## 自然科学奖公示信息

**一、项目名称**

多源遥感影像配准理论与关键技术

**二、提名者及提名意见**

陕西省电子学会

该项目针对多源遥感影像配准理论与方法展开研制和技术攻关，提出了针对差异特征联合优化问题的高效优化理论，提出了基于学习与优化的群智汇聚算法，建立了特征空间一致性模型，进一步发挥一致性信息在多源遥感影像配准领域中的应用，对于提高多源遥感影像配准的准确性和鲁棒性具有至关重要的作用。该项目将理论、模型、方法和应用相结合，发表的论文受到国际同行的好评，对多个科学领域具有推动作用，成果丰硕，创新性强，有力地推动了多源遥感影像领域的发展和创新。项目经过多年的理论和技术攻关，提出了面向多源遥感影像配准的一系列优化理论和模型，解决了特征匹配受噪声数据和非均衡数据影响、特征提取时受不同成像机理影响以及特征匹配优化受非凸和局部最优的影响等关键问题。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议。

根据《陕西省科学技术厅关于做好2023年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照自然科学奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省科学技术奖自然科学奖二等奖。

**三、项目简介**

花费巨大代价获取的海量、高分辨、多源遥感影像数据如何有效利用？其瓶颈本质是**如何高效求解雷达影像大数据处理中的学习与优化问题**。为实现把具有重要目标信息与决策支持的不同遥感影像数据的各自优势和互补性综合起来并加以利用，如何将这些多源遥感影像数据进行有效的组织与应用对遥感技术的发展至关重要，高效准确地对多源遥感影像进行智能解译与优化是其核心和本质。不同传感器获取的多源遥感影像间存在辐射特性、分辨率、成像时间上的巨大差异等特点对多源遥感影像的配准带来了巨大的挑战。以深度学习和演化计算为代表的计算智能方法可以为遥感大数据处理提供有效的途径，近年来成为热点研究领域。

本项目围绕多源遥感影像的智能联合解译与优化理论与方法进行研究，经过多年的理论和技术攻关，提出了面向多源遥感影像配准的一系列优化理论和模型，**解决了特征匹配受噪声数据和非均衡数据影响、特征提取时受不同成像机理影响以及特征匹配优化受非凸和局部最优影响等关键问题**。主要科学发现有：差异特征联合优化理论、基于学习与优化的群智汇聚算法、特征匹配的空间一致性模型等。

（1）**差异特征联合优化理论**：针对多源遥感影像特征联合解译中典型场景的特征差异问题，通过分析传统特征学习算法的优势和局限性，结合多源遥感数据样本的特点，提出了针对差异特征联合优化问题的高效优化理论。针对多源遥感影像提取特征差异性大的问题，通过分析、模拟人脑等自然智能系统的行为和机理，将差异特征提取并建模成学习与优化问题，提出了基于深度神经网络的优化理论和模型，解决了面向多源遥感影像配准的差异特征联合优化难的问题。加拿大温莎大学终身教授Jonathan Wu教授（加拿大工程院院士）对该成果给出了正面的评价。

（2）**基于学习与优化的群智汇聚算法**：针对多源遥感影像配准优化中全局与局部搜索的平衡、搜索过程中知识的高效获取与利用难题，本项目分析模拟了个体学习与群体学习在不同尺度的竞争与协作机制，揭示了演化搜索过程中，通过分析个体和群体的搜索行为，从局部统计信息中获取知识指导全局搜索，是提高演化计算寻优能力的关键。本项目提出了基于学习与优化的群智汇聚算法，该算法通过群体内多个个体协作并学习环境信息和演化轨迹，获取提高适应度的全局搜索方向。实现了利用优化过程中的统计信息指导全局搜索，解决了优化中个体与群体搜索的自适应平衡难题，有效提高了搜索的鲁棒性和效率。澳大利亚新南威尔士大学Hussein A. Abbass教授（IEEE Fellow）在其发表论文中肯定了研究成果在多源遥感影像配准中的应用。

