



“空间信息网络基础理论与关键技术”重大研究计划推动我国空间信息体系创新发展

日期 2023-05-06 来源: 信息科学部 作者: 孙玲 冀保峰 钟财军 何杰 刘克 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

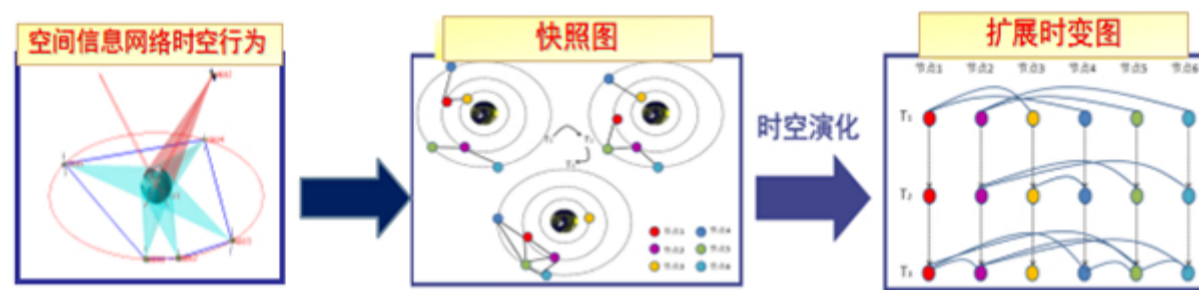


图1 空间信息网络扩展时变图模型

2023年3月,由国家自然科学基金资助的“空间信息网络基础理论与关键技术”重大研究计划实施结束。该重大研究计划于2014年1月启动,2021年底资助项目结题,累计资助培育项目53项、重点支持项目25项、集成项目10项、战略研究项目8项,共计资助96项,涉及信息、数理、地学等科学部相关领域和方向,资助经费2.2亿元。

空间信息网络是以天基平台(高、中、低轨卫星或星座)和临近空间平台(平流层飞艇或无人机)为载体,通过与地面网络一体化互联,支持海量数据的实时采集、传输、处理和分发,实现体系化信息服务应用的网络基础设施。作为信息时代国家公共基础设施之一,空间信息网络是实现“海洋远边疆、太空高边疆、网络新边疆”的重要保障,是各国竞相争夺的战略制高点。

“空间信息网络基础理论与关键技术”重大研究计划瞄准信息网络学科发展前沿,以解决空间动态网络连续信息支持与有限空间资源之间矛盾的国家重大需求为导向,发展原创的空间网络及空间信息传输处理新理论与新技术,提升我国空间信息网络发展水平。重大研究计划指导专家组重点针对“空间信息网络模型与高效组网机理”“空间动态网络高速传输理论与方法”和“空间信息稀疏表征与融合处理”三个科学问题进行项目布局,组织推动领域优势单位合作开展深入研究,在基础理论、关键技术和系统集成等不同层面取得系列成果,并应用于国家重大科学工程。

(1) 基础理论方面

针对空间网络大时空尺度下的高动态、时变特征,拓展了多星协同观测、协同通信、观测通信一体化等系列时变图图元模型,建立了通-感-算-存统一表征的扩展时变图模型(图1),揭示了网络动态拓扑结构与网络容量的关系,提出了空间信息网络通-感-算-存一体化表征方法与性能界分析方法,设计了逼近网络容量的低复杂度资源优化方法,实现了空间动态网络高效组网,解决了大时空跨度下的空间网络业务与资源的动态适配、应用为中心的多层次高时效可靠传输、分层自治动态建链柔性组网等难题,为空间信息网络容量界刻画与资源高效调度奠定了理论基础。

针对空间信息处理面临的时空基准不统一、在轨融合处理难，尺度信息差异大、实时信息提取难，内容信息弱相关、高效数据压缩难等挑战，提出了天-星-地全链路几何误差理论分析与建模方法，构建了估计光行差与大气折光差的全链路探元级成像几何模型，解决了国产光学卫星全球无地面控制高精度定位难题；发展了稀疏感知、认知与学习的目标信息获取新范式，提出“地面训练-星上反馈-地面反馈更新”的星地联动检测机制，实现了高精度实时智能目标检测、跟踪以及变化信息提取；构建了基于稀疏张量多尺度几何编码模型，提出了基于表征学习的复杂场景稀疏化建模理论，实现了星上资源受限环境下的动/静态影像数据高效高保真实时压缩，为空间信息网络有限资源条件下的在轨海量数据高效传输奠定了理论基础。

