

专题导读

当前，全球航天领域正经历以低轨巨型星座为核心的深刻变革。以星链（Starlink）、一网（OneWeb）、“GW”“千帆”等为代表的星座计划，正以前所未有的速度重构近地空间格局，推动卫星互联网从概念构想走向规模化服务。在这一背景下，“卫星互联网星座设计与仿真技术”已成为国家空间信息基础设施建设的核心命题，其发展水平直接关系到国家在太空经济、全球通信、应急响应、国防安全等关键领域的战略竞争力。

然而，卫星互联网星座在规划、部署与高效运行等层面，正面临一系列严峻且相互交织的核心挑战。

第一，由成千上万颗卫星组成的网络具有高度动态拓扑特性，具体表现为时变拓扑、异构链路、跨域耦合等。这种动态性导致网络资源状态在相对较慢的分钟级拓扑重构与极快的秒级/毫秒级业务之间剧烈振荡。传统的静态或单尺度时变建模方法难以精准刻画这种跨时间尺度的剧烈变化，严重制约了对网络行为的准确理解和高效管控。

第二，资源高度受限与业务需求的苛刻性形成尖锐矛盾。卫星平台固有的载荷资源（如功率、频谱、计算资源、存储资源等）极其有限，且难以在轨补充。与此同时，地面业务需求呈现出非均匀分布且动态变化的特征，特别是突发性灾害响应、实时遥感等应用，对系统容量、服务质量和资源利用效率提出了近乎苛刻的要求。有限的资源池难以满足高并发、高动态、高保障的业务需求，亟须提出突破性的资源协同调度与优化方法。

第三，恶劣复杂的空间环境对系统可靠性构成持续威胁。复杂的空间辐射环境、大气干扰、轨道摄动等因素，导致星间链路和星地链路稳定性差、故障率高。这不仅直接威胁通信链路可用性，更对网络整体鲁棒性、端到端路由可靠性以及星上计算系统的持续服务能力提出严峻挑战，要求网络具备更强的环境适应性、故障预测能力和弹性恢复机制。

第四，巨型星座物理部署成本极高且过程不可逆，在实际部署前，亟须依托高保真、轻量化、可扩展的先进仿真平台，对星座架构设计、网络协议性能、资源调度策略、路由算法效能、系统可靠性等进行全面、深入

的评估、验证与优化迭代，以最大程度降低风险，确保设计方案的技术可行性和经济性。

为此，本专题特邀请研究机构、高等院校与企业的专家学者，围绕星座架构创新、资源智能调度、动态网络建模、高效部署策略、可靠传输路由及先进仿真评估等方向展示突破性成果，为卫星互联网星座的设计与高效运行提供重要理论支撑和技术路径。

《面向干扰管控的多星协同波束资源调度方法》针对非均匀业务分布与有限星载资源的矛盾，提出多星协同波束资源优化方法，通过星群协同调度与功率智能再分配，有效抑制干扰并实现了空闲资源的高效利用，提升了系统容量与业务满意度。

《面向通导遥一体化的多目标协同星座架构的优化设计——针对中国全域灾害响应及城市监测》针对全球气候变化背景下我国极端灾害损失加剧与现有卫星系统在应急响应中存在的三重短板，提出“中高轨通信导航中继层+异构低轨感知层”的通导遥一体化星座架构，该星座设计方案可以为城市灾害防御提供关键技术支撑。

《面向最优业务投递率的巨型星座渐进式部署算法》为提高星座在渐进式部署过程中的数据回传服务能力，提出一种新型渐进式星座部署算法。仿真结果表明，与基于相同轨道平面的星座部署算法和基于最小重访时间标准差算法等传统星座部署算法相比，所提算法能够将星座建设初期的业务投递成功率分别从65.6%和76.8%均提升至90%。

