

“多模态网络与通信”重点专项 2024 年度 项目申报指南建议

(征求意见稿)

1. 多模态网络

1.1 基于公共云网资源的多模态网络环境构造技术（共性关键技术类）

研究内容：应对各种新兴网络技术与业务蓬勃发展态势，从现有云网基础设施的存量资源出发，研究基于公共云网资源的多模态网络环境演进式构造技术，实现各种网络模态在现网中的演进部署、融合共存等，降低新兴模态的部署开销；研究基于异构云网资源的协同利用与韧性组网技术，研制云网资源管控平台，实现基于公共云网资源的网络模态部署管控；研究非配合条件下网络模态动态生成技术，研究多模态网元设计、多维度标识表征与服务映射等，研制网络模态部署系统与工具集，实现网络模态的动态生成和分类保障；研究多模态协议承载与内生安全接入控制技术，研制多模态网络安全接入系统，实现多样化网络模态的细粒度管控；构建试验网络开展实网试验。

考核指标：提出基于公共云网资源的多模态网络环境构造机制，云网资源管控平台具备内生安全属性，异构资源执行体类型不少于 6 种，支持节点数不少于 100 个，支持多维标识融合协议

部署、三地以上节点间广域高效互联，支持对现网可用资产的实时感知与监测，资产特征不少于 5 种；网络模态部署系统与工具集，支持各种网络模态在现网中的可定义构造、回收等，支持网络模态的韧性抗毁、无感承载等，网络模态的平均构造时间小于 3 分钟，支持嵌套、逐跳等不少于 3 种转发模式且可混合编排，节点损失比例不大于 40%条件下仍可正常运行；安全接入系统具备内生安全属性，身份认证开销小于 100ms，支持面向多模态标识的细粒度管控映射策略，实现云网资源联合管理，策略匹配速率大于 10000 个/秒，服务性能不低于云网单独调控时的 80%；实网试验支持身份、位置、内容、算力等不少于 5 种异构标识，支持在现网的可扩展统一承载和特色能力验证。

关键词：多模态网络环境，演进式构造，公共云网资源。

1.2 面向 AI 大模型训练的数据中心多模态网络关键技术(共性关键技术类)

研究内容：研究面向人工智能（AI）大模型训练的多模态数据中心网络架构，构建大规模、低延时、高带宽的网络拓扑，设计新型网络拓扑下的路由机制，满足大规模训练网络路由高效性、收敛性和鲁棒性需求。研究端网协同的高性能传输技术，结合大模型训练流量特征，设计多路径逐包/逐流的细粒度高效率负载均衡机制，实现拥塞感知的自适应传输，设计流量调度机制，支持灵活的传输顺序与选择性重传机制，包括报文重传与乱序重

排等，缓解网络拥塞，设计高性能拥塞控制算法，缓解多对一通信（inicast）带来的大规模拥塞。研究网络故障检测和恢复技术，设计精细化、低开销的网络监控机制和分布式网络异常溯源机制，设计网络快速收敛机制，设计集合通信增量建链和快速恢复机制。研究面向 AI 大模型训练的集合通信优化技术，设计高效集合通信算法和通信压缩机制。研制面向智算数据中心的网络核心设备，研发软硬结合的端侧高效网络协议栈，结合网络可编程技术研究面向集合通信的在网计算，开展面向 AI 大模型训练的大规模数据中心网络试验验证。

考核指标：提出百万量级处理器规模的最优拓扑互联方法及评价模型，连接规模比传统数据中心网络提升 100 倍，同等规模下算力有效性能提升 2 倍；提出基于端网协同的高性能网络传输体系，实现集合通信（AllReduce、AllGather 等）带宽利用率达到 95% 以上。提出高效率、低开销的网络故障检测和恢复机制，实现亚秒级故障检测和定位、秒级故障隔离和恢复；优化面向 AI 大模型训练的集合通信库，在典型集合通信（AllReduce、AllGather 等）下优于现有集合通信性能 30% 以上；研制面向智算数据中心的网络核心设备，交换容量不小于 51.2Tbps；研发端侧软硬结合的高效网络协议栈，吞吐率不低于 400Gbps；对标无限带宽（InfiniBand, IB）网络方案，大规模数据中心网络性能不低于无限带宽方案的 75%；申请国际/国内发明专利不少于 10 项，其中

