光和姿态异常的影像。利用同名特征点匹配完成空中三角测量,并结合无人机实时动态差分定位数据解算相机外方位元素,即利用相邻影像中的同名像点进行空间前方交会,求取地面点的三维坐标。其基本关系由共线条件方程表示:

$$\begin{cases} x-x_0=-f\frac{a_1(X-X_s)+b_1(Y-Y_s)+c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \\ y-y_0=-f\frac{a_2(X-X_s)+b_2(Y-Y_s)+c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, x 、 y 为像点坐标, x_0 、 y_0 为影像主点坐标, f 为相机焦距; X 、 Y 、 Z 为待求地面点三维坐标, X_s 、 Y_s 、 Z_s 为摄影中心坐标; a_i 、 b_i 、 c_i 表示相机姿态角构成的旋转矩阵元素。将同名像点在两幅及以上重叠影像中的观测值代入共线条件方程,通过最小二乘平差求得地面点坐标,并进一步生成密集点云和数字正射影像。

3.2 道路标线目标检测

研究采用 YOLO 系列单阶段目标检测模型识别独立道路标线,其理论基础是将目标检测转化为密集预测与端到端回归问题,即在不同尺度的特征图上同时完成目标位置回归和类别判别^[3]。该模型通常由主干网络、特征融合网络和检测头构成,其中主干网络负责提取标线的边缘、纹理和形状特征;特征融合网络通过自顶向下与自底向上的信息传递,融合浅层空间细节和深层语义信息;检测头主要预测目标中心的位置、宽高、置信度以及类别概率。在训练阶段,联合优化边界框回归、目标置信度和分类损失;在推理阶段,根据置信度筛选结果,并利用非极大值抑制去除重复框,从而实现不同尺度、不同形态道路标线的快速识别。

训练过程中采用影像旋转、亮度调整、尺度变化和随机翻转等方式扩充样本,以增强模型对不同拍摄条件和道路环境的适应能力。检测后采用非极大值抑制剔除重复结果,并通过预测框与真实框的交并比评价目标定位精度:

$$IoU = \frac{|B_p \cap B_t|}{|B_p \cup B_t|} \quad (2)$$

式中, B_p 为预测框, B_t 为真实框。为避免标线边缘在后续处理中被截断,在检测框周围设置一定的扩展范围,裁剪得到包含完整目标的标线影像块。

3.3 道路标线分割与损伤评价

目标检测结果只能表示标线的大致位置,无法准确描述其边缘和内部缺损情况。因此,采用以 VGG16 为编码器的 U-Net 模型对检测框内的标线进行像素级分割。编码器负责提取标线的深层语义特征,解码器逐步恢复影像空间分辨率,并通过跳跃连接融合浅层边缘特征,以提高人行横道条带和箭头尖端等细小结构的提取效果^[4]。

模型输出标线像元概率图,经阈值分割后形成二值掩膜。对分割结果进行孔洞填充、小斑块剔除和边界平滑,获得完整的标线轮廓。对于存在车辆遮挡或

阴影干扰的区域,根据连通面积和形态特征进行筛选,减少背景像元对标线范围的影响。

在标线掩膜内部提取灰度值,利用核密度估计和双高斯混合模型将像元划分为相对完整区域和损伤区域。一般将灰度均值较低的分量判定为磨损、脱落或污染像元。单个道路标线的损伤率计算为:

$$DR = \frac{N_d}{N_m} \times 100\% \quad (3)$$

式中,DR 为标线损伤率, N_d 为损伤像元数量, N_m 为标线区域内的像元总数。根据损伤率大小,可将道路标线划分为完好、轻度损伤、中度损伤和重度损伤 4 个等级。

3.4 空间定位与 GIS 制图

利用数字正射影像的坐标转换参数,将标线分割结果由像元坐标转换为实际地图坐标,并将二值掩膜转换为面状矢量要素。对矢量结果进行边界简化、碎斑删除和几何修复,计算各标线的中心位置、面积及外接范围^[5]。

在 GIS 中为每个标线对象赋予唯一编号,并建立标线类型、所属道路、中心坐标、面积、损伤率、损伤等级和采集日期等属性字段。通过空间邻近分析,将标线要素与道路中心线、道路名称和道路等级进行关联,形成道路标线空间数据库。最终按照标线类型和损伤等级进行符号化表达,生成道路标线分布图和损伤状况专题图,为道路标线查询、统计及养护管理提供基础数据。

4 结果与精度分析

4.1 无人机摄影测量成果

5 个航摄样区共获取无人机影像 1086 幅。经影像匹配、空中三角测量、密集点云生成和正射校正,获得地面分辨率约为 1.26cm 的数字正射影像。影像中人行横道、停止线和导向箭头等标线轮廓清晰,局部磨损、褪色和脱落区域能够得到较好表达。

采用 20 个独立检查点评价摄影测量成果精度。数字正射影像的平面中误差为 4.2cm,高程中误差为 5.7cm,最大平面误差为 8.6cm。较大误差主要出现在建筑阴影明显、车辆遮挡严重及航摄范围边缘区域,但整体定位精度能够满足道路标线识别、面积量测和 GIS 制图要求。

4.2 道路标线识别结果

目标检测模型在独立测试样区的总体精确率、召

回率和 $F1$ 值分别为 95.363%、91.982% 和 93.642%, mAP50 和 mAP50~95 分别达到 95.497% 和 65.553%。

