

2021 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

集群无人系统预测协同控制理论和方法

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：项目针对集群无人系统技术这一国际前沿研究方向，深入研究了集群无人系统协同优化控制关键科学问题，成功探索了一套完整的集群无人系统预测协同控制理论和方法，实现了多约束、弱通讯与强干扰下集群无人系统通畅、稳定与高精度优化协同控制目标，为集群无人系统装备的发展奠定了坚实的理论基础。项目研究成果主要发表于 *Automatica*、*IEEE 汇刊* 等控制领域著名期刊，受到了多位院士和世界知名专家的高度评价，在集群无人系统预测控制领域产生重要的学术影响。项目成果已应用多种工程型号任务，发挥了一定的军事、社会效益，具有重要的推广应用价值。该项目理论难度大，创新性强。项目团队成员获国家自然科学基金优青、陕西省杰出青年基金，入选陕西省青年千人、陕西省青年科技新星。

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二等奖。

三、项目简介

该项目属于智能无人系统控制理论学科领域。

集群无人系统具有“群体制胜”的显著优势，将对航天、航空与航海等技术领域产生颠覆性变革，是世界强国竞相发展的高新战略装备。优化协同控制是提升集群无人系统遂行任务能力的关键。复杂工况下，集群无人系统的约束条件多、通信能力弱并受多源强干扰作用，因此其优化协同控制面临“协不通”、“协不稳”、“协不准”三大理论难题。项目组在国家自然科学基金和陕西省创新能力支撑计划等项目的持续支持下，攻克了上述理论难题，形成一套完整的集群无人系统预测协同控制理论体系和方法。主要科学发现与创新点如下：

1. 多约束集群无人系统预测协同控制理论：构建了有效的集群无人系统协同控制模型，率先设计了基于同模变换理论的预测控制方法，建立了系统协同稳定性和约束可达性的理论分析框架，实现了集群无人系统在多约束条件下“协得通”的控制目标。

2. 弱通信集群无人系统预测协同控制方法：建立了适应通信时延、数据丢包、带宽受限的集群无人系统信息交互机制，提出了通信信息匮乏的集群无人系统预测协同控制方法，挖掘出保障闭环系统协同稳定的边界条件，满足了弱通信集群无人系统“协得稳”的任务需求。

3. 强干扰集群无人系统性能增强预测控制方法：设计了适配预测协同控制

的动力学模型误差精细补偿快速控制方法，提出了鲁棒约束的新概念，建立了集群无人系统鲁棒性能增强预测协同控制方法，保障了集群无人系统在多源强干扰下“**协得准**”的作业能力。

该项目共发表 SCI 论文 52 篇（其中 Automatica、IEEE 汇刊 39 篇），出版代表性专著 1 部，授权国家发明专利 6 项。5 篇代表性论文 SCI 他引 293 次，Web of Science 被引用 380 次，Google 学术引用 515 次，ESI 高被引论文 3 篇、热点论文 1 篇。5 篇论文被 Proceedings of the IEEE 等 13 篇权威期刊上的综述性论文收录，受到了美国工程院、加拿大工程院、欧洲科学院、中国工程院等 9 位院士、31 位 IEEE/IFAC Fellow 的高度评价。项目部分研究成果成功应用于 xxx 多功能试验卫星、“天启二号”卫星型号任务中，产生了一定的军事与社会效益。项目团队成员获得国家自然科学基金优青和陕西省杰出青年基金，入选陕西省青年千人、陕西省青年科技新星和西安市青年人才托举计划。项目团队成员担任 IEEE TIE、IEEE TII、ASME DSMC 等 7 个著名期刊编委，受邀担任国际会议重要职务 20 余次。部分研究成果获 2021 年度陕西省高等学校科学技术一等奖。

四、客观评价

5 篇代表性论文被 SCI 他引 293 余次，Web of Science 被引 380 次，Google 学术引用 515 次，ESI 高被引论文 3 篇、热点论文 1 篇。5 篇代表性论文被 Proceedings of the IEEE、Annual Reviews in Control 等著名期刊的 13 篇综述性论文收录，受到了加州理工、瑞士联邦理工、加州大学、荷兰代尔夫特理工、新加坡国立大学、加拿大阿尔伯特大学等众多知名机构的学者正面引用。美国工程院、加拿大工程院、欧洲科学院、中国工程院等 9 位院士、31 位 IEEE/IFAC Fellow 对成果进行了正面引用并给予了高度评价，指出项目成果为“典型方案”、“代表性方法”。