（3）**特征空间一致性模型**：针对特征匹配的空间一致性模型进行深入研究，提出了快速采样一致性模型和增强特征一致性模型。高效挖掘不同空间，不同层次下潜在的一致性信息，从而实现多源遥感影像的精确快速配准。本项目通过对特征分布及其周围空间区域的分析，提出了一种对特征分布进行直接采样和识别的空间一致性模型，突破了传统方法采样与识别在相同特征集合内进行的模式。该方面成果被美国马里兰大学Chein-I Chang教授（IEEE Life Fellow）评价为“可以获得更多的正确匹配，提高的匹配的正确率”，可见项目研究成果得到了同行专家的广泛认可。

项目第一完成人获陕西省青年科技新星、ACM 中国新星奖。项目第二完成人入选教育部新世纪优秀人才支持计划，曾担任CCF 西安主席、CCF YOCSEF主席。项目第四完成人入选国家万人计划科技创新领军人才，连续七年入选中国高被引学者。项目第五完成人入选省部级人才，博士论文获全国优秀博士学位论文。

**四、客观评价**

本项目的研究成果在多源遥感影像配准领域引起了广泛的关注，多项算法模型被同行业研究人员在其论文中引用，并作为最新对比算法。5篇代表性论著总共**SCI他引415次，谷歌学术被引718次，包括2篇ESI高被引论文，其中两篇论文的谷歌学术引用量突破240次**，且得到了张良培、李学龙、Chein-I Chang和Antonio Plaza等十余位IEEE Fellow在内的国内外同行的引用和正面评价。

1. **对发现点1的典型学术评价：**

**ISPRS P&RS (IF=12.7) / IEEE TGRS (IF=8.2) 副主编**、瑞士洛桑联邦理工学院Devis Tuia教授及其合作者在代表性引文[1]中将该论文作为代表性方法并介绍其特点和原理。具体引述如下：“*Ma et al. (2019) proposed a* ***two-step, coarse-to-fine registration method*** ….”（文献Ma et al. (2019)为本项目代表性论著[1]，“马等人提出了**两阶段由粗到细的配准方法**”）。

**加拿大工程院院士、IEEE TCSVT (IF=8.4) 副主编**、加拿大温莎大学终身教授Jonathan Wu教授及其合作者在代表性引文[2]中对该论文评价道：“*Wu et al. [44]* ***exploited the ant colony optimization technique for a high-order GM****.*”（文献[44] 为本项目代表性论著[3]，“武等人**运用蚁群优化算法以解决高阶图匹配问题**”）。

**欧洲科学院院士、IEEE Fellow**、西北工业大学李学龙教授及其合作者在代表性引文[3]中对该论文给出了正面评价：“*Wu et al. [Wu et al., 2015] first applied* …. *and then tried to find the* ***precise matches*** *from the initial matches* ***as many as possible****.*”（文献[Wu et al., 2015]为本项目代表性论著[4]，“武等人提出的方法尝试从初始匹配中找到**尽可能多的精确匹配**”）。

1. **对发现点2的典型学术评价：**

**IEEE Fellow**、澳大利亚新南威尔士大学Hussein A. Abbass教授及其合作者在代表性引文[4]中对该论文评价道：“*ACO has been* ***successfully applied in multisensor remote sensing image registration*** *[9],* …”（文献[9]为本项目代表性论著[2],“该发现点中方法将ACO**成功应用到多传感器遥感图像配准领域**”）。

**IEEE Fellow、 ISICT前主席、TGRS(IF=8.2)副主编**、意大利热那亚大学Sebastiano B. Serpico教授及其合作者在代表性引文[5]中将该论文作为代表性方法并介绍其特点和原理。具体引述如下：“*... In the last decade, different solutions have been proposed, ranging from … and the method in [50], which* ***uses an ant-colony optimization algorithm****.*”(文献[50]为本项目代表性论著[2]，“该发现点中方法**使用蚁群优化算法**解决图像配准问题”)。

