

2025 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

精打运载平台位姿概率域估计与干扰复合属性辨识

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：该成果提出了高斯概率域下非线性状态估计理论与方法，解决了经典时域内非线性状态估计理论长期囿于计算复杂、通用性差的难题，显著提升了精确运载平台在复杂运动场景中惯导系统位姿估计的精度和快速性；提出了非线性积分高阶余项辨识的双层期望最大化方法，解决了经典数值方法“计算病态”、非物理解的难题，提升了数值计算的长期稳定性和精度，保障了无人机、潜航器等长航时运载平台长期稳定导航信息输出。研究成果选题准确，研究起点高，理论上创新性强，发表的论文国内外引用率高，受到国内外学术界的好评和认可，对估计与辨识领域相关研究具有引领和示范作用，有重要的学术价值和理论意义，对学科建设和经济社会发展有重要的指导作用。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件，特提名为陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介

长期以来，业内在设计非线性估计器时一直有个认知误区：在时域内，借助扩维、解耦等手段，试图见非线性估计问题转化为传统的线性系统估计问题，虽然简单、直观、易于操作，但缺点是计算复杂、数值发散，且估计框架在不同运载系统对象之间通用性很差。业内长期困惑于此，但又很难有所新突破，申请人转换角度，即从概率域而非时域去重新审视非线性估计问题，那么在概率域中，非线性状态估计的后验概率表征就成为需要解决的关键科学问题。在国家自然科学基金等项目持续支持下，申请人提出了高斯概率域下非线性状态估计理论与方法，解决了经典时域内非线性状态估计理论长期囿于计算复杂、通用性差的难题。持续在 IEEE TAC、Automatica 上发表论文 7 篇，得到业内包括 IET/IEEE Fellow、IEEE 汇刊副编辑等知名学者的正面评价：“提出了通用泛化的非线性高斯估计器”“提供了计算复杂度与估计精度之间的有效折衷”。

非线性数值计算需要对协方差矩阵进行平方根分解，这会引入一个难以预测的“泰勒高阶余项”的干扰项，随着高阶余项数值计算误差随时间累加，最终会

导致协方差非正定，直至协方差平方根分解“崩溃”，数值计算出现病态、非物理解，因此如何精确辨识出这个高阶余项就成为非线性数值计算的关键科学问题。申请人提出了非线性积分高阶余项辨识的双层期望最大化方法，解决了经典数值方法“计算病态”、非物理解的难题，提升了数值计算的长期稳定性和精度。在某型无人机光纤航姿系统应用中，研究成果提升了航姿系统的工作稳定性，航姿系统平均无故障时间（MTBF）从 2000 小时提升到 4000 小时；在某型无人自主航行器导航系统应用中，研究成果对干扰具有强鲁棒性，复杂对抗环境下无人自主航行器运动中位置与姿态定位精度至少提升 1 倍，避免了平台位姿估算失效，位姿估算输出稳定时间提升 5 倍以上。

在应对多源信息融合与干扰复合属性辨识方面，传统方法通常依赖于时域内的加权平均或决策级融合，难以有效协调异构传感器间的概率不一致性与干扰耦合效应。申请人将所提出的概率域估计理论与跨模态注意力机制相结合，构建了基于物理约束与语义关联的双驱动融合框架，实现了对异构传感器信息的精准概率对齐与干扰属性解耦。该方法不仅在视觉-惯性-力传感等多模态系统中表现出强鲁棒性，还能在对抗环境下保持估计的一致性与稳定性。相关成果已成功应用于无人系统平台位姿估计、高精度对地观测与场景重建等多个领域，显著提升了系统在复杂环境下的感知精度与决策可靠性，进一步拓展了概率域估计理论在智能无人系统中的应用边界。

四、客观评价

1、IEEE Fellow、IEEE 汇刊副编辑(包括 Communications、Wireless Communications、Signal Processing、Information Theory)、美国哥伦比亚大学教授 Xiaodong Wang 评价【代表性论文 1】为“提出了通用泛化的非线性高斯平滑器”。

2、IEEE Fellow、英国莱斯特大学教授 Jonathon Chambers 评价【代表性论文 2】为“高斯近似滤波器和平滑器提供了计算复杂度与估计精度之间的有效折衷”。

3、IEEE Fellow、美国国家科学基金会职业奖获得者、德克萨斯农工大学教授 Zixiang Xiong 评价【代表性论文 3】为“有效地探索了多尺度特征，并增强了特征表示的鲁棒性”。