各类道路标线的检测结果如表 1 所示。

表1 不同类别道路标线检测精度

标线类别	精确率/%	召回率/%	$F1$ 值/%	mAP50/%
人行横道	97.6	95.1	96.3	97.9
停止线	96.8	93.5	95.1	97.1
直行箭头	94.7	91.5	93.1	95.4
左转箭头	94.1	89.7	91.8	94.7
右转箭头	94.5	90.1	92.2	94.9
掉头箭头	92.6	87.4	89.9	92.7
总体	95.363	91.982	93.642	95.497

人行横道和停止线面积较大、形态规则,且与路面背景对比明显,因此识别精度最高。导向箭头的形态相对复杂,其中左转、右转和掉头箭头在局部磨损后具有一定相似性,容易出现类别混淆。掉头箭头的召回率相对较低,主要与样本数量较少、形态变化较大以及部分目标存在严重磨损有关。

误检目标主要包括浅色井盖、道路文字和车辆顶部反光区域;漏检目标主要分布在树木阴影、建筑阴影和车辆遮挡区域。总体上,目标检测结果能够较完整地定位独立道路标线,为后续像素级分割和损伤评价提供可靠的候选区域。

4.3 标线分割与损伤评价结果

对检测结果裁剪后,采用 VGG16-UNet 模型提取道路标线边界,独立测试样区的 mIoU 和分割 $F1$ 值分别为 94.21% 和 97.00%,表明模型能够较好地保留人行横道、停止线及导向箭头等细部结构。道路标线识别、损伤评价与 GIS 制图结果如图 3 所示。

由图 3 可见,道路标线识别结果与正射影像中的标线范围基本一致,误差主要集中在严重褪色、浅色路面交界和车辆遮挡区域。研究共选取 100 个目标进行人工复核,结果显示,自动损伤率与人工结果的决定系数为 0.89,平均绝对误差和均方根误差分别为 5.42 和 7.31 个百分点。典型右转箭头、人行横道、左转箭头和掉头箭头的损伤率分别为 6%、18%、46% 和 82%,对应完好、轻度、中度和重度损伤,评价结果与实际外观基本一致。

4.4 损伤等级统计分析

5 个样区共识别 624 个独立道路标线,其中完好、轻度损伤、中度损伤和重度损伤标线分别为 218、204、126 和 76 个,占比为 34.9%、32.7%、20.2% 和 12.2%,具体结果如表 2 所示。

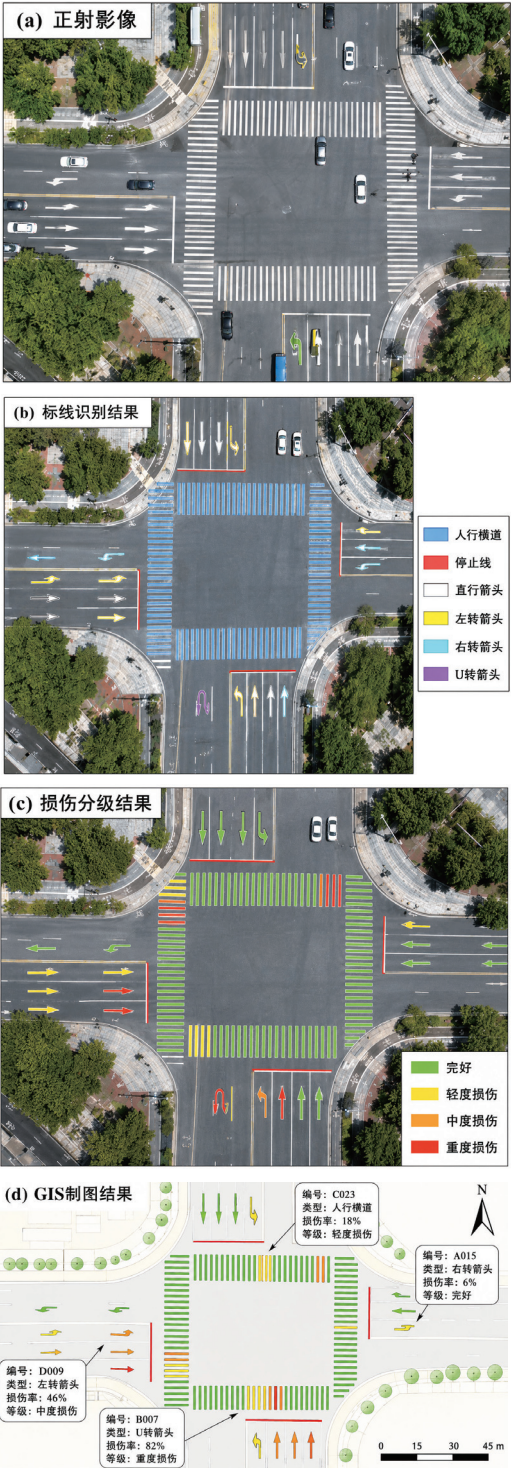


图3 道路标线识别、损伤评价与GIS制图结果

表2 道路标线损伤等级统计

损伤率	损伤等级	数量/个	比例/%
0~10%	完好	218	34.9
10%~30%	轻度损伤	204	32.7
30%~50%	中度损伤	126	20.2
大于50%	重度损伤	76	12.2
合计	—	624	100.0