《基于环境可靠性预测的低轨卫星网络弹性智能路由技术》针对空间环境效应导致的链路不稳定风险，提出环境状态预测下基于多智能体协同的分布式路由决策算法，通过设计空间环境可靠性指数，构建基于消息传递机制的星间邻域状态信息聚合模型，实现低轨卫星网络路由决策从“被动响应”向“主动规避”的转变，有效提升动态空间环境下的低轨卫星网络端到端路由可靠性。

《超大规模低轨卫星网络的传输层协议性能评估与分析》面向超大规模低轨卫星网络并基于典型星座配置和不同流量负载情况，采用自主研发的轻量化卫星互联网仿真平台UltraStar对UDP、TCP、QUIC及SCPS-TP等代

表性传输层协议开展多维度性能评估与对比分析。

《高动态天空地一体化网络资源表征与分配建模——双尺度时变图建模与应用》提出双尺度时变图模型，在拓扑-业务双驱动框架下实现高动态网络资源演化的精准刻画。同时，基于双尺度时变图模型进一步构建高动态网络资源分配模型，实现空间业务与空间资源的高效精准匹配，为天空地一体化网络高动态资源管控提供理论工具。

《通遥一体卫星网络中的遥感脉冲频率与数据回传路由联合优化》针对通遥一体卫星网络中的遥感脉冲频率与数据回传路由联合优化问题，提出一种基于 Benders 分解的求解算法，通过将原问题分解为主问题和子问题，降低问题复杂度并提高求解效率。仿真结果验证了所提算法的合理性和有效性，为通遥一体卫星网络的研究提供参考依据。

《混合激光/微波链路的导航星座拓扑管理与路由研究》以搭载混合激光/微波链路的导航星座为研究对象，针对链路拓扑设计，提出激光链路环状与跨环连接方案，并使用模拟退火算法优化微波链路，进一步提高定位精度因子；在此基础上，提出一种基于图论匹配的测量时隙分配策略与通信时隙路由算法，并通过仿真验证其有效性。

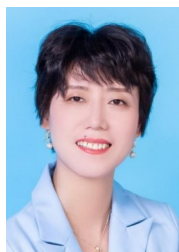
《面向天基计算的故障表征与容错机制》构建包含物理层、故障层、任务层和评价层的四维系统模型，并提出“有效平均算力”指标，以揭示任务调度与资源分配之间的内在联系。设计一种动态容错机制，通过时空资源耦合建模并采用混合优化策略，实现故障-算力-资源的协同平衡。所提混合容错算法可使系统平均有效算力提升约 39.20%，为天基计算系统的在轨可靠性保障提供理论支撑与可行技术路径。

本专题展示的研究成果，在卫星互联网星座设计理论、核心算法、关键技术、仿真验证等方面取得系列重

要突破，有效应对了当前面临的规模复杂性、资源稀缺性、环境不确定性、系统融合性等核心挑战。随着这些关键技术的不断突破与融合应用，卫星互联网将真正成为连接空天、服务全球、赋能万物的新一代信息基础设施。

本专题汇集了低轨卫星网络、天空地一体化、通导遥融合与天基计算等领域的前沿研究成果，既展现了当前高动态、大规模卫星网络核心技术的研究重点，也体现了各位作者在资源调度、架构设计、路由优化、可靠性保障等方面的深入思考与创新探索，希望能够为相关领域的科研与工程实践提供有益参考与借鉴。

[专题策划人]



盛敏，西安电子科技大学空天地一体化综合业务网全国重点实验室主任，国家自然科学基金委员会杰出青年基金获得者、教育部长江学者特聘教授，现任国家第六代移动通信（6G）总体组专家，全国三八红旗手。主要从事空天地一体异构网络融合、无线自组织网络、空间信息网络等领域的研究工作，获国家技术发明二等奖两项。



周笛，西安电子科技大学教授、博士生导师，国家自然科学基金委员会优秀青年基金获得者、国家重点研发计划首席科学家，入选科睿唯安“全球高被引科学家”榜单、“全球前 2% 顶尖科学家榜单”。主要从事卫星互联网、天地一体化网络、空间信息网络组网理论及关键技术等相关领域研究工作。