



中国通信学会
CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATION



中国通信学会
CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATION

2022年度信息通信领域十大科技进展

2022·年度 信息通信领域⁽⁽⁾⁾十大科技进展

前言

为把握我国信息通信领域前沿动态，促进信息领域科技自立自强，中国通信学会通信组织开展了2022年度信息通信领域重大科技进展遴选活动。经由各个知名高校、科研机构、企事业单位、学会分支机构和院士专家推荐，共收到64项重大科技进展申报，包含无线通信、信息通信网络、卫星通信、量子通信、光通信等方向。经学会组织专家遴选，最终产生“面向海量物联网的无线AI关键技术”、“微腔光梳驱动的硅基光电子集成信息通信系统”、“星地融合移动通信技术标准研究及验证”、“百公里量子直接通信”、“冬奥复杂极端条件下第五代移动通信技术创新与应用”、“空口AI理论与技术”、“高国产化率毫米波室内分布式微基站”、“面向‘东数西算’的算力网关设备创新研发及实践”、“超3Pbit/s单模19芯光纤传输系统实验”、“小型化高效能5G融合天线技术”等十项信息通信领域重大科技进展。



进展一：面向海量物联的无线AI关键技术

背景与重要性

万物智联是振兴我国实体经济，推动产业数字化、智能化的催化剂。目前全球新一轮科技革命和产业变革正在加速演进，智能化正成为不可逆的趋势。一方面，为了实现智能化，交通出行、工业生产、城市管理等诸多垂直行业将部署海量的物联装置采集信息，2022年我国蜂窝物联网终端用户数首次超过移动电话用户数，成为全球主要经济体中率先实现“物超人”的国家，海量物联设备的快速、高可靠的接入需求给移动通信系统带来艰巨挑战；另一方面，智慧高铁、自动驾驶、机器人、VR/AR、元宇宙等物联智能应用产生了海量的数据需要传输和处理，如何基于情境、内容和知识提供实时、可靠、高效、智能的信息传输与处理服务成为主要挑战。

先实现“物超人”的国家，海量物联设备的快速、高可靠的接入需求给移动通信系统带来艰巨挑战；另一方面，智慧高铁、自动驾驶、机器人、VR/AR、元宇宙等物联智能应用产生了海量的数据需要传输和处理，如何基于情境、内容和知识提供实时、可靠、高效、智能的信息传输与处理服务成为主要挑战。

国际国内进展情况

导致海量终端接入与有限频谱资源之间矛盾的根本原因，是接入的随机性导致信道自由度的动态变化，以及终端数量的陡增导致的高昂控制面开销。在蜂窝网络中支持大规模物联网的瓶颈在于设计合适的多址技术。另一方面，物联网、自动驾驶、触觉互联网在内的许多新兴应用需要在极端延迟、带宽和/或能量约束下传输图像/视频数据，高

计算复杂度的长码长信源和信道编码技术难以应用。如何联合考虑信源和信道条件，设计兼具低复杂度低和优异性能的信源信道联合编码，是实现海量信息传输整体优化的关键。未来移动网络将深度融合人工智能（AI）技术，集感知、通信与计算等能力，跨越人联、物联，迈向万物智联。

取得的突破和进展、重要意义

北京交通大学陈为、艾勃、钟章队团队长期致力于信息通信技术与铁路通信系统产业发展，围绕面向海量物联的无线AI关键技术开展了系统性的研究工作。该成果旨在解决B5G/6G与专用通信系统中海量物联设备的快速、高可靠的接入和高效、智能的海量信息传输与处理难题。团队抓住海量终端、海量数据传输与有限频谱资源之间的矛盾，从下一代非正交多址接入和语义通信入手，深入挖掘

和利用AI技术在非线性信号处理和表征学习方面的优势，提出基于AI的免授权大规模非正交接入方法、自适应深度信源信道联合编译码技术，研制基于AI联合编码的语义通信技术硬件验证平台，推动相关技术的标准化和潜在应用，为实现万物智联提供了有力的技术保障，为国家规划前瞻布局6G提供了重要技术储备。

