

## 附件 2

# “多模态网络与通信”重点专项 2022 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“多模态网络与通信”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现提出 2022 年度项目申报指南。

本专项总体目标是：开展多模态网络核心芯片、设备、关键技术和创新环境构建的研究，初步构建全维可定义的多模态融合网络架构、协议体系、安全体系和服务体系，使我国成为支持演进和创新的新型网络技术的主导者；巩固我国在移动通信领域的领先优势，重点开展 5G 演进及 6G 技术的前期研究，开展天地一体化技术的先导研究，使我国成为 6G 技术、系统和标准的全球引领者，并使我国高频段通信系统核心模块和芯片达到国际先进水平；充分发挥我国在光通信系统产品上的领先优势，带动光通信核心模块和芯片逐步取得竞争优势；并与微电子、光电子、新材料等方面交叉融合，借助本领域已有的产业优势，在前沿技术上率先取得突破。专项实施周期为 5 年（2021—2025 年）。

2022 年度指南部署聚焦面向系统、行业应用的核心芯片、软件、关键设备研制和系统集成研究，同时辅以探索前沿技术，拟围绕多模态网络，新一代无线通信，超宽带光通信等三个技术方向，按照基础前沿类、共性关键技术类、青年科学家项目三个层面，启动 23 项指南任务，拟安排国拨经费 4.22 亿元。其中，青年科学家项目拟安排国拨经费 3600 万元，每个项目 300 万元。共性关键技术类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标，实施周期不超过 4 年。基础前沿类项目下设课题数不超过 4 个，参与单位不超过 6 个；共性关键技术类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目所含参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

除指南中特殊说明外，每个指南任务拟支持项目数为 1~2 项。“拟支持项目数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申

报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持 2 项。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式，第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## 1. 多模态网络

### 1.1 多模态网络的软件定义互连交换芯片研制（共性关键技术类）

研究内容：针对多模态网络软件定义互连芯片面向的数据中心、5G 承载网、高性能计算等典型应用场景，开展多模态网络互连交换芯片体系架构、模态隔离转发技术、状态可编程技术、模态加载和编译技术、软件定义报文技术等研究，突破软件定义数据链路层协议、软件定义报文线速处理、高负载下模态弹性无扰隔离技术、数据平面有状态转发技术、大规模状态表下的线速转发等关键技术难点，形成多模态高效芯片处理架构，完成多模态网络软件定义互连交换芯片的设计，基于境内工艺，实现多模态网络软件定义互连交换芯片流片、封装及测试，为多模态网络系列化设备研制提供核心芯片，构建软件定义互连交换芯片演示验证系统。

考核指标：基于境内 16nm 或更先进工艺，完成多模态网络软件定义互连交换芯片研制；支持芯片级状态可编程、模态加载/

编译及运行，实现大规模状态表下的高性能转发，支持模态间的弹性隔离，支持不同模态下的有状态寻址或无状态寻址；芯片交换容量 $\geq 6.4\text{Tbps}$ ，端口最大传输速率 $400\text{Gbps}$ ，支持2种以上软件定义数据链路层协议；确定性平面转发时延 $\leq 2\mu\text{s}$ ，时延抖动 $\leq 1\mu\text{s}$ ；支持8级以上业务可编程能力，支持流表精确匹配，流表容量 $\geq 1\text{M}$ 条，共享缓存 $64\text{MByte}$ ；芯片配套软件支持现场可编程特性、异构业务特性和多模态应用特性；完成芯片在典型应用环境下的演示验证。完成研制报告1份、申请专利20项。

## 1.2 支撑多模态网络的软件定义控制芯片（共性关键技术类）

研究内容：面向多模态网络技术发展，为满足多种网络模态共存对控制面多维动态管理、多样化处理策略及高安全防护的需求，基于控制面和数据面分离的多模态网络架构下，开展多模态网络高吞吐率控制面处理器架构、控制面处理器功能重构技术、分布式协同控制、控制面内生安全技术和编译技术等研究，突破芯片上弹性模态资源管理和动态微服务加载、安全传输协议、内生安全硬件设计、面向通用网络处理器编程范式的编译工具研制等关键技术难点，提出支持多模态动态管理的高吞吐率低延迟控制器芯片架构，完成支撑多模态网络的软件定义控制芯片设计并流片，研制完整集成开发工具链、应用软件库运行环境，实现面向多模态网络管理的控制设备原型样机和系统。

考核指标：建立软件定义控制芯片的多模态可编程高吞吐率架构，支持多域多级管理，支持 L2~L7 层级协议卸载和预处理，业务管理带宽达到 100Gbps 以上，对数据面请求的处理效率达到通用处理器的 10 倍以上，对同层或上层控制器的多模态流部署及拓扑管理请求的处理带宽达到通用处理器的 10 倍以上；软件定义控制芯片支持微服务的动态加载，功能重构时间小于 100ns，支持多业务分发、统一表决以及负反馈控制的动态调度；基于硬件可信根实现配置管理，覆盖 100%配置流；对基于未知漏洞和后门攻击的防御成功率达到 99%以上；基于境内 28nm 及更先进工艺，完成芯片研制、集成开发工具研制、控制设备原型验证样机及系统研制；集成开发工具支持高级语言编程，控制代码编译执行效率不低于 80%，支持断点调试和时钟精确模拟。

