

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

智能无人集群协同任务规划与自主行为决策

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

该项目以无人机、无人车集群为载体，全面系统地探究了智能无人集群协同任务规划与自主行为决策核心理论与方法，有力解决了路径规划方法在非确定应用场景下的适应性、任务调度策略在规模化集群中的高效性、行为决策机制在动态开放环境中的成长性问题。研究成果突出，发表的论文和专著在国内外引用率较高，得到了欧洲科学院院士、澳大利亚工程院院士、加拿大工程院院士、教育部国家杰出青年基金获得者、IEEE Fellow、IET Fellow 等顶尖学者的引用和正面评价。相关理论和技术可作为计算机科学与技术、人工智能等学科的基础性组成部分，可为智能无人集群自适应协同控制的自主创新及规模化应用提供有效理论和方法支撑。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二等奖。

三、项目简介

以无人机、无人车等为代表的智能无人集群有效融合认知、控制、决策、执行于一体，正成为战略性新兴产业和当代人工智能研究的重要内容之一。世界各主要国家和地区均将智能无人集群的研发作为引领技术创新、抢占科技制高点的重要契机。大规模无人节点通过任务协同规划与行为自主决策，形成个体自主、群体协作的集群系统，可有效提升在动态开放环境中执行任务的能力，被广泛应用于工业生产、国家安全、搜索救援等诸多领域。因此，以无人机、无人车等为典型载体，深入研究智能无人集群协同任务规划与自主行为决策理论与方法，不仅具有重要的科学意义，也有支撑领域建设的重要技术价值。该项目的主要内容如下：

(1) **自适应路径规划方法**：根据环境与任务的动态变化，自主、灵活地调整集群中各个节点的运行路径，以实现高效安全的路径引导、提升集群任务的完成效率。

(2) **实时任务调度策略**：依据集群的任务需求和能力状态，设计高效的任务分配模型和实时调度策略，实现集群任务的合理规划与迁移，提高系统性能与执行能力。

(3) **智能行为决策机制**：设计无人集群在动态开放环境中的行为决策框架，实时高效地为各节点选择最优的运动行为和任务行为，提升集群协同的鲁棒性与

灵活性。

该项目的主要科学发现点如下：

(1) **设计一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法：**综合考虑无人节点在空间邻域和时间邻域内完成任务的收益，将集群自动地划分为多个层级、若干数目、节点数量较少的群组，并引入动态环境中的路径预测机制，依据环境变化实时调整无人节点的路径，提高集群路径规划的智能性和高效性。**发表 SCI 索引论文 8 篇，其中 ESI 高被引论文 3 篇、SCI 一区 TOP 期刊论文 4 篇，CCFA 类会议论文 2 篇，获得授权国家发明专利 5 项。支撑论文为代表性论文 1 和 2。**

(2) **提出一种时空事件驱动的异构无人机集群实时任务调度策略：**将集群任务抽象成具有关联关系的有向无环图，设计面向异构无人集群的时空事件的捕获与处理机制，实时探测节点性能、集群任务、外界环境等的变化，并利用实时任务调度框架将集群任务进行合理的规划与迁移，提高集群系统的性能和任务执行能力。**发表 SCI 索引论文 9 篇，其中 ESI 高被引论文 3 篇、SCI 一区 TOP 期刊论文 2 篇，CCFA 类会议论文 1 篇，获得授权国家发明专利 4 项。支撑论文为代表性论文 3 和 4。**

(3) **构建一种多维动态目标导向的智能行为决策机制：**建立了面向开放环境与时变任务的跨域多维动态决策框架，并基于群体强化学习，设计多维动态目标导向的无人节点分层决策与控制模型，管控无人节点的运动行为和任务行为，提高复杂动态场景下无人集群行为决策的效率与效果。**发表 SCI 索引论文 10 篇，其中 ESI 高被引论文 2 篇、中科院一区 TOP 期刊论文 4 篇，CCFA 类会议论文 3 篇，获得授权国家发明专利 5 项。支撑论文为代表性论文 5。**