国际发明专利不少于 2 项。

关键词：AI 大模型训练，数据中心网络，网络架构设计，网络试验验证。

1.3 算力网络多模态算网一体关键技术研究及验证（共性关键技术类）

研究内容：面向新型网络基础设施对计算、存储、网络等资源高效互联与协同操作的多样性需求，研究算力网络多模态算网一体架构，支持边缘计算、在网计算、AI 大模型推理等多类型算网服务，研究服务场景驱动的网内计算功能可重构和网络模态自适应技术。研究算网一体化路由与调度，设计新型算力编址和路由方法，设计算网多目标约束路由算法，设计算力流量动态均衡调度和多路径传输机制。研究广域长距有损环境高效传送，设计有损模式下兼容多种特定网络模态的广域网高效传送机制，研究长距传送的流控和丢包快速恢复技术。研究算网一体化业务感知和管理，设计广域网大流快速识别和故障监测机制，研究多维网络状态感知。研制算力网络路由器，构建跨区域典型应用场景，开展大规模算力网络算网一体试验验证。

考核指标：提出算力网络多模态算网一体架构，形成覆盖模态管理、路由交换、高效传送的共性技术体系。研发算力网络路由器，交换容量不低于 12.8Tbps，支持算网联合路由转发，与算网非协同系统相比，平均服务时延降低 20%，算力资源利用率提

升 30%以上。广域长距传送支持在 2000km 有损环境下 100Gbps 实网线速传送，传送效率不低于 95%，支持长距精细化流控，拥塞控制与快速恢复成功率高于 95%。支持不少于 3 种网络模态，支持不少于 4 种算力业务的调度与编排。构建不少于 10 个节点跨三地以上的广域试验环境，面向不少于 3 类业务开展试验验证。提交 IETF 国际标准草案不少于 5 篇，发布 RFC 或工作组草案不低于 2 项；申请国际/国内发明专利不少于 10 项，其中国际发明专利不少于 2 项。

关键词：多模态算力网络，算网一体化，算力路由与调度，长距有损传输。

1.4 广域远程直接内存访问（RDMA）技术研究（青年科学家项目）

研究内容：面向未来智算网络应用对超高吞吐、超低时延、广域传输的需求，针对传统 RDMA 网络面临难以高效广域传输的挑战，并且存在负载均衡能力不足、拥塞时性能急剧下降、流量调度较少考虑应用流量模式、难以应对突发流量等难题，开展广域 RDMA 技术研究。下述研究内容选择 1 项进行研究：（1）负载感知的广域 RDMA 路由选择技术：研究快速准确的负载检测方法和负载感知的路由决策算法，在多种流量模式下提高广域 RDMA 网络整体吞吐率，减少流完成时间和尾延时；（2）拥塞感知的广域 RDMA 传输控制技术：研究拥塞感知的广域 RDMA

传输控制技术，精确定位拥塞位置和根因，设计兼具公平性和吞吐率优化的精确拥塞控制算法；（3）应用感知的广域 RDMA 流量调度技术：研究应用感知的广域 RDMA 流量调度技术，通过跨层协作和终端通信库调度，减少流量冲突，提高网络整体效率。针对上述 3 项研究内容，均需开展广域 RDMA 技术验证，研究高效 RDMA 驱动的广域智算网络传输增强方法，开展真实网络试验验证。

考核指标：在广域网场景和不少于三种典型应用的流量模式下，平均流完成时间相比传统基于优先级的流控（PFC）减少 50% 以上，尾部流完成时间相比传统 PFC 减少 60% 以上；网络吞吐率提高 50% 以上；实现全域跨三地以上、距离大于 2000km 的负载均衡，丢包率在 5% 以内；实现 RDMA 驱动的广域智算网络传输增强系统，在真实网络中开展试验验证。