4、IEEE Fellow、ACM 杰出科学家、华为诺亚方舟实验室首席科学家田奇评价【代表性工作 4】为“建立有效的框架挖掘信源的特异性并充分探索多源信

息的互补性”。

5、意大利共和国功绩勋章获得者、意大利罗马大学教授 Giuseppe Vannozzi 评价【代表性工作 5】为“对惯性测量单元在运动姿态辨识方面的创新应用”。

6、973 项目技术首席专家、空间智慧型控制技术国家重点实验室常务副主任、航天五院 501 部副部长王大珩研究员评价【代表性专著 6】为“CKF 采样避免了参数调节，并且理论上能够确保协方差矩阵的正定性”。

五、代表性论文专著目录（不超过 8 条，其中代表性论文不超过 5 篇，代表性专著不超过 3 部）

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	Nonlinear Gaussian smoothers with colored measurement noise	IEEE Transactions on Automatic Control	Xiaoxu Wang, Yan Liang, Quan Pan, Chunhui Zhao, Feng Yang	2015 年 60 卷 870-876 页	2015 年 03 月 01 日	Yan Liang	Xiaoxu Wang	王小旭, 梁彦, 潘泉, 赵春晖, 杨峰	27	Web of Science 核心合集	是
2	Gaussian filter for nonlinear systems with one-step randomly delayed	Automatica	Xiaoxu Wang, Yan Liang, Quan Pan, Chunhui Zhao	2013 年 49 卷 976-986 页	2013 年 04 月 15 日	Yan Liang	Xiaoxu Wang	王小旭, 梁彦, 潘泉, 赵春晖	58	Web of Science 核心合集	是

3	Hybrid Attention-Based U-Shaped Network for Remote Sensing Image Super-Resolution	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	Jiarui Wang, Binglu Wang, Xiaoxu Wang, Yongqiang Zhao, Teng Long,	2023 年 61 卷 1-15	2023 年 6 月 21 日	Binglu Wang	Jiarui Wang	王佳蕊, 王秉路, 王小旭, 赵永强, 龙腾	38	Web of Science 核心合集	是
4	POLO: Learning Explicit Cross-Modality Fusion for Temporal Action Localization	IEEE Signal Processing Letter	Binglu Wang, Le Yang, Yongqiang Zhao	2021 年 28 卷 503-507	2021 年 3 月 16 日	Binglu Wang	Binglu Wang	王秉路, 杨乐, 赵永强	15	Web of Science 核心合集	是
5	Whole-Body Pose Estimation in Human Bicycle Riding Using a Small Set of Wearable Sensors	IEEE Transactions on Mechatronics	Yizhai Zhang, Kuo Chen, Jingang Yi, Tao Liu, Quan Pan	2016 年 21 卷 163-174	2016 年 2 月 12 日	Jingang Yi	Yizhai Zhang	张夷斋, 陈阔, 易劲刚, 刘涛, 潘泉	32	Web of Science 核心合集	是

6	非线性动态系统确定采样型估计理论	科学出版社	王小旭, 潘泉, 王增福, 李汉舟, 梁彦	2016 年 10 月 01 日	2016 年 10 月 01 日	王小旭	王小旭	王小旭, 潘泉, 王增福, 李汉舟, 梁彦			是
7	捷联惯导算法与组合导航原理	西北工业大学出版社	严恭敏, 翁浚	2019 年 08 月 01 日	2019 年 08 月 01 日	严恭敏	严恭敏	严恭敏, 翁浚			是
8											
合 计											

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

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
王小旭	1	副院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	项目负责人。提出了本项目的总体学术思想，制定总体研究方案，对第 1 至 3 发现点做出了突出贡献。代表性论著 1、2、3、6
王秉路	2	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 3 及工程应用做出了突出贡献。代表性论著 3、4
杨乐	3	无	副教授	长安大学	西北工业大学	对发现点 3 及工程应用做出了突出贡献。代表性论著 4
张夷斋	4	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 1 和 2 及工程应用做出了重要贡献。代表性论著 5
严恭敏	5	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 1 和 3 做出了重要贡献。代表性论著 7
梁彦	6	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发现点 3 及工程应用做出了重要贡献。代表性论著 1、2、6

七、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	西北工业大学对该项目各项研究内容和科学发现做出了突出贡献，在该项目的执行过程中，学校在人力、物力和工作时间方面给予了大力支持，保证了科研计划得以顺利实施；学校对该项目进行了组织、管理和协调，督促该项目负责人和本单位项目管理部门按规定及时报送报表和材料，使项目得到了顺利完成。
	2	
	3	

八、完成人合作关系说明

完成人均属于西北工业大学自动化学院信息融合教育部重点实验室成员，完成人之间具有长期科研合作经历，共同发表论著，共同获得了陕西省高等学校科学技术研究优秀成果奖等多项奖励。