



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院空天信息创新研究院
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2021
05
VOL.26

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



参与介质渲染 P961



第26卷第5期 (总第301期)

2021年5月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿, 均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版, 所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用, 所有内容, 未经许可, 不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院空天信息创新研究院

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 吴一戎

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑部

通信地址 北京市海淀区北四环西路19号

邮 编 100190

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-58887035

网 址 www.cjig.cn

广告发布登记号 京朝工商广登字20170218号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Aerospace Information Research Institute, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief Wu Yirong

Editor, Publisher Editorial Office of Journal of
Image and Graphics

Address No. 19, North 4th Ring Road West, Haidian District,
Beijing, P. R. China

Zip code 100190

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-58887035

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 60.00元



均匀参与介质的渲染方法研究(第0961页)



循环生成对抗网络的线稿图像自动提取(第1117页)



伪点云修正增强激光雷达数据(第1157页)

学者观点

均匀参与介质的渲染方法研究

王贝贝, 樊家辉 0961

布料仿真建模研究进展

靳雁霞, 张晋瑞, 贾瑶, 马博 0970

综述

中国图像工程:2020

章毓晋 0978

图像处理和编码

双阶段信息蒸馏的轻量级图像超分辨率网络

李明鸿, 常侃, 李恒鑫, 谭宇飞, 覃团发 0991

具有纹理感知能力的超像素分割方法

吴江, 刘春晓 1006

图像分析和识别

深度聚类注意力机制下的显著对象检测

陈庆文, 谢宏文, 查浩, 奚瑜, 张雪 1017

特征增强策略驱动的车标识别

贺敏雪, 余烨, 程茹秋 1030

医学图像处理

融合上下文和注意力的视盘视杯分割

刘洪普, 赵一浩, 侯向丹, 郭鸿湧, 丁梦园 1041

遥感图像处理

复杂背景下SAR近岸舰船检测

阮晨, 郭浩, 安居白 1058

对抗型长短期记忆网络的雷达回波外推算法

方巍, 庞林, 张飞鸿, 盛胜利 1067

混沌系统和DNA编码的并行遥感图像加密算法

周辉, 谢红薇, 张昊, 张慧婷 1081

激光雷达大会2020

图匹配算法激光扫描点云树干分割

徐姗姗 1095

多特征融合与残差优化的点云语义分割方法

杜静, 蔡国榕 1105

NCIG 2020

循环生成对抗网络的线稿图像自动提取

王素琴, 张加其, 石敏, 赵银君 1117

面向COVID-19疫情预测的图卷积神经网络时空数据学习

杨成意, 刘峰, 齐佳音, 段妍, 吕润倩, 肖子龙 1128

结合汉明码和图像矫正的彩色图像盲水印

刘得成, 苏庆堂, 袁子涵, 张雪婷 1138

密文域高嵌入率图像全方位可逆数据隐藏

周旭, 吴福虎, 陈志立, 任帅 1147

伪点云修正增强激光雷达数据

宋绪杰, 戴孙浩, 林春雨, 詹书涛, 赵耀 1157

前沿进展

中国遥感软件研制进展与发展方向——以像素专家PIE为例

刘东升, 廖通逵, 孙焕英, 任芳 1169

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Survey of rendering methods for homogeneous participating media(P0961)



Image extraction of cartoon line art based on cycle-consistent adversarial networks(P1117)



LiDAR data enhancement via pseudo-LiDAR point cloud correction(P1157)

Scholar View

Survey of rendering methods for homogeneous participating media

Wang Beibei, Fan Jiahui 0961

Progress of cloth simulation modeling

Jin Yanxia, Zhang Jinrui, Jia Yao, Ma Bo 0970

Review

Image engineering in China: 2020

Zhang Yujin 0978

Image Processing and Coding

Lightweight image super-resolution network via two-stage information distillation

Li Minghong, Chang Kan, Li Hengxin, Tan Yufei, Qin Tuanfa 0991

Superpixel segmentation with texture awareness

Wu Jiang, Liu Chunxiao 1006

Image Analysis and Recognition

Salient object detection based on deep clustering attention mechanism

Chen Qingwen, Xie Hongwen, Zha Hao, Xi Yu, Zhang Xue 1017

Vehicle logo recognition method based on feature enhancement

He Minxue, Yu Ye, Cheng Ruqiu 1030

Medical Image Processing

Optic disc and cup segmentation by combining context and attention

Liu Hongpu, Zhao Yihao, Hou Xiangdan, Guo Hongyong, Ding Mengyuan 1041

Remote Sensing Image Processing

SAR inshore ship detection algorithm in complex background

Ruan Chen, Guo Hao, An Jubai 1058

Radar echo extrapolation algorithm based on adversarial long short-term memory network

Fang Wei, Pang Lin, Zhang Feihong, Sheng Victor S 1067

Parallel remote sensing image encryption algorithm based on chaotic map and DNA encoding

Zhou Hui, Xie Hongwei, Zhang Hao, Zhang Huiting 1081

China LiDAR Conference 2020

Tree stem segmentation of laser scanning point clouds based on graph matching algorithm

Xu Shanshan 1095

Point cloud semantic segmentation method based on multi-feature fusion and residual optimization

Du Jing, Cai Guorong 1105

NCIG 2020

Image extraction of cartoon line art based on cycle-consistent adversarial networks

Wang Suqin, Zhang Jiaqi, Shi Min, Zhao Yinjun 1117

Spatiotemporal data learning of graph convolutional neural network for epidemic prediction of COVID-19

Yang Chengyi, Liu Feng, Qi Jiayin, Duan Yan, Lyu Runqian, Xiao Zilong 1128

Blind color image watermarking method combining Hamming code with image correction

Liu Decheng, Su Qingtang, Yuan Zihan, Zhang Xueting 1138

All bit planes reversible data hiding for images with high-embedding-rate in ciphertext field

Zhou Xu, Wu Fuhu, Chen Zhili, Ren Shuai 1147

LiDAR data enhancement via pseudo-LiDAR point cloud correction

Song Xujie, Dai Sunhao, Lin Chunyu, Zhan Shutao, Zhao Yao 1157

Frontier

Research progress and development direction of Chinese remote sensing software: taking PIE as an example

