**2021年度陕西省科学技术奖提名公示内容**

注：三大项目奖“主要完成人情况”摘自“主要完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献。

**专家提名项目还应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业。**

**项目公示信息（自然科学奖）**

1. 项目名称：复杂场景下的多目标跟踪理论与方法
2. 提名者及提名意见（**专家提名项目还应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业**）

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

本单位认真审阅了项目提名书及附件材料，确认所提供的材料真实有效，内容符合填写要求，我单位和项目完成单位都已对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。

多目标跟踪是信息融合领域的重要内容和难点问题，一直是现代防御和武器系统性能提升的瓶颈。本项目在多项国家自然基金项目的资助下，经过10余年的累积，针对复杂目标跟踪场景，在航迹管理、多传感器融合以及扩展目标跟踪三个方面推进了目标跟踪理论和方法的发展，全面深入地分析了相关技术难题，提出了一系列解决现代雷达体系下目标跟踪问题的新理论、新方法、新技术。这些理论方法的提出丰富了现代目标跟踪理论体系，推动了目标跟踪技术的发展，为军民领域中的相关应用提供了技术支撑。

本项目侧重于目标跟踪的理论体系研究，除了可以解决传统雷达以及高分辨雷达目标跟踪问题以外，还可拓展至基于光学传感器的目标跟踪领域。同时，本项目紧密结合实际应用需求，诸多技术方法可用于军事和民用领域，如空间目标监视系统、海岸监视系统、地面预警系统，空中交通管制，卫星导航等。

本项目反映了现代目标跟踪领域的最新的研究进展和成果，项目成果在《Information Fusion》等国内外一流期刊、会议上发表，得到了国内外同行专家的一致认可。相关理论的应用和技术的转化可促进雷达产业、区域安防等相关产业的发展，具有很好的经济和社会效益。特此优先推荐。

经审查，同意提名该项目为2021年度陕西省科学技术奖一等奖。

1. 项目简介

多目标跟踪是信息融合领域的重要内容和难点问题，其相关技术是世界各国的高度军事机密，一直是现代防御和武器系统性能提升的瓶颈和急需突破的“卡脖子”技术。本项目面向国防急需，旨在解决陆基、海基、空基等各类跟踪系统中的关键技术问题，为火力控制、威胁估计、态势评估，以及指挥控制提供丰富的目标信息。然而，面对低检测率、低识别率和高虚警率等复杂场景的影响，多目标跟踪问题呈现出了多尺度、不确定、高维度、非线性、非高斯等特点，如何有效处理跟踪中所涉及的扩展目标跟踪、多传感器融合、航迹管理等难题，是当前目标跟踪领域亟待解决和突破的关键技术。本项目在多项国家自然基金项目的资助下，针对复杂多目标跟踪场景，在扩展目标跟踪、多传感器融合以及航迹管理三个方面推进了多目标跟踪理论和方法的发展，重要科学发现点如下：

（1）关于复杂场景下的扩展目标跟踪。针对随机有限集（Random finite set, RFS）框架下的扩展目标非线性建模问题，通过融合箱粒子高效的非线性滤波性能和RFS复杂多变场景的描述能力，提出并建立了高效的RFS扩展目标箱粒子非线性滤波算法和模型，有效解决了传统粒子滤波算法导致的计算复杂度过高问题。同时，所提算法可实时估计强杂波环境下变化的目标数目、运动状态和扩展状态（形状、大小和方向等），克服了现有粒子滤波算法无法估计目标扩展状态的缺陷，为实施有效打击敌方目标提供重要的决策支持信息。

（2）关于复杂场景下的多传感器融合。针对乘积多传感器概率假设密度（Product multi-sensor probability hypothesis density, PM-PHD）滤波理论计算不可行的问题，提出了一种有限项近似方法，该方法在分析无穷项收敛性的基础上，利用具有代表性的有限项之和近似无穷项之和，构建了计算可行的PM-PHD滤波理论体系，为其进一步工程实现奠定了良好的理论基础。此外，一旦发生目标漏检，PM-PHD滤波则有可能估计出虚假目标。为此，基于高斯混合实现的PM-PHD滤波，提出了一种高斯分量权重的重分配方法，有效避免虚假目标和漏检的发生，提高了滤波算法的性能。