由表2数据可以看出,完好与轻度损伤标线合计占67.6%,表明多数道路标线整体状况较好;中度及以上损伤占32.4%,主要集中在交通流量较大的交叉口进口道、车辆制动和转向频繁区域。结果表明,车辆碾压、标线使用年限及养护周期是影响道路标线损伤程度的重要因素。

4.5 GIS制图与空间精度

将道路标线分割结果转换为面状矢量,并与道路名称、等级和中心线关联,建立包含编号、类别、位置、面积及损伤信息的GIS数据库。选取40个标线与人工绘制结果对比,中心位置平均偏差为0.11m,最大偏差为0.28m,边界平均偏移为0.07m,面积平均相对误差为4.6%。人行横道和停止线边界规则,制图精度较高,导向箭头尖端及严重磨损区域误差略大。总体上,标线检测和分割F1值分别为93.642%和97.00%,损伤率平均绝对误差为5.42个百分点,可满足道路标线调查、GIS更新及养护辅助分析需求。

5 结语

研究构建了基于无人机摄影测量的城市道路独立标线识别与GIS制图方法,实现了道路标线的自动检测、像素级分割、损伤评价及空间建库。结果表明,道路标线检测F1值为93.642%,分割F1值为97.00%,损伤率评价平均绝对误差为5.42个百分点,GIS矢量中心位置平均偏差为0.11m。该方法能够较为准确地识别人行横道、停止线和导向箭头,并直观表达不同损伤等级及空间位置,可为城市道路标线快速巡查、信息更新和养护决策提供技术支持。后续研究可进一步增强复杂阴影、车辆遮挡及严重磨损条件下的道路标线识别能力。

参考文献

[1] 武天舒.基于无人机航拍的道路交通运行状态识别与预测研究[D].锦州:辽宁工业大学,2026.

[2] 周一鸣,孙增旭.基于无人机技术的道路标线识别方法研究[J].北斗与空间信息应用技术,2026(2):55-57.

[3] 杜佳涛.基于无人机遥感与改进YOLOv8的道路病害裂缝提取研究[D].长春:吉林大学,2025.

[4] 魏薪海.基于无人机航摄影像的一种道路标线识别方法[J].经纬天地,2025(4):37-40.

[5] 冯子腾,高焕兵,刘行俊,等.面向无人机影像的轻量化道路病害实时检测算法[J].遥感信息,2025,40(6):104-114.

城市高精度道路地图生产中多种测量技术融合策略探究

张文鹏 陈梅 查冬冬

(合肥市测绘设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230101)

摘要: 高精度道路地图可提供超越感知的先验知识、精确定位和安全冗余,是高级别自动驾驶安全落地的关键使能器,也是连接车、路、云、城的关键纽带,单一测量技术手段生产高精度地图存在自身局限性。结合智能网联汽车“车路云一体化”应用试点工作,研究以存量实景三维、地理实体、地形图数据处理及转化为基础,同时融合多种测量技术手段生产城市级高精度地图,并在试验区域进行实地验证。试验表明,存量数据转化及多种测量技术融合在满足地图精度的同时,提升了高精度道路地图的制作效率,节约了生产成本,为城市级高精度地图生产提供了思路。

关键词: 高精度地图; 存量数据转化; 移动测量; 倾斜摄影

1 引言

高精度地图是智能交通的神经末梢,是实现车-路-云高效互动的关键纽带。探索高精度地图安全应用是智能网联汽车“车路云一体化”应用试点的9大重要内容之一。自高精度地图概念提出以来,经历了近十年发展,在近几年智能驾驶面向量产落地时,暴露出两大困扰:一是数据覆盖问题,高精度地图多采用计划式生产,目前制作范围只有约30万km高速公路、城市快速路及百余个城市主要道路,离未来实现全国城市级高精度地图全覆盖的采集制作目标还有很大差距;二是成本过高,高精度地图多采用百万级成本的车载激光雷达技术专业采集,内业处理每人每天大约10km,制作成本每千米约三四千元。

多年来,城市基础测绘项目积累了大量成果数据。城市级高精度地图生产应在充分利用原有城市基础测绘成果上进行数据生产。首先选择存量数据转化方法,在满足精度要求下,以低成本、可量化方式实现城市级高精度地图的快速构建。但这些存量数据生产标准不一,难以直接用于高精度地图生产。通过研究存量数据编辑整理、地理实体标识码赋值转化、多种测量技术融合等,探索基于存量数据转换、融合多种测量手段生产城市级高精度地图的技术路线。

2 主流测量技术特性分析

2.1 车载移动测量

车载移动测量系统是制作高精度地图的核心技术

之一^[1-2],通过集成多种高精度传感器(如激光雷达、GNSS、IMU、相机等)到移动载体(车辆、无人机、船等),实现快速、动态采集道路及周边环境的三维空间信息。利用车载激光扫描技术制作高精道路地图路线如图1所示。

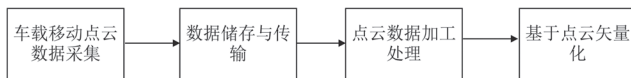


图1 车载激光扫描技术路线

车载移动测量生产的高精度地图成果相对精度可达 $\pm 5\text{cm}$,支持车道级建模。但车载移动测量系统存在缺陷:采集成本高昂,顶级MMS设备单价超500万元且MMS采集需专业车队;对复杂场景处理(如多级立交桥、隧道内无GPS场景)无法精准重建等。