关键词：负载均衡，拥塞控制，流量调度。

2. 新一代无线通信

2.1 面向多业务场景的空间光电混合组网与网络调优技术研究（共性关键技术类）

研究内容：面向业务和多样化行业应用需求，围绕巨型星座卫星互联网，针对业务需求多样化、网络拓扑高动态、星载资源受限等挑战，研究面向光电混合组网的高效组网协议与控制技术，解决星间、星地网络拓扑高频时变问题，提升组网与网络资

源规划效率和可靠性；研究面向弹性带宽的空间光电混合交换技术，实现多样化业务的按需隔离交换，满足差异化服务需求。研究大规模高动态卫星网络的高效网络态势感知与调优技术，基于全网状态的多维度、强时效感知，实现全网流量的一体化高效承载，实现网络资源高效利用；研制支持细粒度、硬隔离的网络切片功能，实现多业务灵活隔离映射的星载路由原理样机，构建大规模仿真验证系统，开展半实物试验验证。

考核指标：星座规模不少于 4 千颗时，组网协议与控制的收敛时间（含故障扩散和路由计算时间）不高于 10s，故障恢复时间（包括端到端传输时间）不高于 150ms；支持对网络节点、链路和端到端网络性能的实时测量，测量指标至少包括端到端时延、时延抖动、丢包率等，全网测量覆盖率 100%时，网络测量传输开销相较于传统双向主动测量协议（TWAMP）降低 10%；支持不少于 5 种卫星网络业务场景下的网络流量调优，流量调优算法可提升至少 20%的全网链路利用率；星载路由器原理样机支持光电混合交换，交换硬隔离颗粒度不大于 10Mbps，支持不少于 500 个网络切片隔离与资源规划；半实物验证系统支持千星规模的星座仿真和星载路由器原理样机接入；申请国际/国内发明专利不少于 8 项。

关键词：光电混合组网，网络态势感知，流量调优，网络切片

2.2 基于动态跳波束的巨型星座电磁态势感知与干扰缓解技术研究（青年科学家项目）

研究内容：针对巨型互联网星座面临的载荷资源受限、拓扑快速时变、星座系统间非合作等特有难题，探索适合巨型卫星互联网星座的新型电磁态势感知与干扰缓解方法，研究如何利用卫星相控阵天线的捷变跳波束能力，实现低成本的电磁态势感知、干扰规避、按需通信一体化功能，提升卫星互联网星座频谱资源利用率与网络吞吐率。下述研究内容选择1项进行研究：（1）构建巨型互联网星座电磁频谱数字仿真环境，支持动态模拟星座跳波束下的频谱感知、干扰规避和按需通信；（2）研究基于动态跳波束的通信感知一体化设计方法，探索感知精度与通信效率最优平衡的波束配置方案，进一步研究电磁地图稀疏感知与快速动态推演方法，利用多星稀疏感知结果实时动态推演全局电磁干扰态势；（3）研究基于电磁地图辅助的多域资源高效管理与干扰缓解方法，结合电磁地图完成星座时、空、频、功、轨等资源管理，实现星座间干扰规避与星座内按需服务。

考核指标：（1）星座类型 ≥ 2 种，单个星座的卫星数量 ≥ 5000 颗，每颗卫星的点波束数量 ≥ 8 个，卫星跳波束速率 ≥ 1000 跳/秒，波束带宽 $\geq 500\text{MHz}$ ，卫星波束支持频谱感知与按需通信时分复用。（2）单颗卫星用于频谱感知的时隙资源不超过卫星总时隙资源的20%；联合多星稀疏感知数据实现电磁地图重构与预

测，联合卫星数量 ≥ 10 颗，与传统空间插值方法相比，电磁地图预测精度提升30%以上，电磁地图重构与预测算法执行时间 $\leq 10s$ 。（3）与用户采用最大仰角接星策略、卫星采用波束周期轮询服务策略相比，所提星座多域资源管理方法降低星座间干扰概率50%以上，用户发生星间切换的次数降低30%以上。

关键词：巨型互联网星座，数字仿真环境，电磁态势感知，多域资源管理，通信感知一体化。

2.3 面向通感算控的无线确定性传输技术（青年科学家项目）

研究内容：面向智能制造等确定性服务需求（确定性的时延、可靠性、传输速率等），针对无线网络环境动态复杂、无线传输资源稀缺、集中式架构效率低等问题，研究无线-有线确定性网络的融合技术，提出映射迁移和确定性传输评价体系；研究高效的分布式无线确定性网络架构，探索多点协同传输机制和大规模干扰利用方法；开发无线确定性网络仿真验证系统，搭建规模化的多场景验证环境。

