



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

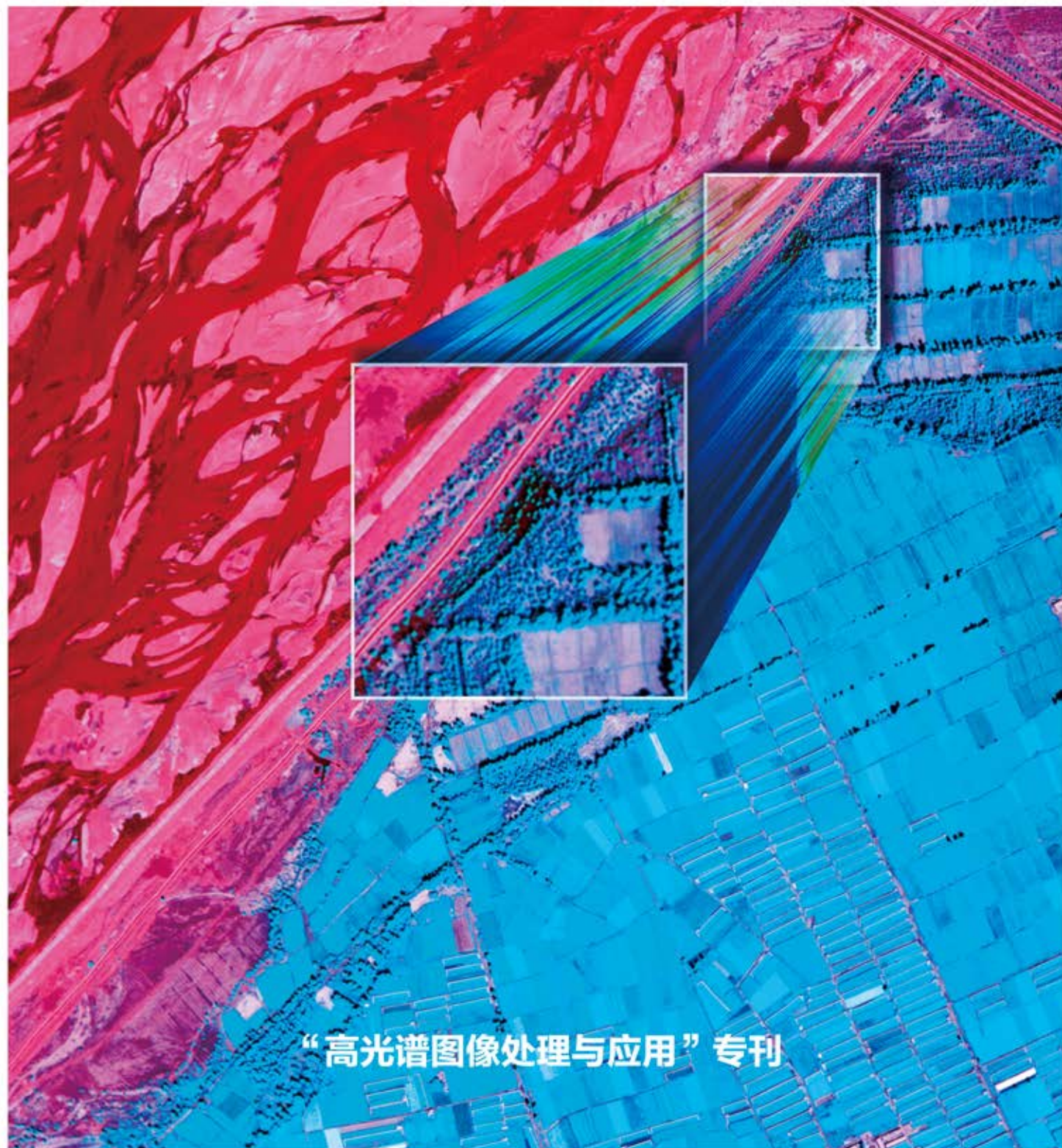
# 中国图象图形学报

2021

08

VOL.26

ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB



# 中国图象图形学报

刊名题字：宋健 月刊（1996年创刊）



第26卷第8期（总第304期）  
2021年8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》编辑出版委员会  
**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@aircas.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

