

2026 年度陕西省自然科学奖公示信息

项目名称			空天微动目标雷达信息感知关键理论与方法				
提名者			中共陕西省委军民融合发展委员会办公室				
提名意见							
我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照要求对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。 该项目组在国家自然科学基金优秀青年科学基金、面上基金、联合基金、青年科学基金等项目支持下，围绕空天微动目标雷达信息精准感知难题，构建了统一的空天微动目标表征模型，揭示了空天微动目标雷达回波与微多普勒表征机理，提出了一种多输入多输出雷达目标自适应检测与微动部件回波分离新方法。率先提出了空天微动目标高分辨成像系列方法，打破了传统方法无法对微动目标聚焦成像的限制。在国际上首次提出了深度卷积网络和马尔可夫随机场相结合的数据、物理双驱动半监督分割模型，突破了传统分割方法依赖大量标注样本的瓶颈，进一步提出多模信息提取与领域知识引导的融合识别方法，实现了空天微动目标关键部件的准确分割和目标类型的精准识别。 该成果应用背景明确，需求迫切，创新性强，发表论著引用率高，获得了本领域著名专家学者的广泛认可与好评，为我国空间态势感知和防空反导能力提升做出了重要贡献。 根据《陕西省科学技术厅关于 2026 年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照陕西省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一等奖。							
主要完成人情况							
排名	姓名	技术职称	工作单位		完成单位		
1	白雪茹	教授	西安电子科技大学		西安电子科技大学		
2	周峰	教授	西安电子科技大学		西安电子科技大学		
3	刘军	副教授	中国科学技术大学		西安电子科技大学		
4	曹相湧	副教授	西安交通大学		西安交通大学		
主要完成单位							
排名	单位名称						
1	西安电子科技大学						
2	西安交通大学						
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（出 版）时间 （年月 日）	通讯作 者（含 共同）	第一作者 （含共 同）	作者	论文署名单 位

1	Imaging of Micromotion Targets With Rotating Parts Based on Empirical Mode Decomposition / IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing / Xueru Bai, Mengdao Xing, Feng Zhou, Guangyue Lu, Zheng Bao	2008 年 46 卷 11 期 3514-3523 页	2008 年 11 月 30 日	白雪茹	白雪茹	白雪茹, 邢孟道, 周峰, 卢光跃, 保铮	西安电子科技大学
2	Tunable Adaptive Detection in Colocated MIMO Radar / IEEE Transactions on Signal Processing / Jun Liu, Shenghua Zhou, Weijian Liu, Jibin Zheng, Hongwei Liu, Jian Li	2018 年 66 卷 4 期 1080-1092 页	2017 年 11 月 29 日	刘维建	刘军	刘军, 周生华, 刘维建, 郑纪彬, 刘宏伟, Jian Li	西安电子科技大学
3	High Resolution ISAR Imaging of Targets with Rotating Parts / IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System /Xueru Bai, Feng Zhou, Mengdao Xing, Zheng Bao	2011 年 47 卷 4 期 2530-2543 页	2011 年 10 月 06 日	白雪茹	白雪茹	白雪茹, 周峰, 邢孟道, 保铮	西安电子科技大学
4	Hyperspectral Image Classification With Markov Random Fields and a Convolutional Neural Network / IEEE Transactions on Image Processing / Xiangyong Cao, Feng Zhou, Lin Xu, Deyu Meng, Zongben Xu, John Paisley	2018 年 27 卷 5 期 2354-2367 页	2018 年 01 月 29 日	孟德宇	曹相湧	曹相湧, 周峰, 徐麟, 孟德宇, 徐宗本, John Paisley	西安交通大学

5	Fusion Recognition of Space Targets With Micromotion / IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System / Xudong Tian, Xueru Bai, Ruihang Xue, Ruoyu Qin, Feng Zhou	2022 年 58 卷 4 期 3116-3125 页	2022 年 01 月 25 日	白雪茹	田旭东	田旭东, 白雪茹, 薛瑞航, 秦若雨, 周峰	西安电子科技大学
---	---	-----------------------------	------------------	-----	-----	------------------------	----------