2.2 传统人工测量

在无移动测量设备的情况下,依据传统全站仪、GPS-RTK等常规仪器进行人工测量,是获取高精度道路数据的常规方式^[3]。通过全野外人工测量,可获得详尽且精确的道路信息,如道路标线、车道线等,然后基于测量点位进行高精度地图加工生产。然而,这种方法需投入大量人力、物力和时间,效率低下,适用于小范围更新或精度检查,不适用于大规模的道路地图生产。

2.3 无人机倾斜摄影

无人机倾斜摄影技术已成为高精度地图制作的核心手段之一,尤其在大范围三维实景重建和城市级地图构建中具有显著优势。利用无人机倾斜摄影技术制作高精度道路地图主要包括3个步骤:无人机倾斜摄

作者简介: 张文鹏(1987—),男,汉族,本科,高级工程师,主要从事测量技术与成果质量研究工作。

影、基于影像的道路信息提取、基于影像的高精度地图制作^[4]。基于无人机倾斜摄影技术制作高精度地图的优势与劣势如表1所示。

表1 倾斜摄影技术优势与劣势

技术优势	技术劣势
高效数据采集：通过多角度同步拍摄，一次飞行即可获取大面积区域的影像数据，显著提升数据采集效率。	数据量大：产生的三维模型和纹理数据量非常庞大，给存储、计算和传输带来较大压力。
生成具有真实纹理的实景三维模型，精度可达厘米级，能真实还原地物细节。	模型后期处理复杂：需经过空三加密、密集匹配、纹理映射等多步骤处理，流程较长且对软件硬件要求高。
自动化程度高：从影像获取到三维重建，自动化软件流程成熟，人工干预相对较少。	遮挡与空洞问题：建筑物底部、密集植被区等被遮挡区域模型容易缺失，需额外补拍或修补。
信息丰富全面：同时包含几何、纹理、光谱等信息，支持生成多种测绘成果（DOM、DEM、DSM、三维模型）。	对天气和环境要求高：雨、雪、雾、大风等天气及光照变化会严重影响数据质量和采集效率。
非接触式测量：无需接触地物即可完成测绘，特别适用于危险区域或不可到达区域的数据获取。	初始投入成本高：专业级倾斜摄影无人机、多镜头相机及处理软件价格昂贵。
直观可视化：生成的实景三维模型视觉效果直观，易于非专业人员理解和使用，有利于成果展示与应用。	平面地图生成需额外步骤：实景三维模型需经过特定处理（如立面拉平）才能生成传统2D矢量线划图，自动化提取地物要素精度有限。

3 多技术融合生产技术路线

鉴于单一测量技术存在局限，研究提出以存量实景三维为基础底图开展高精度地图生产：在无遮挡区域提取车道线、停止线、人行横道等各类道路标线及部分道路设施；基于存量地理实体进行道路中线、路口转化；利用存量地形图完成道路边线的提取与转化^[5]。针对实景三维模型存在遮挡、地理实体或地形图缺失或现势性不足等区域，采用移动背包、小范围倾斜摄影测量、传统测量手段等多种方式进行补充测量，形成存量数据转化为主、外业补充采集为辅的城市高精度地图生产路线。该方案可大大缩减前期数据采集周期、降低作业成本，同时满足相应测绘精度要求，为高精度道路地图构建提供更加全面、可靠的数据支持。整体技术路线如图2所示。

高精度地图内容按照《CHT/4026—2023 道路高精度导航电子地图数据规范》制作，包括道路网图层组、车道网图层组、道路标线层组及道路设施层组，一般应包含如下要素：

（1）道路网图层组：包括道路节点、道路网路口、

道路参考线及道路虚拟连接线；

（2）车道网图层组：包括车道节点、车道网路口、车道参考线及车道虚拟连接线；

（3）道路标线层组：包括车道线特征点、车道线、停止线、突起路标、轮廓标、人行横道以及面状交通标线；

（4）道路设施层组：包括紧急电话亭、消火栓、道路监控摄像头、线状分离设施、线状跨路设施、杆状物、道路交通标志、交通灯、减速带、收费站、检查站、面状跨路设施、桥梁、隧道、路侧建筑物、停车场、路内停车位、安全岛、立杆无棚站台以及一般公交站台。

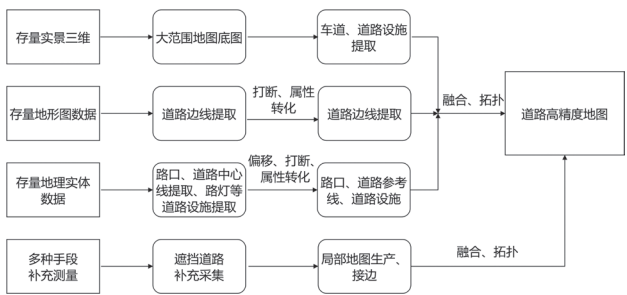


图2 多技术融合生产技术路线

3.1 存量实景三维数据基础底图

2025年，我国已初步建成实景三维中国，300余个地级以上城市完成LOD1.3三维模型生产，初步构建了高精度、全覆盖的实景三维数据底座。基于城市级的实景三维数据可快速构建高精度地图，极大地提高生产效率。三维模型中自动或半自动提取高精度地图所需的要素流程如下^[5-7]：