### 1.3 多模态网络控制调度系统技术（共性关键技术类）

研究内容：面向泛在化异构网络设备所组成物理网络中多种模态网络管控需求，开展基于多模态网络的控制调度系统总体架构、分布式/层次化控制与通信技术、面向异构设备的控制面本地化技术、分布式控制面状态维护技术、多业务流多模态路由承载技术、跨模态资源协同管控与内生安全技术、算网一体的资源协同调度技术、控制面主备切换和容灾备份技术等研究，突破支持多种可编程数据面流水线技术的分布式控制面集群、算网资源协

同与自动化模态隔离与加载、高可用可视化控制面维护等技术难点，形成多模态网络控制调度系统架构，开展多模态网络控制调度相关关键技术原理和原型系统的验证。

考核指标：完成基于多模态网络的控制调度系统总体架构的方案设计；控制面支持多种可编程数据面流水线技术、支持分布式及层次化扩展、多种硬件架构下的控制面本地化部署、分布式状态维护、算网一体协同调度、不少于 5 种多模态寻址与路由协议、基于命名空间隔离的跨模态资源编排、自动化模态加载、具备高可用性；控制通道管理容量不少于 1000 台数据面设备，拓扑发现时间低于 2s，线性拓扑端到端链路建立时间低于 5s，单节点在 10 万 pps 的负载下，被动 packet-out 或 flow-mod 响应时延 99% 小于 1ms，集群可线性扩展；与算网非协同系统相比，算网资源配置与使用效率提升 30%；构建原型系统实验验证环境，对多模态网络控制调度系统架构及关键技术开展性能评估，开源原型系统相关代码。

#### **1.4 多模态边缘网络关键技术研究（共性关键技术类）**

研究内容：应对信息网络发展成为人-机-物泛在互联关键基础设施和赋能平台的趋势，构建基于多模态网络环境的边缘网络，支持多模态协议混合接入，具备内生安全特性，突破基于异构语义标识的多模态协议混合路由寻址、隐私保护、按需组网等，支

持网内计算增强，实现分布式算力与多模态网络环境的融合与协同；研究分布式算力感知与网络设备数据面卸载，研究基于多模态网络环境的网内计算分发和部署等，实现面向分布式计算的网内网络支撑；研究多模态边缘网络的安全访问控制，支撑多模态网络中信息物理融合安全接入、异构实体的内生安全互联互通。研发多模态边缘网络设备和系统，为面向园区/行业等垂直应用提供多元、高效、安全的边缘网络服务支撑。

考核指标：提出基于多模态网络环境的边缘网络方案，完成原理验证，形成面向园区/行业等场景的验证报告 3 份，申请发明专利 10 项，提交国内国际标准提案 5 篇；设备内部支持不少于 3 种异构算力资源，支持面向不少于 4 种网络协议的存储计算转发异构资源协同调度、模态自定义的协议解析和处理，报文处理、交换芯片和处理器国产化，支持不少于 6 个 100Gbps 接口；控制系统支持对项目研发的设备进行模态控制，支持基于资源池的计算任务卸载和协同处理，支持计算模型在多模态网络设备中的分级、动态部署，对计算请求进行任务分配的平均响应时延不超过 5ms；路由系统支持不少于 4 种异构多模态标识接入及其混合寻址路由、统一承载，支持与现网互联互通，支持隐私保护，路由隐私的平均处理时间不超过 2ms；边缘融合接入与安全认证设备支持不少于 4 种实体标识的统一接入认证和授权，支持不少于 2

个 10Gbps 接口和 10 个千兆接口，支持国密算法，处理器国产化，支持并发连接数不少于 10000 个，支持一体化异构标识定义、时空可感、跨层多元的持续信任评估和管控。项目研发的设备和系统需具备内生安全特性，在白盒注入测试条件下基于未知威胁差模攻击的平均抑制成功率不低于 95%。

### 1.5 多模态网络节点关键技术研究及验证(共性关键技术类)

研究内容：面向多模态网络智慧支撑环境，遵循“应用、业务、技术体制、智慧支撑环境”的四层架构，以面向计算的技术路线为主线开展多模态网络节点关键技术研究，开发多模态网络节点试验验证平台并对关键研究成果进行验证，为多模态网络超大规模专用核心芯片的开发奠定坚实的技术实践基础。重点突破多模态智慧支撑环境网络节点的系统架构、流数据驱动、计算模型、资源构建、互联方式、控制逻辑、节点操作系统和可编程模式等方面的关键技术，实现多模态网络在智慧支撑环境节点中，共生共存、区分服务、内生安全兼并的透明转移生态。

考核指标：完成多模态网络智慧支撑环境节点技术实现方案，提供试验验证报告，关键技术突破大于 10 项；研制开发多模态网络智慧支撑环境节点机 3 台、用于构建试验验证环境节点协处理机 6 台和多模态终端网卡 20 块，设备间支持协同处理，开展大于 6 种模态网络同时并发运行的试验验证工作，其中主流

