

遥感大数据在公路交通领域中的应用与实践

袁胜古¹, 罗伦¹, 郭榕刚², 毛恒彬³, 王芳², 蔡红玥², 肖和平³

1. 中国交通通信信息中心, 北京 100011;
2. 国交空间信息技术(北京)有限公司, 北京 100011;
3. 湖南省交通运输厅科技信息中心, 湖南 长沙 410004

摘要

遥感大数据对交通行业产生了深远的影响,并在交通规划、建设、管理、养护等方面起到了积极的推动作用。首先介绍了交通遥感大数据的内涵及特征,并概述了遥感大数据在公路交通领域的应用现状;然后结合近几年交通运输业务部门基于遥感大数据开展的相关工作,重点阐述了遥感大数据在公路灾毁智能提取分析、公路建设与规划分析、公路智慧养护3个方向的典型应用;最后对交通遥感大数据的发展趋势和前景做出展望。

关键词

遥感大数据; 交通; 公路灾害; 公路建设规划; 公路养护

中图分类号: TP79

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2022011

Applications of remote sensing big data in highway transportation

YUAN Shenggu¹, LUO Lun¹, GUO Ronggang², MAO Hengbin³,
WANG Fang², CAI Hongyue², XIAO Heping³

1. China Transport Telecommunications & Information Center, Beijing 100011, China

2. Guojiao Spatial Information Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100011, China

3. Science and Technology Information Center, Department of Transportation of Hunan Province, Changsha 410004, China

Abstract

The rise of remote sensing big data applications had a profound impact on the transportation industry, and has played an active role in transportation planning, construction, management and maintenance and other aspects. Firstly, the connotation and characteristics of traffic remote sensing big data were introduced, and the application status of remote sensing big data was summarized in the field of highway traffic and transportation. Secondly, combined with the relevant work carried out by transportation departments based on remote sensing big data in recent years, the typical applications of remote sensing big data in intelligent extraction and analysis of traffic highway damage, highway construction and planning analysis, and intelligent maintenance of highway were mainly introduced. Finally, the development trend and future prospects of traffic remote sensing big data were prospected.

Key words

remote sensing big data, transportation, highway damage, highway construction planning, highway maintenance

0 引言

随着对地观测技术的不断进步,遥感数据空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率以及辐射分辨率不断提高,从多源立体观测平台获取的遥感数据量急剧增加,直接触发了遥感数据的多源化和海量化,遥感信息提取技术的智能化水平和精准度也逐渐提升,遥感数据进入了大数据时代^[1-2]。目前,遥感大数据在环境、水利、城乡规划、海洋等行业的产业化应用已经日趋成熟^[3-7]。

交通运输业是国民经济重要的基础结构之一,是国民经济发展的基本和先决条件,对整个社会经济发展效率起着至关重要的作用。遥感技术在数据分辨率、数据量、数据获取效率等方面较传统方法具有明显优势,已经在公路、铁路、水运、航运、管道等交通业务领域得到了不同程度的应用,有效地解决了传统交通行业建设、管理、养护过程中存在的信息采集覆盖面窄、效率低、成本高、数据更新缓慢、数据资源共享程度低等问题^[8-10]。伴随着遥感技术在交通运输领域应用的不断深入,交通遥感大数据也逐渐成为交通运输行业的重要发展方向,为“交通强国”建设提供了重要的数据支撑。

1 交通遥感大数据概述及应用现状

1.1 交通遥感大数据的内涵

交通遥感是指使用可见光、热红外

和微波等多源遥感数据,通过目视判读、计算机自动提取和反演等多种分析手段,进行交通线路和交通基础设施的提取与变化检测,对交通沿线的地形、环境、灾害信息进行动态监测,并与地理信息系统(geographic information system, GIS)和导航技术相结合,为交通规划、建设、养护、管理等业务提供信息化技术支持的学科^[11]。遥感技术的应用贯穿交通勘察规划、建设施工、设施养护和运营管理的各个阶段,每个阶段都涉及与其他学科的交叉融合,这体现了交通遥感的综合性特点。而且公路、铁路、水运、航空、管道等不同的交通业务领域又有各自的特点,这就使得交通遥感的分析和应用更具复杂性^[10]。相比传统数据,遥感大数据应用于交通领域能反映交通领域相关要素的数量及空间结构,具有客观性、连续性、时效性、精确性、全样本和动态性等优势,能更加凸显其时空动态特征。遥感大数据以更高的时间分辨率和空间分辨率,为人们定量、客观、便捷地理解交通及其行为提供了新的手段。

交通遥感大数据主要包括交通遥感影像产品、交通遥感监测业务产品、交通业务现场观测与测量数据、基础背景数据四大类数据及产品(见表1)。交通遥感影像产品主要包括卫星、机载、地基等遥感影像数据等,为交通相关应用提供基本的遥感影像底图;交通遥感监测业务产品主要包括交通基础信息遥感监测产品、交通环境信息监测产品、交通灾害信息监测产品等,为交通专题应用提供专题地图产品;交通业务现场观测与测量数据主要包括交通终端设备传感器采集数据、地面调查数据、训练样本数据、解译规则集数据等,为

交通相关应用提供现场数据及样本数据；基础背景数据主要包括基础地理数据、气象水文数据、土地利用数据、地质地貌数据等，为交通相关应用提供基本信息底图。

1.2 交通遥感大数据的特征

交通遥感大数据在具备遥感大数据特征^[12]的同时，还具有一定的特殊性。

- **客观性。**交通遥感大数据的获取不受人为因素的干扰，可以对交通设施、交通工具的空间分布和运营状态、路域和航道周围环境以及交通事件的发展过程进行客观的评价。交通遥感大数据的客观性对于交通路网现状统计评估、交通行业监管等具有重要意义。

- **多源性。**不同交通业务对遥感数据的需求不同，交通遥感是对大气环境、地表信息及地下管道等多个层次的立体观测。交通遥感大数据的获取平台包括航天、航空、地基等类型，传感器波段涉及可见光、红外、微波。交通遥感大数据还包括物探、测绘等实测数据，以及手持终端设备采集的交通业务统计上报数据，具备典型的多源性特征。

- **现势性。**随着全球对地观测体系和地面交通传感网络建设的不断完善，交通遥感大数据获取和传输的准实时性大幅提升，在交通灾害事故应急搜救中，可以及时获取目标对象的最新数据和事故的周边态势，制定合理有效的救援方案。

- **海量性。**交通系统是一个复杂的系统，涉及人、车、路、环境等各种信息，其

数据量大、包含的信息多，具有海量数据特征^[11]。受观测对象的限制，相对于其他行业，交通行业对高空间分辨率遥感影像的需求更为迫切，如农村公路属性信息提取、车辆和船舶等交通工具类型识别、道路破损状况监测等都离不开高分遥感数据的支撑。同时，随着遥感技术在交通运输行业应用的逐渐深入，遥感技术对交通信息提取和分析的全面性、时效性和精准性要求也逐步提升。这些因素决定了交通遥感必将面临海量大数据信息存储、处理和分析的挑战。

1.3 公路交通领域遥感大数据应用现状

在公路交通领域，公路勘察、路网分布调查、公路灾害监测与道路灾毁评估是较早引入遥感大数据分析技术的业务方向，也是目前交通遥感较为典型的几个应用方向。同时，随着遥感影像空间分辨率的不断提高，基于遥感大数据的公路建设监管和公路智慧养护也逐渐成为技术研究和业务应用的热点。