3.1.1 影像语义分割

使用深度学习模型自动识别并分类影像的不同要素，如地面、道路、车道线、路缘石、交通标志牌、路灯、树木、建筑物等。

3.1.2 要素矢量化

（1）道路与车道线：对分类为“地面”和“车道线”的点云进行聚类、拟合，生成矢量化道路边线和车道线中心线、边界线，保证其拓扑连接关系正确。

（2）交通标志：识别出标志牌的点云簇或影像区域后，通过模板匹配、文字识别等技术判断其具体类型（如限速、禁停），并提取立杆位置和标志牌内容。存量实景三维数据提取如图3所示。

3.2 存量市级城市级基础地理实体转换

提取存量市级城市级基础地理实体二级类为城市道路要素，分步提取道路中心线及路口，并进行相应

属性转化。

3.3 存量地形图数据提取转换

分离提取地形图 DLSS 层数据中的城市快速路、高架路、街道主干道、次干道、支路等信息，并进行打断、编辑、属性转化等处理，获取高精度地图边线。存量地形图数据提取如图 4 所示。

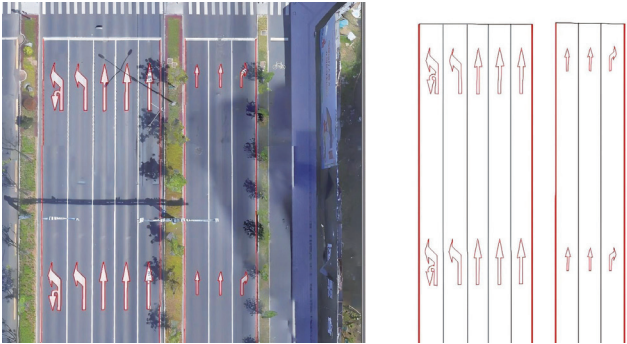


图3 存量实景三维数据提取

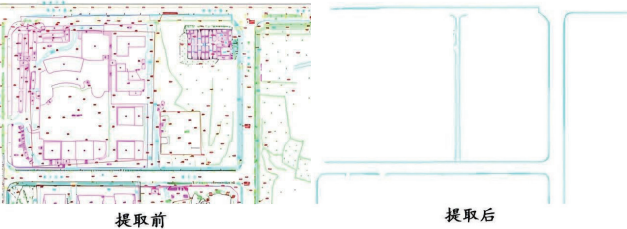


图4 存量地形图数据提取

3.4 多手段补充测量

针对实景三维模型存在遮挡、地理实体、地形图缺失或现势性不强的问题，采用背包移动扫描、手持三维激光扫描、传统测量手段、小范围无人机倾斜摄影测量等多种手段进行补充测量，经过数据采集、数据处理、数据融合后，基于特征点、点云或倾斜摄影，在 EPS 高精度地图模块进行高精度地图加工生产。移动背包补充测量获取的点云成果如图 5 所示。



图5 移动背包补充测量点云成果

4 试验验证与效果评估

在城市某道路进行高精度地图生产试验。

4.1 试验验证

4.1.1 存量数据转化

试验采用的多种存量数据格式、坐标系、高程基准、生产时间均不相同，采集指标不统一导致同一要素的不同部分无法合理相融，要素几何特征与要素属性不能满足高精度地图数据规范要求，同一类型的要素编码不一致，不能直接用于高精度地图生产。因此，在高精度地图生产前，需对不同的存量数据进行格式转换、坐标转换、属性统一等操作，使其满足数据生产需求。

4.1.2 移动补充测量

试验采用背包式移动三维激光扫描仪在行道树茂密地方开展移动测量，采集道路特征点云数据。扫描作业流程包括现场踏勘及路径规划、建立测量控制网、初始化仪器，按规划路径采集数据、利用软件进行数据处理、基于点云成果完成绘图等。

试验依托 EPS 测图软件的高精度地图模块，在三维测图模式下，对无法自动识别的道路专题要素进行人工提取。制图内容主要包括道路 / 车道节点生成，道路 / 车端连接关系生成、交通标线绘制、道路附属设施绘制等。

4.1.3 道路属性录入

高精度道路地图包含丰富的道路要素属性信息，包括车道线位置、车道线类型、宽度、材质等，可利用 EPS 测图软件同步打开点云与全景窗口，借助联动窗口同步完成要素空间定位、类型判别、属性录入，由软件自动批量赋值道路地理实体空间身份编码。录入完成后对数据合规性及空间逻辑一致性等属性进行检查修改，确保数据完整准确。高精度地图属性录入如图 6 所示。

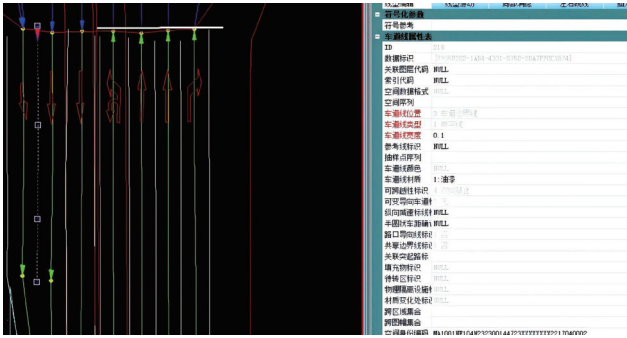


图6 高精度地图属性录入

4.1.4 编辑成图

在完成全部高精度道路地图要素采集及属性录入后，开展要素符号化和图面整饰等一系列编辑处理，经质量检查合格后，即完成高精度道路地图制作。高精度道路地图成果如图 7 所示。