Liu Dongsheng, Liao Tongkui, Sun Huanying, Ren Fang 1169

中图法分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2021)05-1169-10

论文引用格式: Liu D S, Liao T K, Sun H Y and Ren F. 2021. Research progress and development direction of Chinese remote sensing software: taking PIE as an example. Journal of Image and Graphics, 26(05): 1169-1178 (刘东升, 廖通逵, 孙焕英, 任芳. 2021. 中国遥感软件研制进展与发展方向——以像素专家 PIE 为例. 中国图象图形学报, 26(05): 1169-1178) [DOI:10.11834/jig.200125]

中国遥感软件研制进展与发展方向 ——以像素专家 PIE 为例

刘东升, 廖通逵*, 孙焕英, 任芳

航天宏图信息技术股份有限公司, 北京 100195

摘要: 随着航天航空遥感技术的飞速发展, 立体式、多层次、多视角、全方位和全天候对地观测的时代已然到来。如何激活数据价值, 更好地服务行业应用, 满足快速增长的遥感应用需求, 成为遥感企业面临的迫切课题。遥感图像处理软件作为遥感数据与行业应用的桥梁, 在遥感产业化过程中发挥着不可替代的作用。本文概述了国内外遥感卫星数据和遥感软件发展历程, 通过中国国产遥感图像处理软件——像素专家 (pixel information expert, PIE) 阐述了国产遥感软件的研制进展、典型应用和未来技术发展方向。PIE 软件具有多源遥感载荷全方位支持、全谱段要素信息智能提取、多行业全业务链深度融合、海量遥感数据快速处理和自主产权程序完全可控等 5 大核心能力。未来将加强与大数据、云计算和人工智能等技术前沿领域的交叉融合, 提升遥感数据分析处理、知识挖掘与决策支持能力, 实现遥感数据的按需获取快速传输和专题信息聚焦服务。

关键词: 国产遥感软件; 像素专家 (PIE); 发展方向; 云服务平台; 人工智能; 大数据

Research progress and development direction of Chinese remote sensing software: taking PIE as an example

Liu Dongsheng, Liao Tongkui*, Sun Huanying, Ren Fang

PIESAT Information Technology Co., Ltd., Beijing 100195, China

Abstract: More and more satellites have been launched or will be launched soon. Thus, remote sensing is no longer far away. With the rapid development of aerospace and aviation remote sensing technology, a new era of three-dimensional, multi-level, multi-angle, omni-directional, and all-weather earth observation has arrived. How to activate the value of data and better serve industry applications so as to meet the rapidly growing demand for remote sensing applications has become an urgent issue for remote sensing companies. As a bridge between remote sensing data and industry applications, remote sensing image processing software plays an irreplaceable role in the process of remote sensing industrialization. With the implementation of major strategic projects such as “China’s High-Resolution Earth Observation System” (high-score special project) and “National Medium-term to Long-term Civilian Space Infrastructure Development Plan (2015—2025)”, domestic high-score remote sensing data is becoming more abundant. Whether these valuable data can play its value and how much value it can play depends on the conversion process from high-scoring remote sensing data to effective information and application services. The value of remote sensing data requires excellent remote sensing image processing software for mining and analysis. At the same time, vigorously developing independent and controllable remote sensing image processing software has increasingly become an urgent requirement to ensure national information security, implement the strategy of

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2020-08-24; 预印本日期: 2020-08-31

* 通信作者: 廖通逵 liaotongkui@piesat.cn

aerospace power, enhance technological innovation, and serve social development. Through the research and analysis of the development process of remote sensing satellite data and remote sensing software in China and abroad, the domestic remote sensing software has experienced three stages of development: the budding period, the catch-up period, and the independent innovation period. The remote sensing image processing software pixel information expert (PIE) is taken as an example to illustrate the development progress, typical applications, and future technological development directions of domestic remote sensing software. PIE, a domestically made remote sensing image processing software, was independently developed by PIESAT Information Technology Co., Ltd. (<http://www.piesat.cn/>). While opening the application of cloud service platform, PIE has evolved from a single general-purpose software plug-in architecture to 3S integration, multi-platform, and multi-load cluster processing; from pure satellite remote sensing image processing to aerospace integrated platform; and from optical load to application mode of optics, radar, and hyperspectral full spectrum. PIE6.0 has developed from a general remote sensing image processing software to PIE-Basic remote sensing image processing software, PIE-Ortho satellite image surveying and mapping processing software, PIE-SAR radar image data processing software, PIE-Hyp hyperspectral image data processing software, PIE-UAV unmanned aerial vehicle image data processing software, PIE-SIAS scale set image analysis software, PIE-AI remote sensing image intelligent processing software, PIE-Map geographic information system software, and many other “families”. PIE6.0 has five core capabilities: comprehensive support for multi-source remote sensing loads, intelligent extraction of full-spectrum element information, deep integration of multi-industry and full-business chains, rapid processing of massive remote sensing data, and complete control of independent property rights programs. In order to meet the ever-increasing demand for remote sensing applications, we should build an intelligent, high-performance, and practical remote sensing image processing system; provide a wider, more refined, and more in-depth special service; and gradually develop and improve market mechanisms to establish sustainable development of remote sensing industry capabilities. Domestic remote sensing software continues to develop key technologies, such as remote sensing spatiotemporal big data storage management, intelligent synthesis, incremental cascading update, cleaning analysis and mining, and information security, to improve remote sensing data analysis and processing and knowledge mining and decision support capabilities and to build shared data and codes. The open platform of methods promotes multi-source heterogeneous data sharing and interoperability. In the future, domestic remote sensing software will closely follow industry applications and public needs, advanced technology integration and collaboration, remote sensing on-orbit intelligent real-time processing, and one-stop refined remote sensing cloud services. PIE will continue to increase the contribution rate of science and technology; promote the modernization of remote sensing application capabilities; strengthen the cross-integration of remote sensing applications with big data, cloud computing, artificial intelligence, and other cutting-edge technologies; continue to improve remote sensing data analysis and processing, knowledge discovery, and decision support capabilities; and realize the on-demand acquisition of remote sensing data, the rapid transmission of data, and the focused services of thematic information, so that multi-source remote sensing data can truly become a powerful weapon to promote resource investigation, environmental monitoring, emergency rescue, and so on.