技术体制的模态网络大于 3 种，可以支持模态间硬隔离；多模态网络智慧支撑环境节点机端口速率支持 40/100/400Gbps，交换容量不少于 4Tbps，存储容量大于 10TB；节点协处理机端口速率支持 10/40Gbps，交换容量不少于 600Gbps，存储容量大于 6TB，支持带内计算；多模态终端网卡端口速率支持 1000Mbps/10Gbps，支持用户自定义模态加载，支持由应用按需选择模态；多模态网络智慧支撑环境节点机、节点协处理机、多模态终端网卡核心器件采用国产器件；节点操作系统支持内生安全，能有效抑制不确定失效扰动，在白盒测试条件下威胁抑制成功率不低于 95%，支持多种网络模态的动态安装和部署，可适配本项目研发的节点设备，向开源社区贡献代码，目标功能的代码贡献比例不低于 50%；提交 1 份多模态网络节点技术研究报告，提交标准草案大于 3 份，申请专利或软件著作权大于 15 项。

### **1.6 多模态网络编程环境及软件化技术研究(共性关键技术类)**

研究内容：研究建立模态无关的多模态网络环境编程系统架构与模型，抽象网络模态的共性需求和能力特征，形成基于通用表达的网络模态编程语法，支持覆盖存储、计算、转发、安全等可定义的模态编程，支持网络模态的智能在线生成与行为验证；研制平台无关的多模态网络前端编译系统，支持网络模态的安全编程和形式化验证，基于异构的可编程资源协作实现网络模态的

自动化编译与生成，具备内生安全特性；研制面向多样化平台的设备级后端编译系统支持依据应用需求实现多种模态在设备中的并发运行；研究应用驱动的网络模态智能承载技术，支持基于网络状态感知的资源编排，实现网络模态与基础环境间的优化匹配与调度；构建支持网络模态动态、并行部署的实网多模态网络环境，支持面向模态需求定制的环境资源组合和模态重构，为网络模态在多模态网络环境中的快速部署和应用提供支撑。

考核指标：形成一整套完善的多模态网络编程方案，申请发明专利不少于 10 项。模态编程模型支持不少于转发、计算、存储、安全等 4 种操作，支持差异化网络模态能力的统一描述、智能生成和行为验证，编程语法面向用户开放；前端编译系统支持上述编程语法，支持面向不少于 3 种硬件资源的一体化协作编译，支持不少于 5 种策略的内生安全特性，支持模态语法检查和模型优化；研制面向不少于 3 种硬件资源的多模态网络后端编译系统，其中至少 2 种硬件资源的端口处理速率不低于 100Gbps，支持上述编程语法，支持基于平台能力评估的模态处理流水线自动生成和优化；网络模态承载系统和工具集，支持主动和被动等 2 种感知方式，支持网络模态的动态缩容扩容，面向模态的调度时间为秒级，支持不少于 5 种业务场景的资源优化配置和模态动态部署；基于上述成果，构建不少于 10 个节点的实网多模态网络环境，

支持 100Gbps 接口，实现多元化网络模态在异构化基础网络环境中的一体化编译和部署，支持跨区域互联互通，支持不少于 5 种模态的安装部署和并行运行，覆盖计算/存储/转发/安全等资源要素，模态平均部署时间小于 10s。

### 1.7 面向新一代移动互联网时延和可靠性敏感业务的模态网络架构关键技术研究及验证（共性关键技术类）

研究内容：（1）探索模态移动网络体系架构与核心机理，构建减少处理时延提升网络可靠性的新型模态网络架构，突破传统移动互联网中架构时延、节点时延、可靠性、移动性、可扩展性、多样化等关键瓶颈。（2）研究低时延、低运行损耗、高可靠的自主可控网络虚拟化操作系统，支持裸金属、虚拟机及容器多种硬件平台的运行能力，在开放的模态运行环境中克服引入网络虚拟化后时延、资源开销增加等挑战。（3）研究面向泛在接入多模态网络的普适协同机制和分布式自治移动性管理机制，支持 MEC 应用的移动性管理，确保面向全场景无处不在的服务可用性，提升网络可靠性。（4）研究新型模态网络架构下，面向时延和可靠性敏感业务需求的业务链 SLA 保障机理，基于排队博弈、多目标优化等理论，协同优化业务链时延加权与资源效率，研究带宽保障分配方法和编排调度机制，研究适配业务需求的流量整形技术，研究基于网络拥塞感知的流量控制技术。（5）开展面向时延和可

靠性敏感业务需求的模态移动网络关键技术原型验证。

考核指标：形成超低时延、超高可靠、普适业务移动性的新型模态移动互联网络架构方案，显著简化网络架构层级、结合 SRv6 简化移动性管理、简化 MEC 业务连续性机理，显著降低链路和节点时延，降低部署成本，提升网络可靠性；完成低时延、高可靠、低运行损耗的虚拟化操作系统，支持双内核实时技术，对比普通虚拟化实时性能提升 10 倍（虚拟化层时延 $<20\mu\text{s}$ ），实现运行损耗降低 90%，支持在线热切换、存储容错和快照升级等虚拟化运行可靠性技术。提出新型普适协同机制和分布式自治移动性管理机制，支持 MEC 应用的智能重放置；完成不少于 3 种接入制式网络仿真，在预调度情况下用户面空口时延 $<5\text{ms}$ ，异系统业务中断时间 $<30\text{ms}$ 。构建面向 SLA 的业务链部署模型，提出业务感知的流量整形、流量控制等技术，保障业务链（SFC）部署的确定性时延，实现业务请求接受率和资源利用率的有效权衡；在单个 NFVI 的算法作用域内，业务链时延 $<20\mu\text{s}$ ，抖动 $\leq 40\mu\text{s}$ 。搭建试验验证平台，完成原型系统设计和演示验证。申请发明专利不少于 15 项；提交国际国内标准技术提案 10 篇。