**IEEE Fellow、国家测绘科技进步一等奖获得者、科睿唯安地球科学全球高被引学者**、武汉大学张良培教授及其合作者在代表性引文[6]中对该论文评价道：“*Position scale orientation SIFT (PSO-SIFT) [19] is another* ***improvement of SIFT***….” (文献[19]为本项目代表性论著[5]，“该代表作中方法能够**提高SIFT的性能**”)。

1. **对发现点3的典型学术评价：**

**IEEE Life Fellow**、美国马里兰大学Chein-I Chang教授及其合作者在代表性引文[7]中给出了正面评价：“*Wu et al. [30] also proposed* … *to* ***increase the correct matches****.* … *is further proposed to* ***increase the accuracy of feature matching****.*”（文献[30]为本项目代表性论著[4]，“该发现点中方法用于**提高正确匹配数量**并**提高特征匹配的正确率**”）。

**IEEE Fellow、前TGRS (IF=8.2)主编**、西班牙埃斯特雷马杜拉大学Antonio Plaza教授及其合作者在代表性引文[8]中评价道：“*Ma et al. [9] presented* … *to* ***increase the number of******significant correspondences****.*” (文献[9]为本项目代表性论著[5]，“该发现点中方法用于**提高有效匹配的数量**”)。

**IEEE Fellow、IEEE GRS MAGAZINE (IF=14.6)创始主编**、意大利特伦托大学Lorenzo Bruzzone教授及其合作者在代表性引文[9]中评价道：“*The use of computer vision-based algorithms has not been* ***widely investigated*** *with SAR data* ***except for*** *the task of image registration [33,34].*”（文献[34]为本项目代表性论著[5]，“该发现点中方法已被**广泛应用**在图像配准任务中”）。