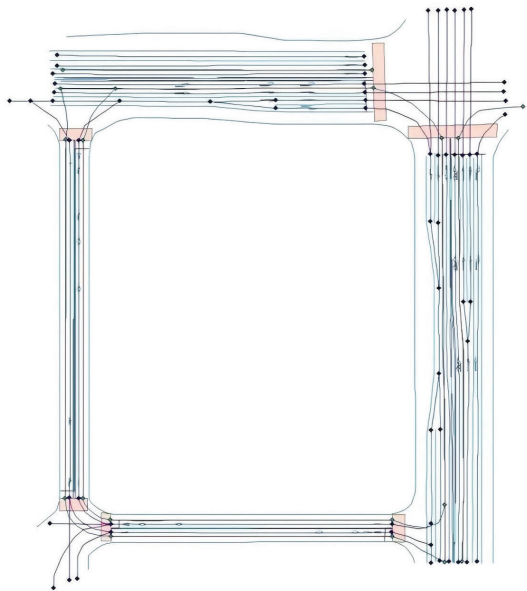


图7 高精度地图成果数据

4.2 精度评定

精度评定采用网络 RTK 测量技术对矢量化高精度道路地图成果进行检测，主要对道路的明显特征点进行检验，如指示箭头顶点、道路折点、斑马线拐点、停止线角点等，检核其平面及高程坐标。实测数据与高精度道路地图矢量数据点位的平面中误差为 0.034m，高程中误差为 0.030m。根据驾驶相关场景和评价标准，研究方法建立的高精度道路地图满足高精度地图静态数据 L3 级别的测量精度要求。平面坐标与高程检查结果分别如表 2 和表 3 所示。

表2 平面坐标检查

序号	图上X 坐标/m	图上Y 坐标/m	检测X 坐标/m	检测Y 坐标/m	较差/m	备注
1	****704.149	***105.008	****704.147	***105.045	0.037	
2	****436.696	***109.794	****436.683	***109.772	0.025	
3	****392.939	***085.132	****392.948	***085.116	0.018	
4	****398.190	***015.954	****398.151	***015.936	0.043	
5	****412.608	***885.924	****412.605	***885.880	0.044	
6	****411.529	***788.582	****411.551	***788.579	0.022	
7	****421.872	***650.142	****421.862	***650.150	0.013	
8	****500.084	***588.375	****500.034	***588.352	0.055	
9	****695.076	***606.754	****695.073	***606.751	0.005	
10	****010.844	***609.790	****010.851	***609.710	0.080	
算术 平均 值					0.034	

表3 高程检查

序号	图上高程/m	检测高程/m	较差/m	备注
1	**109	**096	-0.013	
2	**266	**305	0.039	
3	**456	**410	-0.046	
4	**041	**030	-0.011	
5	**349	**302	-0.047	
6	**790	**772	-0.018	
7	**218	**182	-0.036	
8	**066	**017	-0.049	
9	**107	**104	-0.003	
10	**391	**357	-0.034	
算术平均值			0.030	

5 结论与展望

研究分析了当前高精度地图生产的背景与不足，探讨了单一测量手段生产高精度地图的优势和缺陷，提出充分利用已有新型基础测绘成果，融合多种测量技术手段开展城市级高精度静态地图生产，经试验验证，其成果精度满足 L3 自动驾驶要求，能快速提升高精度地图生产效率，节约生产成本。随着“车路云一体化”“四横八纵”应用的逐渐落地，高精度地图作为必不可少的基础设施，未来将在智慧城市、智慧物流、自动驾驶等领域发挥越来越大的作用。

随着“空天地车”一体化测绘体系的不断发展，未来将进一步研究新型传感器深度耦合算法，建立全生命周期质量管控体系的技术路线，进一步提高高精度地图生产及更新效率，以满足高精度地图日益增长的需求。

参考文献

[1] 王越,何伟,周琳,等.基于车载LiDAR数据的高精道路地图制作[J].地理空间信息,2022,20(6):92-95.

[2] 周知红.面向无人驾驶的车道级道路电子地图制作[J].测绘与空间地理信息,2018,41(2):164-166,170.

[3] 黎枪,刘飞.面向自动驾驶的车道级道路电子地图制作[J].科技创新与应用,2024,14(34):48-51.

[4] 李春辉,赵越,黄刚.融合多源数据的高精度道路地图的构建[J].科技资讯,2024,22(2):44-46.

[5] 陈玉雨,杨洲,胡坚,等.基于语义分割的高精度地图自动生成方法[J].自动化应用,2024,65(16):241-244,251.

[6] 胡敏,钟炜,毛炜青,等.基于深度学习的超大城市高精度地图关键要素自动提取[J].测绘通报,2024(S1):266-270.

[7] 刘森,李亮,丁克良,等.道路高精度导航电子地图精度验证方法[J].测绘通报,2025(8):169-173.