Key words: domestic remote sensing software; pixel information expert (PIE); direction of development; cloud service platform; artificial intelligence; big data

0 引言

卫星遥感技术的飞速发展开启了立体式、多视角、多层次、全方位和全天候对地观测的新时代。目前,全球空间基础设施已进入系统化发展和全球化服务的新阶段,遥感卫星加速升级迭代。新一代遥感卫星具有高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率和高辐射分辨率等特点(郭仁忠等,2018)。遥

感观测手段的日益增多为遥感技术的研究及应用提供了更广阔和更丰富的数据源。蕴含巨大经济、社会和科研等价值的海量遥感数据成为关注的焦点(李德仁等,2014)。

随着中国高分辨率对地观测系统(高分专项)和《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)》等重大战略性工程的实施,国产高分遥感数据日趋丰富。这些数据能否发挥价值以及发挥多大价值,取决于从高分遥感数据到有效信息和应用服

务的转换能力,需要优秀的遥感图像处理软件进行挖掘和分析。大力发展自主可控的遥感图像处理软件日益成为保障国家信息安全、践行航天强国战略、增强技术创新和服务社会发展的迫切要求。

为全面了解国产遥感软件发展历程,本文从国内外遥感卫星、数据及遥感软件等方面进行对比,对国内遥感软件进行总结分析,并通过遥感图像处理软件——像素专家(pixel information expert, PIE)阐述国产遥感软件的研制进展、典型应用与发展方向。

1 发展历程

1.1 国际遥感卫星发展历程

随着首颗人造地球卫星发射升空,人类开始了对太空和地球观测的探索。1972年美国发射陆地观测卫星 LandSat-1,开始通过遥感卫星对地观测;1986年法国发射高分辨率遥感卫星 SPOT;1999年美国发射商业高分辨率遥感卫星 IKONOS;2013年 SkyBox 公司发射 SkySat-1,开始小微卫星遥感应用。目前国际遥感卫星发展呈现出更高、更多、更小、更短、更稳和更准的特点,空间分辨率达到 0.25 m,时间分辨率达到 1 d,辐射分辨率达到 12 bit,光谱分辨率为 8 谱段或更多。国际遥感卫星发展历程如图 1 所示。



图1 国际遥感卫星发展历程

Fig.1 Development history of remote sensing satellites abroad

1.2 我国遥感卫星发展历程

我国遥感卫星的发展相比发达国家有一定差距。随着对地观测技术的不断提升,实现了跨越式发展,并逐步实现业务化、商业化以及部分国际化出口。1988年发射自主研发的第一代气象卫星风云1号A星(卢乃锰和谷松岩,2016);1999年发射第一代传输型地球资源卫星(中巴地球资源卫星);2002年发射首颗用于海洋水色探测的试验型业务卫星海洋1号A星(蒋兴伟等,2016)。至此,气象、陆地、海洋卫星观测全面开启。2010年中国高分辨

率对地观测系统重大专项启动实施,逐步开展高分卫星发射。2015年以来,陆续发射了以北京2号、吉林1号、高景1号为代表的一系列商业遥感卫星(中国地理信息产业协会,2019)。中国遥感卫星发展历程如图2所示。



图2 中国遥感卫星发展历程

Fig.2 Development history of Chinese remote sensing satellites

1.3 我国遥感图像处理软件的发展历程

随着遥感卫星的发展,国产遥感图像处理软件实现了从萌芽期、追赶期到自主创新期的发展。

1972—2000年为国产遥感软件萌芽期,遥感数据源绝大部分是国外遥感卫星数据,我国仅1999年与巴西合作研制的中巴1号能够提供遥感数据,但空间分辨率只能达到19 m。由于自主卫星不多,国外遥感数据及遥感图像处理软件基本垄断国内遥感应用市场,国内遥感图像处理软件的研制处于萌芽状态,仅表现为科研成果,未达到工程化应用程度。典型的遥感软件是美国的 Erdas Imagine、ENVI(environment for visualizing images)和加拿大的 PCI Geomatica。受限于当时计算机技术的发展,软件形态主要是单机版,遥感图像处理功能主要包括影像加载显示、通用图像处理、像素级分类和目视解译等,主要用于资源环境宏观普查、土地覆盖/土地利用分类、植被覆盖度监测、农业资源调查/动态监测、农作物估产、水体信息提取、湿地及生态资源监测和地质矿产资源勘探等基本的遥感专题制图工作。

2001—2010年为国产遥感软件的追赶期,国外新增了 QuickBird-2、WorldView-1/2、GeoEye-1 和 RapidEye 等遥感卫星数据源,国外遥感软件继续发展,从人机交互解译发展为半自动化信息提取,图像分类在传统像素级分类基础上扩展为面向对象分类,软件形态由单机版软件逐步发展为多机协同、多机联动的集群版遥感影像处理系统。我国2007年发射了以 ZY1-02B 为代表的米级高分辨率遥感卫星,2008年发射环境与灾害监测预报小卫星, HJ1-A 和 HJ1-B 星 CCD(charge coupled device)影像空间分

分辨率达到 30 m。国产遥感数据开始在国内逐步试点应用, Titan Image、PIE、Virtuozo、JX4、Image Station 和 MapMatrix(赵忠明等, 2019; 廖通逵等, 2018) 等国内遥感图像处理软件崭露头角, 能够提供一些基本的遥感图像处理功能, 并且具备了初步工程化应用能力。PIE3.0 的应用范围也从国土拓展到气象、海洋等不同领域。