该项目研究成果的科学价值如下：

无人集群的优越性与智能性是通过个体自主前提下的群体协同特性体现的，即集群内单一无人节点具备自主感知、自主判断、自主决策和自主行动的能力，同时集群整体具有以任务为导向的全局协作能力，通过协同任务规划和自主行为决策，共同完成指定的军事任务或民用目标。**无人集群的协同任务规划和自主行为决策，不仅是应任务之需，也是集群系统智能涌现的基础和保障。**该项目研究成果的具体科学价值如下：1) 设计了能有效应对场景不确定性变化的自适应路径规划方法，提升了集群任务的完成效率；2) 提出了时空事件驱动的异构无人机集群实时任务调度策略，提高集群系统的性能和任务执行能力；3) 构建了多维动态目标导向的智能行为决策机制，提升集群协同的鲁棒性与灵活性，增强群体行为管控的智能性与有效性。

该项目有力解决了**路径规划方法在非确定应用场景下的适应性、任务调度策略在规模化集群中的高效性、行为决策机制在动态开放环境中的成长性**等问题，

相关理论和技术可作为计算机科学与技术、人工智能等学科的基础性组成部分，可为智能无人集群自适应协同控制的自主创新及规模化应用提供有效的理论与方法支撑。

同行引用及评价：

该项目 5 篇代表性论文发表在 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems、IEEE Transactions on Industrial Electronics、Swarm and Evolutionary Computation、Journal of Systems Architecture 等业内顶级学术期刊上。在 Web of Science 数据库中，5 篇代表性论文他引 609 次，4 篇为 ESI 高被引论文，得到了欧洲科学院院士、澳大利亚工程院院士、加拿大工程院院士、加拿大皇家学会会士、国家杰出青年基金获得者、IEEE Fellow、IET Fellow 等国内外顶尖学者的引用和正面评价。如澳大利亚悉尼科技大学 Y. Jay Guo 教授

（澳大利亚工程院院士、IEEE Fellow）在其发表的论文中指出，该研究“设计了一种基于聚类的路径规划算法，可为无人机集群获得近似最优的点对点飞行路径，以提高任务的完成效率”。上海大学苗中华教授（国务院政府特殊津贴专家）指出，该研究“剖析了异构无人机集群实现多区域覆盖搜索的难点，并提出了一种基于蚁群系统的算法来为异构无人机集群产生足够好的飞行路径”。美国伊利诺伊大学 Witold Pedrycz 教授（加拿大皇家学会会士、IEEE Fellow）指出，该研究“将无人机集群任务调度问题抽象为混合整数规划模型，并可设计精确或启发式方法进行求解”。清华大学曹东璞教授（加拿大自动驾驶首席科学家）指出，该研究“需要更少的紧急避障数据，且更擅长在紧急避障过程中满足各种约束、实现最优决策”。香港理工大学 Ka-Wai Eric Cheng 教授（IEEE Fellow、电力电子研究中心主任）指出，该研究“建立了基于安全性和节能性的行为决策框架，可以使车辆在自动驾驶过程中有效地避免碰撞，提高了车辆的节能效率”。

四、客观评价

本项目 5 篇代表性论文发表在 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems、IEEE Transactions on Industrial Electronics、Swarm and Evolutionary Computation、Journal of Systems Architecture 等业内顶级学术期刊上。在 Web of Science 数据库中，5 篇代表性论文他引 582 次，4 篇为 ESI 高被引论文，得到了欧洲科学院院士、澳大利亚工程院院士、加拿大工程院院士、国家杰出青年基金获得者、IEEE Fellow、IET Fellow 等顶尖学者的引用和正面评价。每篇代表作的客观评价如下：

1、一种基于聚类的异构无人机集群覆盖路径规划方法（代表性论文 1）。2021 年发表在 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems（CCF-B、SCI 一区 TOP）期刊上，他引 216 次，ESI 高被引论文。该项成果被澳大利亚悉尼科技大学 Y. Jay Guo 教授（澳大利亚工程院院士、IEEE Fellow）、塞浦路斯大学 Marios

M Polycarpou 教授（欧洲科学院院士、IEEE Fellow）、西安电子科技大学严俊坤教授（国家高层次人才、全球前 2% 顶尖科学家）、南京邮电大学原校长朱洪波教授（中国电子学会常务理事、国务院特殊津贴获得者）、美国伊利诺伊大学 Witold Pedrycz 教授（加拿大皇家学会会士、IEEE Fellow）、卡塔尔大学 Ponnuthurai Suganthan 教授（IEEE Fellow、Elsevier 高被引科学家）等引用和正面评价。如澳大利亚悉尼科技大学 Y. Jay Guo 教授（澳大利亚工程院院士、IEEE Fellow）在其发表的论文《Decentralized, Privacy-Preserving Routing of Cellular-Connected Unmanned Aerial Vehicles for Joint Goods Delivery and Sensing》中指出，本研究成果“设计了一种基于聚类的路径规划算法，可为无人机集群获得近似最优的点对点飞行路径，以提高任务的完成效率”。