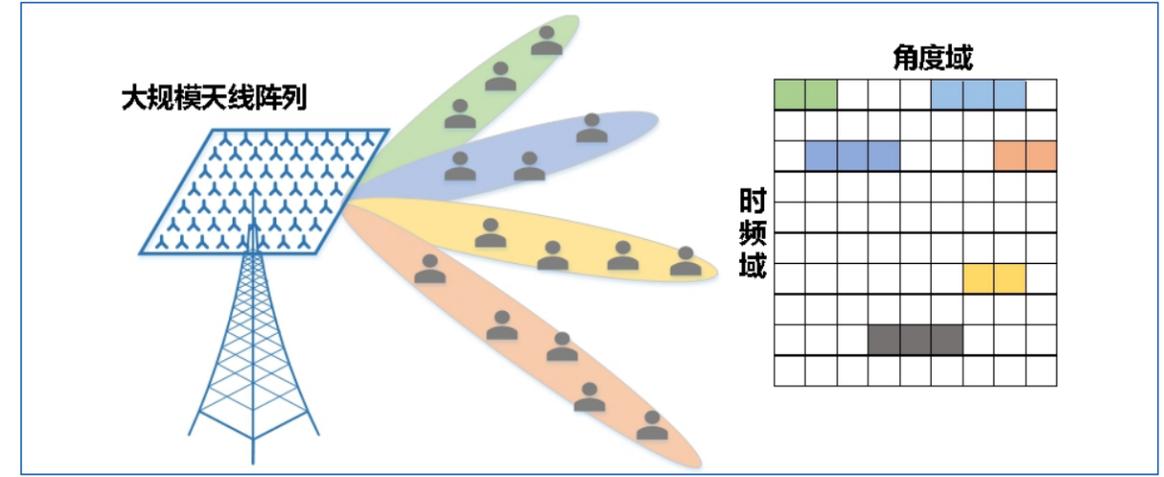


图1. 大规模天线系统海量设备接入

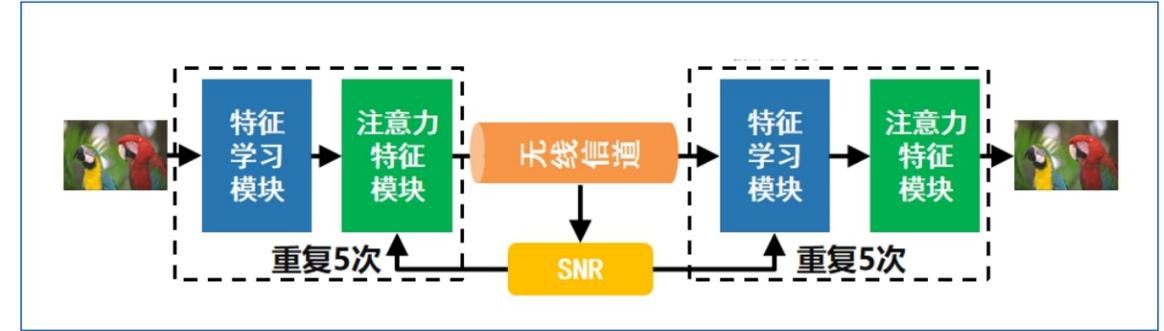


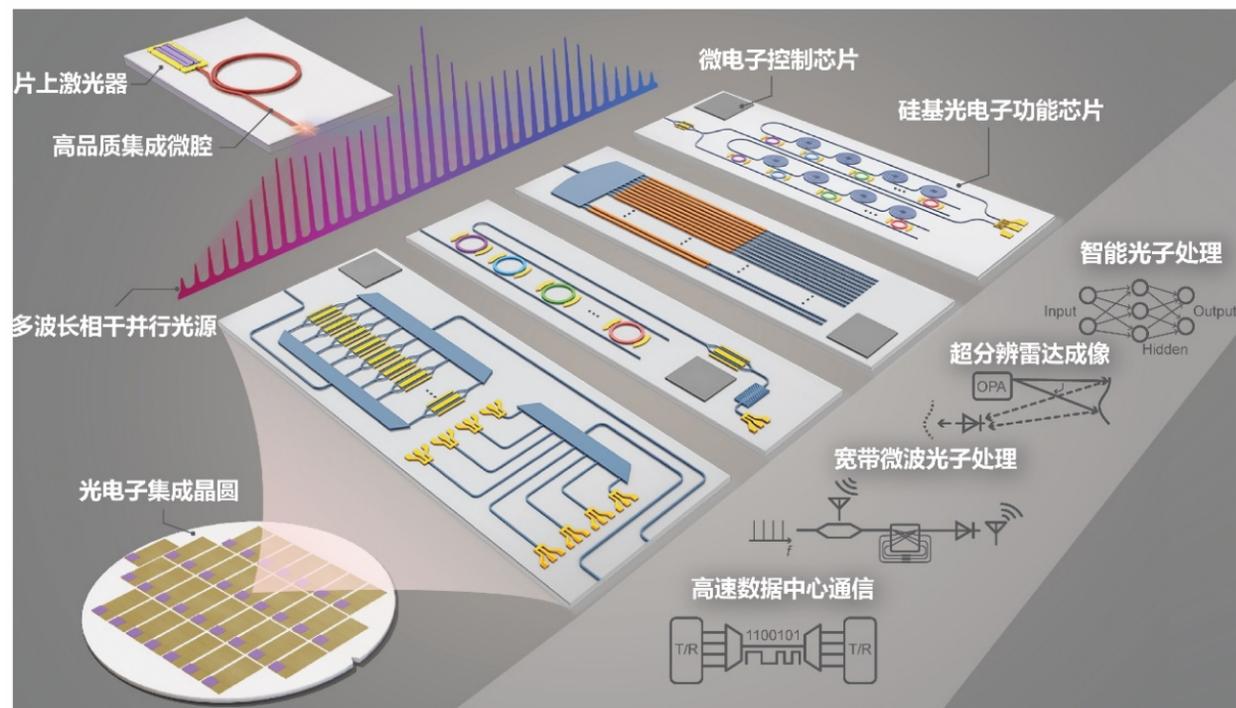
图2. 基于注意力机制的深度联合信源信道编译码技术

16QAM 3/4码率	状态 添加遮挡	深度联合信源信道编码	PSNR
			32.1682
		PSNR: 32.1682	
		传统编码调制	PSNR
			13.8057
		PSNR: 13.8057	