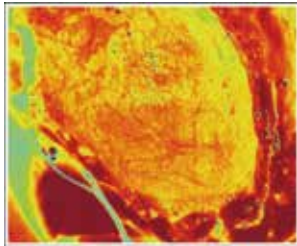
**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Aerospace Information Research Institute, CAS  
China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

**Editor-in-Chief** Wu Yirong  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics  
**Address** No. 19, North 4<sup>th</sup> Ring Road West, Haidian District, Beijing, P. R. China  
**Zip code** 100190  
**E-mail** jig@aircas.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



高光谱图像在生物学中的应用(第1764页)



HSRS-SC:面向遥感场景分类的高光谱图像数据集(第1809页)



多尺度超像素分割和奇异谱分析的高光谱影像分类(第1978页)

序言 ..... 何明一 I

编者按 ..... II

**综述**

高光谱图像空谱特征提取综述

叶珍, 白璘, 何明一 ..... 1737

高光谱图像在生物学中的应用

李伟, 吕蒙, 陈天虹, 楚照耀, 陶然 ..... 1764

**高光谱成像技术新进展**

近红外高光谱图像数据预测技术

梅少辉, 张博威, 马明阳, 贾森 ..... 1786

低成本便携式多光谱成像系统的研发及优化

朱豪男, 胡孟晗, 张健, 李庆利 ..... 1796

**数据集论文**

HSRS-SC:面向遥感场景分类的高光谱图像数据集

徐科杰, 邓培芳, 黄鸿 ..... 1809

**高光谱医学诊断**

膜性肾病诊断的高光谱图像张量嵌入分析

吕蒙, 陈天虹, 李伟, 杨悦, 涂天琪, 李文歌 ..... 1823

傅里叶变换通道注意力网络的胆管癌高光谱图像分割

郑少佳, 邱崧, 李庆利, 周梅, 胡孟晗, 于观贞 ..... 1836

**高光谱图像目标检测与识别**

局部梯度轮廓变换的高光谱异常检测

胡静, 张钰婧, 赵明华, 李鹏, 李云松 ..... 1847

结合孪生网络和像素配对的高光谱图像异常检测

王德港, 饶伟强, 孙旭, 渠瀛, 刘雪梅, 高连如 ..... 1860

粗定位和协同表示的高光谱图像异常检测

胡静, 赵明华, 李鹏, 李云松 ..... 1871

高光谱图像深度模糊核聚类的洋底锰结核识别

张启忠, 郑恩迪, 王叶剑, 高发荣 ..... 1886

**高光谱图像融合与恢复**

波段自适应细节注入的高分五号与Sentinel-2遥感影像空谱融合

王海荣, 郭擎, 李安 ..... 1896

基于频率加权张量核范数的高光谱图像复原

刘盛, 曾海金, 孔文凤, 张鹏丹 ..... 1910

**高光谱图像分类**

面向高光谱图像分类的内容引导卷积深度网络并行实现

刘启超, 肖亮, 杨劲翔 ..... 1926

增强类可分性的高光谱图像分类

方帅, 张坤, 张晶, 曹洋, 石为开 ..... 1940

高光谱图像分类的自适应决策融合方法

叶珍, 董睿, 陈浩鑫, 白璘 ..... 1952

跨数据集评估的高光谱图像分类

潘尔婷, 马泳, 黄璐, 樊凡, 李隼, 马佳义 ..... 1969

多尺度超像素分割和奇异谱分析的高光谱影像分类

付航, 孙根云, 赵云华, 潘兆杰, 胡光, 张爱竹 ..... 1978

结合倒置特征金字塔和U-Net的高光谱图像分类

程嵩阳, 熊玉洁, 姚瑶, 李庆利 ..... 1994

高光谱图像小样本分类的卷积神经网络方法

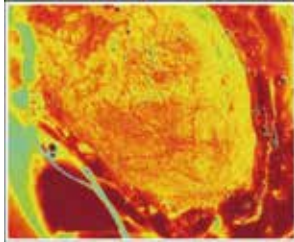
吴鸿昊, 王立国, 石瑶 ..... 2009

3D卷积自编码器高光谱图像分类模型

石延新, 何进荣, 李照奎, 曾志高 ..... 2021

# CONTENTS

## JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Application of a hyperspectral image in medical field: a review (P1764)