（3）关于复杂场景下的航迹管理。针对随机有限集航迹管理问题，提出了随机有限集（RFS）模糊聚类航迹管理算法，该算法利用模糊聚类求得当前估计属于每条航迹的隶属度，在更新每条航迹信息时综合考虑了多帧信息，解决了复杂场景下RFS航迹管理算法中的多目标交叉难题，有效提高了航迹维持性能。

项目相关成果在《Information Fusion》等国内外一流期刊、会议上。项目提出的新理论和新方法完善了适用于复杂场景下的多目标跟踪理论和方法体系，为目标跟踪技术的发展以及目标跟踪系统性能的提升提供相应的理论和技术支撑，对提升我国国防实力和武器装备系统性能具有重要的理论意义和广阔的应用前景。

1. 客观评价

**（一）RFS扩展目标箱粒子非线性滤波（重要科学发现1）的代表性评价**

**1、曾获IEEE Barry Carlton Award和Ontario Premier’s Research Excellence Award的加拿大信息融合领域首席科学家Kirubarajan在论文“Application of an efficient graph-based partitioning algorithm for extended target tracking using GM-PHD filter”中对项目解决扩展目标非线性建模问题和估计目标扩展状态方面给予积极评价：**“与ET-GM-PHD滤波相比，GIW-PHD滤波不仅可以估计目标的运动状态，而且还可以估计目标的扩展状态，基于RFS框架的扩展目标改进滤波算法详见文献[21]-[25]。”（Compared to the ET-GM-PHD filter, the GIW-PHD filter can not only estimate the kinematic properties of the target but also estimate the targets extents. Further approaches to track extended target based on the RFS framework can be found in [21]-[25].）**（摘自期刊《IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems》, Vol. 56(6): 4451-446, 2020）。**

**2、伊朗科学部计算机工程与计算机科学规划委员会主席Faez在论文“Three-step-ahead prediction for object tracking”中对项目解决RFS扩展目标粒子滤波耗时问题给予积极评价：**“为了克服扩展目标跟踪中粒子滤波技术的不足，相继提出了一系列解决方案，包括深度学习表示法[17]，迭代粒子滤波[13]，基于粗糙集理论目标跟踪的粒子滤波状态估计和采样方法[18]，以及扩展目标箱粒子滤波[19]”（Many extended particle filters have been proposed to improve the weaknesses of particle filter in object tracking, including the deep learning representation [17], iterative particle filter [13], mean state estimation and resampling of particle filter with rough-set-theoretic fuzzy cues-based object tracking [18], and the extended target box-particle filter [19]）**（摘自期刊《Image and Vision Computing》, Vol. 75: 11-20, 2018）**。

**3、曾担任我国第一部有源相控阵雷达、空间目标监视相控阵雷达、863-808专题等项目总设计师和军委科技委专家组成员的蒋德富教授在论文“Time-matching extended target probability hypothesis density filter for multi-target tracking of high resolution radar”中对项目实时估计扩展状态和解决空间目标靠近问题给予积极、肯定评价：**“为了提高目标状态估计的性能，所提实现方法可实时估计目标的扩展状态和量测率，特别是当目标靠近时，效果更为理想，更多应用与改进可详见文献[43-46]”（Such implementations can be used to estimate both target extent and measurement rate online to improve target estimation performance, particularly in situations in which the targets are close together. Further applications and improvements also appear in [43-46]）**（摘自期刊《Signal Processing》, Vol. 157: 151-160, 2019）**

**（二）多传感器RFS滤波（重要科学发现2）的代表性评价**

**1、国际自动控制联盟（IFAC）航空航天控制技术委员会主席Tsourdos在论文“Distributed Joint Probabilistic Data Association Filter With Hybrid Fusion Strategy”中对项目在多传感器框架下有效避免传统数据关联的策略给予积极肯定评价：**“通过将共识算法与随机有限集滤波器相结合（如概率假设密度滤波器[38], [39]，多伯努利滤波器[40]），提出了不含数据关联的分布式多目标跟踪算法”（By incorporating consensus algorithm with random finite set filters (e.g., probability hypothesis density filter [38], [39], and multi-Bernoulli filter [40]), distributed MTT algorithms were proposed without data association.）**（摘自期刊《IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement》, Vol. 69: 286-300, 2020）**。

