

2026 年度陕西省自然科学奖公示信息

项目名称			低质观测条件下高动态目标雷达探测估计理论与关键技术				
提名者			陕西省知识产权局				
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。 该项目针对低质观测条件下高动态目标雷达探测估计理论与关键技术展开攻关。首先，针对复杂杂波环境下宽带高动态目标贝叶斯检测技术展开研究，解决了宽带信号下高动态目标回波跨距离单元扩展，复杂非高斯、异构杂波环境辅助数据不足且与待检测单元统计失配问题下，高动态目标知识辅助贝叶斯检测问题。其次，针对高动态目标跨域飞行过程中运动特性产生的回波信号形变、脉压失配，脉间非线性距离徙动和多普勒频率徙动问题，针对低质观测条件下样本数不足对参数估计精度的影响问题，提出了高动态目标跨域非线性回波能量积累聚焦方法、一维距离像重构方法、目标运动姿态估计及定位方法。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，有力地推动了高动态目标探测估计领域的发展和创新。 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二等奖。							
主要完成人情况							
排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位			
1	张娟	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学			
2	戴奉周	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学			
3	洪灵	副教授	陕西师范大学	陕西师范大学			
4	王媛媛	副教授	西北大学	西安电子科技大学			
主要完成单位							
排名	单位名称						
1	西安电子科技大学						
2	陕西师范大学						
...							
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	Longtime Coherent Integration Algorithm for High-Speed Maneuvering Target Detection Using Space-Based Bistatic Radar/ IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing/ Juan Zhang, Tong Ding, and Linrang Zhang	2022 年 60 卷 1-16 页	2020 年 11 月 26 日	张娟	张娟	张娟,丁 彤,张林 让	西 安 电 子 科技大学
2	A Novel Iterative Inner-Pulse Integration Target Detection Method for Bistatic Radar/ IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing/ Tong Ding , Juan Zhang , Shiyang Tang, Linrang Zhang,Yachao Li	2022 年 60 卷 1- 15 页	2022 年 06 月 24 日	张娟	丁彤	丁彤,张 娟,唐世 阳, 张 林 让, 李亚超	西 安 电 子 科技大学
3	Efficient angular chirp-Fourier transform and its application to high-speed target detection/ Signal Processing/ Xiang Huang , Linrang Zhang, Juan Zhang*, Shengyuan Li	2019 年 164 卷 234- 248 页	2019 年 6 月 8 日	张娟	黄响	黄 响, 张 林 让, 张 娟, 李 升远	西 安 电 子 科技大学
4	Bayesian Detectors for Wideband Radar Target With Range Walking in Compound Gaussian Clutter/ IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems/ Ling Hong, Fengzhou Dai, Bo Zhang	2023 年 59 卷 3038- 3054	2022 年 11 月 11 日	洪灵	戴奉周	洪灵,戴 奉周,张 博	陕 西 师 范 大学
5	Gohberg-Semencul Factorization-Based Fast Implementation of Sparse Bayesian Learning With a Fourier Dictionary/ IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing/ Fengzhou Dai , Yuanyuan Wang, Ling Hong	2022 年 60 卷 1-15 页	2022 年 2 月 24 日	戴奉周	洪灵	戴 奉 周, 王 媛媛, 洪灵	西 安 电 子 科技大学

客观评价

本项目研究成果在低质观测条件下的雷达目标探测与高效信号处理领域引起了国内外同行的广泛关注，多项算法及模型被国内外研究人员在公开发表的论文中引用，部分成果被作为相关领域的代表性方法、对比方法或后续算法设计的技术基础。5 篇代表性论文总计 SCI 他引 55 次，并得到 Xiang-Gen Xia、Tat-Soon Yeo、Hongbin Li、Fulvio Gini 等 IEEE Fellow，以及国家杰出青年科学基金、国家优秀青年科学基金获得者和教育部长江学者等国内外同行的引用和正面评价。具体包括：

➤ IEEE Fellow Xiang-Gen Xia 在其发表于 IEEE TGRS 的论文中引用了本项目星载双基地雷达目标探测成果，指出相比传统星载单基地监视雷达，星载双基地监视雷达具有更强的抗干扰能力和更高的可靠性：“In addition, compared with conventional spaceborne monostatic surveillance radar systems, a spaceborne bistatic surveillance radar system has stronger anti-interference ability and greater reliability [8], [9].”