2、基于蚁群系统的异构无人机集群覆盖路径规划（代表性论文 2）。2022 年发表在 Swarm and Evolutionary Computation（SCI 一区 TOP）期刊上，他引 175 次，ESI 高被引论文。该项成果被美国伊利诺伊大学 Witold Pedrycz 教授（加拿大皇家学会会士、IEEE Fellow）、上海大学苗中华教授（国务院政府特殊津贴专家）、中国地质大学王力哲教授（欧洲科学院院士）、山东理工大学原校长张铁柱教授（俄罗斯自然科学院外籍院士、国务院特殊津贴获得者）、澳大利亚新南威尔士大学 Andrey V. Savkin 教授（IEEE Fellow）、沙特伊玛目阿卜杜拉赫曼滨费萨尔大学 Neeraj Kumar 教授（IEEE Fellow、Elsevier 高被引科学家）等引用和评价。如上海大学苗中华教授（国务院政府特殊津贴专家）在其发表的论文

《A Learning-Based Memetic Algorithm

for a Cooperative Task Allocation Problem of Multiple Unmanned Aerial Vehicles in Smart Agriculture》中指出，本研究成果“剖析了异构无人机集群实现多区域覆盖搜索的难点，并提出了一种基于蚁群系统的算法来为异构无人机集群产生足够好的飞行路径”。

3、一种基于自适应聚类的异构无人机集群自动路径规划算法（代表性论文 3）。2021 年发表在 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems（CCF-B、SCI 一区 TOP）期刊上，他引 129 次，ESI 高被引论文。本成果被美国纽约大学姜钟平教授（欧洲科学院院士、IEEE Fellow）、意大利拉奎拉大学教授 Carlo Cecati 教授（IEEE Fellow、科睿唯安高被引学者）、美国新泽西理工学院杰出教授周孟初（美国国家发明家科学院院士、IEEE Fellow）、北京航空航天大学蔡开元教授（国家杰出青年基金获得者）、澳大利亚斯威本科技大学 Yang Xiang 教授（IEEE Fellow）等引用和评价。如美国新泽西理工学院杰出教授周孟初（美国国家发明家科学院院士、IEEE Fellow）在其发表的论文《A Bin-Packing-Based Method for Path Planning of Air-Ground Cooperative System》中指出，本研究成果“基于密度聚类将区域任务划分在不同的群组内”且“不需要提前设置群组的个数”。

4、异构嵌入式系统中能耗受限的工作流调度方法（代表性论文 4）。2023 年发表在 Journal of Systems Architecture（CCF-B、SCI 二区）期刊上，他引 64 次，

ESI 高被引论文。该成果被美国伊利诺伊大学 Witold Pedrycz 教授（加拿大皇家学会会士、IEEE Fellow）、美国纽约州立大学李克勤教授（欧洲科学院院士、IEEE Fellow）、清华大学孙楠教授（国家特聘专家、IEEE Fellow）、山东理工大学原校长张铁柱教授（俄罗斯自然科学院外籍院士、国务院特殊津贴获得者）、加拿大卡尔顿大学 F. Richard Yu 教授（加拿大工程院院士、IEEE Fellow）等引用和正面评价。如美国伊利诺伊大学 **Witold Pedrycz 教授（加拿大皇家学会会士、IEEE Fellow）** 在其发表的论文《DL-DRL: A Double-level deep reinforcement learning approach for large-scale task scheduling of multi-UAV》中指出，本研究成果“**将无人机集群任务调度问题抽象为混合整数规划模型，并可设计精确或启发式方法进行求解**”。