### **1.8 多模态网络新型端到端传送协议与拥塞控制创新研究（青年科学家项目，拟支持 4 项）**

研究内容：面向视频会议、虚拟现实和工业互联网等多模态

网络应用对高质量低时延的传送需求，针对网络异构时变不可控和应用需求多维高差异的特点，开展新型低时延传送协议研究，包括端到端新型时敏传送协议与流控、端网协同新型低时延拥塞控制、异构网络资源协同智能传送。下述研究内容可选择 1 项或多项进行研究：（1）基于面向连接 TCP 的新型低时延传送协议；（2）基于无连接 UDP 的新型低时延传送协议；（3）新型网络多路径智能联合传送协议。

考核指标：分项对应上述研究内容：（1）研究基于 TCP/UDP 的新型低时延传送协议，设计端到端新型时敏传送协议与流控机制，能够高效对抗随机丢包、支持跨层协作与分级传送、满足延迟限制、适配端系统能力；（2）设计端网协同新型低时延拥塞控制方案，对网络拥塞的感知速度提升至少 0.5 个 RTT，具有快速适配网络状态、缓解拥塞的能力；（3）研究新型网络多路径智能联合传送协议，设计多径联合传送方案，支持带宽聚合、时敏选路、切换调度。对上述各项研究任务：开发新型端到端传送协议与拥塞控制系统；针对实时视频等典型应用，完成大规模试验网络上的应用验证，开展百万级用户测试，与 Google BBR、Google WebRTC、IETF QUIC 等传送协议相比，弱网场景下卡顿率降低不少于 20%、尾时延降低不少于 50%、清晰度提升不少于 10%。申请技术发明专利不少于 10 项，提交标准草案不少于 5 项。

## 2. 新一代无线通信

### 2.1 AI 驱动的 6G 无线智能空口传输技术（共性关键技术类）

研究内容：探索 AI 内生的新型 6G 空口传输机制，实现网络时空分布数据的高效挖掘利用、复杂状态空间的精准感知控制、通信计算资源的智能协调分配，显著提升网络的容量、性能和效率。重点研究无线传输环境、频谱资源、业务模型和用户特征等多维特性的深度感知挖掘机制，研究与环境和资源动态适配的空口信号波形设计和智能编译码理论与技术，实现链路智能动态调控；研究复杂融合网络环境下智能场景感知与大规模智能协同接入机制，突破高效数据样本感知获取、智能计算架构、分布算法部署与群智协同等关键难题。

考核指标：提升无线系统的确定性容量 1 个数量级以上；提升频谱和功率等资源综合效率 1 个数量级以上；显著提升无线通信系统对业务和环境的动态适配能力，支持大规模用户动态接入、大范围自主干扰协调，降低系统干扰 6dB 以上；支持高效数据样本获取和高效训练学习，所付出的计算代价在量级上不高于所获得的空口传输性能增益。以上指标参比 5G（3GPP R16）。

### 2.2 6G 智简网络架构与自治技术研究（基础前沿类）

研究内容：研究 6G 智简网络架构，支持 6G 新型业务应用；研究智简信息传输及网络信息理论；研究智能与通信深度融合的

智简使能技术，包括智能新型网络信息传输技术、多维融合统一无线接入技术、泛在异构连接的服务质量保障与智能调度、按需动态空口配置；研究基于无线大数据、人工智能的无线网络智能自治管理技术、网络智能化能力分级评估方法。

考核指标：从智简角度完成对网络架构的重新设计，形成针对 6G 需求的智简网络架构方案，实现智能与通信在网络内的深度融合，支持 6G 业务应用，实现网络智能化管理。开展原型系统研发与关键技术试验验证，相比 5G 系统，智简网络侧传输能力提升 1 倍，网络管理的自动化程度提升 1 倍，数据流业务识别种类不少于 4 类，所需算力控制在 0.5TOPS 以内，对业务 QoS 支撑能力提升 1 个量级，网络服务响应时间降低 50%，终端接入能耗降低 60%以上，在面向 6G 的至少 3 种典型场景实现动态策略自动分析、预先设计场景下系统辅助人工决策。提交标准草案不少于 2 项。

### **2.3 6G 移动通信安全内生及隐私保护技术( 共性关键技术类 )**

研究内容：面向 6G 空口内源性安全、异构高效组网接入安全、海量用户隐私数据安全等问题，实现通信与安全的共生发展。结合 6G 空口无线使能新技术，研究超高吞吐量、超大连接/超低时延通信等场景的空口内生安全技术；研究面向 6G 超大连接的异构融合安全组网接入认证技术，高效异构组网设备快速安全接

入及安全切换技术，通信安全一体化防御技术，以及面向 6G 超低时延的超轻量级安全传输技术；研究基于分布式可信机制的 6G 无线网络架构与隐私保护技术，包括基于区块链的 6G 可信无线网络架构、6G 网络的隐私信息提取与计算技术、面向 6G 开放性多样化应用场景的网元安全技术。

考核指标：超大连接场景下，与密码学轻量级算法相比，安全计算复杂度降低 50%；超低时延场景下，支持安全与通信一体化并行处理，且安全处理时延不高于通信处理时延；超高吞吐量通信场景下，信道密钥符合国标，生成速率不低于 10Mbps，符合国标；开展 6G 网络内生安全关键技术评估与试验验证，相对于 5G 系统，超大连接终端节点安全能耗降低 50%，安全信令开销降低 50%；提出不少于 3 种 6G 网络中海量用户数据的隐私保护机制；实现 10000TPS 以上的处理效率。