1.3.1 国内公路交通遥感大数据应用现状

遥感技术在我国公路勘察中的应用起步较早，遥感大数据在我国高寒高海拔地区、西部复杂山区和东部丘陵区重要公路的勘察及选线工作中发挥了不可替代的作用^[13-16]。2005年我国推出了由中交第二公路勘察设计研究院编制的行业标准《公路

表1 交通遥感数据的分类与内容

数据类别	内容
交通遥感影像产品	卫星遥感影像数据、机载遥感影像数据、地基遥感影像数据、影像预处理产品及控制影像产品等
交通遥感监测业务产品	交通基础信息遥感监测产品、交通环境信息监测产品、交通灾害信息监测产品等
交通业务现场观测与测量数据	交通终端设备传感器采集数据、地面调查数据、训练样本数据、解译规则集数据等
基础背景数据	基础地理数据、气象水文数据、土地利用数据、地质地貌数据等

工程地质遥感勘察规范》(JTG/T C21-01—2005)^[17],明确了包含航空、航天遥感资料及其他资料的遥感大数据信息在路线方案的勘察设计、重大工程选址中的重要作用。

遥感大数据分析为路网监测提供了全新的技术方法,实现了大面积路网的道路轨迹分布、路面宽度和路面材质的快速和客观统计,改变了传统交通运输行业路网信息人工调查和统计的工作模式。国内外学者很早便开始了基于卫星遥感影像的道路属性信息提取研究^[18-20],为遥感技术在交通路网调查与核查业务中的推广应用提供了基础。2015年,湖南省交通运输厅联合中国交通通信信息中心在全国率先引入了高分遥感技术,运用高分遥感路网提取技术和大数据分析手段,对全省19万千米的农村公路进行了“放大镜”式的全覆盖检测,并建成了遥感农村公路数据库和综合管理系统,实现了对全省农村公路全面、精准的管理^[21]。截至2021年年底,遥感路网核查技术已经在湖南省、贵州省、四川省、陕西省、广东省、云南省、安徽省、江西省、广西壮族自治区等多个省份得到了推广应用。

20多年来,在应对特大水灾、雪灾冻害、地震、滑坡等自然灾害的过程中,卫星、航空、无人机等高分辨率遥感技术在道路灾毁评估中发挥了巨大的作用,遥感技术已成为当前灾害调查和灾害风险评估不可或缺的重要技术。2008年汶川地震发生后,相关单位和广大的科研工作者利用航空、航天遥感影像数据开展了四川省道路工程沿线地质灾害的调查工作,调查了都汶高速公路地震次生山地灾害的类型、灾害特征、分布区域及分布规律,为后期次生灾害的防治提供了很好的依据^[22]。另外,在玉树地震、舟曲泥石流、九寨沟地震以及长江流域洪水特大自然灾害的应急救援和公路灾毁评估工作中,通过遥感大数据分析技术

及时获取滑坡区域面积和灾毁道路长度等重要信息,为交通部门抢险救灾和灾后恢复重建提供了数据支撑。

遥感大数据在公路建设监管和道路养护方向的应用是交通遥感的新热点。早期主要使用中低分辨率遥感卫星数据,对高速公路建设项目施工前、施工期、竣工后的建设项目临时占地和恢复状况进行监测和分析^[23]。目前,随着国内外亚米级卫星及无人机影像获取技术的推广应用,施工现场的细节信息提取已经得到了较好的解决,遥感大数据被逐步引入大型交通工程建设进度监管业务中。我国目前已由大规模交通基础设施建设阶段过渡到了养护管理阶段,对智慧化养护的需求越来越迫切,遥感大数据分析技术在公路养护业务中的应用具有非常重要的意义。高光谱遥感卫星影像空间分辨率的提升、航空无人机和地面遥感检测设备的辅助使用,以及道路健康状况遥感检测光谱特征和理论模型研究^[24]的不断深入,为遥感大数据在道路养护业务中的应用和推广打下了基础。

1.3.2 国外公路交通遥感大数据应用现状

发达国家(如美国、德国、加拿大、英国、日本、澳大利亚等国)从20世纪80年代开始大力推广遥感与空间信息技术在交通领域的应用。随着国外遥感卫星产业的快速发展,光学、高光谱、雷达、激光测高、重力等多类型卫星遥感体系已形成,遥感技术在交通运输行业的应用深度和广度也得到了极大的提高。例如,美国交通部提出了“商业遥感与空间信息计划”(Commercial Remote Sensing & Spatial Information Technologies Program),该计划包括运输统计局、智能交通系统联合计划办公室、研究发展和技术办公室、导航定位授时与频谱管理中心、

交通安全研究所、沃尔普国家运输系统中心6个机构。目前,高分卫星、无人机、三维激光扫描(light detection and ranging, LiDAR)、地基雷达、探地雷达等多源遥感数据已在美国等发达国家的交通设施建设、管理、养护、环境评估以及公路自然灾害风险评估与应急救援等领域得到了很好的应用与推广。

阿肯色大学的Coffman R A等人^[25]在麦克-布莱克威尔乡村运输中心项目中,利用激光雷达三维建模和地基合成孔径雷达干涉测量(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术,对公路建设黏土材料进行持续观测,详细分析了黏土材料的收缩膨胀特征。美国北达科他州立大学的 Bridgelall R等人^[26]利用搭载在无人机上的高光谱成像仪,开展了涵盖道路拥堵预测、铁路运行状况监测和管道风险管理的交通系统多式联运遥感研究,为交通模型参数的获取与定期更新提供了一种低成本的技术手段,体现了遥感技术在交通多式联运分析与安全管理应用中的巨大潜力。密歇根理工大学的Wolf R E等人^[27]利用InSAR、LiDAR和三维摄影测量等遥感技术,针对密歇根州底特律M-10高速公路、内华达州铁路走廊、阿拉斯加管道走廊和实验室缩放模型等几个研究场景,开展交通设施沿线岩土资产监测,为交通部门的岩土资产管理决策提供技术支持。遥感技术在国外公路、桥梁、边坡养护中也发挥了积极的作用。美国交通部联邦公路管理局使用LiDAR数据、图像处理算法和GPS/GIS技术,长期监测路面裂缝和破损状况,包括沥青路面裂缝自动分类验证、混凝土道路检测、移动激光雷达路面标记反射率状况评估等^[28];多种传感设备和遥感分析技术的使用为桥梁养护提供了更好的安全保障,密歇根州运输部汽车研究中心联合密歇根理工大学,综

合使用三维全景摄影测量、热红外成像、LiDAR、数字图像相关法(digital image correlation, DIC)、探地雷达、合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)、无人机与卫星多光谱影像等遥感数据,对桥梁变形、桥面铺装裂缝、坑洞、龟裂等桥梁病害进行了全面的检测,证明了遥感技术在桥梁养护中的应用价值^[29];俄勒冈州交通部研究中心和俄勒冈州交通研究与教育协会(OTREC)的工作人员利用地面和机载的三维激光扫描设备对俄勒冈州的101号高速公路和美国20先锋-埃迪维尔高速公路沿线进行边坡的持续监测,并构建了同步变化检测模型,实现了道路沿线灾害隐患点的快速高效排查,为交通设施养护和区域未来工矿业的发展提供了安全保障^[30]。交通设施沿线的环境监测与评估是遥感技术应用的重要领域之一,遥感技术已成为各个国家开展公路沿线植被覆盖、径流分布、水土流失监测以及交通环境评估业务的重要手段^[31-32]。遥感数据也是全球范围内地震、海啸、飓风、台风等重大自然灾害以及公路沿线局部范围内滑坡、泥石流、崩塌等次生地质灾害损毁信息获取的重要数据源,美国、德国、加拿大、日本、韩国等国家的陆地、海洋、气象系列卫星都在本国交通灾害损毁评估和应急救援工作中发挥了不可替代的作用。