2011 年至今为国产遥感软件的自主创新期。高分专项等国家重大战略性工程推动了国产遥感卫星自主创新性发展(童旭东, 2016)。ZY3、GF1、GF2、GF3、GF4、GF5、GF6 和 GF7 等国产遥感卫星相继发射, 遥感卫星数据自主率和数据质量显著提高。国内卫星遥感能力的不断提升, 带动国产遥感图像处理软件实现了跨越式发展。国产遥感图像处理系统从单机版转变为集群版, 进而演化到遥感云服务平台。国产遥感软件图像解译方式由半自动化逐步发展到智能化。2015 年以来, 随着人工智能技术的迅猛发展, 遥感和深度学习等先进算法不断融合, 从遥感图像中挖掘所需信息和知识更为实时与便捷。遥感应用商业形态逐步从单纯数据处理加工扩展到对各行业提供多样化的信息服务, 国产遥感图像处理软件承担起了国内遥感产业化的重任。

2 PIE 软件的研制进展

遥感图像处理软件是遥感数据与行业应用(提取专题信息)的桥梁。PIE 遥感图像处理软件以激活数据价值、服务行业应用为研发目标, 全面支持国产陆地观测、气象和海洋卫星等数据, 深度结合国产卫星参数和数据特点, 提供更精准高效的辐射和几何处理, 支持地方坐标系, 用户界面和交互方式更适合国内用户需求, 支持多语言二次开发, 可快速构建行业工程化应用解决方案。自 2008 年, PIE 已从 1.0 版本发展到 6.0 版本, 研制进展如图 3 所示。

随着国产自主遥感数据源不断丰富, 数据格式越来越多, 数据量呈井喷式增长, 各领域对遥感应用的需求也极具迫切性并对软件能力提出了新的要求。例如全国一张图工程、第 3 次全国土地调查专项建设、第 3 次全国农业普查、生态保护红线工程等大型项目对遥感应用的需求日益凸显。仅能简单支持某一行业的应用或针对某一种传感器数

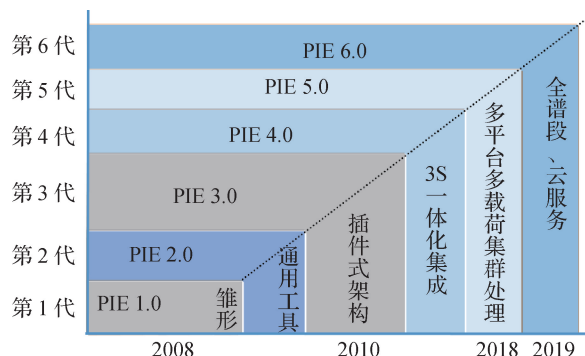


图 3 PIE 研制进展

Fig. 3 Development of PIE

据的处理已不能满足各行业的需求, 国产遥感应用软件必须集支持大范围、多载荷、功能全面和应用便捷于一体。面对高速发展的应用需求, PIE 开发探索多源异构遥感影像融合计算、遥感数据智能解译与分析等关键技术, 加快遥感数据实时化获取、自动化处理和智能化信息服务等自主知识产权软件的研制, 产品体系向大众实用化、应用简捷化和业务集成一体化发展(王晋年, 2016)。PIE 6.0 由单一的通用软件插件式架构演变成将 3S(遥感技术(remote sensing, RS)、地理信息系统(geography information systems, GIS)和全球定位系统(global positioning systems, GPS))技术集成一体化的多平台多载荷集群处理, 从纯粹的卫星遥感图像处理发展为航天航空一体化平台, 从单纯以光学载荷为主发展为光学、雷达和高光谱全谱段的应用模式, 同时开启云服务平台应用, 包括 PIE-Basic 遥感图像基础处理软件、PIE-Ortho 卫星影像测绘处理软件、PIE-SAR 雷达影像数据处理软件、PIE-Hyp 高光谱影像数据处理软件、PIE-UAV 无人机影像数据处理软件、PIE-SIAS 尺度集影像分析软件、PIE-AI 遥感图像智能处理软件、PIE-Map 地理信息系统软件, 具有多源遥感载荷全方位支持、全谱段要素信息智能提取、多行业全业务链深度融合、海量遥感数据快速处理和自主知识产权程序完全可控等 5 大核心能力(<http://www.piesat.cn/product/>)。主程序界面如图 4 所示。2019 年中国测绘学会对 PIE 评审鉴定, 认为 PIE 在基于相位一致性的异源影像匹配、区域网平差匀色技术方面达到国际领先水平。

2.1 陆海气遥感载荷全方位支持

PIE 实现了对资源系列、环境系列、海洋系列、



图4 PIE 6.0 主界面

Fig. 4 PIE 6.0 main interface

风云系列、高分系列以及商业卫星系列等陆地、海洋和气象遥感载荷的全方位支持,同时对新兴传感器类型具备快速扩展能力。

PIE-Ortho 6.0 卫星影像测绘处理软件基于全流程 CPU/GPU 内存逻辑处理技术,实现一键式全流程实时可视化处理,大幅提高数据处理效率,节约存储空间。通过采用大区域可见光、热红外、LiDAR (laser radar) 和 SAR (synthetic aperture radar) 等多源异构遥感影像自动匹配和联合平差技术,实现匹配精度小于 1 个像元,正射校正精度平原地区达到 1~1.5 个像元,山区达到 1~3 个像元。同时 PIE 基于自主研发的地理模板匀色、区域网平差匀色和交互式精调色技术,形成了不依赖第三方软件的高质量影像匀光匀色能力,地理模板匀色算法为整体调色设计,区域网平差匀色技术可以满足影像接边处色彩自然过渡,在先整体后局部自动调色的基础上,人工精调色工具集为局部精细化微调提供了保障。相比其他同类软件,大区域影像匀光和匀色效率大幅度提高。此外,PIE 6.0 支持单机和集群两种部署模式,可以满足用户不同规模的数据生产处理需求。

PIE-SAR 6.0 雷达影像数据处理软件支持国内 TH-02A/B、GF-3 (12 种成像模式) 和国外 ERS1/2、ENVISAT ASAR、ALOS-1 PALSAR、COSMO-SkyMed、Radarsat-2、TerraSAR-X、ALOS-2 PALSAR、Sentinel-1A/B 等主流星载 SAR 数据处理,支持自动化、高精度和大规模的 SAR 区域网平差,支持与光学数据的

异源匹配与联合平差,逐步实现了支持 L0 级原始 RAW 数据、L1 级斜距单视复数影像 (single look complex, SLC)、斜距多视复数/强度影像、L2 级地理编码椭圆球校正 (geocoded ellipsoid corrected, GEC)、L3 级地理编码地形校正 (geocoded terrain corrected, GTC) 和 L4 级行业应用产品。