具体代表性引文评价如下：

(1) **IEEE Fellow**，墨尔本斯威本科技大学副校长韩清龙教授在代表性引文 2（IEEE Trans. Ind. Electron., 2017）中指出代表性论文 1 为编队控制的**代表性方法**。（“**Representative approaches** for multiagent formation control in the literature can be arguably categorized as ..., **leader-following approaches** [9]（[9]为代表性论文 1）.”）

(2) 海洋工程专家，伦敦大学 **Richard Bucknall** 教授在代表性引文 6（Robotica, 2018）中评价代表性论文 1 **提升了传统的滚动时域编队控制方法，实现 AUV 的稳定跟踪性能**。（“Li et al. [43]（[43]为代表性论文 1）**improved the common receding horizon formation control** to achieve stabilized tracking performance for AUVs.”）

(3) **IEEE Fellow**，英国南威尔士大学 **Guo-Ping Liu** 教授在代表性引文 8（IET Control App., 2018）中指出代表性论文 2 能够同步处理通信时延和噪声，并且受到代表性论文 2 利用预测方法补偿通信时延的启发。（“And [24]（[24]为代表性论文 2） is extended to deal with large-scale nonlinear systems **with disturbances**

and communication delays. In these works ..., people begin to realize that the predictive based methodology can be an effective way to actively compensate for the delay.... **Inspired by the above discussion...**”)

(4) **IEEE Fellow, IFAC Fellow**, 新加坡南洋理工大学谢立华教授在代表性引文 1 (IEEE Trans. Autom. Control, 2018) 中评价代表性论文 3 提供了一种共享邻域信息的分布式模型预测控制的典型方法。 (“**A typical solution** is DMPC with assumed neighboring information [3]–[6]... ([5]为代表性论文 3)) .

(5) **IEEE Fellow**, 加州理工大学 **Francesco Borrelli** 教授和美国工程院院士 **J. Karl Hedrick** 在代表性引文 3 (IEEE Trans. Control Syst. Technol., 2016) 中直接沿用了代表性论文 3 中关于可行性的假设条件, 并指出提出的鲁棒约束是解决他们算法鲁棒性的潜在方法。 (“We notice that a robust constraint proposed in [39] might be integrated ... to address the robustness issue.... This is called initial feasible assumption, which is widely used in previous studies on the DMPC [39] ([9]为代表性论文 3) .”)

(6) **IEEE Fellow**, 美国德州农工大学卡塔尔分校教授黄廷文在代表性引文 7 (IEEE Trans. Ind. Informat., 2019) 中指出代表性论文 4 为最新的滑模控制成果。 (“... such as **the latest fuzzy-based SMC** [35] ([35]为代表性论文 4) .”)

(7) 中国工程院院士曹喜滨教授在代表性引文 4 (Int. J. Control Autom. Syst, 2019) 中评价代表性论文 5 为他们的的方法提供了必要的参考, 并帮助他们设计编队姿态同步控制器。 (“there are many articles... that can provide us with **the necessary reference and help us design a coordinated controller** [18-24]. ([20]为代表性论文 5) ”)

(8) **IEEE Fellow, AIAA Fellow, NASA** 科学家, 美国弗吉尼亚大学陶钢教授在代表性引文 5 (Aerosp. Sci. Technol., 2019) 中评价代表性论文 5 提出的基于观测器的估计方法有助于解决干扰与系统不确定性作用下的状态估计问题。 (“The novel cubature Kalman filter in [5] and the observer-based estimator in [6] ([6]为代表性论文 5) may be **useful in estimation or prediction of such disturbance or uncertainty.**”)

(9) **IEEE Security and Privacy Magazine** 主编、德国达姆施塔特工业大学教授 **A.-R. Sadeghi** 等在 **IEEE** 顶级综合性期刊 (Proceedings of the IEEE, 2018) 发表综述论文, 指出代表性论文 3 是解决非线性分布式鲁棒控制这个尤其困难问题的方法。 (“...actually achieving robust control in distributed systems is **more difficult, especially when the system in question is nonlinear.** To this end, a modification to a traditional model-predicative control (MPC) problem has been suggested [144]([144]为代表性论文 3). ”)

该项目受邀参加学术会议和国际组织:

项目团队成员受邀到 2019 中国过程控制会议做大会主旨报告, 2014 年中国控制会议会前专题做主题报告, 担任 **IEEE IES Xi'an Chapter** 主席, 项目组成员

担任 2019 IEEE ISIE 国际会议 Publicity 主席，2020 IEEE ICPS 国际会议程序委员会主席，担任 IEEE TIE、IEEE TII、ASME DSMC 等 7 个著名期刊编委。