(2) 关键技术方面

针对立体多层、异构、动态复杂的空间信息网络难以对全网采用统一的网络管理与控制问题，提出了分层自治、统一管控、弹性可重构的天地一体空间信息网络体系结构及动态建链的网络管控方法（图2）；研制了面向复杂多任务的动态资源管控原型系统，提出了全面、显式、可表征的网络性能KPI指标；研发了面向高精度高效率资源快速预报的（自助式请求）星地协同资源管控软件，实现定轨能力从地面小时级到星上分钟级的跨越，大幅提升了卫星在轨管控效率。

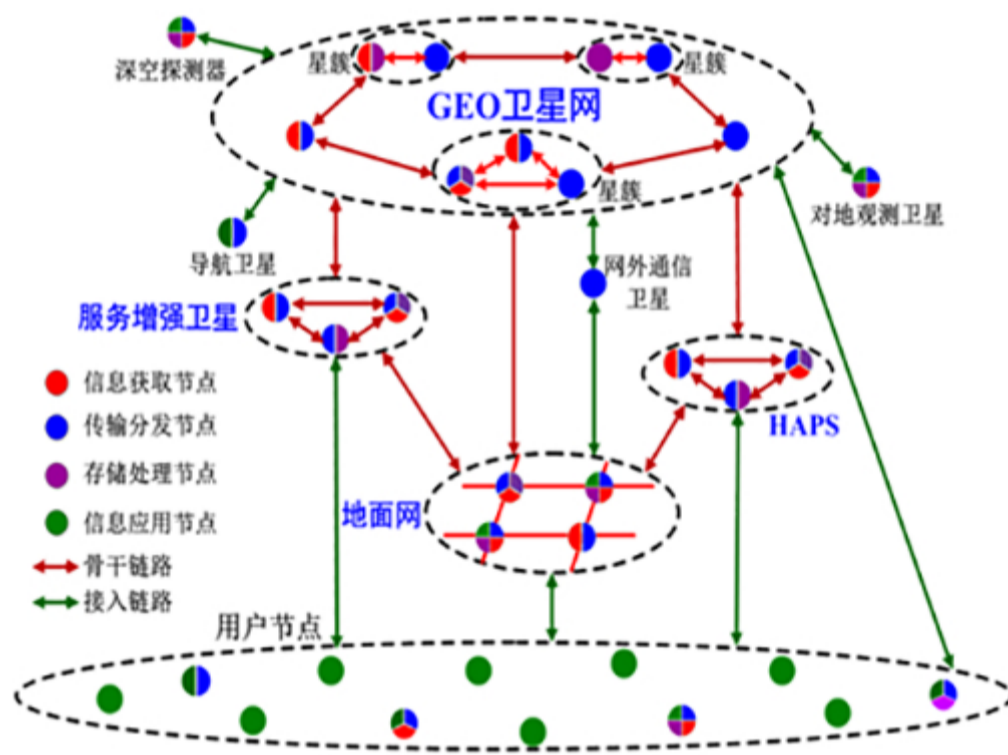


图2 天地一体空间信息网络系统架构与资源管控方法

针对非平稳条件下激光通信对不准、频差大的挑战，提出了空间动态链路相控传输方法，突破“水平全方位，垂直大角度”和“一对多同时激光通信”等技术瓶颈，研制出基于旋转双棱镜的超小型多功能激光通信系统，实现了星载激光通信系统的高精度测姿、定位和动态跟踪。

针对上千波控单元并发、百微秒级同时多波束控制的挑战，提出了一种星载相控阵天线低复杂度精确控制方法和波束控制星上处理架构，设计了适应细粒度资源块的星地链路帧结构，用户容量提升1个数量级，波束切换从十毫秒降至百微秒，满足了按需实时覆盖需求。