考核指标：支持50~100个用户终端的通信组之间实现 $1\mu s$ 的同步，时延抖动小于 $10\mu s$ ，系统可靠性达到6N（99.9999%）以上。

关键词：通感算控，无线确定性，网络融合。

2.4 超材料无源物联网技术（青年科学家项目）

研究内容：针对现有无源物联网传输距离受限的问题，研究

基于超材料传感器物联网中计算、通信和续航能力多重限制下多维信号侦测、识别和传输方法；研究超材料传感器的传感和通信机理，分析基于超材料传感器的无源物联网组网特性，探索收发机的联合波束赋形、超材料传感器的多目标集成技术，以及数据驱动的智能检测算法等关键技术，构建验证平台开展应用示范。

考核指标：节点规模上，传感器密度大于等于 1.5 个/平方米；单点传输距离：满足相关频段无线电发射标准下，传输距离大于等于 10m；可以支持 2 种以上典型物理量感知（如速度、温度、湿度等）；传输的测量值与真实值的误差不超过 10%。

关键词：超材料传感器，无源物联网，后向散射通信。

2.5 基于可移动天线的太赫兹通信关键技术（青年科学家项目）

研究内容：研究面向太赫兹通信的全新智能可重构天线技术及其机械或等效电控硬件实现方法，可对多天线位置与构型进行灵活调控，实现对生成波束与端到端信道的智能重构，同时可动态调整最小控制单元尺寸（阵元/阵列）以平衡通信性能与实现开销；研究不同智能可重构天线架构下的电磁调控机理与空间波束相关性原理，探索天线位置对多天线波束零陷与覆盖的影响机制；研究面向多角度广域用户接入的太赫兹智能可重构天线组网技术，解决现有太赫兹固定天线阵列波束过窄、广域覆盖能力受限的根本缺陷，大幅提升网络容量。

考核指标：天线位置调控精度优于五分之一波长；提升波束覆盖角度范围 20%以上；相同零陷角度下主方向波束增益提升 50%以上；用户数量不低于 8 个，多用户通信和速率提高 1 倍以上。

关键词：智能可重构天线，太赫兹通信，电磁与波束调控，广域用户接入。

3. 超宽带光通信

3.1 多维复用超高速实时相干光接入系统架构与关键技术研究（共性关键技术类）

研究内容：面向全光接入网络高效扩容升级以及为各行业数字化转型赋能的发展需求，聚焦下一代超 200Gbps 速率，兼顾通感一体发展趋势，开展新型多维复用超高速实时相干光接入系统的架构和关键技术研究。研究基于同一光分配网（ODN）、支持通感一体的超 200Gbps 速率光接入系统架构和综合性能表征方法；研究传输损伤机制，探索损伤补偿和串扰抑制技术；研究多用户并发低时延上行机制，探索带宽、时延、波长等多维一体化分配算法；研制基于多种高级调制格式、偏振收发方式的用户终端侧相干核心光电芯片；研制支持超高速接入、多用户并发并兼顾通信状态监测功能和高分辨分布式传感功能的超 200Gbps 光接入设备样机，并开展现网试验。

考核指标：研制用户终端侧高速核心光电器件，接收侧单波

速率不低于 200Gbps，发送侧单波速率不低于 100Gbps；研制超 200Gbps 灵活速率相干光接入系统设备样机，支持单纤双向传输和多维接入方式，支持下行峰值速率不低于 200Gbps 且支持 100 ~ 200Gbps 速率灵活可调、上行速率不低于 100Gbps，带宽分配及接入维度（时间、频率等及综合）不少于 3 个，链路功率预算不低于 35dB，传输距离不低于 20 公里；支持通感一体，具备 ODN 高分辨率感知功能，实现故障检测与定位，空间分辨率优于 2m；开展现网试验，设备覆盖能力支持不少于 1000 用户，支持分光比不小于 1:32；完成国际/国内标准立项不少于 1 项，提交国际标准提案不少于 5 项；申请国际/国内发明专利不少于 5 项。