#### 2.4 面向“双碳”战略的超低能耗移动通信理论与方法（基础前沿类）

研究内容：面向国家“碳达峰”与“碳中和”的“双碳”战略需求，研究可使未来 6G 移动通信系统总能耗大幅度下降且保障个性化服务质量要求的理论与方法，包括：（1）研究无线网络“双碳”标准化和评估体系；（2）建立网络能效与谱效、网络规模与覆盖、业务特性、服务质量要求等要素之间的理论关系，给

出可使系统能耗大幅度下降的新型网络架构及智能调度理论与方法；（3）建立 6G 大规模智能传输及其处理算法的能耗模型，给出可使传输及其处理能耗大幅度降低的新机制、新架构和新算法；（4）探索可再生/可储存能源驱动、有线/无线/可见光混合的新型融合组网方法，显著增强 6G 能效同时保障高质量可持续通信服务。

考核指标：（1）所提出的移动通信网络“双碳”理论、方法和评估标准须满足未来 6G 业务需求，适应未来网络规模化发展的需要。（2）在工作带宽内等效业务分布和业务量相同的前提下使系统整体能耗相比于现有 5G 网络降低 50%以上。（3）在满足网络覆盖需求和典型业务服务质量要求的条件下使网络总体碳排放下降 50%以上。

## 2.5 分布式大维无线协同传输技术与系统验证（共性关键技术类）

研究内容：（1）研究集成通信、感知、无线传能和计算一体化的系统架构和关键技术方案。研究未来应用场景和用例，确定系统设计的需求和边界；研究集成通信、感知、无线传能和计算一体化的系统架构设计；研究帧结构、调制、发射波形和多天线相关的技术方案；研究通信、感知、无线传能和计算资源分配和协作互助的机制；研究网络环境下分布式部署方案、干扰管理和

波束管理等方案。(2)研究和开发原型验证系统,搭建具体场景下的验证环境,完成系统技术指标验证。研究分布式电子电路和电磁单元;研究高频段宽带分布式射频架构设计,开发原型验证系统,搭建规模化的无线组网环境,对各系统指标开展实验验证。

考核指标:形成集成通信、感知、无线传能和计算一体化的系统设计和关键技术方案,单簇下行峰值吞吐量达到每秒太比特,系统感知精度达到厘米级,5米距离处的传能功率达到毫瓦级;完成原型系统设计,搭建试验验证平台,完成演示验证。申请专利不少于20项,其中国际专利10项以上。

## 2.6 基于时空多维信息的大尺度星地融合组网技术(共性关键技术类)

研究内容:空间网络具有星座构型复杂、星间拓扑高动态、单星载荷资源受限、星间星地链路异构等与地面网络存在显著差异的特征,无法直接继承地面网络现有的成熟方案,针对未来星地融合网络的建设与发展需求,面向低轨星座系统,开展基于星座星历演化、星座和终端空间拓扑几何构型等多维时空信息的编址与路由机制、时空大尺度下的网络鲁棒性敏捷保障、星地无线接入与空间承载的联合QoS保障优化、确定性的端到端数据高速可靠传送等关键技术研究,构建半实物仿真验证系统,完成关键技术验证。

考核指标:多维时空基准的编址与路由支持多种星座构型的

大规模低轨星座（至少包括极轨和倾斜轨两种星座构型，星座总规模不低于 40000 颗，且支持扩展），其中卫星数量在 500 颗以内的路由收敛时间不大于 60s，卫星数量在 500~1500 颗以内的路由收敛时间不大于 90s，最短转发路径占比达 90%以上；支持不大于 20ms 的星上故障路径切换时延和不大于 50ms 的最优备份路径计算时延；支持面向多用户、多业务、多接入、多子网、多协议的端到端传输资源按需调度，支持不少于 8 种类型的星地无线接入与空间承载一体的差异化服务保障；对于时敏业务，低轨道星座内端到端（不超过 5 跳）传送时延不超过 60ms，传送时延抖动不超过 5ms（不含自由空间传播延时），支持零 RTT 握手与数据可靠传送能力；仿真验证系平台支持软件仿真大规模复杂星座（至少包括极轨和倾斜轨 2 种星座构型、不少于 3 层低轨道卫星轨道、单层轨道卫星数量不少于 1500 颗）。申请专利或登记软件著作权 10 项，半实物仿真验证系统 1 套。

## 2.7 高动态条件下的星地协同接入与传输技术（共性关键技术类）

研究内容：未来星地融合网络具有天地融合系统跨域多维资源统一调度、星地广域覆盖以及更大传输带宽、更大网络容量的特征，需要探索星地融合的新型接入与传输架构和方法，以满足未来广域智能连接的复杂业务需求。面向低轨星座中的多星、多

波束和星地协同等多场景异构接入与传输需求，研究异构融合传输机制与容量表征理论、星地融合协同接入与安全管理机制，多波束天线优化设计与跳波束管理、多域融合资源调度与干扰抑制机制、物理层安全传输等关键技术，构建半物理仿真验证系统，完成关键技术验证。