从国内外交通运输行业遥感大数据的应用情况来看,美国、德国、加拿大等发达国家的遥感发展起步较早,其在遥感卫星商业化发展、高分遥感应急数据获取、遥感精细化分析、行业应用业务化程度等方面具有更大的优势。目前,发达国家高分遥感卫星数据、无人机和地面遥感设备在交通建设、管理、养护等领域的应用也更加广泛和深入。

本文结合近几年中国交通通信信息中心在交通遥感领域开展的相关工作,重点

介绍遥感大数据在交通公路灾毁智能提取分析、公路建设与规划分析、空天大数据公路智慧养护3个方向的典型应用。

2 遥感大数据在公路交通中的典型应用

公路及其附属设施在遥感数据中表现为长条形网状结构, 并因建设材质、标准和时间的不同, 体现为不同的光谱特征和纹理特征。形状方面, 平原地区的公路偏平直, 山区地区的公路多弯曲迂回。同时, 公路覆盖平原、丘陵、山地等不同地区, 且容易被建筑物、行道树等地物遮挡, 体现出多样性的特征。公路在遥感数据中的多样性客观地增加了遥感大数据在公路交通中的应用难。为了扩展遥感大数据在公路交通中的应用, 需要重点关注以下两个方面。

- 数据方面。因交通业务关系人民安全及经济发展, 故对业务数据的准确度及精细化程度要求高, 需采用亚米级高分辨率遥感卫星或无人机影像。为了提高道路属性信息(如路面类型、老化程度等)分析的准确度, 需采用多光谱/高光谱影像数据源。

- 算法方面。遥感影像中的公路特征多样、场景复杂, 对影像去噪、增强、提取等技术有较高要求, 如今遥感数据深度学习及大数据融合分析已经在公路交通领域发挥了作用, 但是, 遥感数据存储、分析速度较慢, 需构建良好的大数据平台, 以提升遥感大数据的处理效率。

近几年, 交通运输部相关部门结合具体交通业务需求, 陆续开展了基于遥感大数据与多源时空大数据的行业应用, 对提高工作效率、提升政务决策能力水平起到了重要作用。

2.1 遥感大数据公路灾毁智能提取分析

交通运输部门和各级公路管养部门高

度重视自然灾害对公路的影响, 摸清公路灾毁状况对开展灾害抢通保通、灾后重建以及公路养护具有重要的支撑作用。近几年交通部门已开展“全国公路灾害监测与评估系统”的构建, 逐步形成“部-省-市-县”4级采集审核报送的业务模式。基于人工智能和空天大数据分析技术, 系统实现了大范围公路灾毁信息的普查与数据获取、海量灾毁采集信息的层级报送与智能审核、干线公路灾毁损失评估、灾毁大数据的信息挖掘、公路灾毁的事前预警防范、突发重大灾害的救援决策等功能, 对加强公路灾毁的事前预警防范以及建立灾害信息化长效监测机制起到了关键的作用。

(1) 实现大范围公路灾害普查效率的大幅提升

公路自然灾害覆盖范围广、突发性强, 传统手段无法短时间内完成大范围的公路灾害信息获取。系统通过集成高分辨率光学、SAR卫星遥感影像和移动终端采集数据, 融合降水、植被覆盖率、地形地貌等多源信息, 经多期影像长时序观测, 依托人工智能等技术手段, 实现了崩塌、滑坡、泥石流、沉陷等典型公路灾害的大范围监测提取与筛查, 从数据和技术角度解决公路灾害普查难题。系统汇总了不同类型灾毁的空间分布、规模、现场图像、抢修投入、灾毁损失情况等精细化信息。截至2020年年底, 系统已上线运行17个月, 共存储灾毁数据达20余万条, 全国已有31个省的上千个公路管养单位使用该系统进行了公路灾毁的采集报送和信息推送。

(2) 实现海量采集上报业务数据的层级报送与智能审核

因各地上报数据的专业性和技术水平不同, 为保证灾毁信息的准确性以及决策的科学性, 灾毁信息的上报采集采用“部-省-市-县”4级采集审核报送的工作机制。

报送机制不仅强化了审核及证明材料的规范性,做到有据可循,还综合利用了多源大数据的互补、互验特征,实现对海量上报数据的智能审核。系统通过融合遥感卫星影像、业务移动终端采集信息(如现场照片、上报文字等)、气象降水等信息,综合对比大量历史灾害点位的规模、损毁金额、抢通投入人力资金等数据,实现对地方灾毁及重建资金报送等信息的智能化、批量化审核,大幅提高了报送数据检查工作的效率与准确性。如在某处公路中断情况的审核中,系统可将现场照片内容不符、重复采集问题上报,以及灾毁发生时间与数据采集上报时间间隔过长等问题进行回退。例如2020年,系统实现对26个省份上报的33 416条公路灾毁段数据的审核,通过部级审核数据31 792条,回退数据1 624条,保证了公路灾毁数据的准确性,为道路应急救援方案的科学制定实施、灾害评估,以及灾后恢复重建的资金拨付提供了有力支撑。

(3) 实现对全国干线公路灾毁的评估,提供养护辅助决策

系统针对全国公路灾毁信息采集的干线公路灾毁信息,采用聚类分析方法,对各灾毁样本个体及造成损毁数量按其具有的特性进行分类,结合公路技术等级、公路主体损毁量、造成中断情况及抢通保通难度等因素进行定量分析,初步形成公路灾毁损失评价指标体系,并综合评价出全国干线公路灾损严重程度及分布情况。该评估结果能够为公路管养力量投入、灾毁抢修保通资金支持及灾后重建资金管理提供基础数据参考,辅助规划养护设备、人员布局,提高资金投放精度和资金使用效率。对于边远欠发达地区,可以统筹考虑地方财力、灾毁公路抢修保通、重建工程难度等多种因素,充分发挥补助资金的统筹作用和帮扶导向。

(4) 实现对灾毁大数据的信息挖掘,发掘灾毁事故缘由

通过对各地灾毁在不同等级公路的分布进行分析,能够及时发现设计、施工及养护工作的薄弱环节。如2019年和2020年两年的数据均显示,二级公路灾毁占比较大(如图1所示),与三级及以下公路灾毁情况相比,随着技术等级的提高,其抗灾能力并未明显提升。如2020年公路灾毁分级统计结果显示,灾毁里程接近及超过1 000 km的区域有华东、华中地区,其中特别严重路段分布也以华东、华中地区为主,严重路段分布以华北、西南地区为主,需重点关注。又如,经分析研究发现,高频发灾毁路段主要受地表坡度、岩性、高海拔和低区域稳定性等主导因子影响,且与急弯陡坡和临水临崖有很高的关联性(如图2所示)。