关键词：相干通信，高速光接入网，通感一体化，多维复用。

3.2 基于多芯光纤的大容量海洋光通信系统关键技术研究（共性关键技术类）

研究内容：面向超大信道数、超大容量、超高谱效的应用场景，研究低复杂度、低功耗、低延迟的多芯光纤海洋光通信系统架构；研究多芯少模光纤的成缆与敷设技术，以及多芯少模光纤与现有收发机光端口的高效适配方法；针对多芯光纤信道特点，研制用于相干光通信系统，实现具备自适应信号均衡及解调等功能的低复杂度、低功耗、低延迟国产化光电处理加速芯片；针对海底中继光放大器增益均衡的要求，研制基于国产核心器件的多芯少模光纤放大器；基于上述国产化多芯少模光纤海缆、光纤放

大器和光电处理芯片，研制大容量海底光纤通信原型设备，并开展海洋光缆现网传输试验。

考核指标：研制用于大容量多芯光纤海缆通信的国产化光电处理加速芯片，核心光处理器件单次运算延迟不超过 1ns，处理能效不低于 1TOPS/W，可支持多芯海缆传输后的不低于 4 个模式信道同时自适应均衡及解调，支持与常规数字信号处理（DSP）算法适配。研制基于国产化核心器件的海底中继多芯光纤放大器，可支持同时放大的纤芯数量不少于 7 个，每根纤芯的增益不低于 20dB@1550nm，纤芯间的增益差不大于 3dB@1550nm。基于国产化多芯光纤成缆及敷设技术，海底实际敷设海缆距离不低于 20km，敷设后光纤损耗不高于 0.25dB/km，单根光纤可支持纤芯数量不少于 7 个，单个纤芯支持的模式数量不少于 6 个。基于国产化多芯海底光缆、多芯光纤放大器和光电处理加速芯片，研制大容量海洋光通信原型设备，并开展现网传输试验，其中单跨段传输容量不低于 1Pbps，谱效率不低于 100bit/s/Hz，传输距离不低于 20km；多跨段传输容量不低于 100Tbps，传输距离不低于 100km。提交国际/国内标准提案不少于 5 项，申请国际/国内发明专利不少于 10 项。

关键词：多芯海底光缆，光放大器，国产化芯片，大容量海洋光通信。

3.3 基于高波特率芯片与器件的高速大容量光通信系统研制与应用示范（应用示范类）

研究内容：针对数据中心光互联业务发展海量数据的需求，以超高速、大容量与大带宽为目标，开展基于 200GBaud 以上国产化高波特率芯片与器件的高速大容量光通信系统研究。研制基于 200GBaud 以上高波特率的国产化光电器件与芯片；研究基于 200GBaud 以上高波特率的超高速、大容量光纤传输系统在带宽受限条件下的自适应带宽补偿、非线性抑制与补偿、功率管理及均衡等关键技术；基于上述关键技术及国产化芯片与器件，研制超高速大容量实时光传输设备，并开展现网应用示范。

考核指标：研制基于 200GBaud 以上高波特率国产化芯片和器件的高速大容量光传输系统，国产化芯片和器件至少包括集成可调谐激光器模块（ITLA）、调制器、探测器、驱动器和跨阻放大器（TIA）等；研究大带宽、高阶码型下的高性能损伤抑制与带宽补偿方案，完成不低于 200GBaud 的超高速大容量光传输原型系统，实现单波速率不低于 1.6Tbps、单模光纤中支持不少于 60 波、距离不小于 100km 的单模光纤传输实验验证；基于超 200GBaud 的国产化高波特芯片和器件，研制单波速率不低于 1.2Tbps、单模光纤中支持不少于 60 波、传输距离不少于 100km 的实时光传输设备，并完成现网应用示范；提交国际/国内标准提案不少于 5 项；申请国际/国内发明专利不少于 20 项，其中国际