PIE-Hyp 6.0 高光谱影像数据处理软件支持 GF-5 和 OHS-1 (orbit hyperspectral satelliter) 等国内外主流星载高光谱数据的质量评价、预处理、光谱分析、混合像元分解、图像分类、目标探测及行业专题应用全流程处理,支持高空间分辨率影像与高光谱影像的异源空谱融合,在空间融合比不高于 1:20 的情况下,可以高度保持高光谱影像的光谱信息和高空间分辨率影像的空间解析特性。

PIE-UAV 6.0 无人机影像处理软件将计算机视觉和传统的摄影测量技术相结合,支持多种框幅式数码相机拍摄以及任意航迹的无人机影像数据自动化处理,无需人工干预,可快速完成空三解算、DEM (digital elevation model) 生成和正射影像拼接等处理。提供地面有控制点时,能够实现高精度 DOM (digital orthophoto map) 和 DSM (digital surface model) 生产;无外业控制点时,可在最短时间快速生成区域的影像快拼图,服务于应急测绘和特定场景快速构建。

2.2 全业务链条多行业深度融合

目前 PIE 与很多行业进行深度融合,通过定量

遥感模型和高分共性产品的生产,能够很好地支持各行业的业务应用。

整个高分共性产品生产基于 PIE 遥感图像处理软件平台,通过插件方式进行集成,实现了高分数据的快速处理和几十种高分共性产品生产,能够在多个行业用户开展部署工作,形成了一套满足日常遥感数据浏览、分析、处理和共性产品生产等需求的数

据处理软件,供高分数据用户使用,同时积极拓展高分遥感技术在林业、水利、测绘、环境、气象和减灾等行业部门的广泛应用,推动了遥感应用的深度和广度。高分共性产品生产架构如图 5 所示。

此外,PIE 将遥感技术与北斗 3 号定位导航技术深度融合,提供系列遥感导航融合专题产品,提升了北斗卫星的泛在服务能力。

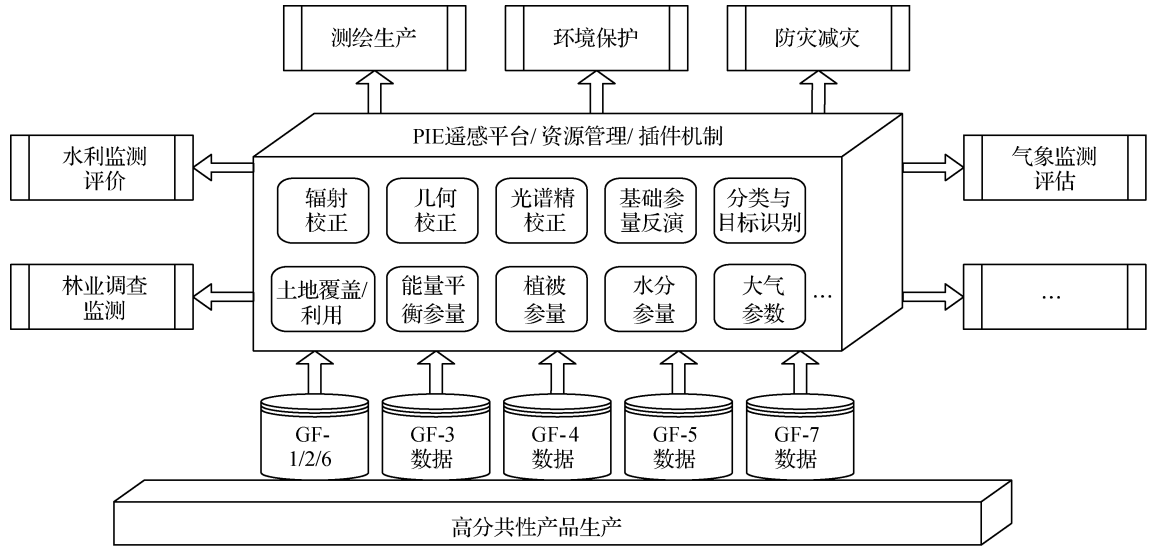


图 5 高分共性产品生产架构

Fig. 5 Production structure of high-resolution common products

2.3 多谱段全要素信息智能提取

PIE 软件实现了多谱段全要素信息的智能提取,主要表现在:1) 提供大幅面影像快速尺度集分割,以影像特征为基础,采用双层尺度集处理技术,实现大幅面遥感影像处理的高性能计算,只需一次分割即可得到大幅面影像的多尺度分割结果,为机器学习分类在最适合的尺度上选择样本提供了支撑。2) 提供魔术棒工具集,对遥感影像中的水体、植被、建筑和道路等地物要素进行识别和一键式边缘提取,并可对提取结果进行边缘光滑处理。3) 优化改进当前流行的先进的慢特征分析变化检测功能,增加纹理特征波段进行特征向量的辅助计算并对其进行高度集成和封装,形成变化检测工具集,包括像素级和对象级两种分类前变化检测模式,并支持分类后变化检测,满足客户多样的变化检测需求。4) 提供基于深度学习的遥感影像自动化、智能化、工程化解译,支持光学、SAR、高光谱和无人机等遥感影像从样本标注、样本管理、模型训练、智能解译到成果发布服务全流程处理,内置大棚、飞机、舰船、

道路和水体等十几类典型地物样本,提供自主样本采集、样本管理和模型训练工具,帮助用户快速完成感兴趣地物目标的模型训练,从而提供目标识别、地物分类、变化检测等智能信息服务。

2.4 海量遥感影像数据快速处理

遥感卫星数据获取能力的大幅提升和卫星遥感业务的应用拓展对遥感图像处理与分析软件提出了新的需求。PIE 软件实现了无专业遥感背景人员可高效便捷完成复杂的数据处理流程,从而快速进行目标信息提取。主要表现在:1) PIE-Cloud 遥感云服务平台具备海量、多源和异构等特点的遥感大数据(朱建章等,2016),采用分布式云存储技术,支持多载荷遥感影像数据、矢量数据、专题产品数据、地形、3 维模型数据以及气象和海洋数据等多源异构数据存储管理和存储资源灵活接入,保证数据的高效处理和快速访问;2) 基于弹性分布式计算资源池,提供计算资源的统一管理、并行计算与动态调配(Gorelick等,2017);3) 提供可定制的工作流编排工具,支持面向业务需要的遥感智能分析算法模型定