**2、期刊《Knowledge-Based Systems》主编Hamido Fujita在论文“Train-movement situation recognition for safety justification using moving-horizon TBM-based multisensor data fusion”中对项目处理局域传感器量测噪声给予积极、肯定评价：**“为了关联局部轨迹和融合轨迹，姬红兵、杨丹等人提出了一种D-S多源信息融合方法，该方法采用滤波器处理局域传感器的量测噪声[3]”（Yang et al. proposed a robust D-S fusion method to associate the local tracks and fused tracks, which employed a filter to deal with measurement noises from local sensors [3].）**（摘自期刊《Knowledge-Based Systems》, Vol. 177: 117-126, 2019）**。

**（三）随机有限集模糊聚类航迹管理（重要科学发现3）代表性评价**

**1、西安交通大学自动化科学与技术系主任、综合自动化研究所所长、国内信息融合领域著名专家韩崇昭教授在论文“An improved PHD filter based on variational Bayesian method for multi-target tracking”中对项目在复杂场景下的航迹管理方面给予积极、肯定评价：**“文献[5]-[10]所提滤波的SMC和GM实现为其进一步应用和推广提供了技术支撑”（Sequential Monte Carlo (SMC) and Gaussian mixture (GM) implementations of these filters [5], [6], [7], [8], [9], [10] have opened the door to numerous novel applications and extensions）**（摘自会议《17th International Conference on Information Fusion》, 2014）**。

**2、我国信息融合领域著名专家庞福文教授在论文“Improved cardinalized probability hypothesis density filtering algorithm”中对项目减小估计误差的影响给予积极、肯定评价：**“最近文献[12]提出了一种改进的高斯混合CPHD滤波，利用动态加权方法来减小估计误差的影响”（Lately in [12] an improved Gaussian mixtures (GM) implementation of CPHD filter was proposed to minimize the effect of estimation errors by dynamic weighting approach.）**（摘自期刊《Applied Soft Computing》, Vol. 24: 692-703, 2014）。**

