

2022 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

无人机视景信息可视化增强与智能传输关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省航空学会

提名意见：该项目围绕国土勘测、安防态势评估、应急救援、能源矿业、海事监管等特殊行业的发展需求，针对无人机（群）实时监测系统的视景信息可视化增强及智能通信的技术瓶颈问题，在国家自然科学基金、装备发展预研项目等国家级课题资助下，开展了无人机（群）视景信息可视化增强及智能传输的关键技术研究。项目研究形成了从“理论算法”、“关键技术”到“原理样机”，再到“工程应用”的闭环自主创新体系。该项目已产生国家发明专利 11 项，软件著作权 1 项，高水平论文 17 篇（其中代表性发明专利 7 项，软件著作权 1 项，高水平论文 2 篇），成果已应用在海事监测、机载测试、型号任务等多个实际工程中。

项目的主要技术发明点包括：（1）无人机大视角宽场景高分辨率视景信息的可视化增强技术；（2）大规模无人机群部署及资源管理技术；（3）面向无人机视景传输的高可靠低时延通信技术。

该项目成果不仅在无人机视景信息可视化增强及智能传输基础理论及关键技术上取得突破，打破了国外技术封锁，有力推动了无人机（群）实时监测系统及智能传输优化设计领域的技术进步，累计产生经济效益超过亿元，同时带动陕西区域的下游产业链单位 10 余家，新创造就业岗位 100 余个，取得了很好的经济效益和社会效益。

同意推荐该项目申报 2022 年度陕西省科学技术奖。

提名该项目为陕西省技术发明奖二等奖。

三、项目简介

该项目所属的信息技术领域是网络和信息化时代下发展最为迅猛的前沿技术领域。围绕国土勘测、安防态势评估、应急救援、能源矿业、海事监管等特殊行业的发展需求，针对无人机（群）实时监测系统的视景信息可视化增强及智能通信的技术瓶颈问题，经过多年的深入研究，在国家自然科学基金、装备发展预研项目等国家级课题资助下，开展了无人机（群）视景信息可视化增强及智能传输的关键技术研究。项目研究形成了从“理论算法”、“关键技术”到“原理样机”，再到“工程应用”的闭环自主创新体系。该项目已产生国家发明专利 11 项，软件著作权 1 项，高水平论文 17 篇，成果已应用在海事监管、机载测试、试飞任务等多项实际工程中，累计产生经济效益超过亿元。

项目的发明点如下：

（1）无人机大视角宽场景高分辨率视景信息的可视化增强技术

针对无人机多源异构视景信息的可视化实时增强卡脖子难题，提出了面向多源异构视频图像的融合、增强以及拼接等高效处理方法，自主研制了嵌入式视景信息视觉计算平台国产化小型化原理样机，解决了无人机多路高分辨率视景信息的实时可视化增强问题，已授权国家发明专利 4 项，软件著作权 1 项，发表高水平论文 10 篇。该项目①提出了基于导向滤波的多源图像融合增强模型，解决了多源视景图像融合效率过低的问题；②提出了遥感图像的超分辨重构方法，解决了无人机多/高光谱视景图像空间分辨率不足的问题；③提出了基于圆柱面投影模型的配准方法和基于长方体表面投影模型的拼接方法，解决了大视角差的精确配准和任意视线的保形拼接问题；④设计并成功研发了嵌入式动态可重配置视觉计算平台原理样机，支持合成视景虚实数据融合、全景视频拼接与增强、目标识别、跟踪等功能，对于高分辨率视景信息处理帧率达到了 30 帧/秒，满足了复杂环境下大视角宽场景高分辨率实时增强的任务需求。

（2）大规模无人机群部署及资源管理技术

针对无人机群的空间部署及资源管理技术难题，结合我国 5G/6G 重点研发计划的关键技术需求，在国际上率先突破了大规模无人机群实时最优部署与资源管理的一系列卡脖子技术，相关成果已授权国家发明专利 7 项，发表高水平论文 4 篇，多篇论文受到十余位 IEEE Fellow 引用和高度评价。该项目①提出了多无人机基站最优动态部署与功率控制方法，解决了大规模无人机通信中干扰严重、实时网络优化难度大且复杂度高的卡脖子问题，并在 2021 年 9 月作为《Chinese Journal of Aeronautics》的封面文章发表；②针对大气湍流对无人机飞行的影响，提出了大规模无人机群的鲁棒性飞行控制算法，显著降低了传输时延，提高了无人机系统的能量效率；③提出了基于深度强化学习的超密集无人机网络下行传输功率控制策略，优化了无人机群的通信系统性能；④建立了大规模无人机毫米波通信的波束成形与波束控制技术框架，实现了密集无人机波束的精准定向，增加了大规模无人机网络的系统容量。