考核指标：建立基于星地融合协同接入与传输技术的体系架构，支持 Ka、C 等频段，在低轨卫星和地面网络间的频谱共享，星地同频共享谱段资源态势预测准确率不小于 90%，99% 干扰噪声比 (INR) 不大于 -10dB；完成多星协作通信下的传输信道建模，相比于单波束传输，完成采用多星或多波束协作传输，卫星系统下行峰值速率提升 100% 以上、下行平均频谱效率提升 30% 以上，上行峰值速率提升 50% 以上、上行平均频谱效率提升 15% 以上；设计星地跨域多维度资源联合调度方案，提升星地融合网络通信容量 50% 以上，低轨卫星波束接入速度提升 50%，资源联合调度复杂度提升不超过 30%；Ka 频段下物理层安全机制保障卫星有效覆盖区 5 公里外非合作用户误码率可达 50%，合法用户频谱效率损失不超过 10%；半物理仿真演示验证系统具备多种网络架构、协议、算法的模拟和评估能力。申请专利或登记软件著作权不少于 15 项，其中国际专利申请不少于 5 项。

## 2.8 卫星高性能处理平台与智能编排技术(共性关键技术类)

研究内容：为了构建“网络无所不达、计算无处不在”的新一代泛在通信和服务一体化网络，亟待提升天基网络卫星节点的云化计算能力与智能编排水平，从而满足接入网、核心网等网元以及应用处理等机能在轨灵活部署需求。按照“就近计算、分布存储、对等共享、按需服务”的发展理念，研究天基云原生架构高性能协同容错计算技术、星地协同边缘计算智能化技术、天基通信感知计算融合技术、天基存算融合传输技术以及网元弹性天地智能编排技术，研制星载计算平台原理样机，搭建半实物地面演示验证系统，完成关键技术验证。

考核指标：协同容错计算平台支持开放式计算存储架构，具备容器级、微服务级在轨实时部署能力，原理样机浮点运算能力不小于 2TFLOPS，存储能力不小于 10Tbit，重量小于 10 公斤，常态功耗不大于 100W，支持网络化集群，可通过资源灵活配置满足多种卫星应用场景；支持星地网络边缘智能、云边协同、边边协同能力，实现智能模型分级协作部署，支持 5 种以上的智能模型或算法，支持模型在线可信协作更新，支持秒级星地联合服务启动；设计星地融合、端到端的组网服务切片架构，在轨支持多种业务切片编排，切片服务响应分钟级；天基通信感知计算一体化处理技术，实现信息传递时延降低 50%，数据压缩率提高不小于 30%，算力均衡度提升 25%以上，能量效率大于  $3 \times 10^6$  bits/J；

天基存算融合传输使信息传输效率提升 3 倍以上，考虑单粒子效应等异常情况，无地面干预条件下数据容错恢复率提升 20%以上；设计核心网等网元功能天地动态编排和部署方案，可实现在轨按需部署核心网服务不低于 3 种，服务启动时间 10 分钟级；研制星载计算原理样机，支撑构建半实物演示验证系统。需申请专利或登记软件著作权 15 项，提供半实物地面演示系统 1 套。

## **2.9 面向 6G 智能应用的新型网络架构与传输方法（青年科学家项目，拟支持 4 项）**

研究内容：针对未来 6G 智能应用典型场景和多模态业务复杂需求，开展新型无线网络架构与传输方法研究。下述研究内容可选择 1 项或多项进行研究：（1）面向多模态业务的语义通信系统架构、语义通信隐私保护机制以及语义通信质量评价和保障机制；（2）面向全息通信和全息交互的新型系统架构以及多域精细感知、精准空间传输和实时精确重建等技术；（3）面向未来个性化、移动分布式智能业务需求的动态轻量级用户中心网络架构及用户侧与网络侧协同机制；（4）面向未来网络智能部署运维的开放、安全、可智能定义的新型无线接入网络架构和传输接入协议；（5）面向超宽带实时业务、适应密集部署和不同传输距离需求的超大规模 MIMO 新型远近场混合传输技术。

考核指标：分项对应上述研究内容：（1）支持多模态 6G 智

能业务，实现鲁棒语义表征、模型数据隐私保护等内生安全机制，建立语义通信质量评价体系，典型业务服务质量相比于现有 5G 通信系统大幅提升，或在相同服务质量条件下传输效率提高 50% 以上；（2）实现近似连续的空间复用、电磁环境实时全息调控，显著提高空间复用效率、系统容量和感知精度，空间复用效率提升 50% 以上，感知重建精度达厘米级，通信容量提升 1 倍以上；（3）形成动态轻量级用户中心网络架构和协议方案，支持用户对网络的适度控制及网络侧与用户侧的数据协同，支持秒级网络动态更新和分钟级网络动态生成，支撑的用户中心网络 >1000 个，系统资源消耗相比专网减少 10% 以上；（4）形成开放、安全、可智能定义的新型无线接入网络架构和传输接入协议方案，支持 1 万以上节点规模的网络软硬件动态部署和高质量服务，实现智能网络感知、自主升级与安全运行；（5）建立阵元数目不低于 256 的超大规模 MIMO 远近场混合传播模型及空间信息的新型传播理论和传输机制，突破传统远场平面波传输和近场球面波传输的应用场景限制，提升远近场混合传播容量 1 倍以上。对上述各项研究任务，取得高水平理论研究成果和核心知识产权，发表高质量论文 2 篇以上，申请发明专利 3 项以上。