发明专利不少于 5 项。

关键词：大容量光通信，单模光纤传输，高波特率，实时光传输设备。

3.4 面向智算中心的光互联关键技术研究与应用示范（应用示范类）

研究内容：面向未来人工智能（AI）大模型对智算中心网络的发展需求，针对新型数据中心提算效、降算耗的建设目标，开展智算中心光互连关键技术与系统组网应用示范。研究超大维度、超低时延全光交换机，完成设计与制备；研究支持远程直接内存访问（RDMA）的超高带宽、超低时延的多个数据中心节点光互连技术，完成组网方案设计与验证；研究适配全光交换机的控制器与管控技术，研究路由选择、光路切换、同步切换与控制技术，研究网络拥塞控制与流量控制等无损机制，完成控制器设计与开发；基于上述研制的全光交换机与控制器，在多个数据中心节点开展现网应用示范。

考核指标：研究支持高维度、低损耗、快速切换的光交换关键技术，研制超大维度全光交换机，端口数量不少于 256×256 个，插入损耗不超过 3dB，切换时间不超过 30ms。研究支持多个数据中心节点 RDMA 协议的超 800Gbps 光互连技术与组网方案，可实现百万卡级别及以上的组网能力；链路支持光层与电层保护，且光层与电层保护倒换时间支持业务训练可用率不低于

99.999%。研制控制器实现全光交换机和以太网交换机的自动化部署和统一管控，支持网络拓扑自动发现和流量可视化，支持拥塞控制和流量控制等无损机制的建立。基于上述研制的全光交换机与控制器，在不低于3个数据中心节点间进行新型组网模式的现网应用示范，构建不少于千卡级组网验证环境；传输设备支持不低于800Gbps的单波速率，总容量不低于64Tbps，节点间传输距离不低于100km的无丢包传输，设备时延小于50 μ s，支持光层路径的保护与恢复，且系统电交换容量不低于51.2Tbps；网络拓扑支持毫秒级的光路切换，支持光层路径的保护与恢复，整个网络运行24小时丢包率为0。提交国际/国内标准提案不少于10项，申请国际/国内发明专利不少于15项。

关键词：智算中心，全光交换，光互联技术与组网，控制器。

3.5 耦合多芯光纤传输关键技术研究及验证（青年科学家项目）

研究内容：面向物理空间限制下的长距离传输扩容需求，开展耦合多芯光纤传输的关键技术研究与应用示范。研究随机扭转、弯曲条件下耦合多芯光纤传输的基础理论；研究多芯放大器中影响芯间增益差、放大带宽、噪声系数、效率、串扰等的物理机制；基于理论研究，建立耦合多芯光传输的精确仿真平台；研究高效率、低芯间增益差的多芯放大器；研究适配耦合多芯光传输的接收端关键算法，并搭建耦合多芯光纤实时传输平台，实现

长距离耦合多芯光传输实验技术。

考核指标：研制耦合多芯光传输的精确仿真平台，实现仿真平台与实验系统的 Q 值误差 $\leq 0.1\text{dB}$ ；研制适用于耦合多芯传输系统的多芯放大器，至少支持 4 芯放大，至少覆盖 C 波段，噪声系数 $\leq 6.5\text{dB}$ ，增益 $\geq 23\text{dB}$ ，最大芯间增益差 $\leq 1\text{dB}$ ，最大输出功率 $\geq 20.5\text{dBm}$ ，能耗相较于 4 个单模放大器降低 30%；完成传输容量 $\geq 100\text{Tbps}$ ，传输距离 $\geq 1500\text{km}$ 的耦合多芯光纤传输系统验证试验；申请国际/国内发明专利不少于 5 项。

关键词：多芯光纤，多芯放大器，仿真平台，长距离传输。

3.6 少模光纤超大容量长距离传输关键技术与验证（青年科学家项目）

研究内容：面对单模光纤传输系统提速扩容需求，开展基于模分复用的超高速光纤通信系统的关键技术与验证。研究模分复用光纤传输系统的基础理论，研究超大容量长距离模分复用传输系统中包括模式串扰、模间色散、时延展宽等线性和非线性效应，对该传输系统进行精准数值建模；优化传输性能，开发适用模分复用系统的先进调制解调技术，研究适用于模分复用系统的多输入多输出信道均衡方案；研究长距传输后信号时延展宽与光谱形变的物理原因，并提供基于光纤设计或数字恢复的解决方案；控制复杂度和功耗，研究数字信号处理复杂度降低技术，研究低串扰的模式复用与解复用器设计；完成相关理论和仿真模