客观评价

1. 对重要科学发现一的评价:

(1) IEEE Fellow, 美国海军实验室 V. C. Chen 教授在专著《The Micro-Doppler Effect in Radar》中积极评价了代表性论文 1 所提方法, 指出其为摆动刚体和具有铰链运动的非刚体微多普勒特征处理与分析做出了贡献。

(2) 中国科学院院士吴一戎、中国科学院院士丁赤飏教授团队在 Sci. China Inf. Sci. (IF=8.1) 期刊上充分肯定了代表性论文 1 所提方法, 指出其是一种提取微多普勒信号特征的重要方法。

(3) 中国科学院院士、国防科技大学校长黎湘教授团队在 IEEE TGRS (IF=9.4) 期刊上对代表性论文 1 进行高度评价, 指出所提出的经验模态分解方法是具有优良微动信号分离性能的三种经典方法之一。

(4) IEEE Fellow, IEEE SPM, IEEE TSP 等杂志主编 Hing Cheung So 教授团队在 IEEE TSP (IF=5.5) 期刊上充分肯定了代表性论文 2, 指出所提方法极大提高了复杂环境中的目标检测性能。

2. 对重要科学发现二的评价:

(1) 德州仪器 (TI) 公司信号处理部主席 John J. Soraghan 教授团队在 IEEE TAES (IF=7.0) 期刊上对代表性论文 3 进行了 7 行大篇幅引用, 指出所提出的实/复数逆 Radon 变换方法可实现飞机螺旋桨和直升机旋翼等旋转目标的图像重构, 并指出其所提出的复数逆 Radon 变换方法可通过相参积累获得更高的图像分辨率。

(2) 欧洲科学与艺术学院院士, IEEE Fellow, L. Stankovic 教授在雷达领域主流期刊 IET RSN 上充分肯定了代表性论文 2 所提方法, 指出其可以在目标散射点对应的距离和方位坐标处产生高度聚集的点散布函数。

3. 对重要科学发现三的评价:

(1) IEEE Fellow, King Ngi Ngan 教授团队在 IEEE TGRS (IF=9.4) 期刊上重点引用了代表性论文 4, 指出其所提方法是图像分割中三种最先进的深度学习方法之一。

(2) IEEE Fellow Maria Sabrina Greco 教授和 Fulvio Gini 教授团队在 IEEE JSTARS (IF=6.3) 期刊上引用了代表性论文 5, 指出所提方法通过微多普勒谱分析为目标分类和辨识提供了更准确、更有效的特征信息。

项目简介

弹道导弹、失稳卫星、空间碎片和旋翼飞机等空天微动目标作为空天防御的重要对象, 对其雷达信息的精准感知既是空天安全和制信息权争夺的关键环节, 也是雷达探测技术发展面临的重大基础性科学问题。然而, 空天微动目标微动形式多样, 难以用统一模型描述, 且目标运动非平稳性强, 回波时频耦合严重, 导致现有的空天微动目标雷达信息感知理论面临两大核心挑战: 1) 在目标非合作及微多普勒快变条件下, 如何对空天目标微动精确建模, 并揭示其雷达回波与微多普勒表征机理, 实现目标准确检测与微多普勒提取; 2) 在目标运动非平稳及观测样本受限条件下, 如何对目

标回波特性和图像特征进行深入分析与挖掘，实现空天微动目标聚焦成像、部件准确分割和类型精准识别。

该项目组在国家自然科学基金优秀青年科学基金、面上基金、联合基金、青年科学基金等项目的支持下，经过十余年潜心研究，构建了统一的空天微动目标表征模型，揭示了空天微动目标雷达回波与微多普勒表征机理，构建了空天目标微动部件高分辨聚焦成像新理论，提出了数据物理双驱动的半监督部件分割方法及多模信息提取与领域知识引导的融合识别方法，实现了空天微动目标雷达信息的精准感知。同时，发表了系列高水平学术论文，引领了微动目标雷达高精度检测与成像识别理论发展，为我国地基雷达装备效能发挥和态势感知能力提升做出了重要贡献，具体科学发现如下：