### **3. 超宽带光通信**

#### **3.1 逼近单模光纤容量极限的光传输系统理论与实验验证**

## （基础前沿类）

研究内容：面向单模光纤光通信系统扩容需求，聚焦系统容量提升的核心问题，研究以光纤非线性为代表的各类复杂传输损伤及相应的容量提升方法。基于现有系统器件水平和光链路条件，研究新型调制解调方式与通信系统设计方法，针对器件频偏大、端到端系统的 PDL 较大、光放增益不平坦和非线性功率转移等引入传输代价等问题，探索超高速光传输系统端到端全局优化方法；研究应用于波分复用光传输系统的低算法复杂度光纤非线性损伤均衡方法，突破单模光纤非线性对系统容量的限制，逼近香农容量极限；研究超高速光信号高增益编码调制、整形与均衡，建立超高速大容量光传输系统，实现单模光纤通信系统理论容量限优化理论和逼近方法的实验验证。

考核指标：形成超高速单模光纤光传输系统物理损伤理论与仿真模型，给出非线性约束下的理论容量限制；形成低复杂度的非线性均衡方案，提升波分复用系统的非线性容限并具有自适应能力，其性能相比传统数字反向传输非线性补偿方法相当且复杂度降低到传统数字反向传输方法的 10% 以下；形成逼近单模光纤通信系统理论容量限的设计方法和算法体系，在扩展 C+L 波段范围内（1524~1627nm）完成传输容量不小于 100Tb/s、传输距离不少于 1000 公里的单模光纤光传输理论验证实验系统。

### 3.2 基于空芯光纤的超大容量光传输系统研究(基础前沿类)

研究内容：针对目前光纤传输容量急剧增长的重大需求，聚焦可承载更大容量的新型光纤通信技术，解决现有单模光纤通信系统频谱效率低、非线性损伤大的难题，开展基于空芯光纤的超大容量、高频谱效率通信技术研究。研究空芯光纤的光传输理论，分析影响非线性、损耗、带宽和色散等性能的物理机制，建立基于空芯光纤的大容量通信理论模型；研制具有超低非线性和低损耗的空芯传输光纤（S+C+L+U 波段）；研究空芯光纤熔接问题，并研制空芯光纤连接和转换器件；搭建基于空芯光纤的超大容量、高频谱效率的通信系统。

考核指标：研制超低非线性、低损耗空芯光纤及连接器件，空芯光纤波长覆盖 S+C+L+U 波段（1450~1680nm），在 C+L 波段范围内最小传输损耗 $\leq 0.4\text{dB/km}$ ，S 波段范围内最小传输损耗 $\leq 0.8\text{dB/km}$ ，U 波段范围内最小传输损耗 $\leq 0.6\text{dB/km}$ ，在整个波段范围内最大传输损耗 $\leq 1\text{dB/km}$ 。空芯光纤熔接损耗 $\leq 1\text{dB}$ ，与单模光纤连接损耗 $\leq 0.8\text{dB}$ ，基于自研空芯光纤及连接器，实现超大容量、高频谱效率空芯光纤通信系统，系统总传输容量 $\geq 260\text{Tbit/s}$ ，系统频谱效率 $\geq 10\text{bit/s/Hz}$ ，传输距离 $\geq 50\text{km}$ 。申请发明专利不少于 20 项，其中国际专利不少于 5 项，提交 CCSA 标准提案不少于 2 项。

### 3.3 低成本高速中短距数据中心互联光通信系统（共性关键技术类）

研究内容：面向中短距数据中心互联（DCI）及城域全光网扩容需求，聚焦低成本单波长 800G/1.2T 中短距国产可控全光传输系统实现方法。研究中短距光互连及城域网场景下的低成本、低功耗、高性能的新型相干系统架构及评价体系；研究面向新型系统架构的光电融合集成芯片的设计、制备与封装技术，降低电域数字信号处理（DSP）芯片的复杂度和对高端工艺的依赖；研究新型相干架构对链路损伤和器件代价的容忍能力及补偿技术；研制支撑新型相干架构的低功耗低成本光电器件与模块，包括发端光源与调制模块、收端光电信号处理模块等；研制国产可控的新型低成本相干中短距光互联传输设备，开展现网示范应用。

考核指标：（1）采用新型低功耗低复杂度相干光传输技术实现单波速率不低于 1.2Tb/s 的 2~10km 数据中心光互连原型系统；（2）基于自研核心芯片和器件的国产可控新型相干光收发模块实现单波速率不低于 800Gb/s 的 10~80km 实时在线传输系统，相干光模块支持可插拔封装；（3）研制单波速率不低于 800Gb/s、支持不少于 40 波、单跨无中继传输距离不少于 80km 的全国产城域网超低成本中短距波分复用相干光传输设备，并完成现网应用示范；（4）申请发明专利不少于 20 项，其中国际专利不少于 5 项；

提交国际国内标准技术提案 10 篇。

### 3.4 基于精确感知的数字孪生及智能管控光网络（共性关键技术类）

研究内容：面向光网络“规划、建设、维护、优化、运营”全生命周期智能化、前瞻化、自动化的需求，开展光网络精确感知和智能运维技术研究，研究光网络多维度、实时、精确感知技术，研究光网络数字孪生体系架构和仿真建模机理，构建高速大容量光纤传输系统的数字孪生平台，研究基于机器学习算法和 AI 模型，实现光传输系统的精准仿真、故障智能定位和性能预测，在典型场景下完成数字孪生验证。研制基于数字孪生的光网络融合管控系统，实现高速大容量光纤传输网络的数字孪生和智能运维，开展光网络现网应用示范。

