



编者按

空天信息技术作为国家战略科技力量,正引领新一轮科技革命与产业变革的浪潮.在全球化竞争与航天强国建设的双重驱动下,该领域已突破传统技术边界,形成了“空天地一体化”“多域融合”“智能驱动”的全新发展格局.欧美发达国家通过布局空间光电、量子通信、脑机接口等前沿方向构建技术壁垒,我国在“十四五”规划中明确将空天信息纳入战略性新兴产业,以载人登月、北斗全球组网、量子安全通信等重大成果为基础抢占空天信息领域科技制高点.空天信息技术的突破不仅关乎航天强国建设,更深刻影响数字经济、国家安全、灾害防控等国计民生领域,成为经济增长的新引擎和国家安全的重要保障.

当前,空天信息技术正从单点突破向体系化发展转型,呈现多学科深度交叉融合的飞跃式发展:一方面,航天器集群协同、极端环境感知、定量遥感等技术不断突破物理极限,支撑更复杂的太空探测与地球观测任务;另一方面,人工智能、量子计算、脑科学等跨领域技术的渗透,推动“感知–传输–处理–应用”空天信息链全流程革新.同时,空天信息技术的进一步突破正面临探测极限、集群智能、认知机理等前沿挑战,亟须学界与业界协同攻关.

为系统呈现我国在空天信息技术领域的最新进展,《中国科学:信息科学》组织策划“空天信息技术最新前沿及发展态势”专题,经严格同行评议,精选8篇文章,涵盖量子计算、无人系统协同、极端环境感知、神经信息探测、新体制雷达遥感、光波导放大、遥感智能解译等核心方向,代表性地反映了我国学者在空天信息技术领域基础理论与关键技术上的原创突破.

量子计算的潜力,尤其体现在其对传统网络安全的威胁上,可为整数分解问题提供全新的解决方案.清华大学龙桂鲁教授等团队在“量子经典融合整数分解算法的发展现状与展望”一文中,聚焦量子计算时代下整数分解这一数学难题与RSA (Rivest-Shamir-Adleman) 密码安全的核心问题,系统梳理了从经典算法(如通用数域筛法)到量子算法(如Shor算法)的演进历程,重点分析了“量子经典融合分解算法”的原理与加速机制.该算法分解能力从初期48比特跃升至100比特,经国际验证,其比特资源与时间复杂度均满足多项式约束,且在格的近似最近向量问题中展现五阶加速,为抗量子密码算法设计带来新挑战,深刻影响未来信息安全格局.

无人集群协同技术将“个体智能”跃升至“群体智能”,是自主航天任务的核心支撑之一.北京航空航天大学吕金虎教授团队在“无人集群系统协同定位研究进展与展望”一文中,针对GPS拒止环境下的集群自主性提升问题,系统归纳了分布式协同定位的核心方法.该文章将集群网络系统分布式协同定位的研究系统地归纳为基于拓扑条件的协同定位、基于智能体相对定位的协同定位两种类型,进一步将智能体相对定位的方法归纳为基于参数辨识、基于状态估计以及基于深度学习的端到端回归3种类型,并分析了不同方法在拓扑约束、激励条件上的差异.通过费舍尔(Fisher)信息矩阵与克拉姆–拉奥(Cramér-Rao)下界量化定位性能,探讨了传感器部署优化与轨迹规划对性能的增强作用,并阐述了协同定位在分布式形状控制、协同SLAM及隐式协同中的应用,为复杂环境下的集群自主作业提供理论支撑.

引用格式: 吴一戎, 付琨. 空天信息技术最新前沿及发展态势专题编者按. 中国科学: 信息科学, 2025, 55: 2081–2083, doi: 10.1360/SSI-2025-0378

空间认知神经机制为仿生导航和疾病诊疗提供全新范式,有望成为解决人类重大工程和健康挑战的颠覆性技术.中国科学院空天信息创新研究院蔡新霞研究员团队在“空间认知神经信息探测及应用研究进展”一文中,系统阐述了地理空间编码机制,如位置细胞、头朝向细胞、网格细胞等的发现及作用,还涉及认知空间编码机制,包括泛化信息感知、层次组织模式与时空编码.探测技术方面,介绍植入式神经探针检测(如 CMOS 技术的高密度微电极阵列)和神经成像技术(如荧光钙成像、fMRI 和 MEG 等).应用上,仿生导航基于神经编码模型开发算法,疾病诊疗中可通过探测神经信息辅助阿尔茨海默病、癫痫等认知障碍疾病的诊断与治疗.最后指出了需要在技术上突破材料和多模态检测等瓶颈,展望了其在导航、医疗等领域的前景.