(5) 利用InSAR技术开展公路灾毁的事前预警防范

InSAR是以合成孔径雷达复数据提取的干涉相位信息为信息源获取地表形变信息的技术,可用于大范围区域灾害隐患排查和重点边坡的长时序、高频率、高精度、微形变监测,监测精度可达毫米级。为了提升基础设施多灾种和灾害链综合监测、风险早期识别和预报预警能力,系统利用InSAR技术,对频发灾毁路段建立信息化长效监测机制。例如,通过历年灾毁数据分析,四川省是公路灾毁及地质灾害非常严重的省份之一,系统专门针对重点

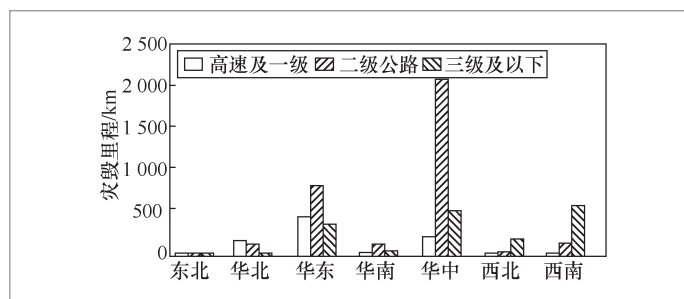


图1 2020年各地区不同技术等级公路灾毁量

路段G76雪山关隧道段开展了基于InSAR技术的公路及边坡地质灾害检测与风险评估,常用的卫星载荷有Sentinel-1系列、TerraSAR卫星等。

(6) 辅助提升灾后应急处置的能力和水平

为了进一步加强信息技术在交通运输突发应急处置工作中的应用,近几年系

统通过卫星遥感影像、无人机航拍、互联网+、大数据等新技术的高效应用,为部、省管理部门及时提供了工作实时进展、阻断点现场照片以及灾害发生前后对比影像等重要决策依据,确保了抢险救灾工作有序、有效、有力开展,实现了“看得清、听得到、调得动”等目标。例如,通过多期遥感影像的对比分析,相关部门能够从宏观层面掌握公路水毁的实际情况,准确判断水毁的类型以及严重程度,对于抢通保通以及灾后重建提供重要的技术支撑。如图3所示,通过灾前灾后遥感影像对比分析可知,在G214西宁市至澜沧公路K1905+850至1905+900路段处,发生泥石流塌方将该路段部分阻断,受损里程约为50 m,塌方量为960 m³。

遥感大数据具有客观性强、宏观性强等特征,但其自身多为平面信息的反映,不能体现灾毁的立体信息(如塌方体积等)。未来可结合更高分辨率立体测绘卫星及无人机在灾毁方面的应用,提高灾毁信息的全面性。

2.2 遥感大数据公路建设与规划分析

农村公路具有“点多、线长、面广”的特点,传统层层上报的模式中间过程误差大、核准难,容易出现漏报、错报,导致扶贫工作初期资金和项目难以精准定向。为了提高农村公路建设管理的科学性和交通运输脱贫攻坚任务的精准性,需要准确评估农村公路建设情况。卫星遥感影像具有观察范围广、信息真实等特点,适用于大面积的长时间监测,为开展农村公路精准扶贫工作提供了重要的技术支撑。

近几年,我国部分中西部市县基于高分遥感影像智能提取和高性能计算技术,通过融合“两客一危”车辆轨迹数据及业务移动端App信息,实现了道路线位、宽度^[33]、里程、路面类型^[24]等道路精细化信息的获

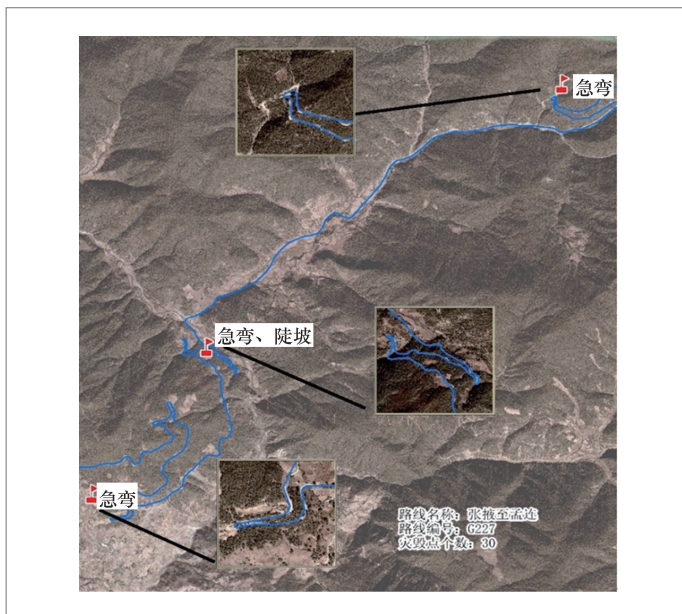


图2 木里博科乡境内灾毁路段急弯陡坡示意图

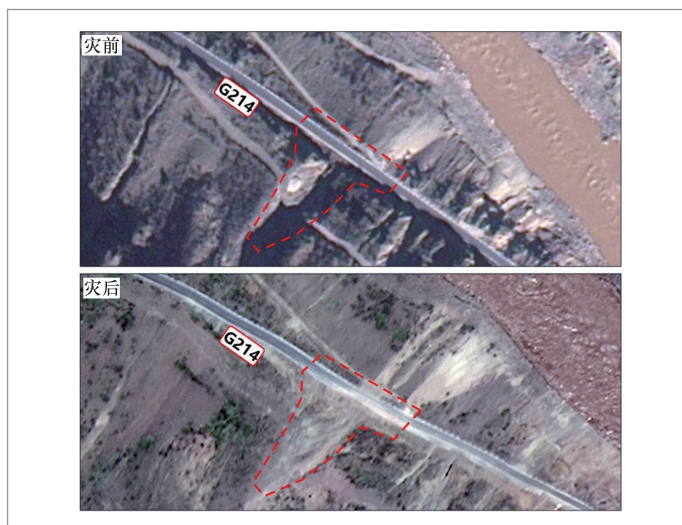


图3 G214 灾前灾后影像对比

取,以及优选通达路线的核查工作,完成了对现存农村公路和通组路基础数据的清查^[34-35],为建立农村公路大数据信息化管理数据库提供了有力支持。遥感大数据的智能提取及分析技术极大提高了农村公路底数清查的效率,与传统外业采集及内业人工作业方式相比,时间和人工成本降低1/3以上。图4所示为基于遥感影像的农村公路核查分析结果,红色为核查出的错误道路轨迹,绿色为正确轨迹,黄色为疑似错误轨迹(需人工后期确认核实)。因公路在遥感影像中特征的复杂性,目前路线线

位、宽度等信息的提取尚不能实现全自动,人工后处理的核实工作量依然比较大,需进一步提高遥感公路信息自动提取的准确度。

在公路底数清查的基础上,开展了通组路建设需求核查的大数据分析。结合遥感影像村落提取和实地调查评估人口分布情况,基于农村公路通村组规则进行了居民点的道路可达性大数据分析,实现了对各村组通达通畅状况的综合评估。该评估结果可为农村公路的规划建设审批提供科学的参考依据。村组通达性分析评估将村组户数、优选通达路线与村组距离、道路