图3. 基于AI联合编码的语义通信技术验证

进展二：微腔光梳驱动的硅基光电子集成信息通信系统

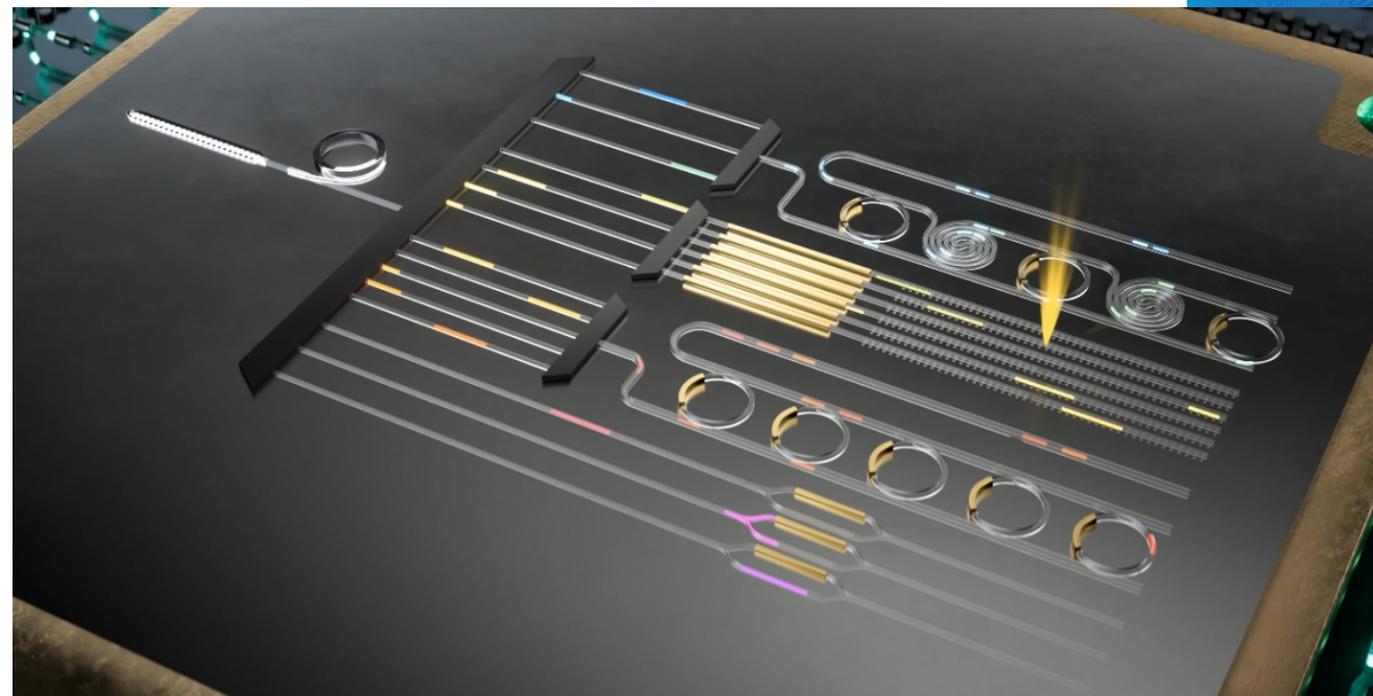
2022年5月18日，北京大学王兴军教授、鹏城实验室余少华院士研究团队及其合作者完成了微腔光梳驱动的硅基光电子集成信息通信系统，该项成果发表于Nature杂志，文章题为“Microcomb-driven silicon photonic systems”，在世界上首次报道了由集成微腔光梳驱动的硅基光电子片上集成系统。



微腔光梳驱动的硅基光电子集成信息通信系统概念图

光梳，又叫光学频率梳，因其用途广泛，一直以来都是国际光学界的重要研究热点。美国国家标准与技术研究院John Lewis Hall教授和德国马普量子光学所的Theodor Hänsch教授因在光梳方面的杰出贡献，获得了2005年诺贝尔物理学奖。而近年来集成微腔光梳由于紧凑的尺寸和低廉的成本极大地拓展了其应用范围。近年来，集成微腔光梳作为前沿集成光电子技术，可简便地产生等频率间隔

的激光阵列，与波分复用等技术结合，驱动高速、大规模光通信、光传感、光计算等光电信息系统，为高速光电信息系统带来颠覆性重构。然而，目前大部分系统应用，仅微腔本身为集成器件，其余组成部分均未实现集成，在成本、尺寸和功耗上极大地削弱了微腔光梳芯片化带来的优势，因此，系统层面的集成对光梳技术的实用化和普及化具有重大意义。