➤ IEEE Fellow Tat-Soon Yeo 在其研究中多次引用本项目高速运动目标长时间相干积累与双基地雷达目标检测成果，指出高速目标运动产生的跨距离单元现象会造成相干积累困难：“First, the target’s high-speed movement brings about the across range unit (ARU), making the accumulation of SCI difficult [23], [24].”；同时，对本项目提出的双基地雷达高速目标迭代脉间积累检测方法进行了专门介绍，指出该方法首先校正线性距离徙动，随后对多普勒频率徙动进行补偿：“Ding et al. [31] offered an iterative interpulse integration target detection method for bistatic radar. Nevertheless, the method of [31] is to first correct the linear RM, and then compensate the DFM thereafter.”

➤ 国家自然科学基金优秀青年科学基金获得者郑纪彬教授在其研究中引用并评价了本项目提出的高速高机动目标运动参数估计与补偿方法，认为所提出的相邻互相关函数（ACCF）方法能够实现高速高机动目标的运动补偿和参数估计，并具有迭代次数少、计算复杂度低的优势：“The adjacent cross-correlation function (ACCF) [39], [41] method realizes motion compensation through echo autocorrelation, and can realize parameter estimation of high maneuvering target through several iterations with very low computation complexity.”

➤ IEEE Fellow Hongbin Li 在其宽带雷达目标检测研究中多次引用本项目成果，并将其列为距离徙动条件下距离扩展目标检测领域的相关代表性研究工作：“Meanwhile, considerable effort has been devoted to detecting RSTs in the presence of range migration [45], [46], [47], [48], [49].”；“In recent years, several efforts have been made to detect RSTs with RM [43], [44], [45], [46].”

➤ 教育部长江学者叶春茂教授在其宽带雷达目标检测研究中引用了本项目成果，指出随着高速、机动和隐身目标日益增多，以及雷达带宽和距离分辨率不断提高，传统动目标检测方法受到距离徙动、多普勒频率徙动和距离扩展等因素的严重影响：“However, with the increasing prevalence of high-speed, maneuvering, and stealth targets, as well as the growth of radar bandwidth and improvement of range resolution, traditional MTD becomes severely affected by range migration (RM), Doppler frequency migration (DFM), and range-spread (RS) [3].”

➤ 国家杰出青年科学基金获得者王勇教授在其研究中引用并评价了本项目提出的快速稀疏贝叶斯学习方法，认为该方法利用 Gohberg–Semencul（G–S）分解和快速傅里叶变换（FFT）加速频域稀疏贝叶斯学习，相比传统 FD-SBL 可显著降低计算复杂度：“This approach uses the G–S factorization and FFT to accelerate the computation of FD-SBL, leading to a substantial reduction in computational complexity compared to FD-SBL [26].”

➤ 国家杰出青年科学基金获得者武俊杰教授在其后续算法设计中进一步采用了本项目相关高效计算方法，通过二维 Levinson–Durbin 递推算法避免大规模矩阵运算：“Here, to avoid large-scale matrix operations, the 2D–Levinson–Durbin algorithm [49] is introduced to recursively solve u , t , which can be summarized as follows.”

项目简介

跨域飞行器远距离、大空域、宽速域、高机动的极端运动特性，使其在雷达等电磁感知中成为一个强时变、非平稳、跨域走动的回波特性高度复杂的探测目标，对实现稳定、连续、高精度的探测、参数估计、成像提出了挑战。传统雷达建立在“停-走”假设基础之上的简化信号模型认为目标在脉冲持续时间内保持静止，而在脉冲间期发生瞬时移动，对于高动态目标，存在模型误差与失真失配。尽管高动态目标雷达探测估计理论已经在工程应用过程中不断完善和发展，但在非平稳异构杂波、低信噪比、强干扰等低质观测条件下，仍未形成完整的探测估计理论体系，现有研究呈现具象化、碎片化，缺乏统一的理论架构。本研究通过构建高动态目标姿态参数表征，攻克多参数耦合精确回波信号建模、跨域非线性回波能量聚焦、低信噪比与稀疏样本下的目标姿态参数估计等核心难题，实现了问题导向-理论方法-技术攻关的全链路突破。本项目主要科学发现包括：