1. 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（年月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 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 box-particle implement-ation of standard PHD filter for extended target tracking | Inform-ation Fusion | Yongquan Zhang, Hongbing Ji, Qi Hu | 2017年34卷55-69页 | 2017年3月 | Yong-quan Zhang | Yong-quan Zhang | 张永权,姬红兵,胡琪 | 10 | SCIE | 是 |
| 2 | A cardinality modified product multi-sensor PHD | Inform-ation Fusion | Long Liu, Hongbing Ji, Zhenhua Fan | 2016年31卷87-99页 | 2016年9月 | Long Liu | Long Liu | 刘龙,姬红兵,樊振华 | 6 | SCIE | 是 |
| 3 | A robust D–S fusion algorithm for multi-target multi-sensor with higher reliability | Inform-ation Fusion | Yang Dan, Ji Hongbing, Gao Yongchan | 2019年47卷32-44页 | 2018年7月 | Ji Hong-bing | Yang Dan | 杨丹,姬红兵,高永婵 | 15 | SCIE | 是 |
| 4 | A fast ellipse extended target PHD filter using box-particle implement-ation | Mecha-nical Systems and Signal Proces-sing | Yongquan Zhang, Hongbing Ji, Qi Hu | 2018年99卷57-72页 | 2018年1月 | Yong-quan Zhang | Yong-quan Zhang | 张永权,姬红兵,胡琪 | 5 | SCIE | 是 |
| 5 | Improved Gaussian mixture CPHD tracker for multitarget tracking | IEEE Transac-tions on Aeros-pace and Electro-nic Systems | Cheng Ouyang, Hong-bing Ji, Ye Tian | 2013年49卷1177-1191页 | 2013年4月 | Cheng Ouyang | Cheng Ouyang | 欧阳成,姬红兵,田野 | 10 | SCIE | 是 |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. 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 |
| 姬红兵 | 1 | 研究生院常务副院长 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 作为项目第一完成人，主要完成了本项目总体方案的设计及项目管理。针对复杂场景下的多目标跟踪中所涉及的航迹管理、多传感器融合、扩展目标跟踪等关键科学问题展开相关理论和解决方法的研究，构建总体思路和监管项目具体技术路线的实施。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的1-5。 |
| 张永权 | 2 | 无 | 副教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 作为项目第二完成人，针对复杂场景下扩展目标非线性滤波建模问题，提出了扩展目标PHD滤波的箱粒子实现方法，即ET-Box-PHD滤波。它们有效结合了箱粒子滤波高效的性能和RFS描述复杂多变场景的能力，可实时估计未知强杂波场景下变化的目标数目和状态。在所提滤波方法中，为了得到PHD的迭代公式和降低计算复杂度，我们此处定义了一个区间单元似然函数代替点目标的量测似然函数。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的1和4。 |
| 刘龙 | 3 | 无 | 讲师 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 作为项目第三完成人，针对PM-PHD滤波中漏检引起的虚假目标问题，提出了一种有限项近似方法。该方法在分析无穷项收敛性的基础上，利用具有代表性的有限项的求和来近似。此外，一旦发生目标漏检，PM-PHD滤波则有可能估计出虚假目标。为此，基于高斯混合实现的PM-PHD滤波，提出了一种高斯分量权重的重分配方法，该方法能同时避免虚假目标和漏检的发生，有效提高了滤波算法的性能。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的2。 |
| 欧阳成 | 4 | 无 | 高级工程师 | 中国电子科技集团公司第二十九研究所 | 西安电子科技大学 | 作为项目第四完成人，针对RFS滤波的航迹管理问题，提出了一种基于模糊聚类的航迹管理算法。该算法充分利用多帧信息，由不同时刻的滤波状态对当前时刻状态进行多步预测，并根据惯性进行加权，最后利用模糊聚类求得当前估计属于每条航迹的隶属度，从而得到最终的航迹。与传统经典的估计与航迹关联算法不同，该算法在更新每条航迹信息时，不仅仅是简单地对相邻帧之间的对数似然比进行求和，而是通过加权聚类等操作综合考虑了多帧信息，有效提高了航迹维持性能。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的5。 |
| 高永婵 | 5 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 作为项目第五完成人，协助提出了一种基于D-S（Dempster-Shafer）证据理论的分布式多传感器融合算法。该算法首先利用标签变分贝叶斯PHD（Variational Bayesian PHD, VB-PHD）对局部传感器进行滤波，同步估计航迹信息和量测噪声协方差，然后用D-S推理来确定局部传感器的航迹与融合航迹之间的对应关系。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的3。 |
| 杨丹 | 6 | 无 | 讲师 | 西安邮电大学 | 西安电子科技大学 | 作为项目第六完成人，提出了一种基于D-S（Dempster-Shafer）证据理论的分布式多传感器融合算法。该算法首先利用标签变分贝叶斯PHD（Variational Bayesian PHD, VB-PHD）对局部传感器进行滤波，同步估计航迹信息和量测噪声协方差，然后用D-S推理来确定局部传感器的航迹与融合航迹之间的对应关系。最后，依据估计的量测噪声协方差计算航迹质量参数，作为目标状态融合的权值。以上研究内容对应“代表性论文专著目录”中的3。 |

1. 主要完成单位情况
2. 西安电子科技大学

本项目所有创新成果均在西安电子科技大学完成，学校为项目研究提供了相应的实验场地和重要的学术资源，为项目的顺利开展和完成提供必要条件。所在单位西安电子科技大学还为项目免费提供了大量权威的文献数据库和特色的网上资源，如：IEEE/IEE(IEL)、Elsevier Science、ACM、Springer-LINK、中国知网、万方数据库等。通过这些数据库，我们可以方便地查阅最新、最前沿的科技文献，以便顺利开展项目涉及复杂跟踪场景下的航迹管理、多传感器融合以及扩展目标跟踪三个方面的研究，同时也推进了目标跟踪理论和方法的发展。

1. 完成人合作关系说明

姬红兵教授为项目第一完成人和团队负责人，负责项目总体方案的设计及项目管理；张永权、刘龙和高永婵为团队优秀青年教师，作为骨干成员参与项目，合作完成重要科学发现1和2，分别为项目第二、三、五完成人；欧阳成和杨丹为团队已毕业的优秀博士研究生，在攻读博士学位论文期间，作为主要参与者参与项目，合作完成重要科学发现2和3，分别为项目第四和第六完成人，现在国内中电旗下研究所和高校工作。