**五、代表性论文专著目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著  名称 | 刊名 | 作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间 | 通讯作者 | 第一作者 | 国内作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 知识产权是否归国内所有 |
| 1 | A novel two-step registration method for remote sensing images based on deep and local features | IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing | Wenping Ma, Jun Zhang, Yue Wu, Licheng Jiao, Hao Zhu, Wei Zhao | 2019年57卷7期4834-4843页 | 2019年02月21日 | Yue Wu | Wenping Ma | 马文萍，张俊，武越，焦李成，朱浩，赵暐 | 60 | Web of Science | 是 |
| 2 | Multimodal continuous ant colony optimization for multisensor remote sensing image registration with local search | Swarm and Evolutionary Computation | Yue Wu, Wenping Ma, Qiguang Miao, Shanfeng Wang | 2019年47卷89-95页 | 2019年06月01日 | Yue Wu | Yue Wu | 武越，马文萍，苗启广，王善峰 | 41 | Web of Science | 是 |
| 3 | High-order graph matching based on ant colony optimization | Neurocomputing | Yue Wu, Maoguo Gong, Wenping Ma, Shanfeng Wang | 2019年328卷97-104页 | 2019年02月07日 | Maoguo Gong | Yue Wu | 武越，公茂果，马文萍，王善峰 | 14 | Web of Science | 是 |
| 4 | A novel point-matching algorithm based on fast sample consensus for image registration | IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters | Yue Wu, Wenping Ma, Maoguo Gong, Linzhi Su, Licheng Jiao | 2014年12卷1期43-47页 | 2014年06月06日 | Yue Wu | Yue Wu | 武越，马文萍，公茂果，苏临之，焦李成 | 152 | Web of Science | 是 |
| 5 | Remote sensing image registration with modified SIFT and enhanced feature matching | IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters | Wenping Ma, Zelian Wen, Yue Wu, Licheng Jiao, Maoguo Gong, Yafei Zheng, Liang Liu | 2014年14卷1期3-7页 | 2016年12月05日 | Wenping Ma | Wenping Ma | 马文萍，闻泽联，武越，焦李成，公茂果，郑亚飞，刘靓 | 148 | Web of Science | 是 |
| 6 | 学习型智能优化算法及其应用 | 清华大学出版社 | 邢立宁，陈英武，向尚 |  | 2019年7月 |  | 邢立宁 | 邢立宁，陈英武，向尚 |  |  | 是 |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政  职务 | 技术  职称 | 工作  单位 | 完成  单位 | 对本项目贡献 |
| 武越 | 1 | 无 | 副教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 本项目的负责人，负责整个项目的研究方案、研究目标和研究内容的制订与组织实施，对提名书《重要科学发现》中所列的3个发现点都做出了创造性贡献，是“代表性论文专著”主要学术思想的提出者，系统研究并逐步构建了完备的多源遥感影响配准理论框架，在该项目的各个方面都具有突出贡献，是3篇代表性论著的第一作者，具体见必备附件中代表性论文专著[2]、[3]和[4]。 |
| 苗启广 | 2 | 院长 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对提名书《重要科学发现》中所列的发现点1和2做出了创造性贡献，利用计算智能方法的学习与优化能力，提出了基于学习与优化的群智汇聚算法，通过个体和群体的协同学习，高效获取并利用知识指导全局搜索过程，解决了演化优化中全局与局部搜索的自适应平衡难题。该完成人是代表性论文专著[2]参与作者。 |
| 马文萍 | 3 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对提名书《重要科学发现》中所列的发现点1和3做出了创造性贡献，建立基于深度神经网络的多源遥感影像配准模型。通过分析不同传感器的成像特点与影像呈现出的地物特性，利用深度神经网络的特征表示和学习能力，解决了面向多源遥感影像配准中特征提取、表示和匹配，多源遥感数据间特征映射学习和多幅多源遥感影像联合配准中的关键问题。该完成人是代表性论文专著[1]和[5]的第一作者。 |
| 公茂果 | 4 | 主任 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对提名书《重要科学发现》中所列的发现点2和3做出了创造性贡献，建立基于学习与优化的多源遥感影像配准模型。通过分析探索了特征空间一致性挖掘的方式方法，建立特征空间一致性模型，进一步发挥一致性信息在多源遥感影像配准领域中的作用。该完成人是代表性论文专著[3]的通信作者，[4]和[5]的参与作者。 |
| 邢立宁 | 5 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对提名书《重要科学发现》中所列的发现点3做出了创造性贡献，建立快速采样一致性模型和增强特征一致性模型，通过探索不同空间及不同层次下潜在的一致性信息，推动了一致性信息在多源遥感影像配准领域中的发展，显著提升多源遥感影像配准任务的精度与速度。 |
| 王善峰 | 6 | 无 | 副教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对提名书《重要科学发现》中所列的发现点2做出了创造性贡献，针对优化问题中的全局搜索与局部搜索的平衡、算法参数的自适应调整等问题，提出了基于学习与优化的群智汇聚算法，通过个体和群体的协同学习，高效获取并利用知识指导全局搜索过程。该完成人是代表性论文专著[2]和[3]的参与作者。 |

**七、主要完成单位情况**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排序 | 完成单位 | 对本项目的贡献 |
| 1 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责项目的总体规划、设计、实施与组织，为本项目提供了大力支持和充分保障，确保了项目的顺利进行。此外，本项目从立项、实施到技术路线研究，该校都起主导性作用；由该校规划、设计和实施了本项目的一整套的面向多源遥感影像配准的特征检测、提取、匹配与优化的模型与系统。本项目围绕多源遥感影像配准中的解译与优化，经过多年攻关，完善了差异特征联合优化理论，提出了基于学习与优化的群智汇聚算法，构建了特征匹配的空间一致性模型，为多源遥感影像联合解译的高效、精准感知提供了坚实的理论依据。 |

**八、完成人合作关系说明**

第一完成人武越是本项目的组织者和发起者，负责整个项目的研究方案、研究目标和研究内容的制定与组织实施；第二完成人苗启广是第一完成人武越的博士后合作导师，与第一完成人武越合作完成代表作2；第三完成人马文萍是第一完成人武越的硕士研究生导师，与第一完成人武越合作完成所有的5篇代表作；第四完成人公茂果是第一完成人武越的博士研究生导师，与第一完成人武越合作完成代表作3，4和5；第五完成人邢立宁与第四完成人公茂果在学术上具有紧密合作关系，曾共同发表论文；第六完成人王善峰与第一完成人武越合作完成代表作2和3。