宠辱不惊

◎ 陈鲁民

据《旧唐书·卢承庆传》记载，卢承庆曾负责考核百官政绩。有一位漕运官员，因途中突遇大风，运粮船只、粮食受损。卢承庆起初给他评语：“运粮失米，考中下”。官员听完，神色平静，不作辩解，坦然退下。后来卢承庆转念一想，大风属于天灾，非人力可控，又修改评语：“非人力所及，考中中”。这名官员得知评级上调，依旧面无喜色，没有丝毫得意。卢承庆见此得失不动心，十分赞叹，最终定评：“宠辱不惊，考中上”。这便是“宠辱不惊”四字的最早成文使用之处。

但影响最大的还是明代学者洪应明《菜根谭》里的两句话：“宠辱不惊，闲看庭前花开花落；去留无意，漫随天外云卷云舒。”意即一个人受宠受辱都淡然淡定，安然看待庭院花开又花落；成败得失毫不在意，随心远望天上云朵聚散沉浮，成了修身养心的千古名句。

“宠辱不惊”，指无论受宠还是受辱，内心都不因外界评价而动荡，是一种人格的定力与认知的清醒。大画家齐白石就是个宠辱不惊的典范，他有个座右铭：“人誉之一笑，人骂之一笑。”换言之就是人宠之一笑，人辱之一笑。因为他知道学无止境，天外有天。人家尊自己是大师，自己却万万不能以

大师自居。如果哪天骄傲自满了，就离淘汰出局不远了。所以，每听到过誉之赞、溢美之词，他就会对之以“哈哈”。另一方面，他知道众口难调，各人欣赏眼光不同，见仁见智，还有人心存偏见或嫉贤妒能。所以，不必太在意外界的骂声、嘘声、鼓倒掌声，这个耳朵进那个耳朵出就是了。为此，听到骂声、攻讦、偏见、污蔑声时，他也一律对之以“哈哈”，并不动气。

“宠辱不惊”还表明看淡得失，看轻身外之物，心态豁达，不为名利大喜大悲。1960年的一天，马寅初因《新人口论》遭批斗几个月后，被免去北大校长的职务。儿子回家告诉他时，他只是漫不经心地“噢”了一声，便不再言语，仿佛是一件不值一提的小事，继续看书，神态自若。1979年9月14日，北大隆重召开大会，给马寅初平反、恢复名誉，并给予他高度评价。当儿子回来告诉他这一喜讯时，他心不在焉地“噢”了一声，不置一词，照旧闭目养神，心如止水，好像这事与他没什么关系。（《零度生存境界》103页）

宠辱不惊的反义词是“宠辱若惊”，出自老子的《道德经》。说的是有些人浅薄庸俗得很，得到恩宠会惶恐不安，沾沾自喜，失去恩宠又惊惧忧愁，坐卧不宁。譬如有

的演艺明星，走红时眼高于顶，颐指气使，到处耍大牌，助理保镖一大群，不知自己有几斤几两；过气时则自怨自艾，牢骚满腹，怨导演有眼无珠，恨粉丝势利无情。就像老演员陈道明讽刺的那样：没出名时谁也不知道他，出了名就不知道自己姓什么。

人生在世，起落浮沉皆是常态。不少人困于荣辱得失，受到赞誉便洋洋自得，遇到贬损便郁郁寡欢，被外界评价左右情绪、束缚脚步。他们不明白这样一个道理，掌声与嘘声、高潮与低谷，都是人生路上的寻常风景，短暂且虚幻。若将荣辱看得太重，得意时容易骄矜自满、迷失方向，失意时容易自我否定、一蹶不振，最终在患得患失中耗尽心力，弄丢了初心与平和。

“人事有代谢，往来成古今。”百年沉浮，转瞬即逝。人生所有的荣光与羞辱，终会成为过往。真正的通透睿智，从来不会寄希望于一帆风顺，一路凯歌，而是无论顺境逆境，皆能心怀坦然、从容自若，不困于得失，不惑于荣辱，得意淡然，失意泰然，静观花开花落，笑对云卷云舒，在纷繁世事中守住本心，从容奔赴属于自己的星辰大海。☑（作者系中国人民解放军网络空间部队信息工程大学原教授、中国作家协会会员）

孩子们的夏夜

◎ 张延伟

小时候，夏天的夜晚属于天真烂漫的孩子们。

那时候，村中的小河水流潺潺，房前屋后、村里村外的地面都是原始的模样，风里似乎总带着凉意，一把蒲扇就是最好的纳凉工具。天一擦黑儿，孩子们就匆匆撂下饭碗，不约而同地走出自家小院儿，蹿到大街上找伙伴们玩去了。

村南头那棵高大的皂角树下支着一个硕大的石磨盘，这里是老人们乘凉唠嗑的好去处，孩子们也常常如影随形，围坐在一起听“瞎话儿”。“二小砍柴”“王华买爹”“嫦娥奔月”“仙女下凡”和“鲤鱼成精”“狐仙报恩”等传说故事，都在爷爷奶奶们的口中娓娓道来。

我们最喜欢听书治大爷讲的刘关张“桃园三结义”、水泊梁山“一百单八将”、杨家将“精忠报国”等演义故事。书治大爷年轻时走南闯北靠“说书”糊口，一张嘴就滔滔不绝，可是每当说到精彩处，书治大爷却猛地把手中的蒲扇往磨盘上一拍：“要知后事如何，且听下回分解！”意犹未尽的我们只好恋恋不舍地散去。

更多时候，我们找块儿开阔的空地玩“星星过影儿”游戏。皎洁的月光下，十几个孩子一组，其中一个孩子捂着另一个孩子的眼睛，其他孩子依次做出各种动作或搞怪表情从他面前走过，捂眼的孩子大声叫着：“指星星的过去