（1）复杂杂波环境下宽带高动态目标贝叶斯检测技术（代表性论文【4】）

针对宽带雷达高分辨条件下高动态运动目标跨距离单元扩展，复杂非高斯、异构杂波环境中辅助数据不足或与待检测单元统计失配等问题，提出了宽带信号下高动态目标知识辅助贝叶斯检测方法。构建了复杂杂波环境下高动态目标与背景杂波的联合概率模型，以及主数据、辅助数据联合分层贝叶斯模型，将杂波先验信息和当前观测数据统一纳入检测框架。该成果突破了传统宽带目标检测对高斯均匀杂波和充足同分布二次数据的依赖，建立了面向距离徙动目标、复合高斯杂波及异构环境的统一贝叶斯检测理论体系。所提方法能够有效适应宽带雷达高分辨率、多距离单元扩展目标以及复杂电磁环境下的统计不确定性，在缺少训练数据和杂波非均匀条件下仍保持较高检测性能，与同类算法相比，在非高斯异构杂波环境中宽带雷达目标检测性能改善了 2.6dB，为复杂杂波环境下高动态目标检测提供了新的理论方法。代表性论文【4】发表于 IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 上，IEEE Fellow Hongbin Li 在宽带雷达距离扩展目标检测研究中多次引用本项目成果，并将其列入解决距离徙动条件下距离扩展目标检测问题的重要研究工作：“Meanwhile, considerable effort has been devoted to detecting RSTs in the presence of range migration.”以及：“In recent years, several efforts have been made to detect RSTs with RM.”相关引用表明，本项目在距离徙动、复杂杂波背景下宽带雷达距离扩展目标检测方面的研究成果已成为该方向后续研究的重要参考。

（2）高动态目标跨域非线性回波多域聚焦技术（代表性论文【1,2】）

高动态目标跨域飞行过程中与收发平台之间的高速高机动运动特性产生的脉内脉压失配，脉间的多阶距离徙动和多普勒频率徙动问题，回波信号存在的脉冲内尺度因子与脉内多普勒效应，导致经典的傅立叶分析方法无法在距离多普勒域聚焦，严重制约了高速目标的检测性能与参数估计精度。针对上述难题，本项目针对不同带宽探测信号提出了高动态目标跨域非线性回波能量积累聚焦理论。提出基于广义二阶 Keystone 变换与改进乘积三次相位函数相结合的长时相参积累方法、基于精确回波模型改进的广义 Radon 傅里叶变换算法（IGRFT）迭代相参积累方法等系列方法，相关成果突破了经典傅里叶变换动目标检测理论，可同时补偿尺度因子、脉内多普勒、距离徙动与多普勒频率徙动，改进后脉压增益约为 5dB 左右检测性能与同类算法相比约提高 12.4%。填补了高动态目标多域聚焦理论框架。所提方法具有更好的适应性、更强的交叉项抑制能力和更低的计算复杂度，显著提升了参数估计的准确性和检测性能，为复杂运动目标的信号处理提供了新的技术路径。代表性论文【1,2】发表在 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 上，IEEE Fellow Tat-Soon Yeo 在相关研究中多次引用本项目高速运动目标长时间相干积累与双基地雷达目标检测成果，指出高速目标运动产生的跨距离单元现象会导致相干积累困难：“First, the target’s high-speed movement brings about the across range unit (ARU), making the accumulation of SCI difficult [23], [24].”同时，在总结双基地雷达高速目标距离徙动与多普勒徙动补偿方法时，对本项目提出的迭代脉间积累检测方法进行了专门介绍：“Ding et al. [31] offered an iterative interpulse integration target detection method for bistatic radar. Nevertheless, the method of [31] is to first correct the linear RM, and then compensate the DFM thereafter.”上述引用表明，本项目提出的方法已被国际同行作为解决高速目标跨距离单元、距离徙动及多普勒徙动等关键问题的代表性技术路线之一。