型、算法和设计方法的实验验证。

考核指标：研制支持不少于 6 个模式的模式复用光纤传输系统的快速精确仿真平台；设计适用于模式复用光传输的先进调制解调方法，相比于传统二维矢量调制方案广义互信息提升 25% 以上；研究缓解少模光纤长距传输中时延展宽的方法，提出至少两种减小光谱形变的方法，将 2000 公里传输后的时延展宽降低 50% 以上；搭建支持不少于 6 个模式的少模复用光纤传输系统，单模式传输速率超过 40Tbps，总容量距离积不低于 $5 \times 10^5 \text{Tbps} \cdot \text{km}$ ；申请国际/国内发明专利不少于 5 项。

关键词：少模光纤，仿真平台，调制解调技术，模式复用系统。

4. 交叉融合前沿技术

4.1 毫米波可调液晶阵列天线研究与验证(共性关键技术类)

研究内容：研究光透明高透射可调液晶阵列天线单元机理和设计，完成大规模光透明波束扫描液晶阵列天线的快速较准方法和校准系统。研究毫米波可调液晶阵列天线与基材的集成、共形设计及联合优化，完成光透明的毫米波可调液晶阵列天线制备，探索可共形液晶阵列工艺。探索恶劣使用环境下，高可靠液晶材料的设计与制备工艺，完成基于毫米波可调液晶阵列天线的高集成度星地通信跟踪控制系统，实现与高性能通信实验系统的集成。开展毫米波可调液晶阵列天线在低轨道卫星的星地通信场景

下的综合试验与应用示范。

考核指标：建立毫米波可调液晶阵列天线设计和快速校准方法，并搭建大规模可调液晶阵列天线的多极化校准系统；研发面向星地通信的毫米波可调液晶阵列天线，典型接收阵频段在 17.7 ~ 20.2GHz 范围内、发射阵频段在 27.5 ~ 30.0GHz 范围内，阵面总尺寸 $\geq 900\text{cm}^2$ ， 30° 扫描角范围内轴比 $\leq 3\text{dB}$ ， 60° 扫描角范围内轴比 $\leq 5\text{dB}$ ，波束扫描范围 $\geq \pm 60^\circ$ ，可见光频段（380 ~ 780nm）透射比 ≥ 0.4 ，可配置数 ≥ 64 ；构建支持 Ku/Ka 频段的星地通信测试验证环境，具备星地链路的速率与带宽测试、射频一致性测试、频率响应测试与相位噪声测试等核心指标测试验证能力；制备毫米波可调液晶阵列天线，波束切换时间 $\leq 25\text{ms}$ ，单块阵面面积 $\geq 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ，可见光频段（380 ~ 780nm）透射比 ≥ 0.4 ；完成毫米波可调液晶阵列天线在低轨道卫星的星地通信场景下的应用示范。

关键词：毫米波可调液晶阵列，光透明可调液晶玻璃，低轨道卫星通信天线。

5. 一体化应用示范

5.1 车联网多模态通信关键技术研究及应用验证（应用示范类）

研究内容：针对车联网各场景差异化通信模式及特征，研究多模态蜂窝车联网（C-V2X）网络总体架构，构建车路云一体的

多模态网络技术体系；在车端，研究车内网络多模态混合转发与服务能力保障等关键技术，突破异构多域业务灵活适配、时延确定性传输、多模态服务质量保障、内生安全体系构建等技术；在路侧端，研究网络控制管理、车路云融合模型下的多模态网络资源智能调度、高动态非理想条件下的车路协同等关键技术，突破C-V2X车路云智能协同决策与控制中的路侧多模态通信服务质量保证技术；在网络侧，研究多模态网络自动化生成工具链，突破基于大模型的网络模态能力智能生成和行为验证、网络模态自动化开发流水线、多元化网络模态的一体化编译和部署等技术；建立车联网多模态相关关键技术原理和原型验证系统，对车联网多模态技术进行应用示范。