（3）面向无人机视景传输的高可靠低时延通信技术

针对新一代人工智能科技前沿攻关领域，首次成功将有损通信技术应用于无人机网络中，发表高水平论文 3 篇。该项目①建立了人工智能决策导向的无人机有损协作通信技术体系，颠覆了传统无人机物联网基于无损通信的设计思路，解决了失真数据被直接丢弃而造成的通信资源浪费问题，有效降低了系统的中断概率、提高了信息新鲜度，实现了无人机的高可靠低时延通信；②设计了相关信源有损协作通信的分布式编码与联合解码算法，突破了分布式编码下信息相关性难以被有效利用的技术瓶颈；③提出了自适应链路速率的有损中继技术，解决了传统中继技术受信道条件变化导致性能急剧恶化的问题。

该项目成果不仅在无人机视景信息可视化增强及智能传输基础理论及关键技术上取得突破，打破了国外技术封锁，同时有力推动了无人机（群）实时监测系统及智能传输优化设计领域的技术进步，在海事监测、机载测试、型号任务等

应用中累计产生经济效益超过亿元，同时带动陕西区域的下游产业链单位 10 余家，新创造就业岗位 100 余个，取得了很好的经济效益和社会效益。

四、客观评价

该项目针对无人机多源视景信息设计了基于导向滤波的图像融合和多波段图像上采样模型、基于生成对抗网络的高光谱超分辨算法和全景图像无缝融合算法，实现了高分辨率视景信息的快速可视化增强，并研制了嵌入式动态可重配置视觉计算平台原理样机，解决了机载视景信息计算实时性差的难题。经第三方检测，该样机具备动态可重配置、多路视频实时处理等主要功能，其中对 1024×768 像素的高分辨率视频图像实时增强性能优于 30FPS，样机的性能体积比技术指标实测值为 14.71GLOPS/W，总处理能力技术指标达到 35.979TFLOPS。

在已经验收结题的“嵌入式动态可重配置视觉计算技术”（31511020106）装备预研课题分项目中，研究工作完成了嵌入式实时视觉信息提取引擎设计技术、分级自适应多模态图形图像数据融合技术，突破了国产化视觉计算信息处理算法嵌入式优化技术、异构多模态多源信息融合技术。

本项目提出的无人机视景信息可视化增强与智能传输技术，在航空学报、IEEE Transactions on Wireless Communications、IEEE Transactions on Vehicular Technology 等国内外航空、图像处理、通信领域高水平期刊和会议上发表高水平论文 17 篇，受到十余位 IEEE Fellow、长江学者等无人机领域和通信领域的权威专家学者引用和高度评价。代表性学术评价如下：

(1)南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、物联网研究院常务副院长、通信技术研究所所长、青年长江学者赵海涛教授评价：“Li 等人借助强化学习实现平均场均衡，实现了混合波束成形角度控制的混合预编码矩阵优化。”

(2)新加坡国立大学 Rui Zhang、美国特拉华大学 Xiang-Gen Xia 和德国埃尔朗根-纽伦堡大学 Robert Schober 三位 IEEE Fellow 评价：“突破了传统波束成形技术在毫米波通信中的性能极限。”

(3)日本东北大学研究生院信息科学研究科科长、IEEE Fellow、《IEEE Transactions on Vehicular Technology》主编 Nei Kato 评价：“Li 等人结合机器学习和平均场博弈技术，对波束成形和波束控制进行联合优化，实现了系统总速率的最大化。”

(4)卡塔尔 Hamad Bin Khalifa University 的 Mounir Hamdi(IEEE Fellow) 评价：“作者解决了超密集无人机网络中的下行链路功率控制问题，实现了网络能量效率的最大化。”