HSRS-SC: a hyperspectral image dataset for remote sensing scene classification (P1809)



Combining multiscale superpixel segmentation and singular spectral analysis for hyperspectral image classification (P1978)

### Review

- Review of spatial-spectral feature extraction for hyperspectral image  
Ye Zhen, Bai Lin, He Mingyi ..... 1737
- Application of a hyperspectral image in medical field: a review  
Li Wei, Lyu Meng, Chen Tianhong, Chu Zhaoyao, Tao Ran ..... 1764

### Advances in Hyperspectral Imaging

- Predicting near-infrared hyperspectral images from visible hyperspectral images  
Mei Shaohui, Zhang Bowei, Ma Mingyang, Jia Sen ..... 1786
- Development and optimization of a low-cost and portable multispectral imaging system  
Zhu Haonan, Hu Menghan, Zhang Jian, Li Qingli ..... 1796

### Dataset

- HSRS-SC: a hyperspectral image dataset for remote sensing scene classification  
Xu Kejie, Deng Peifang, Huang Hong ..... 1809

### Medical Hyperspectral Imagery

- Tensor-based graph embedding for discriminant analysis of membranous nephropathy hyperspectral data  
Lyu Meng, Chen Tianhong, Li Wei, Yang Yue, Tu Tianqi, Li Wen'ge ..... 1823
- Fourier transform channel attention network for cholangiocarcinoma hyperspectral image segmentation  
Zheng Shaojia, Qiu Song, Li Qingli, Zhou Mei, Hu Menghan, Yu Guanzhen ..... 1836

### Hyperspectral Target Detection and Recognition

- Transformation of local gradient profiles for hyperspectral anomaly detection  
Hu Jing, Zhang Yujing, Zhao Minghua, Li Peng, Li Yunsong ..... 1847
- Siamese network with pixel-pair for hyperspectral image anomaly detection  
Wang Degang, Rao Weiqiang, Sun Xu, Qu Ying, Liu Xuemei, Gao Lianru ..... 1860
- Rough location and collaborative representation for hyperspectral image anomaly detection  
Hu Jing, Zhao Minghua, Li Peng, Li Yunsong ..... 1871
- Recognition of ocean floor manganese nodules by deep kernel fuzzy C-means clustering of hyperspectral images  
Zhang Qizhong, Zheng Endi, Wang Yejian, Gao Farong ..... 1886

### Hyperspectral Image Fusion and Restoration

- Spatial-spectral fusion based on band-adaptive detail injection for GF-5 and Sentinel-2 remote sensing images  
Wang Hairong, Guo Qing, Li An ..... 1896
- Hyperspectral image restoration based on frequency-weighted tensor nuclear norm  
Liu Sheng, Zeng Haijin, Kong Wenfeng, Zhang Pengdan ..... 1910

### Hyperspectral Image Classification

- Parallel implementation of content-guided deep convolutional network for hyperspectral image classification  
Liu Qichao, Xiao Liang, Yang Jinxiang ..... 1926
- Hyperspectral image classification with enhanced class separability  
Fang Shuai, Zhang Kun, Zhang Jing, Cao Yang, Shi Weikai ..... 1940
- Adjustive decision fusion approaches for hyperspectral image classification  
Ye Zhen, Dong Rui, Chen Haoxin, Bai Lin ..... 1952
- Hyperspectral image classification evaluated across different datasets  
Pan Erting, Ma Yong, Huang Jun, Fan Fan, Li Hao, Ma Jiayi ..... 1969
- Combining multiscale superpixel segmentation and singular spectral analysis for hyperspectral image classification  
Fu Hang, Sun Genyun, Zhao Yunhua, Pan Zhaojie, Hu Guang, Zhang Aizhu ..... 1978
- Hyperspectral image classification using an inverted feature pyramid network with U-Net  
Cheng Songyang, Xiong Yujie, Yao Yao, Li Qingli ..... 1994
- Convolution neural network method for small-sample classification of hyperspectral images  
Wu Honghao, Wang Liguang, Shi Yao ..... 2009
- Hyperspectral image classification model based on 3D convolutional auto-encoder  
Shi Yanxin, He Jinrong, Li Zhaokui, Zeng Zhigao ..... 2021