考核指标：研发光网络数字孪生平台，实现高速大容量光纤传输系统的数字孪生，建立从器件到网络业务的多层次孪生模型，网络节点数大于 200 个、传输速率不低于 100Gb/s、波长范围 C+L。实现光网络的精确感知，支持光链路衰减、光信噪比、非线性损伤等多种指标的感知与表征，支持数据与模型深度融合，关键参量指标数量不少于 50 个，实时感知性达到亚秒级  $\geq 10$  种；基于机器学习算法和 AI 多维参数模型实现对线路/OTS/OCH 健康度的准确预测。研制基于数字孪生的光网络融合管控系统，支持不

少于 3 个智慧运维场景（例如：光网故障溯源、性能劣化、业务快速发放等），在现网中开展不少于 3 种智慧运维场景的示范应用。申请不少于 15 项国内发明专利，提交不少于 5 篇国际国内标准技术提案。

### 3.5 面向深海光通信系统（共性关键技术类）

研究内容：面对未来深海探测网对广域高速跨介质低延时通信的迫切需求，研究构建支撑深海探测的贯通水下-跨水面-空天的新型高速通信系统及网络架构，建立水下有线无线融合光通信、空海跨介质光通信、多通信制式协同自适应空间光通信等多通信模式融合的光通信技术体系。重点开展整体通信系统架构设计、通信信道模型分析、水下光纤无线融合接入节点及其高效供能、高功率高调制速率高效发射、蓝绿光阵列集成收发、水上水下跨界质传输平台、高性能高效编解码以及大气与水下信道衰减机理与补偿抑制等关键技术攻关，实现不同应用场景下的高速激光通信系统的试验验证，为深海高速光通信系统的可行性和工程应用奠定技术基础。

考核指标：（1）完成海洋大气环境长距离大容量空间激光通信系统：研制具有自主知识产权的海洋环境海面高速空间激光通信传输设备，实现非极端海洋大气环境下大陆及岛礁平台间速率不低于 40Gbps、距离不小于 20km 的高速空间激光通信。（2）水下光纤/无线光融合光通信系统：提出新型水下立体通信系统架构，研制具

有自主知识产权的光纤/无线光融合型水下光通信设备，实现水下不小于 10km 范围内光纤通道与纤/无线光融合光通信系统，系统容量达到 10Gbps。(3) 空海跨介质高速光通信系统：研制具有自主知识产权的连接水下与水上的空海跨介质光纤/空间融合型高速光通信系统及浮标载体平台，实现水下与空中光通信终端间的系统通信容量不小于 10Gbps。(4) 深海视距激光通信系统：研制适应水下复杂信道的具有自主知识产权的深海水下视距激光通信传输设备，实现速率 1~100Mbps、距离 10~150m 的水下视距无线光通信。申请不少于 15 项国内发明专利，国际专利不少于 5 项。

### **3.6 面向多模态应用的新型融合光通信与光交换研究（青年科学家项目，拟支持 4 项）**

研究内容：针对多模态应用对超大容量通信和光交换需求，开展光无线融合通信和多模态全光交换理论和技术研究，下述研究内容可选择 1 项或多项进行研究：(1) 研究光纤信道与无线信道的融合理论以及新型点到多点超大容量模拟或模数混合前传架构、编码调制、信道补偿算法与灵活调度机制；(2) 研究基于光子无线融合系统的感知通信一体化架构和实现方法以及端到端的光子无线信道融合基础理论，实现光子无线融合感知端到端优化处理方法；(3) 研究支持子波长、波长和多波长等全光交换粒度模态的多模态全光交换网络体系架构和跨模态协同交换理论，突

破当前可重构光上下路复用技术限制。

考核指标(分项对应上述研究内容): (1)形成光与无线融合信道通信理论,构建光与无线融合前传系统,实现单波长 CPRI 等效速率  $\geq 2\text{Tb/s}$ , 传输距离  $\geq 10$  公里,  $\text{EVM} \leq 2.5\%$  (支持 1024QAM)。实现光纤信道资源灵活调度,资源利用率提升至少 20%; (2)形成面向 FTTR 室内高速光子无线融合接入的端到端智能感知光子无线融合通信一体化系统架构及理论模型,实现光纤信道和无线信道的融合环境感知功能,系统工作频段  $\geq 60\text{GHz}$ 、单通道通信速率  $\geq 50\text{Gb/s}$ 、定位精度  $\leq 5\text{cm}$ 、成像距离分辨率  $\leq 3\text{cm}$ ,具备端到端智能星座优化及信道均衡的能力,通信速率和定位精度等指标达到国际领先水平; (3)提出至少支持子波长和波长 2 种模态的多模态全光交换网络体系架构、跨模态协同交换理论及多模态全光交换弹性路由算法,完成支持线路维度不少于 32 维的无阻塞波长交换原型设备,完成支持子波长光通道数不低于 100 个/波长、交换引入的开销占比不高于 5%、支持光交换端口数不低于 4 个的子波长细粒度模态无阻塞全光交换原型设备研制,并完成不少于 3 个节点的组网实验验证。对上述 3 项研究任务:申请发明专利分别达 5 项以上。