（1）空天微动目标雷达回波与微多普勒表征机理

如何对空天微动目标雷达回波与微多普勒进行有效表征是复杂运动目标雷达探测面临的重大基础性科学问题。针对空天微动目标非合作、微多普勒快变等导致的目标高精度检测与微多普勒提取难题，构建了统一的空天微动目标表征模型，揭示了其雷达回波与微多普勒表征机理，巧妙将目标复杂微动引起的 RCS 闪烁等不利因素转化为目标检测可用的先验信息，挖掘空天微动目标回波与强杂波统计特性的差异性，提出了一种多输入多输出雷达目标自适应检测新方法，有效克服了微动目标 RCS 闪烁引起的导向矢量误差对目标检测的影响。在此基础上，提出了复数经验模态分解的空天微动目标主体与微动部件回波分离方法，通过在复数域设计数据驱动的自适应正交滤波器组，实现微动回波准确分离，与经典时频固定基分离方法相比，获得了更高精度的分离结果。

代表性论文 2 为 ESI 高被引论文。上述工作受到中国两院院士、IEEE Fellow 等著名学者及德国弗劳恩霍夫高频物理与雷达技术研究所等顶尖科研机构雷达专家的广泛引用与正面评价。

（2）空天微动目标高分辨聚焦成像新理论

空天微动目标的微多普勒包含了微动部件重要的尺寸和结构信息，然而其运动非平稳性强、变化快，回波存在大量遮挡断裂，导致传统基于傅里叶变换的方法无法实现方位聚焦成像，只能将其作为干扰摒弃。针对上述难题，该项目组率先揭示了目标微动部件回波与散射中心分布形态学变换之间的等价性，深入挖掘空天微动目标运动与回波特性和，构建了高分辨距离像序列形态学逆变换的二维成像新理论，提出了实/复数逆 Radon 变换的微动部件高分辨成像新方法，并推导出空间微动目标散射中心点散布函数的闭式解，获得了空天微动目标的高分辨成像结果，填补了空天目标微动部件方位维聚焦成像的理论与技术空白。

该项目组在国内率先获得了美俄卫星相撞碎片、在轨飞行器微动部件、弹道目标等的高分辨图像，实现了对空天微动目标的聚焦成像和结构完整描述。上述工作受到中国科学院院士、欧洲科学与艺术学院院士、IEEE Fellow 等著名学者的正面评价，认为所提方法“通过相干积累获得了更高的图像分辨率”。

（3）空天微动目标部件分割与识别新方法

针对空天微动目标有标注图像少、样本相似性高等观测样本受限条件下的部件分割与类型识别难题，在国际上首次提出了深度卷积网络和马尔可夫随机场相结合的数据、物理双驱动半监督分割模型，突破了传统图像分割方法依赖大量标注样本的瓶颈，实现了无标注样本的高效利用和小样本条件下目标部件的准确分割。进一步提出了多模信息提取与领域知识引导的融合识别方法，实现了对目标结构、微动等多模态特征的准确提取、综合利用及目标类型的精准识别。

代表性论文 4 为 ESI 高被引论文。上述工作受到中国两院院士、IEEE Fellow 等著名学者的高度评价，认为所提方法可以有效提高部件分割与类型识别性能。

完成人合作关系说明

第一完成人白雪茹教授、第二完成人周峰教授在空天微动目标微多普勒分析与成像等研究方向进行了长期合作，为代表性论文 1、3、5 的共同作者。

第三完成人刘军副教授在 2015-2017 年期间，和第一完成人白雪茹教授共同在陕西省青年科技新星项目“基于 HRRP 序列的空间微动群目标双站 ISAR 成像与特征提取方法研究”中开展合作。

第四完成人曹相湧副教授和第二完成人周峰教授在贝叶斯学习、图像分割等研究方向进行了长期合作，为代表性论文 4 的共同作者。