制和并行集群处理;4) 提供遥感智能分析服务, 基于深度学习技术, 实现遥感影像的全流程在线智能解译过程, 平台可进行样本录入、样本训练、模型输出、目标检测、成果统计成果浏览和样本管理等流程化处理, 算法强大, 模型稳定;5) 提供在线应用专题图快速制作服务, 提供遥感影像数据、矢量数据的地图风格快速定制、地图数据实时切片与地图服务发布等功能, 为用户提供实时数据增量更新、地图自主定制和地图数据服务实时发布功能;6) 提供数据快速共享发布服务, 结合云端数据管理和遥感智能识别技术, 支持气象、海洋、矢量地图、瓦片地图数据和遥感数据等类型的数据发布;7) 提供开放地理空间信息联盟(Open Geospatial Consortium, OGC) 标准地图发布、气象海洋数据等数据共享发布服务;8) 提供数据服务目录管理、数据检索查询和数据下载等功能服务。

2.5 完全自主产权程序高度可控

进入21世纪, 对地观测技术已成为国家经济实力、科技水平和安全保障能力的综合体现(何国金等, 2015)。2020年1月美国宣布采取措施限制人工智能类软件出口, 其中包括含图像智能分析模块的遥感和地理信息系统类软件。国家环境信息资源是重要的战略资源(郭华东, 2018)。因此, 研发自主可控的遥感图像处理软件成为保障国家信息安全、践行航天强国战略、培育经济发展新动能和服务社会发展的迫切要求。PIE 国产遥感软件程序高度自主可控, PIE6.0 产品除了在 Intel X86 架构下适配 Windows 类、Linux 类(Ubuntu、CentOS) 和 Mac 等国际主流操作系统外, 完成了与龙芯 CPU + 中标麒麟操作系统、飞腾 CPU + 银河麒麟操作系统和华为鲲鹏 CPU + CentOS 操作系统等国产软硬件环境的兼容性适配。PIE 国产遥感软件解决了程序自主可控安全可靠的卡脖子问题, 对充分保障空间信息作用、充分释放全社会遥感产业创新应用新能量、提升国产遥感卫星应用水平和规模起到了非常重要的作用。

3 典型应用

PIE 国产遥感软件坚持以市场需求为导向, 不断加强遥感应用与大数据、云计算和人工智能等技术前沿领域的交叉融合, 使多源遥感数据成为推动

资源监测、环境监测和应急救援的基石, 为政府科学决策、科研院校研究和社会公众关注应用提供了及时有效的服务。

3.1 新冠疫情对北京地区复工复产影响评估

新型冠状病毒疫情不但对人们的身体健康产生重大威胁, 也打乱了正常生产活动。相关部门以 NPP(national polar-orbiting operational environmental satellite system preparatory project)-VIIRS(visible infrared imaging radiometer suit) 夜间灯光数据日数据(day night band, DNB) 为数据源, 基于 PIE 遥感软件, 对北京地区多期夜光数据强弱进行对比, 判断企业复工复产进展状态, 通过以点带面、定点评估的方式分析了疫情对北京地区企业复工复产的影响。

3.2 巴基斯坦蝗虫灾害监测分析

2019 年底, 东非地区蝗灾到达巴基斯坦旁遮普省和信德省等地, 与新疆近在咫尺。因印巴边界沙漠蝗虫的发生发展状况与我国虫害入侵风险密切相关, 因此对巴基斯坦沙漠蝗虫的植被危害现状以及植被在蝗灾后长势变化情况进行遥感监测, 可以快速获取植物亚健康或长势变化区域、长势衰弱或死亡等信息。通过 PIE 软件对病虫害的源地、灾情分布、发展状况以及未来沙漠蝗虫对南亚区域及我国的潜在威胁进行分析, 为病虫害防治提供辅助决策服务。

3.3 卫星遥感服务应急监测

PIE 遥感软件具备针对极轨气象卫星的沙尘、大雾、火情、水情、积雪和海冰等专题产品生产能力, 是风云 3 号等极轨气象卫星数据应用的业务化软件平台, 为气候与天气、环境与灾害、农业与生态等领域监测、分析和提供服务提供重要支撑。同时, PIE 遥感软件具备针对静止气象卫星的大气、云、沙尘、降水、辐射和闪电等监测分析及预报产品服务能力, 是风云 4 号等静止气象卫星数据应用的业务化软件平台, 为天气分析、环境监测、气候监测、资源评估和灾害预警等提供重要支撑。

3.4 卫星遥感助推生态文明建设

PIE 遥感软件广泛应用于国家生态保护红线监管等国家生态环境保护工程建设任务中。基于天空地一体化监测思路, 融合气象卫星、无人机、激光雷达和固定监测站等多源数据, 逐月提供城市黑臭水体监测结果, 逐日开展区域大气污染热点网格服务, 同时对 PM_{2.5} 等污染物分布与浓度进行定量监测,

为现场执法及污染物溯源工作提供信息支持。PIE 遥感软件在保障国家和区域生态安全、提升国家环境卫星监测及航空遥感能力、推进全国生态文明建设和支撑社会经济可持续发展发挥了自身价值。

4 结 语

遥感科技创新正处于从数量积累向质量飞跃、点突破向系统能力提升的重要时期。国内外大量小卫星星座的出现成为商业资本进入卫星遥感领域的着眼点(胡芬和高小明,2019)。遥感数据共享日益成为促进遥感应用和产业发展的助推器(童庆禧等,2018),遥感数据使用的大众化成为遥感科技的重要趋势(单杰,2017)。高分专项工程、国家民用空间基础设施中长期发展规划和自然资源科技创新发展规划纲要等国家战略工程和政策有利推动了国产遥感软件的自主创新性发展。为满足快速增长的遥感应用需求,构建智能化、高性能和实用化的遥感图像处理系统,提供更广泛、更精细和更深入的专题服务,并逐步开拓完善市场机制,进而建立可持续发展的遥感产业能力(赵忠明等,2019)已成为大势所趋。国产遥感软件应持续发展遥感时空大数据存储管理、智能综合、增量级联更新、清洗分析与挖掘和信息安全等关键技术(自然资源部,2018),提升遥感数据分析处理、知识挖掘和决策支持能力,构建共享数据、代码和方法的开放平台,促进多源异构数据共享和互通互用能力。