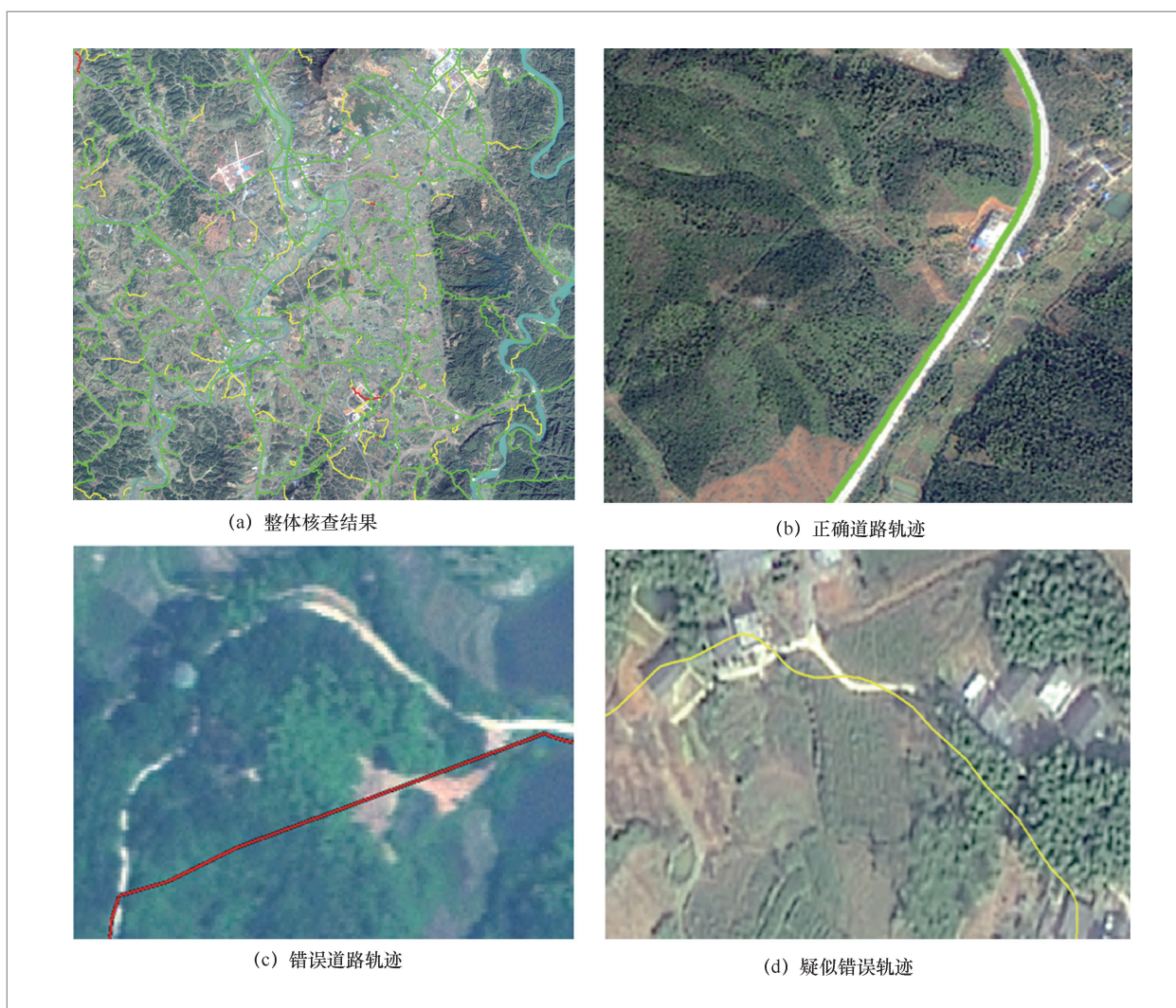


图4 农村公路清查大数据分析

路面材质、道路宽度4类因子作为评估指标建立评估体系,确定村组的通达性。图5所示为某地区通组路通达性分析结果(红色点为未通达村组,黄色点为已通达未通畅村组,绿色点为已通畅村组),公路的建设应更倾向于未通达村组,切实解决村民出行难题,完善当地的路网体系建设。

除了农村公路,遥感大数据在高速公路及普通国省干线建设项目中的计划执行监督也发挥了重要的作用。传统的交通基础设施重大工程建设监督主要依靠人工上报方式,其真实性得不到保障;即使上级单位利用实地巡视等手段复核,也无法完全涵盖整个工程情况,建设监督属于“无图无真相”。遥感影像反馈的信息客观、不受人为干预,更真实可靠。利用遥感大数据,构建交通基础设施施工状态(以公路建设为例,施工状态包含未开工、公路用地清表、路基路面成型、已完工通车等)的遥感智能识别模型及样本库,实现不同工程不同建设阶段的目标识别、建设过程的变化检测,以及工程质量评价。综合整体影像信息及实地重点区域巡查资料

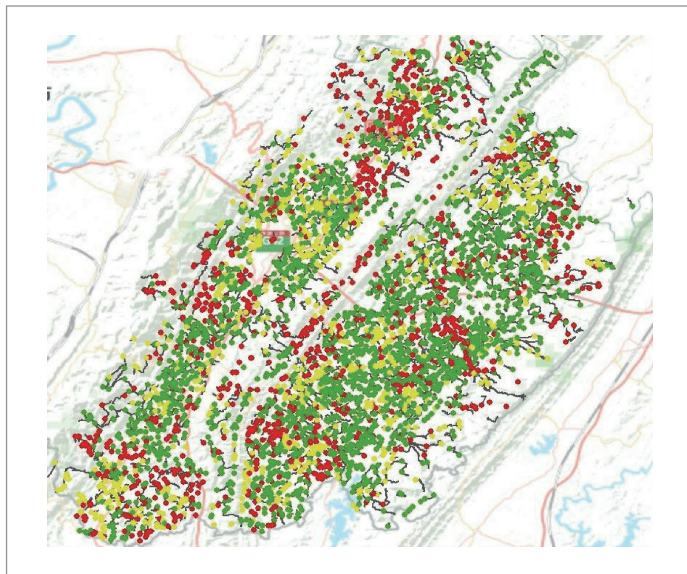


图5 村组点位可达性分析

(如照片、视频等),判断工程进度与批复计划在建设内容、建设时间等方面的符合程度,实现对工程建设进度、质量、安全和生态环境影响的监测和管理^[10]。目前,湖南省高速公路及普通国省干线建设项目以及江西省普通国省道公路建设项目已经利用高分辨率遥感影像开展项目的建设监督管理,有效保证了项目的进度和资金的落实。图6所示为京秦高速公路建设过程遥感监测细节,其过程表现了高速公路建设的公路用地清表、路基填筑成型、路面摊铺成型、已完工通车等重要进度的状态。工程进度监管对遥感影像数据有较高的空间和时间分辨率需求,目前部分区域在高分辨率遥感影像上的重访率较低,阻碍了对工程重要阶段的监测。同时,尚需提高对工程不同阶段建设情况及异常情况的自动化分析排查功能,提高遥感大数据在工程建设监管方面的推广程度。

此外,针对特殊工程(如地铁、隧道、桥梁等)结合InSAR进行持续形变监测,是保证施工安全性、避免造成安全事故的有效手段。未来,融合宏观遥感监测及微观监测(如建筑信息模型(building information modeling, BIM)、设备监测数据)的可视化大数据分析平台将成为重要交通基础设施全生命周期(设计、建造、养护、运行)健康性能监测的有效手段。