稀土掺杂波导放大器有望为全光集成系统的突破提供关键解决方案,是补齐全光片上集成的“最后一块拼图”的关键使能技术.北京大学王兴军教授团队在“稀土掺杂集成光波导放大器最新进展”一文中,深入探讨了集成稀土掺杂光波导放大器的核心技术与应用前景.从稀土离子光发射理论出发,分析铒、镱、铥等离子的能级结构,阐述受激辐射、吸收和发射截面及发光寿命对增益性能的影响,还提及了能量转换过程导致的浓度猝灭效应.关键技术方面,介绍不同掺杂离子的特性与适用场景,如铒离子适配光纤通信低损耗窗口,铥离子适用于中红外波段;详解溅射、提拉生长等制作工艺及条型、脊型等波导结构设计;比较端面、垂直顶、片上光源等泵浦方式的优劣.应用上,已在高速相干通信、片上飞秒脉冲放大等领域实现突破.未来将聚焦多离子协同掺杂、动态可调谐增益谱等方向,推动器件性能与应用拓展.

多媒体智能计算为信息多域融合提供关键技术支撑.清华大学朱文武教授在“多媒体智能计算若干研究进展”一文中,聚焦多媒体大数据双重指数增长与网络资源供需指数增长的难题,提出了跨媒体关联表征与跨域协同网络资源计算的新理论、新范式,创新性地构建实体语义与结构耦合的图关联表征学习理论,实现了从语义驱动到关联驱动的范式跃迁.进一步地,建立用户-内容-网络跨域协同资源优化配置理论,实现了从被动固化到主动感知的跨越.

上述理论方法为空天信息等国家重大战略场景提供了核心智能基座.最后,对多模态大模型、感知与推理一体化、生成与理解一体化、多媒体具身智能、多媒体空天智能等国际前沿技术与未来研究方向进行了展望.星载 SAR 高分宽幅成像技术有望突破分辨率与幅宽互相约束的理论极限,大幅提升卫星遥感对地观测效能.中国科学院空天信息创新研究院邓云凯研究员团队在“多通道星载 SAR 空时频编码高分宽幅技术研究:进展与挑战”一文中,围绕多通道星载 SAR 空时频编码高分宽幅技术展开,指出基于多通道技术的空时频编码成像是解决星载 SAR 分辨率和幅宽固有矛盾的有效途径.该文章阐述了基于空间维的多通道技术,包括俯仰向 DBF 和方位向多通道技术,介绍了基于空时频编码的高分宽幅技术,涵盖距离向空时波形编码回波分离等关键技术.研究与卫星工程应用表明,这些技术突破了传统体制与技术瓶颈,实现了高分宽幅对地观测成像,并为未来多通道星载 SAR 的体制优化设计与应用提供技术支撑.

在太空环境日益复杂、航天器在轨安全面临严峻挑战的背景下,空间极端条件动态视觉计算成为保障航天器安全的关键核心.西北工业大学张艳宁教授团队在“极端空间环境目标精细感知综述”一文中,聚焦低质图像增强、目标三维重建和姿态估计三大核心问题.低质图像增强方面,综述了去噪、去模糊、超分辨率、图像增强、多曝光融合及质量评价等技术,分析了传统方法与深度学习方法的优劣.三维重建涵盖光学重建与点云配准重建,光学重建探讨了基于传统几何(主动式、被动式)和深度学习(深度估计、无深度估计)的方法;点云配准探讨了不同方法在极端环境的适用性.姿态估计介绍了基于传统几何和深度学习方法的适用条件,并介绍了数据集与评估方法.最后指出了当前技术面临的挑战,展望了多模态融合、混合算法设计等未来方向.

生成式人工智能的应用愈趋广泛,但这也带来了如虚假信息等诸多安全隐患,人工智能生成内容(AIGC)技术滥用的检测与防范逐渐成为研究热点.北京交通大学赵耀教授团队在“AIGC 伪造内容被动检测与主动防御技术综述”一文中,系统梳理了 AIGC 伪造技术及取证方法.文章首先介绍了基

于一般生成模型的局部伪造(面部身份、表情伪造)和整体生成(图像、音频生成),以及基于大模型的单模态(文本、视觉生成)和多模态(文生视觉、文生音频)生成两大类 AIGC 伪造技术. 然后,从被动检测和主动防御两个维度归纳分析了当前主流的 AIGC 伪造取证方法,其中被动检测包括单模态和多模态检测方法,主动防御包括主动干扰和主动水印技术. 最后讨论了该领域面临的挑战和发展方向.

本专题的出版凝聚了各界智慧,感谢各位作者团队深耕前沿、攻坚克难,其研究成果为领域发展提供了重要参考;感谢审稿专家以严谨的专业视角提出的宝贵意见,助力提升专题质量;感谢《中国科学:信息科学》编辑部的高效组织与细致工作. 我们期待本专题能为空天信息技术领域的研究者提供新思路、新方法,推动我国在该领域的理论创新与技术突破,为航天强国建设与社会经济发展贡献力量.

吴一戎 付琨

中国科学院空天信息创新研究院