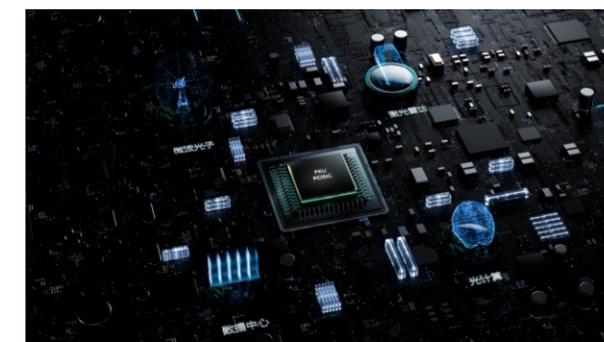


系统原理

硅基光电子技术是集成光电子领域另一大重要技术，借助成熟的CMOS工艺，可大规模集成传统光学系统所需的功能器件，极大提升片上信息传输和处理的速度和容量，可为下一代数据中心、通信系统、高性能计算、自动驾驶等领域带来变革性突破，是公认的现代信息系统的功能升级和产业布局的核心技术，是世界光电子领域竞争的主阵地。目前，随着应用市场的拓展和系统规模的大幅度提升，硅基光电子片上系统架构正向多通道和高并行的架构演进，随之而来的便是日趋增长的对低成本和高稳定性并行光源的需求。然而，由于硅材料本身不发光，硅基激光器的实现一直是世界性难题，如何在硅基光电子芯片上研发出多路并行的硅基光源更被公认为是该领域最大的瓶颈之一。

面对这一难题，北京大学王兴军教授、鹏城实验室余少华院士研究团队及其合作者，攻关解决微腔光梳简易鲁棒激发与长时间稳定、面向光梳光源的硅基系统设计、硅基片上可重构多维光谱整形技术等难题，在国际上首次报道了由微腔光梳驱动的新型硅基光电子片上系统。通过直接由半导体激光器泵浦集成微腔光梳，给硅基光电子集成芯片提供了所需的光源大脑，结合硅基光电子集成工业上成熟可靠的集成解决方案，完成大规模集成系统的

高效并行化，大幅提升片上数据传输容量和信号处理能力。该项成果，在国际上首次实现了有源微腔光梳和硅基光电子的系统级集成，有望直接应用于数据中心、5/6G信号处理、自动驾驶、光计算等领域，为下一代片上光电子信息系统提供了全新的研究范式和发展方向。



未来应用概念图

进展三：星地融合移动通信技术标准研究及验证

近年来，卫星互联网朝着巨型低轨星座、宽带连接、手机直连等方向发展，并开始与地面移动通信网络深度融合，形成全球全域无缝覆盖的发展趋势，成为国际竞争前沿。国外已建成Starlink等巨型低轨星座，在卫星通信、网络规模、频谱及轨道等方面具有明显的先发优势。我国“十四五规划”提出大力推进卫星互联网技术研究和重大工程建设，但在卫星通信技术与标准体制等方面相对落后，卫星互联网建设也刚刚起步。

针对我国地面网络强、卫星网络弱的现状，2018年中国信科陈山枝在业界最早提出发展基于5G的卫星互联网技术体制，2020年倡导提出“5G体制兼容、6G系统融合”的星地融合技术发

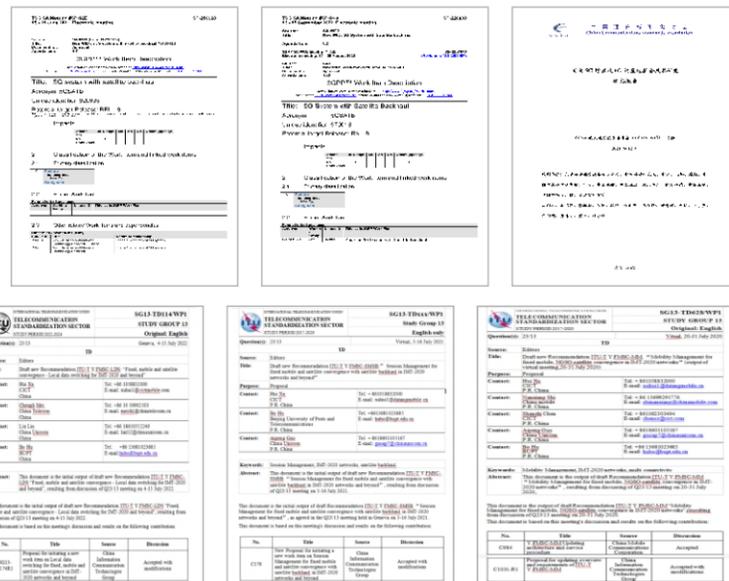
展路线。在“5G体制兼容”阶段，卫星互联网通过借鉴5G体制，发挥5G在技术体制和产业链等方面的优势，实现跨越式发展和快速部署；在“6G系统融合”阶段，卫星互联网和地面网络采用相同的网络架构和无线传输技术，有机融合形成统一网络。