针对星上观测数据实时性强、数据量大但计算资源受限的挑战，提出了星载高性能影像/视频压缩算法和软硬件优化与加速方法，在轨演示与集成验证表明高倍静态影像压缩比优于30倍，动态视频压缩比优于200倍，峰值信噪比优于35dB，并具备在轨动态部署与近实时处理能力，突破了智能信息提取和轻量化模型构建的难题。

(3) 系统集成方面

研制了国际首个1Gbps太赫兹直接调制器件、国际首个64×64太赫兹智能超表面（图3），率先实现10Gbps自由空间太赫兹幅度调制；研制出国际首个0.34THz频段、调制速率为1Gbps的电控调制器芯片，构建了0.34THz太赫兹无线通

信原理验证系统，单路传输达到了1Gbps；设计了全自主E波段毫米波通信系统，完成了国内首次平流层气球载荷到地面E波段信道测量和通信实验，双向传输峰值速率达到15Gbps，传输速率和距离达到国际最好水平。

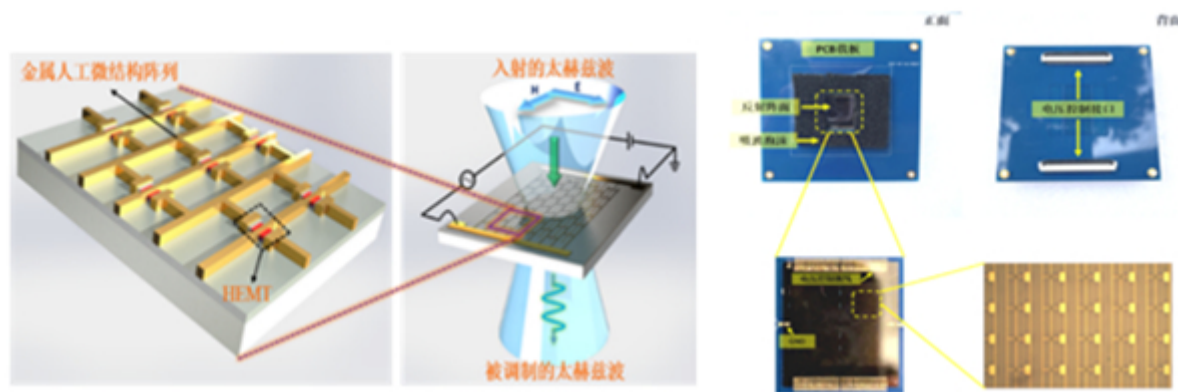


图3 64×64太赫兹智能超表面原理及实物示例

研制了“基于在轨卫星星座的天基信息网络资源配置管控与评估系统”，突破了极窄波束、远距离、双端高动态指向与建链等核心技术，首次成功实现19000~69000公里中/高轨卫星间激光建链通信，首次完成了IPv6空间组网应用、OSPFv3空间动态路由应用以及无人机远程数据传输应用等试验，新技术试验卫星七号通过在轨卫星系统“实时”将天基SAR信息下传至运行中心，“怀柔一号”极目望远镜低轨科学探测卫星通过在轨试验卫星系统“实时”将伽马射线的观测警报下传至GECAM科学运行中心，短报文全球传输时延小于30s，服务成功率优于98%，展示出天基信息一体化的应用效果和前景。

研制并成功发射“双清一号”科学实验卫星，卫星入轨测试后将作为面向全国科研人员开放的科研基础设施，为遥感领域科研成果在轨验证提供可重构平台环境；形成了领域资源共享平台，设计了遥感影像专用深度学习框架LuoJiaNet