了！”“玩花样儿的过去了！”“打马车轱辘的过去了！”等松开双手，当“眼儿”的孩子一边说着：“我要指星星的！”或“我要擤鼻子的！”一边察言观色地猜测谁做过这个动作，被猜中的孩子就得替他当“眼儿”。

每个孩子都当过“眼儿”了，我们便接着玩“猫钻十二洞”。一个孩子扮“猫”，一个孩子当“老鼠”，其余孩子手拉手扯成一个圆圈，手臂下的空隙代表“老鼠洞”。洞内的老鼠瞅准时机出来觅食，在每个洞口快速地穿梭进出，被猫捉住算输。若是老鼠把洞钻遍仍没被捉住，甚至把猫扯进洞里，则算猫输。随着更多孩子加入，就另外增加一只猫和老鼠，玩起来更加刺激有趣，往往会有老鼠和老鼠碰头、猫和猫相撞甚至猫鼠混淆的情况发生，欢声笑语不绝于耳，大家胳膊举得酸痛仍乐此不疲。

凉风习习的夜晚，“咕呱咕呱”的蛙鸣声此起彼伏，我们会三五结伴到河滩上捉螃蟹。大大小小的螃蟹从泥洞里钻出来，三三两两地爬到岸上呼吸新鲜空气，在手电筒光的照射下，它们举着螯钳、一副张

牙舞爪的样子。孩子们眼疾手快地捏住它的硬壳，“啪”地扔进随身携带的小铁桶里，半晌功夫就能捡几十个乃至上百个。次日，我们把揭了硬壳的螃蟹拌上面糊儿，放在锅里煎焙得焦黄酥脆，作为全家人的美食。

有时候，我会跟父亲一起提着“鳖灯（一种黑瓷煤油灯具，长头秃尾，中间扁圆，形似老鳖）”到野外捉蝎子。蝎子趁夜晚出来觅食，趴在土崖上或只在石缝间露出头儿。父亲眼光犀利，趁蝎子还没反应过来的当儿迅即出手，用自制的竹篾镊子把它们夹住，我则赶紧把手中的敞口塑料袋递过去接着。偶尔会有黄鼠狼或野兔从脚边快速蹿过，钻进齐腰深的玉米地；头顶不时有猫头鹰飞过，发出瘆人的鸣叫；有时还会遇到花蛇趴在地堰边吐着长长的“信子”……然而，一想到能用捉来的蝎子卖钱去买自己喜欢的文具，心中的恐惧也就消失得无影无踪……

彼时，夏天的夜晚就像一幅任由孩子们肆意绘就的多彩画卷，是那样的无拘无束、欢畅淋漓。现在，即便是乡村里的孩子也很少能听到蛙鸣了，他们待在舒适的空调房里，电脑、电视、智能手机等电子产品或各色玩具陪伴左右。他们哪里知道，只要推开了门，那简单的夏夜便有着无穷的快乐！（作者单位：禹州市自然资源和规划局）

第八届“河南自然资源好故事”测绘赛区 选拔赛圆满闭幕



本刊讯 7月23日，河南省测绘地理信息技术中心成功举办第八届“河南自然资源好故事”演讲比赛测绘赛区选拔赛。比赛邀请河南省直文明办、省广播电视台、省自然资源厅机关党委、《资源导刊》杂志社等单位领导、专家现场指导评审。

比赛现场气氛热烈、掌声不断。参赛选手立足岗位实际，聚焦实景三维研发、遥感智能解译、北斗设备升级、援疆测绘保障、土地权属核查、长江堤防精密测量、航摄应急保障等重点攻坚任务，生动讲述身边人履职尽责、攻坚奉献的真实事迹。有人回望三代测绘人从驻马店简陋瓦房到现代化创新基地的迁徙征程，重温周恩来总理授予锦旗的红色初心；有人细数技术骨干通宵奋斗、自主研发数据转换程序、搭建全省“天眼”监测系统的攻坚昼夜；有人追忆外业队员零下八度踏遍豫西深山、戈壁援疆啃饕作业的辛苦坚守；有人分享内业人员紧盯屏幕、逐像素校准图斑，

厘清土地糊涂账、守护群众土地权益的细致担当；还有青年技术人员讲述从零突破遥感AI本土模型、自主研发三维平台、打破技术垄断的创新历程。

此次参赛作品以小切口折射时代大主题，用身边微故事诠释测绘人大担当，娓娓道来老一辈踏山涉水、以纸笔绘山河的艰苦奋斗历程，以及新时代依托卫星、北斗、大数据赋能发展的创新实践，生动勾勒出测绘人守护耕地红线、护航生态安全、支撑城乡发展、保障民生需求的奋斗群像，真挚动人的讲述直击人心，引发全场强烈共鸣。

经过激烈角逐，此次选拔赛共评选出一等奖2名、二等奖3名、三等奖6名、优秀奖6名，河南省地图院获评优秀组织奖。按照赛事安排，优秀获奖选手将代表省测绘地理信息技术中心晋级省自然资源厅赛区预赛，继续展现河南测绘人团结拼搏、奋勇争先的良好精神风貌。☑（张学超 / 文 陈庆贺 / 图）



2026测绘法宣传日暨
国家版图意识宣传周

测神州经纬 绘祖国蓝图 精准丈量祖国山川大地