4.1 产品研发紧贴行业应用及公众需求

随着我国卫星遥感的蓬勃发展,国产卫星将实现从好到强、从模仿创新到引领创新的转型跨越发展。海量数据与日俱增,数据获取与处理技术一日千里,遥感应用前景十分广阔。目前,遥感图像的商业价值更多体现在服务增值上,即由遥感数据服务向信息服务和决策服务转变(张金芳等,2016)。由于需求的多样化与广泛化,国产遥感软件应用模式将向更产业化、实用化和国际化发展。在与民生有关的关键行业,特别是森林火灾等自然灾害的早期预警预测、灾害跟踪监测、灾后救助、应急管理与安全等方面应从目标监测与变化监测转变为动态、近实时监视。遥感软件的实时化处理和高分频分析必将推动遥感向大众实用化、应用精细化和集成一体化发展(童庆禧等,2018)。

4.2 先进技术集成协同

随着 3S 一体化,环境资源的遥感数据量和计算机处理量将大幅增加,因此遥感图像处理系统对数据处理精度与效率的追求从未停止(Chen 等,2018)。此外,神经网络具有自适应学习、全并行处理与联想功能等特点,在进行模式识别和计算机视觉等海量复杂的数据处理方面有显著优势(Ma 等,2019;Zhong 等,2018)。将遥感图像处理软件与小波、神经网络、认知模型和地学专家知识等信息模型与技术相集成,将极大提高多源遥感技术融合、分类识别和信息提取的精度。多平台、多传感器、多层面、多时相、多视角、多光谱和多空间分辨率的融合应用,以及不确定性遥感信息模型与人工智能决策支持相结合将是国产遥感软件的重要发展方向。因此将人工智能等先进技术引入遥感数据的处理和分析、分类和识别,将使遥感应用更加智能化和智慧化,从而持续提高科技贡献率,推进遥感应用能力现代化。

4.3 遥感在轨智能实时处理

随着遥感获取能力的增强,国产卫星遥感数据量剧增,因此卫星上存储、下传和后处理数据面临着巨大压力(张兵,2011)。实时性、高精度专题信息无法即时获取,制约了遥感应用服务快速发展。因此促进遥感数据实时处理与智能服务,研究遥感信息星上在轨实时处理框架、终端 APP(application) 服务开发架构等的技术瓶颈,是国产遥感软件未来的技术发展方向。应根据用户需求创新未来遥感图像处理与应用模式,从数据产品驱动转向任务驱动和事件感知,面向任务数据实时获取、基于 ROI(region of interest)在轨智能处理、特征目标变化检测与信息提取,实现面向任务的高倍数据稀疏压缩等在轨智能处理与实时化服务,从而将遥感影像数据应用模式“从事后处理分发”向“在轨处理实时传输”转变,进而提高应急救援响应效率,实现 GB 级、TB 级和 PB 级海量遥感数据向 KB 级有效遥感信息的跨越,优化潜在用户体验,扩展潜在用户市场,为遥感影像应用的大众化、精细化和实时化服务提供有力支撑(王密和杨芳,2019)。

4.4 一站式精细化遥感云服务

应用遥感数据的用户正处在物联网互联网信息时代,互联网和大数据带来的便利信息服务正深刻地改变大众的应用需求,用户习惯通过网络探究关

注的焦点,而获取信息的遥感数据必将转化为互联网信息终端。因此对获取遥感空间信息提出了个性化、即时化、多样化和网络化等新兴的、潜在的需求。应基于移动互联网技术,通过构建统一的云平台数据资源访问接口,充分挖掘海量遥感数据价值、提供按需共享的云加端一体化的遥感应用服务(王晋年,2016)。在满足日常业务需求的同时,转向智能化、多终端和便捷操作的轻量级应用模式,为不同层次的用户提供随时随地按需的精细化、一站式智能终端在线实时服务。实现数据获取、数据存储、数据处理、解译分析、综合评估、产品制作和共享发布一站式服务,促进金融、保险等遥感应用新型生态圈形成。

参考文献 (References)