(图4)，发布了全球规模最大的遥感图像标注数据库LuoJiaSet、遥感场景语义分割数据与算法集GID、遥感场景分类数据与算法集AID等11个开源数据集。

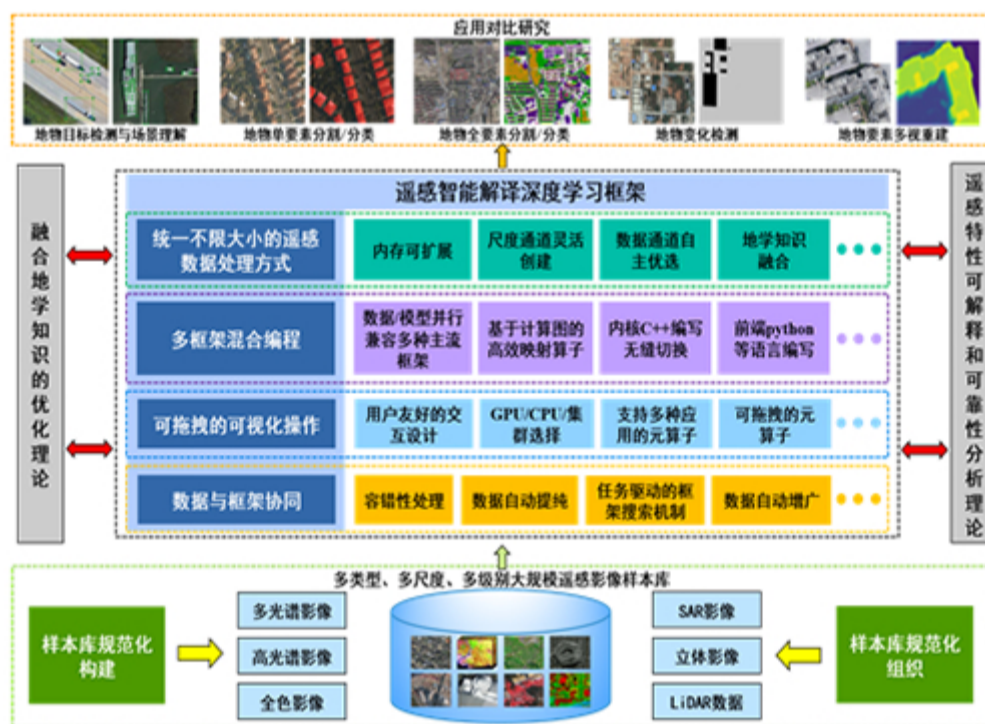


图4 在轨处理机器学习框架LuoJiaNet

该重大研究计划执行期间，指导专家组成员或项目承担人中有7人当选两院院士（含外籍院士1名），4人入选IEEE Fellow。在承担项目期间，项目承担人中有5人获得国家杰出青年科学基金项目资助，7人入选国家科技人才计划，14人入选国防领域优秀人才计划；成长出2个国家自然科学基金创新研究群体。在国际国内期刊发表学术论文三千余篇，获授权专利741件，出版空间信息网络领域专著68部；相关成果获得多项国家级、省部级奖励，包括国家科技进步一等奖2项、国家技术发明二等奖6项、国家科技进步二等奖4项以及省部级奖励58项。科研成果应用于我国星网工程、对地观测、深空探测等国家重大工程领域以及火箭测控、智慧天网、C919通信系统、飞船飞行验证等重要型号系统，为国家重大工程立项实施提供了重要的技术和人才支撑。

评估专家组认为，该重大研究计划的实施显著提高了我国在空间信息网络建模组网、动态链路高速传输以及空间信息稀疏表征与融合等方面的研究水平，实现了从跟踪并行到部分成果跻身世界先进行列的快速发展，全面完成了既定任务，达到了预定科学目标，评估优秀。

机构概况： 概况 职能 领导介绍 机构设置 规章体系 专家咨询 评审程序 资助格局 监督工作

政策法规： 国家科学技术相关法律 国家自然科学基金条例 国家自然科学基金规章制度 国家自然科学基金发展规划

项目指南： 项目指南

申请资助： 申请受理 项目检索与查询 下载中心 代码查询 常见问题解答 科学基金资助体系

共享传播： 年度报告 中国科学基金 大数据知识管理服务平台 优秀成果选编

国际合作： 通知公告 管理办法 协议介绍 进程简表

信息公开： 信息公开制度 信息公开管理办法 信息公开指南 信息公开工作年度报告 信息公开目录 依申请公开

 相关链接

政府

新闻

科普



版权所有：国家自然科学基金委员会 京ICP备
05002826号

地址：北京市海淀区双清路83号 邮编：100085

 京公网安备 11040202500068号