2.3 基于空天大数据的公路智慧养护

现阶段公路养护主要依靠人工巡查以及路检的方式,很难提升公路养护管理的效果。为了深化农村公路管理养护体制改革,针对我国农村公路规模大、分布散等特点,交通运输部门正在利用遥感大数据开展公路重点养护筛查试点工作。利用卫星遥感光谱及AI分析技术,精准提取农村公路存在健康状况信息,监测发现农村公路

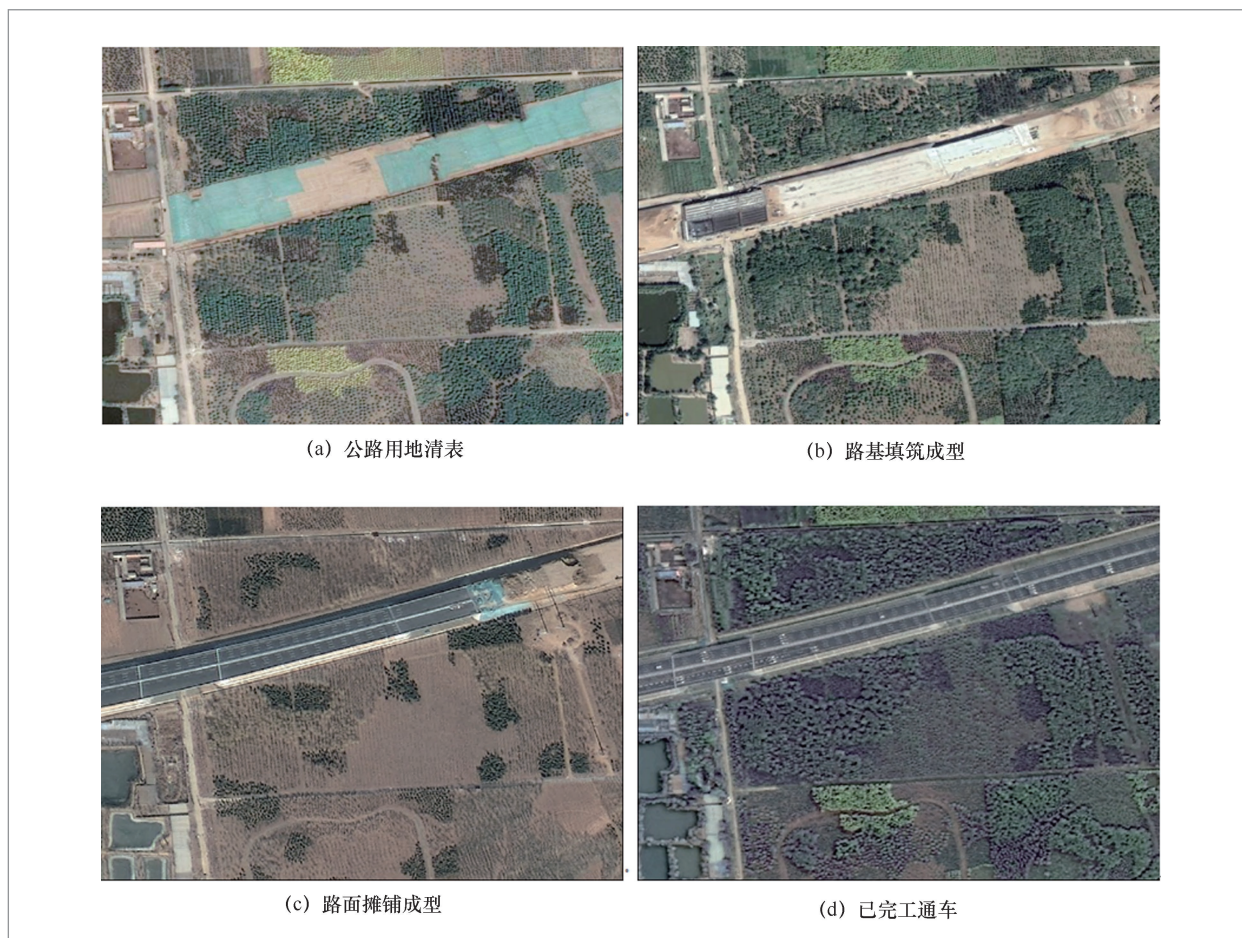


图6 京秦高速建设施工情况细节

大面积隐患及潜在路况威胁,并将评定结果作为实地勘察或车载设备进行农村公路技术状况评定的前置依据,有效降低了公路巡查的成本。目前应用于道路养护的遥感数据有高分二号、北京二号、高景一号和WroldView-3等卫星的数据。

根据遥感技术能力,目前利用空天大数据初步对路面类型、路面宽度、路面损坏状况等指标开展了评定工作。在路面破损状况遥感智能识别方面,通过搭建公路大坑槽、大坑洞、返砂等路面破损样本库,综合运用公路路面的不同老化破损程度在遥感影像中表现出的不同特征,利用AI算法实现对大面积、严重老化破损路面等重点区域的筛查。同时,为了弥补路面破

损遥感样本在空间分辨率和时间分辨率等方面的不足,提高遥感大数据路面破损监测精度,融合地面检测车、移动端App等多源数据,构建统一标准的路面破损样本数库,实现了对样本训练集和测试集的补充。此外,通过融合多期影像数据、车辆运行轨迹数据(如车辆行驶速度等)、气象数据(如降雨)、坡度坡向等多源信息,建立公路老化破损规律模型及全生命周期演变规律,进一步分析挖掘存在或即将老化破损的道路,实现大面积隐患及潜在路况威胁的排查。

目前,基于遥感大数据的公路养护工作已经在我国中西部等地开展了试点工作。如2020年某省采用卫星遥感技术全面

核查全省4 483个乡镇和48 106个建制村的通畅情况以及严重破损通乡通村硬化路整治情况,并在重点区域利用移动APP等对问题路段进行实地验证。经实地验证,遥感影像对破损道路的监测具有一定的成效。利用遥感大数据开展公路养护具有广阔的应用前景。未来构建“宏观卫星遥感+地面精细化检测”将成为公路智慧养护的趋势。研究遥感公路健康状况评定技术方法,构建天地一体化的检测体系及标准化流程,将有效提升公路健康状况检测效率,提高公路养护管理效率。

因公路养护对道路在影像中的光谱、纹理特征要求非常精细,遥感数据的波段数以及数据质量制约着其在公路养护中的应用,虽初步取得一定成效,但其数据获取途径的快捷性、分析结果的准确性有待进一步提高,需要更丰富的遥感大数据源及处理分析技术的支撑。

3 交通遥感大数据发展趋势

3.1 交通遥感大数据面临的问题

尽管交通遥感大数据已在交通运输行业的实际应用中发挥了重要作用,但在应用与研究发展中仍有很多问题待解决,具体可概括为以下两个方面。

第一,在遥感卫星载荷方面,目前在轨遥感卫星还无法完全满足水陆交通运输行业对遥感技术日益迫切的需求,这在一定程度上制约了遥感大数据在交通运输领域的应用,具体表现在以下几个方面。

- 空间分辨率低:对于农村公路出现畅返不畅、路面老化,以及自然灾害造成的道路损毁等问题,需要较高空间分辨率的多光谱、高光谱遥感卫星数据,以满足路

面健康和道路受损状况的观测需求。虽然我国高分二号、北京二号、高景一号等卫星的空间分辨率都已达到亚米级,高光谱卫星高分五号也已经投入使用,但是对于宽度仅几米的道路来说,现有的遥感卫星资源仍难以满足交通行业精细化业务管理和应急损毁评估的需求。