(5)澳大利亚新南威尔士大学 Derrick Wing Kwan Ng、美国德州大学达拉斯分校 Naofal Al-Dhahir、德国埃尔朗根-纽伦堡大学 Robert Schober 和美国加州大学欧文分校 A. Lee Swindlehurst 四位 IEEE Fellow 评价：“平均场博弈是建模大规模无人机通信交互的有效方法。”

(6)英国伦敦大学学院 Kai-Kit Wong (IEEE Fellow)评价：“Li 等人提出

了一种基于强化学习的算法来实现传输功率控制和干扰管理。”

该项目成果自 2019 年起陆续推广应用于海事监管、机载测试、试飞任务等工程中，累计产生经济效益过亿元。综合应用情况表明：1. 使用基于无人机视景信息可视化增强与智能传输技术的无人机船舶智能管理系统，能够有效提升船舶识别的精度、实时性和可靠性；2. 使用基于无人机视景信息可视化增强与智能传输技术的无人机输电线路智能巡检系统相关关键技术，能够有效提升航空机载测试系统的精度、实时性和可靠性；3. 该项目技术可以使飞机在低能见度的气象条件下增加飞行安全性，提高任务执行的效率和质量，具有良好的平台适应性，可推广应用至多型有/无人飞机平台。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1.	上海埃威航空电子有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	海事监管 6725 万元	2019 年 1 月至今	王锐/021-64956127
2.	西安中飞航空测试技术发展有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	输电线路智能巡检 4970 万元	2019 年 1 月至今	张亚葛/029-86839684
3.	陕西旋星电子科技有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	风力发电装置 2260 万元	2019 年 1 月至今	罗应显/029-68903644
4.	陕西中望腾飞科技信息工程有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	舰船武器系统 666 万元	2019 年 1 月至今	问云峰/029-88331456
5.	西安伟蓝网络通信有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	通信系统设计 1412 万元	2019 年 1 月至今	权永刚/029-86693611
6.	爱生无人机试验测试靖边有限公司	无人机视景信息可视化增强	无人机试飞任务	2019 年 1 月至今	任斯卓 /18309261612

		与传输			
7.	中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院有效载荷总体部	无人机视景信息可视化增强与传输	卫星载荷设计	2019年1月至今	贺一峰/029-89253463
8.	陕西华鑫特种钢铁集团有限公司	无人机视景信息可视化增强与传输	无人机巡检 3600万元	2019年1月至今	刘正平/ 0913- 2449216

2. 应用效益

爱生无人机试验测试靖边有限公司将该项目技术应用在 T20、T18、Z32 等多型无人机设计定型试飞任务中,可以使飞机在低能见度的气象条件下增加飞行安全性,有效降低了复杂自然环境适应性试飞等科目的试飞风险,提高了飞机在复杂气象条件下的起降能力和试飞任务完成度,还可推广至作战部队,降低复杂环境下的训练和演习飞行任务的执行风险,具有良好的平台适应性,具有较高的军事效益和经济效益。

上海埃威航空电子有限公司将该项目技术应用在本公司海事监管系统中,分别在东保中心、长江航道局等多个海事信息化系统项目进行了测试。综合应用情况表明,使用基于本项目的无人机船舶智能管理系统,能够有效提升船舶识别的精度、实时性和可靠性,大幅提高监管效率。根据公司运行情况,该系统应用于以上项目的船舶管理,每年产生的经济价值在 2000 万元以上。实际应用表明,本项目成果能够大幅提高船舶管理工作效率,提升服务质量,带来很好的经济效益和良好的社会效益。

陕西华鑫特种钢铁集团有限公司将该项目技术应用在公司厂区的日常生产管理中,通过巡检无人机群满足大带宽、低时延和安全可靠的性能要求,实现巡检数据的高传输速率和全自动化,从无人机出场、检测到返回,实现了自动化的飞行任务执行能力,减少了日常生产、巡逻人员的数量,降低了监控人员因故障发现不及时导致经济损失的概率,避免了生产过程中人工检测带来的意外风险,提升了安全生产的精细化监管水平。由于人员高空作业时间减少,以及人员与危险机械接触的工作时间大大减少,技术人员的工作危险性得到了极大的降低,大幅减小企业日常检测、管理费用,创新了智慧钢铁厂管理模式。该项目提升了公司的综合竞争力,为公司提高了顾客满意度和优秀企业的社会影响力。