5、自动驾驶汽车安全节能跟随行为决策框架（代表性论文 5）。2021 年发表在 IEEE Transactions on Industrial Electronics（**CAA-A、SCI 一区 TOP**）期刊上，**他引 25 次**。该项成果被清华大学曹东璞教授（加拿大自动驾驶首席科学家）、东南大学首席教授殷国栋（国家杰出青年科学基金获得者、江苏省特聘教授）、北京交通大学陈德旺教授（福建省闽江学者、俄罗斯自然科学院外籍院士）、同济大学陈虹教授（国家杰出青年科学基金获得者、中国自动化学会会士）、香港理工大学 Ka-Wai Eric Cheng 教授（IEEE Fellow、电力电子研究中心主任）、加拿大阿尔伯塔大学 Tony Z. Qiu 教授（加拿大智能交通研究首席教授、智慧交通研究中心主任）等引用和正面评价。如清华大学曹东璞教授（加拿大自动驾驶首席科学家）在其发表的论文《Model Predictive Decision-Making Considering Lane-Changing Time Under Emergency Collision Avoidance for Intelligent Vehicles》中指出，本研究成果“**需要更少的紧急避障数据，且更擅长在紧急避障过程中满足各种约束、实现最优决策**”。

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）

（按照表格所示栏目填写支撑本项目重要科学发现的代表性论文专著详细情况，不超过 8 篇，按重要程度排序。所列论文专著应公开发表 2 年以上即 2023 年 8 月 1 日以前公开发表。所列代表作及论文应以省内单位或个人为主要完成单位，署名第一单位（标号为 1 的单位）应为国内单位。

“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”、“第一作者（含共同第一作者）”和“国内作者”，均应基于论文的全部作者进行填写，不得只填写本项目完成人或少填漏填。

其中，“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”和“第一作者（含共同第一作者）”的姓名表述应与论文原文的署名保持一致，“国内作者”填写作者的中文姓名。

该表所列论文专著的知识产权归国内所有且无争议，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的作者的同意，其中，未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。）

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 Clustering-Based Coverage Path Planning Method for Autonomous Heterogeneous UAVs	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	Jinchao Chen, Chenglie Du, Ying Zhang, Pengcheng Han, Wei Wei	2022 年 23 卷 12 期 25546 – 25556 页	2021 年 3 月 24 日	Jinchao Chen	Jinchao Chen	陈进朝、杜承烈、张营、韩朋城、魏巍	216	Web of Science	是

2	Coverage Path Planning of Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles Based on Ant Colony System	Swarm and Evolutionary Computation	Jinchao Chen, Fuyuan Ling, Ying Zhang, Tao You, Yifan Liu, Xiaoyan Du	2022 年 69 卷 101005-101015 页	2022 年 3 月 27 日	Jinchao Chen	Jinchao Chen	陈进朝、凌富园、张营、尤涛、刘一帆、杜晓燕	175	Web of Science	是
3	An Adaptive Clustering-Based Algorithm for Automatic Path Planning of Heterogeneous UAVs	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	Jinchao Chen, Ying Zhang, Lianwei Wu, Tao You, Xin Ning	2022 年 23 卷 9 期 16842 - 16853 页	2021 年 12 月 7 日	Jinchao Chen, Ying Zhang	Jinchao Chen	陈进朝、张营、吴连伟、尤涛、宁欣	129	Web of Science	是
4	Scheduling Energy Consumption-Constrained Workflows in Heterogeneous Multi-Processor Embedded Systems	Journal of Systems Architecture	Jinchao Chen, Pengcheng Han, Ying Zhang, Tao You, Pengyi Zheng	2023 年 142 卷 102938-102949 页	2023 年 7 月 7 日	Jinchao Chen	Jinchao Chen	陈进朝、韩朋城、张营、尤涛、郑鹏怡	64	Web of Science	是
5	Safe and Energy-Saving Vehicle-Following Driving Decision-Making Framework of Autonomous Vehicles	IEEE Transactions on Industrial Electronics	Ying Zhang, Tao You, Jinchao Chen, Chenglie Du, Zhaoyang Ai, Xiaobo Qu	2022 年 69 卷 21 期 13859 - 13871 页	2021 年 11 月 24 日	Ying Zhang, Tao You	Ying Zhan	张营、尤涛、陈进朝、杜承烈、艾朝阳	25	Web of Science	是