# 序 言

高光谱图像(Hyperspectral Image)是光谱分辨率在 $10^{-2}\lambda$ 数量级范围内的成像光谱图像,也泛指光谱分辨率较高的图像集。在大约400~700 nm的可见光范围,全色、彩色、多光谱和高光谱相机(成像系统)获得的图像数分别是1、3、数十和数百幅,其光谱分辨率依次约为300、100、10~100和1~10 nm。通常,在空间分辨率相同的情况下,光谱分辨率越高,图像波段数越多、数据量越大,获取的关于被测对象的信息就越多,因而高光谱相机有更广泛的应用。最初面向遥感探矿重大需求,发展起来的高光谱成像技术被称为遥感领域的革命性变化,近十多年来得到了国内外的高度重视并取得重要进展。当前,高光谱成像及其应用呈现如下发展态势:成像光谱范围从最初的可见光向可见光、近红外、中红外和热红外波段范围拓展,其依托平台从飞机、卫星向车载、固定和显微成像等多平台拓展,其应用领域从最初的矿物识别、环境监视、植被分类、精准农业、大地制图、军事侦察逐渐向星球探测、天体物理以及食品、文物、化妆品、生物医学、刑侦等领域拓展。

高光谱图像包含了丰富的光谱、空间和辐射等信息,且具有光谱接近连续、图谱合一的特性,为复杂目标分类识别和精细分析提供了可能。与二维数字图像处理相比,高光谱图像处理存在以下问题:1)成像波段数量多,标记样本有限,导致“维数灾难”;2)观测到的反射或辐射的高光谱图像数据在空间、光谱和时间上存在多种冗余和深度耦合,分析处理难度大;3)由于在实现、成本、处理等方面需要综合权衡,实际高光谱成像系统常常呈现高的光谱分辨率和低的空间分辨率,导致出现亚像元、混合像元等问题。多光谱、高光谱图像的处理研究可以追溯到三十年前,但近十几年才引起广泛重视并形成热点研究。2009年,IEEE遥感学会主办了首届国际高光谱图像与信号处理大会(IEEE WHISPERS)。2011年以来,我国“全国成像光谱对地观测研讨会”和“全国高光谱成像技术及应用研讨会”分别在单数年和双数年召开。近年来,IEEE TGRS, JSTARS, SPM, SPL等国际期刊先后出版了高光谱遥感图像(数据)处理专辑。NASA于2015年6月23日发射的地球观测卫星EO-1,我国于2018年5月9日发射的高分五号卫星和2019年9月12日发射的资源一号02D星等,都携带了先进的高光谱、多光谱成像系统,并源源不断向地面传回高光谱图像数据。

随着高光谱成像系统的小型化、轻量化,高光谱成像系统可以装载在各种各样的静止和移动平台,甚至出现了显微高光谱成像系统。高光谱图像的获取呈现多平台、多时空、长时间观测,其数据呈现大数据特点,各种各样应用需求十分迫切。此外,深度学习为高光谱遥感图像处理提供了新的方法和手段。“加快数字化发展,建设数字中国”写进《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,高光谱图像的数字化成像、网络化获取和智能化处理是“数字中国”建设的重要内容之一。