西安中飞航空测试技术发展有限公司将该项目中图像拼接与增强关键技术应用于该公司航空飞行器的机载测试中,分别在新疆、内蒙古、甘肃、陕西等省市的飞行试验中进行了测试保障。综合应用情况表明,使用基于无人机视景信息

可视化增强与智能传输技术的无人机输电线路智能巡检系统相关关键技术，能够有效提升航空机载测试系统的精度、实时性和可靠性。根据该公司转化应用情况，新研制的系列化航空机载测试设备年销售收入 2000 万元以上，有效提升航空飞行试验技术服务质量，同时还带动陕西区域的下游产业链单位 10 余家，新创造就业岗位 100 余个，带来很好的经济效益和良好的社会效益。

西安伟蓝网络通信有限公司通过应用该项目中的高可靠、低时延通信关键技术，解决了通讯装备在天地遥测数据精度、小卫星自组网通讯、无人机自组网通信等方面的技术难题。在当年及后续的产品研制中，提高了公司系列化产品的测试保障、数据实时监控及事后分析处理，数据采集、记录和处理准确可靠，提高了数据处理的效率，提升了产品研制的效率，同时降低了使用风险，取得了较好的综合效益。直接或间接为公司带来大幅度的产品销售额和利润增长，同时为公司带来了良好的顾客满意度和优秀的企业社会影响力。

六、主要知识产权证明目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种多无人机基站 轨迹优化和功率分 配方法	中国	ZL201911264054.8	2021.06.04	4465936	西北工业大学	李立欣, 孙 妍, 李旭, 王大伟, 许 文俊, 周竞 赛
2	发明专利	基于双层无人机的 移动边缘计算系统 的卸载任务分配方 法	中国	ZL201910525775.3	2020.06.30	3865292	西北工业大学	李立欣, 刘 婧芳, 李 旭, 梁微, 程岳, 杨富 程
3	发明专利	一种用于多光谱遥 感图像的图像插值 方法	中国	ZL201110230492.X	2013.04.17	1175512	西北工业大学	李旭, 卫保 国
4	软件著作权	多路视频同步播放 器软件 V1.0	中国	2018SR806736	2018.10.10	软著登字第 3135858	中国飞行试验 研究院	任晓斌, 温 静, 张涛, 张琦, 李小 薇、田峰
5	论文	Cooperative Lossy Communications in Unmanned Aerial Vehicle Networks:	中国	期刊名: IEEE Transactions on Vehicular Technology,	发表时间: 2021.08.10	SCI: 000707443200039	西北工业大学	Wensheng Lin, Lixin Li, Jinhong Yuan, Zhu Han,

		Age-of-Information With Outage Probability		70(10): 10105-10120				Markku Juntti, Tad Matsumoto
6	发明专利	一种基于平均场型博弈的多类型无人机移动基站部署方法	中国	ZL201910545897.9	2021.02.19	4259625	西北工业大学	李立欣, 孙妍, 李旭, 梁微, 杨富程
7	发明专利	一种基于多无人机辅助通信网络的下行功率分配方法	中国	ZL201910353010.6	2020.09.01	3968539	西北工业大学	李立欣, 刘笑敏, 李旭, 梁微, 杨富程
8	发明专利	用于遥感图像的可视化增强方法	中国	ZL201910417005.7	2020.08.07	3980120	西北工业大学	李旭, 蒋瑞拓, 樊楨珍, 李立欣
9	发明专利	基于生成对抗网络的高光谱图像超分辨重建方法	中国	ZL201910389210.7	2020.11.27	4116274	西北工业大学	李旭, 蒋瑞拓, 李立欣
10	论文	Discriminant Analysis with Graph Learning for Hyperspectral Image Classification	中国	期刊名: REMOTE SENSING, 10(6):1-15	日期: 2018.05.27	SCI: 000436561800030	西北工业大学	Mulin Chen, Qi Wang, Xuelong Li