该项目获得的奖励和荣誉：

项目组成员获 2019 年 IFAC TA 国际会议最佳青年作者论文奖，IEEE Trans. Cybernetics、IET Control Theory and Applications 最佳审稿人，获得陕西省高等学校科学技术一等奖。项目组成员获国家自然科学基金优青、陕西省杰青、陕西省青年千人，陕西省青年科技新星和西安市青年人才托举计划。

该项目获得的知识产权和应用：

项目授权国家方面专利 6 项，项目部分研究成果成功应用于 xxx 多功能试验卫星与“天启二号”卫星共两个型号任务，产生了一定的军事与社会效益。

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	Receding horizon formation tracking control of constrained underactuated autonomous underwater vehicles	IEEE Trans. Industrial Electronics	Huiping Li, Pan Xie, Weisheng yan	2017 年 64 卷 5004-5013 页	2017 年 6 月	Huiping Li	Huiping Li	李慧平, 谢攀, 严卫生	92	SCI	是
2	Distributed receding horizon control of large-scale nonlinear systems: Handling communication delays and disturbances	Automatica	Huiping Li, Yang Shi	2014 年 50 卷 1264-1271 页	2014 年 4 月	Huiping Li	Huiping Li	李慧平	39	SCI	是
3	Robust distributed model predictive control of constrained continuous-time nonlinear systems: A robustness constraint	IEEE Trans. Automatic Control	Huiping Li, Yang Shi	2014 年 59 卷 1673-1678 页	2014 年 6 月	Huiping Li	Huiping Li	李慧平	80	SCI	是

	approach										
4	New results on sliding-mode control for Takagi-Sugeno fuzzy multiagent systems	IEEE Trans. Cybernetics	Zhuo Zhang, Yang Shi, Zexu Zhang, Weisheng Yan	2019 年 49 卷 1592-1604 页	2018 年 2 月	Zhuo Zhang	Zhuo Zhang	张卓, 张泽旭, 严卫生	28	SCI	是
5	Exponential tracking control of robotic manipulators with uncertain dynamics and kinematics	IEEE Trans. Industrial Informatics	Bing Xiao, Shen Yin	2019 年 15 卷 689-698 页	2019 年 2 月	Shen Yin	Bing Xiao	肖冰, 尹申	54	SCI	是
6	Robust Receding Horizon Control for Networked and Distributed Nonlinear Systems	Springer	Huiping Li, Yang Shi		2016 年 10 月	Huiping Li	Huiping Li	李慧平			是
合 计									293	SCI	是

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
李慧平	1	院长助理	正高	西北工业大学	西北工业大学	项目的总负责人，主持并完成了本项目的全部理论研究、算法设计以及仿真实验等研究工作，是代表性论文 1-3 的通信作者和第一作者，代表性专著 6 的第一作者，对科学发现点 1-3 均作出了重要贡献。 ①提出了多约束集群无人系统预测协同控制理论；②设计了弱通信集群无人系统预测协同控制算法；③提出了鲁棒约束的新概念，设计了性能增强预测控制方法。
张卓	2	无	中级	西北工业大学	西北工业大学	对科学发现点 1、3 做出重要贡献，是代表性论文 4 的通信作者和第一作者。 ①建立了有效的集群无人系统协同控制模型；②建立了集群无人系统鲁棒性能增强协同控制方法。

肖冰	3	无	副高	西北工业大学	西北工业大学	对科学发现点 3 做出重要贡献，是代表性论文 5 的第一作者。①设计了动力学模型误差精细补偿快速控制方法。
----	---	---	----	--------	--------	---

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
西北工业大学	1	西北工业大学是该项目完成的唯一单位，主要贡献如下： (1)全面保障了本项目经费管理、组织实施； (2)提供了全部人力资源和优质的工作场所； (3)为本项目提供了必要的计算平台和软硬件资源； (4)是本项目代表性工作和创新点的提出单位。

八、完成人合作关系说明

项目第一完成人李慧平与项目主要完成人张卓、肖冰隶属于西北工业大学无人系统优化控制与智能决策研究团队。

2017 年 7 月，第二完成人张卓加入项目组，与第一完成人开展集群无人系统建模与智能控制方面的研究工作，合作发表多篇无人系统协同控制方面的研究论文。

2017 年 9 月，第三完成人肖冰入职西北工业大学，与第一、第二完成人开展非线性无人系统建模与状态估计、卫星姿态优化控制等方面的研究工作。

2021 年 3 月，李慧平、张卓、肖冰合作的项目获得了陕西省高等学校科学技术一等奖。