- 时间分辨率低:对于陆地和海上突发的自然灾害、船舶遇险、海上溢油等应急事件,需要对事件发生区域进行高精度、高频次、连续的跟踪监测。目前我国高分四号卫星可实现对地表某区域的长时间凝视,但其空间分辨率只有50 m,难以满足交通目标快速发现、连续跟踪的应用需求。后续吉林一号卫星星座组网后,可实现全球任意点10 min以内重访,其空间分辨率为1.12 m,但预计2030年才能实现组网。

- 载荷存在空白:对于我国水上安全事故的监测与评估,需要激光雷达技术为重点区域的水深测量提供新的解决方案,然而目前尚没有可用的激光雷达卫星数据资源。我国西部绵延数千千米的冻土区公路、全国超过数百万千米的农村道路以及北极航道极端环境下的冰情等,均对雷达遥感观测强穿透能力提出了强烈需求,但是长波长SAR卫星在我国仍属空白,观测被树木遮蔽、被积雪覆盖或者深层冻土等类似状态下的交通目标仍缺少可用手段。

第二,在业务推广应用方面,虽然遥感大数据为交通运输行业提供了各种有效信息,但如何快速利用遥感大数据实现交通信息快速、动态监测与分析,依然存在很多瓶颈,具体表现在以下几个方面。

- 数据提取与分析技术业务化难:遥感自动化提取技术虽然已取得了一定的成功经验,但大部分只是示范性试验,距离实际应用及产业化还存在很大差距,往往需要较多人工干预。近年来,深度学习技术

的出现和发展虽然给自动化信息提取带来了新的思路,但在遥感领域尚未达到业务化、商业化要求。

- 行业应用不够深入:目前,基于遥感大数据的应用主要集中于交通基础设施的前期工作,对于交通基础设施的规划、建设、养护涉及较少,未形成交通基础设施全生命周期的相关应用。

3.2 交通遥感大数据未来发展趋势

基于交通遥感大数据目前面临的问题,交通遥感大数据未来发展趋势主要包括以下几个方面。

- 在遥感卫星载荷方面,现有的遥感卫星资源仍难以满足交通行业精细化、业务管理和应急评估的需求,需要加强面向交通领域的更高空间、更高光谱、更高时间分辨率遥感卫星载荷的研制,以满足交通基础设施精细信息的观测与分析需求。

- 在人工智能研究方法方面,基于遥感数据的地物自动化识别准确率和自动化程度还不高,需进一步提高人工智能技术在交通基础设施等地物上的提取分析水平,并构建满足大规模遥感数据处理需求的机器学习算法^[12],满足交通领域的业务需求。

- 在交通遥感大数据融合分析方法与机制机理模型方面,需加强交通遥感多源异构数据存储、数据整合、数据关联分析的能力,建立遥感大数据与交通业务大数据(如互联网联票、人流车流等数据)的融合综合应用,以进一步提高遥感大数据的决策支撑能力。

- 在系统平台方面,集成空天地一体化遥感技术、卫星定位与导航技术、地理信息系统技术、大数据挖掘技术,构建专用的大数据综合交通地理信息系统也是未来的重要发展方向。

- 在应用领域方面:要拓展遥感大数据在内河水运、海事航运、航空等综合交通领域的应用,不断发展综合交通领域遥感大数据与其他多源大数据的应用理论与方法研究。

4 结束语

如今,遥感大数据在交通领域的应用已经在公路建设、规划、养护等方面显示出巨大的潜力和无限的发展前景。未来,随着遥感大数据集成、融合、分析挖掘等理论技术及应用的发展,遥感大数据将在交通领域发挥举足轻重的作用。将遥感大数据与各类交通大数据综合应用,解决交通行业“建、管、养、运”等实际问题,并形成“交通+教育”“交通+医疗”“交通+物流”等多行业、多领域的数据融合,是未来发展的重点,也是交通大数据未来发展的重要方向。

参考文献:

- [1] 李德仁. 论时空大数据的智能处理与服务[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(12): 1825-1831.
LI D R. The intelligent processing and service of spatiotemporal big data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2019, 21(12): 1825-1831.
- [2] 张超, 李昆, 张鑫. 遥感大数据关键技术发展研究综述[J]. 科技创新导报, 2017, 14(21): 145, 147.
ZHANG C, LI K, ZHANG X. Summary of research on the development of key technologies of remote sensing big data[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2017, 14(21): 145, 147.
- [3] 孙中平, 申文明, 张文国, 等. 生态环境立体遥感监测大数据顶层设计研究[J]. 环境保护,

- 2020, 48(S2): 56-60.
SUN Z P, SHEN W M, ZHANG W G, et al. Study on top design of big data in stereoscopic remote sensing monitoring on ecology and environment[J]. Environmental Protection, 2020, 48(S2): 56-60.
- [4] 洪勇豪, 亓郑男, 张丽丽. 遥感大数据在水利中的应用及发展[J]. 水利信息化, 2019(3): 25-31.
HONG Y H, QI Z N, ZHANG L L. Application and prospect of large remote sensing data in hydrology[J]. Water Resources Informatization, 2019(3): 25-31.
- [5] 张奇, 王贵, 张冬, 等. 遥感大数据在城乡规划中的应用研究[J]. 城市建筑, 2020, 17(24): 30-31, 77.
ZHANG Q, WANG G, ZHANG D, et al. Research on the application of remote sensing big data on the urban-rural planning[J]. Urbanism and Architecture, 2020, 17(24): 30-31, 77.
- [6] 李晓明, 黄冰清, 贾童, 等. 星载合成孔径雷达海洋遥感与大数据[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2020, 12(2): 191-203.
LI X M, HUANG B Q, JIA T, et al. Ocean remote sensing by spaceborne synthetic aperture radar (SAR) and big data[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2020, 12(2): 191-203.
- [7] 傅俏燕, 隋正伟, 龚亚丽. 遥感卫星大数据产业化应用[J]. 卫星应用, 2019(10): 12-19.
FU Q Y, SUI Z W, GONG Y L. Industrialization Application of Remote Sensing Satellite Big Data[J]. Satellite Application, 2019(10): 12-19.
- [8] 刘亚岚, 谭衢霖, 孙国庆, 等. 交通遥感方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
LIU Y L, TAN Q L, SUN G Q, et al. Traffic remote sensing method and application[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [9] 李丽, 郭力. 交通遥感概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
LI L, GUO L. Introduction to traffic remote sensing[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [10] 郭明权, 王标才, 牛铮, 等. 工程项目地球大数据监测与分析理论框架及研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(7): 1408-1423.
WU M Q, WANG B C, NIU Z, et al. Theoretical framework and research progress of big earth data technology in projects construction[J]. Journal of Geo-Information Science, 2020, 22(7): 1408-1423.
- [11] 罗伦. 交通遥感技术与应用实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
LUO L. Traffic remote sensing technology and application examples[M]. Beijing: China Communications Press, 2020.
- [12] 朱建章, 石强, 陈凤娥, 等. 遥感大数据研究现状与发展趋势[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(11): 1425-1439.
ZHU J Z, SHI Q, CHEN F E, et al. Research status and development trends of remote sensing big data[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(11): 1425-1439.
- [13] 肖和平, 罗伦, 单新周. 遥感技术在公路交通管理维护中的应用[J]. 交通与运输, 2020, 36(4): 81-85.
XIAO H P, LUO L, SHAN X Z. Application of remote sensing technology in highway traffic management and maintenance[J]. Traffic & Transportation, 2020, 36(4): 81-85.
- [14] 戴文哈, 魏清, 戴磊. 遥感技术在公路勘察设计中的应用[J]. 地球信息科学, 2001, 3(3): 50-53, 42.
DAI W H, WEI Q, DAI L. The application of remote sensing technology in highway reconnaissance design[J]. Geo-Information Science, 2001, 3(3): 50-53, 42.
- [15] 安鑫, 牛军强, 匡经水, 等. 遥感技术在国家高速公路G85麻柳湾—昭通段中的应用研究[J]. 公路交通技术, 2012, 28(5): 31-36.
AN X, NIU J Q, KUANG J S, et al. Research on application of remote sensing technology in Maliuwan-Zhaotong section of national expressway G85[J]. Technology of Highway and Transport, 2012, 28(5): 31-36.
- [16] 梁京涛, 王军, 王猛, 等. 四川省绵竹至茂县公路工程地质遥感调查与评价[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 83-86.
LIANG J T, WANG J, WANG M, et al. Remote sensing survey and evaluation of engineering geology along Mianzhu-Maoxian