七、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
李立欣	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	1、负责本项目总体设计及研究工作组织。提出了多无人机基站最优动态部署与功率控制方法、大规模无人机的鲁棒性飞行控制算法、提出了基于深度强化学习的超密集无人机网络下行传输功率控制策略、建立了大规模无人机毫米波通信的波束成形与波束控制技术框架。 2、是发明专利 1、2、6、7、8、9 的发明人和论文 5 的主要作者。
李旭	2	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	1、提出了基于导向滤波的图像融合模型以及高光谱图像空谱联合超分辨方法，发明了遥感图像可视化增强技术，发明了高光谱图像超分辨重构技术，并应用于无人机视景信息的实时可视化增强设计。 2、是发明专利 1、2、3、6、7、8、9 的发明人。
卫保国	3	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	1、提出了基于圆柱面投影模型的配准方法和基于长方体表面投影模型的拼接方法、设计并研制了嵌入式动态可重配置视觉计算平台原理样机。 2、是发明专利 3 的发明人。
任晓斌	4	副主任	高级工程师	中国飞行试验研究院	中国飞行试验研究院	1、将无人机视景信息的实时可视化增强与智能传输技术应用于航空飞行器的机载测试中，研制了系列化航空机载测试设备。

						2、是软件著作权 4 的发明人。
林文晟	5	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	1、建立了无人机有损协作通信技术体系，发明了相关信源有损协作通信的分布式编码与联合解码算法，提出了自适应链路速率的有损中继技术。 2、是论文 5 的主要作者。
陈穆林	6	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	1、构建了基于相似度传播的拓扑关系模型，充分挖掘遥感图像数据所构成的几何分布结构，设计了稳定且快速的特征匹配方法。 2、是论文 10 的主要作者。

八、主要完成单位情况

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	<p>作为第一责任单位，负责项目抓总，负责无人机视景信息可视化增强与智能传输系统总体设计及主要关键技术研究。</p> <p>在视景信息可视化增强增加方面，本单位提出了基于导向滤波的图像融合模型以及高光谱图像空谱联合超分辨方法，发明了遥感图像可视化增强技术，发明了高光谱图像超分辨重构技术，提出了基于圆柱面投影模型的配准方法和基于长方体表面投影模型的拼接方法，设计并研制了嵌入式动态可重配置视觉计算平台原理样机。</p> <p>在视景信息智能传输方面，本单位提出了多无人机基站最优动态部署与功率控制方法、大规模无人机的鲁棒性飞行控制算法，提出了基于深度强化学习的超密集无人机网络下行传输功率控制策略，建立了大规模无人机毫米波通信的波束成形与波束控制技术框架，建立了无人机有损协作通信技术体系。</p>
中国飞行试验研究院	2	<p>作为主要参与单位，负责无人机视景信息可视化增强与智能传输系统的应用转化与部分关键技术研究。</p> <p>设计并研制了嵌入式动态可重配置视觉计算平台原理样机，将无人机视景信息可视化增强与智能传输技术应用于航空飞行器的机载测试中，分别在新疆、内蒙古、甘肃、陕西等省市的飞行试验中进行了测试保障。并将成果应用在某型飞机设计定型试飞任务中，有效降低了复杂自然环境适应性试飞等科目的试飞风险，提高了飞机在复杂气象条件下的起降能力和试飞任务完成度，还将成果推广至作战部队，降低复杂环境下的训练和演习飞行任务的执行风险，使飞机在低能见度的气象条件下增加飞行安全性，提高任务执行的效率和质量，具有良好的平台适应性，成功推广应用至多型有/无人飞机平台。</p>

九、完成人合作关系说明

本项目成果由第一完成人李立欣与李旭、卫卫国、任晓斌、林文晟、陈穆林共同合作完成。

李旭、卫卫国、林文晟、陈穆林是西北工业大学教师，均为李立欣领导的同

一课题组骨干成员，深度合作开展了无人机视景信息可视化增强与智能传输关键技术及应用研究，发明了无人机大视角宽场景高分辨率视景信息的可视化增强技术、大规模无人机群部署及资源管理技术、面向无人机视景传输的高可靠低时延通信技术，设计并研制了无人机嵌入式动态可重配置视觉计算平台，共同获得了专利、论文等知识产权成果。

中国飞行试验研究院任晓斌与西北工业大学李立欣、李旭、卫保国、林文晟、陈穆林围绕无人机视景信息的智能传输技术开展了合作研究，采用多路视频同步播放技术，解决了多路视频信息的同步难题，验证了该项目的发明成果，取得了良好的工程应用效果。