6											
7											
8											
合 计									609		

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
陈进朝	1	无	副研究员	西北工业大学	西北工业大学	构思本成果所有发现点的研究思路和研究方案。具体体现在：(1) 在第 1 个发现点“设计一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法”中，详细设计了自适应路径规划方法的运行思路、关键手段和实现流程，是代表性论文 1 和 2 的作者；(2) 在第 2 个发现点“提出一种时空事件驱动的异构无人集群实时任务调度策略”中，设计了任务调度模型和异构集群的任务迁移与重构机制，是代表性论文 3 和 4 的作者；(3) 在第 3 个发现点“构建一种多维动态目标导向的智能行为决策机制”中，设计了智能集群的行为控制与优化算法，是代表性论文 5 的作者。
杜承烈	2	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	完成了路径预测机制的设计和智能行为决策模型的构建。具体体现在：(1) 在第 1 个发现点“设计一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法”中设计了路径预测机制，动态预估了路径规划的性能与效果，是代表性论文 1 的作者；(2) 在第 3 个发现点“构建一种多维动态目标导向的高效行为决策机制”中，设计并构建了集群的高效行为决策模型，提高了复杂动态场景下无人集群行为决策的效率与效果，是代表性论文 5 的作者。
张营	3	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	参与本成果全部发现点研究方案的设计与验证。具体体现在：(1) 在第 1 个发现点“设计一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法”中，设计了路径自适应调整与优化方法，提高了集群路径规的智能性，

						是代表性论文 1 和 2 的作者；(2) 在第 2 个发现点“提出一种时空事件驱动的异构无人集群实时任务调度策略”中，分析并提取了集群任务的能耗要求、时间要求、通信要求和安全要求，是代表性论文 3 和 4 的作者；(3) 在第 3 个发现点“构建一种多维动态目标导向的智能行为决策机制”中，实现了智能无人集群个体行为与群体行为在多维目标下的实时动态决策，是代表性论文 5 的作者。
尤涛	4	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	参与自适应路径规划方法、实时任务调度策略和智能行为决策机制的设计与验证。具体体现在：(1) 在第 1 个发现点“设计一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法”中提出并验证了无人集群群组的自动划分机制，是代表性论文 2 的作者；(2) 在第 2 个发现点“提出一种时空事件驱动的异构无人集群实时任务调度策略”中，完成了集群任务执行序列的有效调整与优化，提高了集群系统的处理性能和任务执行能力，是代表性论文 3 和 4 的作者；(3) 在第 3 个发现点“构建一种多维动态目标导向的智能行为决策机制”中，完成了智能集群的安全性经济性分析，支撑了高效行为决策机制的实现，是代表性论文 5 的作者。

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	完成本项目的全部研究内容和全部发现点，包括开展自适应路径规划方法、实时任务调度策略和智能行为决策机制等研究，设计了一种基于时空密度聚类的自适应路径规划方法，提出了一种时空事件驱动的异构无人集群实时任务调度策略，构建了一种多维动态目标导向的智能行为决策机制。
	2	
	3	

八、完成人合作关系说明

（应以第一完成人角度，介绍项目完成人之间的合作经历或合作关系，不局限于第一完成人与其他完成人的合作，也可以包括其他完成人之间的合作。）

(1) 第一完成人陈进朝与第二完成人杜承烈、第三完成人张营，2021 年 3 月 24 日合作发表论文《A Clustering-Based Coverage Path Planning Method for Autonomous Heterogeneous UAVs》，即代表性论文 1；

(2) 第一完成人陈进朝与第三完成人张营、第四完成人尤涛，2022 年 3 月 27 日合作发表论文《Coverage Path Planning of Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles Based on Ant Colony System》，即代表性论文 2；

(3) 第一完成人陈进朝与第三完成人张营、第四完成人尤涛，2021 年 12 月 7 日合作发表论文《An Adaptive Clustering-Based Algorithm for Automatic Path Planning of Heterogeneous UAVs》，即代表性论文 3；

(4) 第一完成人陈进朝与第三完成人张营、第四完成人尤涛，2023 年 7 月 7 日合作发表论文《Scheduling Energy Consumption-Constrained Workflows in Heterogeneous Multi-Processor Embedded Systems》，即代表性论文 4。

(5) 第一完成人陈进朝与第二完成人杜承烈、第三完成人张营、第四完成人尤涛，2021 年 11 月 24 日合作发表论文《Safe and Energy-Saving Vehicle-Following Driving Decision-Making Framework of Autonomous Vehicles》，即代表性论文 5。