- highway in Sichuan Province[J]. *Journal of Catastrophology*, 2012, 27(1): 83–86.
- [17] 中交第二公路勘察设计研究院. 公路工程地质遥感勘察规范: JTG/T C21-01—2005[S]. 2005.
CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd. Specifications for highway engineering geological remote sensing: JTG/T C21-01—2005[S]. 2005.
- [18] LUO L, ZANG Y, WANG X F, et al. Estimating road widths from remote sensing images[J]. *Remote Sensing Letters*, 2018, 9(9): 819–828.
- [19] ZANG Y, WANG C, YU Y, et al. Joint enhancing filtering for road network extraction[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017, 55(3): 1511–1525.
- [20] 丁磊, 张保明, 郭海涛, 等. 矢量数据辅助的高分辨率遥感影像道路自动提取[J]. *遥感学报*, 2017, 21(1): 84–95.
DING L, ZHANG B M, GUO H T, et al. Automatic road extraction from high-resolution remote sensing images assisted by vector data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2017, 21(1): 84–95.
- [21] 罗伦. 卫星遥感技术在公路交通领域的应用[J]. *卫星应用*, 2017(8): 48–50.
LUO L. The application of satellite remote sensing technology in highway traffic[J]. *Satellite Application*, 2017(8): 48–50.
- [22] 苏凤环, 崔鹏, 韩用顺, 等. 基于遥感技术的都汶公路地震次生山地灾害分布规律分析[J]. *地质科技情报*, 2009, 28(2): 29–32.
SU F H, CUI P, HAN Y S, et al. Distribution analysis of mountain hazards induced by 5.12 Wenchuan earthquake along Dujiangyan–Wenchuan highway using remote sensing[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(2): 29–32.
- [23] 胡健波, 李皓菁, 李东昌, 等. 遥感监测公路建设项目临时占地恢复情况[C]//中国环境科学学会学术年会论文集. [出版地不详: 出版者不详], 2013: 2144–2150.
HU J B, LI A J, LI D C, et al. Remote sensing monitoring of the restoration of temporary land occupation for highway construction projects[C]//Proceedings of the Annual Conference of the Chinese Society for Environmental Sciences. [S.l.:s.n.], 2013: 2144–2150.
- [24] 金续, 张显峰, 罗伦, 等. 公路路面光谱特征分析与沥青路面老化遥感监测方法初探[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19(5): 672–681.
JIN X, ZHANG X F, LUO L, et al. Spectral analysis of road pavements and monitoring of the aging conditions of asphalt pavement from worldview-2 imagery[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(5): 672–681.
- [25] COFFMAN R A, GARNER C D. Identification of expansive soils using remote sensing and in-situ field measurements: phase I[R]. 2012.
- [26] BRIDGELALL R, RAFERT J B, TOLLIVER D D. Remote sensing of multimodal transportation systems[R]. 2016.
- [27] WOLF R E, BOUALI E H, OOMMEN T, et al. Final report: sustainable geotechnical asset management along the transportation infrastructure environment using remote sensing[R]. 2015.
- [28] TSAI Y C, WANG Z H. A remote sensing and gis-enabled highway asset management system phase 2[R]. 2018.
- [29] AHLBORN T M, SHUCHMAN R A, SUTTER L L, et al. Bridge condition assessment using remote sensors[R]. 2013.
- [30] OLSEN M, BUTCHER S, SILVIA E. Real-time change and damage detection of landslides and other earth movements threatening public infrastructure[R]. 2012.
- [31] FITCH G M, ANDERSON J E. Use of digital multispectral videography to capture environmental data sets for Virginia department of transportation[J]. *Transportation Research Record*, 2001, 1756: 87–93.
- [32] XIONG D, LEE R, SAULSBURY J B, et al. Remote sensing applications for environmental analysis in transportation

planning: application to the washington state i-405 corridor[R]. 2004.

- [33] 蔡红玥, 米素娟, 阳柯. 基于高分遥感影像的道路宽度自动提取研究进展综述[J]. 电子测试, 2019(11): 59-60.

CAI H Y, MI S J, YANG K. Review of road width automatic extraction from high resolution remote sensing images[J]. Electronic Test, 2019(11): 59-60.

- [34] 蔡红玥, 袁胜古, 阳柯, 等. 国产高分辨率遥感影像农村公路核查方法及其应用[J]. 测绘通报, 2020(3): 91-95.

CAI H Y, YUAN S G, YANG K, et al. Method for rural road verification and its application based on Chinese high resolution remote sensing image[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(3): 91-95.

- [35] 李程. 遥感技术在农村公路核查中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(5): 48-49, 52.

LI C. Application of remote sensing technology in rural road verification[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018, 41(5): 48-49, 52.

作者简介



袁胜古(1985-), 男, 博士, 中国交通通信信息中心高级工程师, 主要研究方向为遥感图像处理、大数据分析、交通信息化等。



罗伦(1971-), 男, 中国交通通信信息中心空间信息事业部副总经理, 主要研究方向为交通信息化、大数据分析、遥感图像处理等。



郭榕刚(1981-), 男, 国交空间信息技术(北京)有限公司工程师, 主要研究方向为交通地理信息开发、大数据分析等。



毛恒彬(1982-), 男, 湖南省交通运输厅科技信息中心数据资源部副部长, 主要研究方向为交通信息化、交通运输统计分析等。



王芳(1979-),女,博士,国交空间信息技术(北京)有限公司高级工程师,主要研究方向为遥感信息定量反演与智能提取、交通遥感应用等。



蔡红玥(1989-),女,国交空间信息技术(北京)有限公司工程师,主要研究方向为遥感图像处理与应用、遥感与地理信息系统等。



肖和平(1976-),男,湖南省交通运输厅科技信息中心智能监测部部长,主要研究方向为交通信息工程、遥感信息分析与应用等。

收稿日期: 2021-09-29

通信作者: 罗伦, luolun@cttic.cn

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 41901388)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 41901388)