（3）低质观测条件下高动态目标姿态参数估计及定位技术（代表性论文【3】）

针对目标高速运动引起的大宽带多散射点回波信号脉内高分辨距离像失真，提出基于最小熵快速傅里叶变换逐步消脏与稀疏贝叶斯学习的多高速目标高分辨距离像重构算法、角度域调频傅里叶变换（EACFT）算法等，通过速快速傅里叶变换消脏完成多目标的检测与分离，并获得各个目标粗略速度估计，将速度粗估计值融入稀疏贝叶斯估计框架中，同时引入矩阵 Gohberg 分解与先验共轭梯度，降低稀疏贝叶斯估计的计算复杂度和样本需求，获得目标高精度一维距离像估计与速度估计。在参数估计计算复杂度方面通过对搜索区间进行量化，逐步将旋转角度向最优角度逐渐靠近，可以将二维搜索过程转化为几次一维搜索过程，所提算法的计算量较循环的相邻互相关函数(IACCF)方法降低 5%。相关成果发表于 Signal processing, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 等期刊。该成果提升了宽带观测条件下高动态目标的一维距离像与速度信息估计精度，降低低质观测条件下样本数不足对参数估计精度的影响，为宽度信号高动态目标参数估计与定位提供技术途径。国家自然科学基金优秀青年科学基金获得者郑纪彬教授在其研究中引用并评价了本项目提出的高速高机动目标运动参数估计与

补偿方法，认为所提出的相邻互相关函数（ACCF）方法能够实现高速高机动目标的运动补偿和参数估计，并具有迭代次数少、计算复杂度低的优势：“The adjacent cross-correlation function (ACCF) [39], [41] method realizes motion compensation through echo autocorrelation, and can realize parameter estimation of high maneuvering target through several iterations with very low computation complexity.”

（4）宽带条件下低质观测高动态目标 ISAR 成像技术（代表性论文【5】）

针对高动态目标 ISAR 图像重构中高计算复杂度问题，特别是迭代过程中协方差矩阵求逆和矩阵乘法导致计算量随观测维数快速增长，提出了基于结构化矩阵理论的快速稀疏贝叶斯学习方法，采用基于 Gohberg–Semencul 因子分解的快速稀疏贝叶斯理论，利用逆协方差矩阵的低位移秩结构，将传统 SBL 中的大规模矩阵求逆和矩阵—向量乘法转化为 FFT/IFFT 快速运算，所建立的结构化快速 SBL 理论推广至复杂非均匀观测条件下的高分辨 ISAR 成像，针对稀疏孔径、周期缺失以及频率捷变与 PRI 抖动导致的二维随机缺失观测问题，建立了统一的缺失观测稀疏成像模型，发展了基于结构保持快速 SBL 的高分辨 ISAR 成像方法，实现了缺失数据恢复、运动参数估计、运动误差补偿、自聚焦成像以及尺度定标的一体化处理。所提方法在高缺失率、低信噪比条件下仍能够实现稳定的稀疏信号恢复和清晰聚焦的二维高分辨 ISAR 成像，在不降低传统 SBL 算法重构分辨率和精度的前提下，计算复杂度下降了 3 个数量级，为复杂观测条件下雷达高分辨成像提供了新的理论和技术途径。国家自然科学基金杰出青年科学基金获得者武俊杰教授在其新算法设计中进一步采用了本项目相关高效计算思想，通过二维 Levinson–Durbin 递推算法避免大规模矩阵运算：“Here, to avoid large-scale matrix operations, the 2D–Levinson–Durbin algorithm [49] is introduced to recursively solve u , t , which can be summarized as follows.”这表明，本项目在结构化矩阵快速求解与高效稀疏贝叶斯学习方面形成的技术方法不仅得到同行引用，而且被后续研究直接借鉴用于新算法设计，体现了较好的学术传播和方法推广价值。

完成人合作关系说明

本项目第一完成人张娟与第二完成人戴奉周均为西安电子科技大学雷达信号处理全国重点实验室教师，2014-2026 年期间在高动态目标探测聚焦方面存在合作关系，共同承担多项研究项目，发表 SCI 论文 2 篇。第三完成人陕西师范大学洪灵，与第二完成人西安电子科技大学戴奉周在宽带雷达目标探测研究开展深度合作，双方共同攻克了宽带雷达目标检测难题，联合发表了 SCI 论文 2 篇（见代表性论文【4，5】）。第四完成人西北大学王媛媛与第二完成人西安电子科技大学戴奉周在 2021-2026 年期间，在雷达目标稀疏成像与快速算法研究开展深度合作。戴奉周负责雷达目标稀疏成像方法，王媛媛负责稀疏成像快速算法设计。双方共同攻克了[轻量化雷达目标稀疏成像]技术难题，联合发表了 SCI 论文 1 篇（见代表性论文【5】）。