在上述背景下,《中国图象图形学报》策划了“高光谱图像处理及应用”专刊。邀请业内专家共同组织,收录国内学者在高光谱图像处理及应用领域具有创新性和先进性的研究成果。本期专刊征文得到了领域专家和学者的热烈响应,为本专刊提供了丰富的优质稿源,集中反映了研究团队的交叉性、研究主题的广泛性和研究成果的先进性。我们期待广大读者和科技人员通过本期“高光谱图像处理及应用”专刊,能够更深入、更全面地了解该领域的最新技术和应用,有更多学者参与相关研究,产生具有国际影响力的优秀成果,为领域发展和“数字中国”建设做出新的贡献。

专刊主编



西北工业大学 教授

# 编者按

为了促进我国高光谱图像处理及应用领域的发展,及时反映该领域的最新研究进展,《中国图象图形学报》邀请长期深耕该领域的知名学者,一线科研人员和青年学者,围绕高光谱新型成像技术,高光谱图像信息处理与智能分析技术,高光谱图像在遥感观测、医学诊断等领域的应用技术,高光谱图像数据集构建技术等方向展开研究,并形成该专刊。经过严格的评审和修订,“高光谱图像处理与应用”专刊共收录学术论文 21 篇,包括 2 篇“综述”、2 篇“高光谱成像技术新进展”论文、1 篇“数据集论文”、2 篇“高光谱医学诊断”论文、4 篇“高光谱图像目标检测与识别”论文、2 篇“高光谱图像融合与恢复”论文和 8 篇“高光谱图像分类”论文。

“综述”栏目中,《高光谱图像空谱特征提取综述》从传统机器学习方法和深度学习方法两方面出发,对高光谱图像空谱特征提取的研究现状进行了系统的梳理与总结,尤其对近 3 年的前沿技术进行了分析与评价,对高光谱图像空谱特征提取研究的现有待解决问题与未来发展趋势进行了评估与展望。《高光谱图像在生物医学中的应用》总结并阐述了近年来高光谱成像技术在疾病诊断和手术指导中的应用进展,涉及其在癌症、心脏病、视网膜疾病、糖尿病足、休克、组织病理学和图像引导手术等方面的应用。通过综合分析高光谱成像技术在生物医学领域应用的局限性,提出了该技术的未来发展方向。

“高光谱成像技术新进展”栏目中,《近红外高光谱图像数据预测技术》利用卷积神经网络在大数据信息挖掘以及预测方面的优势,探索根据可见光域高光谱数据预测近红外域高光谱数据的可能性,并进一步验证这些被预测出的数据对于典型图像处理如高光谱图像分类等的影响。《低成本便携式多光谱成像系统的研发及优化》设计并搭建了一种基于脉冲调制的低成本便携式多光谱成像系统,系统具有成本低、操作难度小、结构简单、成像质量较好和成像速度较快的特点,可以满足多光谱成像系统大规模推广使用的要求。

“数据集论文”栏目中,《HSRS-SC:面向遥感场景分类的高光谱图像数据集》基于轻便机载光谱成像仪(CASI)航拍的高光谱影像,构建了一个较大规模的高光谱遥感场景分类数据集(HSRS-SC)。HSRS-SC 数据集的构建可以为高光谱影像场景级特征提取与分类模型设计等相关研究提供重要的性能评估基准。

“高光谱医学诊断”栏目中,《膜性肾病诊断的高光谱图像张量嵌入分析》和《傅里叶变换通道注意力网络的胆管癌高光谱图像分割》分别提出了用于医学高光谱图像的判别分析与图像分割算法;“高光谱图像分类”栏目中,《面向高光谱图像分类的内容引导卷积深度网络并行实现》通过分析内容引导卷积的特殊结构,将其拆分为二步运算,并通过深度学习加速库所提供的底层加速接口实现了其并行版本。通过在多组数据集上的分类精度、参数敏感度和小样本学习等综合性能测试证明了 CGCNN 的有效性,且算法精度稳定、具有可重复性。

## 专刊编委

李 伟 教 授,北京理工大学

李庆利 教 授,华东师范大学

高连如 研究员,中国科学院空天信息创新研究院

肖 亮 教 授,南京理工大学