考核指标：完成支持多模态的C-V2X车路协同、车车协同系统验证，支持不少于10种典型场景，在支持车辆高速移动场景下，车车、车路直连通信距离不少于300m（5.9GHz，无遮挡直视环境），时延不高于20ms；研制车载多模态中央网关，支持4G/5G、基于LTE网络的车联网（LTE-V2X）短距离直接通信（PC5）、无线局域网（WLAN）等多模态通信制式 and 控制器局域网络（CAN）、以太网（Ethernet）等异构互联接口，车内多模态网络确定性转发时延不超过100 μ s，流表项大于10K，支持车内多域安全隔离，具备内生安全属性，异构资源执行体类型不少于3种，满足L3级自动驾驶对时延、带宽、实时性、可靠性

要求；完成面向车联网典型场景的网络模态生成工具链功能验证，工具链覆盖网络模态的设计、开发、编译、部署全生命周期，支持基于大模型的模态生成策略，支持不少于 5 种网络模态的资源配置和一体化部署，模态生成/重构时间不大于 5s；搭建多模态 C-V2X 车联网示范应用平台，支持 10 个以上路侧单元（RSU）节点和不少于 2 个厂家设备的互联互通，具备按需生成网络新模态的能力和模态动态加载能力，开展车与车、车与路、车与云等不少于 5 种典型模态下的应用验证，参与验证车型不少于 2 种。

关键词：C-V2X 车联网，多模态通信，多模态中央网关，工具链。

5.2 面向分布式大模型的广域智算组网关键技术研究与应用示范（应用示范类）

研究内容：面向生成式人工智能的发展需求，聚焦支持分布式大模型训练的广域级异构网络互联机制与协议体系，研究超大规模、超低时延、超大带宽、超高可靠的广域智算网络，满足分布式大模型的高性能无损需求。研究面向分布式大模型训练的超大带宽、超低时延光传输体制，支持不低于 1000 公里多芯光纤（不低于 4 芯，单波传输速率不低于 800Gbps，总带宽不低于 100Tbps）连接的智算节点间超高速大容量高可靠传输；研究支持跨域多智算中心一体化的端网协同高效传送协议与管控机制，支持异构网络协议对接、异构集合通信库优化、子任务分配、精

细化拥塞控制、动态负载均衡、资源智能调度等，满足多种并行训练策略；研究在异构智算网络上训练生成式预训练大模型（GPT），包括算子任务分配、调度算法、支持动态大时延场景的智算中心组网交换架构和协议，能够支持数据并行、流水线并行、张量并行等并行策略，验证不低于十亿规模稠密模型并行训练，并具备千亿参数可扩展性；构建基于分布式智算互联的广域试验网络，并开展试验验证。

考核指标：部署使用多芯光纤（不低于 4 芯，单波传输速率不低于 800Gbps，总带宽不低于 100Tbps）连接的智算中心超高速超大容量互联，实际部署并实现不少于三地智算节点拉远互联 100 公里时，集群计算指标不低于本地计算场景的 98%。使用多芯光纤（不低于 4 芯，单波传输速率不低于 800Gbps，总带宽不低于 100Tbps）在实验室实现 2000 公里连接的智算中心超高速超大容量互联，研究超宽带光通信系统对智算网络的支持，研究异构智算网络上训练 GPT 类型大模型的协议体系，构建科学研究平台；验证不低于十亿参数规模稠密模型并行训练，并具备千亿参数可扩展性。部署至少三地 1000 公里（单波传输速率不低于 800Gbps，总带宽不低于 10Tbps）连接的智算中心超高速超大容量互联示范网络。集群计算指标不低于本地计算场景的 80%；研究可扩展智算集群规模达百万卡级别实施方案，与十万卡规模相比有效算力实现不低于 7 倍的增长，实现 Tbit 级数据秒级弹性服

务，算力利用率提升 50%以上。申请国际/国内发明专利不少于 20 项，向 ITU/IETF/CCSA 等国内外标准化组织提交标准提案不少于 10 项。

关键词：智算网络，分布式大模型训练，多芯光传输。

南京航空航天大学 A000551