- Chen C, Li W, Gao L R, Li H C and Plaza J. 2018. Special issue on advances in real-time image processing for remote sensing. *Journal of Real-Time Image Processing*, 15 (3): 435-438 [DOI: 10.1007/s11554-018-0831-7]
- China Association for Geospatial Information Society (CAGIS). 2019. *China Geospatial Information Industry Report (2019)*. Beijing: Surveying and Mapping Publishing House (中国地理信息产业协会. 2019. 中国地理信息产业发展报告(2019). 北京: 测绘出版社)
- Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D and Moore R. 2017. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18-27 [DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031]
- Guo H D. 2018. A project on big earth data science engineering. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 33 (8): 818-824 (郭华东. 2018. 地球大数据科学工程. 中国科学院院刊, 33 (8): 818-824) [DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.08.008]
- Guo R Z, Hu F and Tang X M. 2018. Research on internationalization development strategy of high resolution satellite remote sensing industry. *China Soft Science*, (11): 1-9 (郭仁忠, 胡芬, 唐新明. 2018. 高分辨率卫星遥感产业国际化发展思路研究. 中国软科学, (11): 1-9) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-9753.2018.11.001]
- He G J, Wang L Z, Ma Y, Zhang Z M, Wang G Z, Peng Y, Long T F and Zhang X M. 2015. Processing of earth observation big data: challenges and countermeasures. *Chinese Science Bulletin*, 60(5/6): 470-478 (何国金, 王力哲, 马艳, 张兆明, 王桂周, 彭燕, 龙腾飞, 张晓美. 2015. 对地观测大数据处理: 挑战与思考. 科学通报, 60(5/6): 470-478) [DOI: 10.1360/N972014-00907]
- Hu F and Gao X M. 2019. Development trend analysis of remote sensing small satellite for surveying and mapping application. *Science of Surveying and Mapping*, 44 (1): 132-138, 150 (胡芬, 高小明. 2019. 面向测绘应用的遥感小卫星发展趋势分析. 测绘科学, 44(1): 132-138, 150) [DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2019.01.023]
- Jiang X W, Lin M S and Zhang Y G. 2016. Progress and prospect of Chinese ocean satellites. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1185-1198 (蒋兴伟, 林明森, 张有广. 2016. 中国海洋卫星及应用进展. 遥感学报, 20 (5): 1185-1198) [DOI: 10.11834/jrs.20166153]
- Li D R, Zhang L P and Xia G S. 2014. Automatic analysis and mining of remote sensing big data. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 43(12): 1211-1216 (李德仁, 张良培, 夏桂松. 2014. 遥感大数据自动分析与数据挖掘. 测绘学报, 43 (12): 1211-1216) [DOI: 10.13485/j.cnki.11-2089.2014.0187]
- Liao T K, Ren F and Wang X H. 2018. PIE5.0: new generation remote sensing image processing software of China. *Satellite Application*, (11): 66-67 (廖通逵, 任芳, 王小华. 2018. 新一代国产遥感图像处理软件 PIE5.0. 卫星应用, (11): 66-67) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2018.11.016]
- Lu N M and Gu S Y. 2016. Review and prospect on the development of meteorological satellites. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 832-841 (卢乃锰, 谷松岩. 2016. 气象卫星发展回顾与展望. 遥感学报, 20(5): 832-841) [DOI: 10.11834/jrs.20166194]
- Ma L, Liu Y, Zhang X L, Ye Y X, Yin G F and Johnson B A. 2019. Deep learning in remote sensing applications: a meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152: 166-177 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015]
- Ministry of Natural Resources. 2018. Outline of natural resources science and technology innovation development plan [EB/OL]. [2020-03-20]. http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html (自然资源部. 2018. 自然资源科技创新发展规划纲要[EB/OL]. [2020-03-20]. http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html)
- Shan J. 2017. Remote sensing: from trained professionals to general public. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 46(10): 1434-1446 (单杰. 2017. 从专业遥感到大众遥感. 测绘学报, 46 (10): 1434-1446) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20170361]
- Tong Q X, Meng Q Y and Yang H. 2018. Development and prospect of the remote sensing technology. *City and Disaster Reduction*, (6): 2-11 (童庆禧, 孟庆岩, 杨杭. 2018. 遥感技术发展历程与未来展望. 城市与减灾, (6): 2-11) [DOI: 10.3969/j.issn.1671-0495.2018.06.003]
- Tong X D. 2016. Development of China high-resolution earth observation system. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 775-780 (童旭东. 2016. 中国高分辨率对地观测系统重大专项建设进展. 遥感学报, 20(5): 775-780) [DOI: 10.11834/jrs.20166302]
- Wang J N. 2016. The cloud platform of earth remote sensing information changes and application: status and future development. *Science*

- and Technology for Development, 12(5): 644-646 (王晋年. 2016. 地球遥感信息变化应用云平台的现状与展望. 科技促进发展, 12(5): 644-646) [DOI: 10.11842/chips.2016.05.020]
- Wang M and Yang F. 2019. Intelligent remote sensing satellite and remote sensing image real-time service. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 48(12): 1586-1594 (王密, 杨芳. 2019. 智能遥感卫星与遥感影像实时服务. 测绘学报, 48(12): 1586-1594) [DOI: 10.11947/j. AGCS. 2019. 20190454]
- Zhang B. 2011. Intelligent remote sensing satellite system. Journal of Remote Sensing, 15(3): 415-431 (张兵. 2011. 智能遥感卫星系统. 遥感学报, 15(3): 415-431) [DOI: 10.11834/jrs. 20110354]
- Zhang J F, Hu X H, Zhang H, Wang R and Li H C. 2016. Intelligence analysis and application for satellite imagery of big data. Big Data Research, 2(5): #2016053 (张金芳, 胡晓惠, 张慧, 王瑞, 李海昌. 2016. 卫星影像大数据情报分析与应用. 大数据, 2(5): #2016053) [DOI: 10.11959/j. issn. 2096-0271. 2016053]
- Zhao Z M, Gao L R, Chen D, Yue A Z, Chen J B, Liu D S, Yang J and Meng Y. 2019. Development of satellite remote sensing and image processing platform. Journal of Image and Graphics, 24(12): 2098-2110 (赵忠明, 高连如, 陈东, 岳安志, 陈静波, 刘东升, 杨健, 孟瑜. 2019. 卫星遥感及图像处理平台发展. 中国图象图形学报, 24(12): 2098-2110) [DOI: 10.11834/jig. 190450]
- Zhong Y F, Ma A L, Ong Y S, Zhu Z X and Zhang L P. 2018. Computational intelligence in optical remote sensing image processing. Applied Soft Computing, 64: 75-93 [DOI: 10.1016/j. asoc. 2017. 11. 045]
- Zhu J Z, Shi Q, Chen F E, Shi X D, Dong Z M and Qin Q Q. 2016. Research status and development trends of remote sensing big data. Journal of Image and Graphics, 21(11): 1425-1439 (朱建章, 石强, 陈凤娥, 史晓丹, 董泽民, 秦前清. 2016. 遥感大数据研究现状与发展趋势. 中国图象图形学报, 21(11): 1425-1439) [DOI: 10.11834/jig. 20161102]

作者简介



刘东升, 1984年生, 男, 高级工程师, 主要研究方向为遥感图像处理。

E-mail: liudongsheng@piesat. cn



廖通逵, 通信作者, 男, 高级工程师, 主要研究方向为遥感行业应用。

E-mail: liaotongkui@piesat. cn

孙焕英, 女, 高级工程师, 主要研究方向为3S应用。

E-mail: sunhuanying@piesat. cn

任芳, 女, 中级工程师, 主要研究方向为遥感图像处理。

E-mail: renfang@piesat. cn