由于卫星和地面传播特性不同、低轨卫星节点高速运动、网络拓扑变化剧烈等原因，带来了无线传输方案设计难、移动性管理难、星地融合网络架构设计复杂、通信质量保障难等难题，需要进行一系列的技术攻关。2022年，中国信科陈山枝团队努力推动星地融合技术标准及验证工作，并取得关键性突破与科技进步，主要包括：

01

突破5G增强和6G星地融合关键技术，提出弹性可重构的融合网络架构、大时空尺度高动态移动性管理技术、高可靠星地同步与传输技术、敏捷高效的波束管控技术，攻克网络架构设计难、传输效率低、业务质量保障难等技术难题。发表论文10篇，申请专利56件，承担政府课题10项。

牵头国际标准制定，在3GPP、ITU等国际组织累计牵头立项7项，提交标准提案161篇，引领星地融合标准发展。



02

随着星地融合日益成为业界研究热点，今年6月，中国信科针对星地融合通信发布了“九万里计划”蓝图，后续将一如既往地

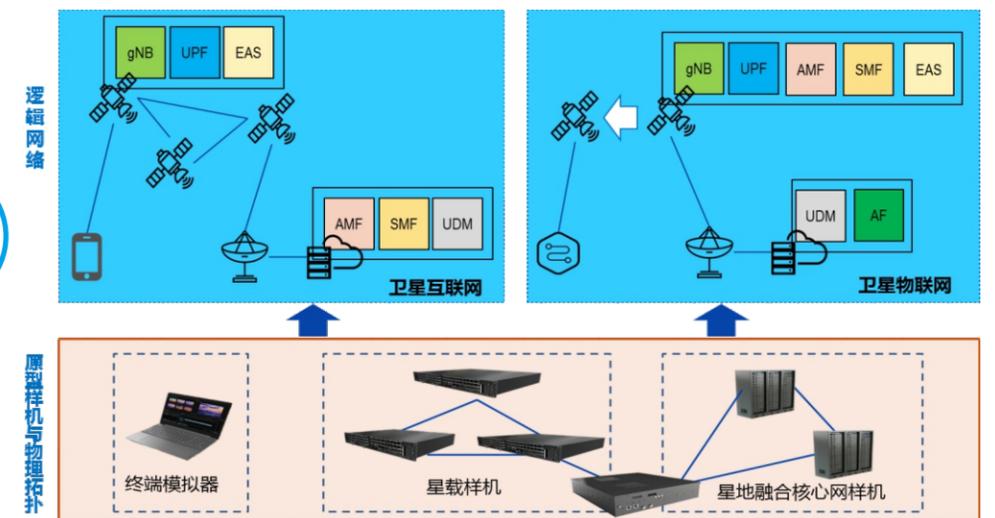
对星地融合通信积极探索，支撑国家卫星互联网重大工程实施，为5G/6G星地融合走在世界前列贡献力量。

03



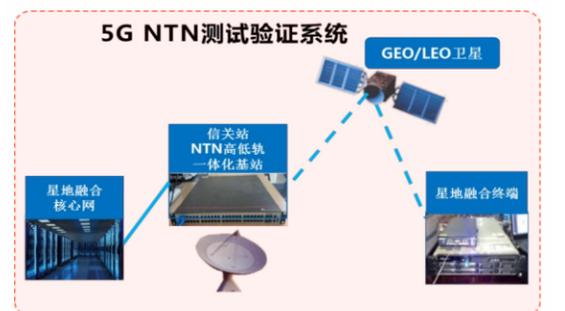
搭建6G星地融合原理验证平台，为6G国际标准竞争提供技术储备。

04



05

建立星地融合开放实验室，支撑我国卫星互联网技术和产业发展。



随着星地融合日益成为业界研究热点，今年6月，中国信科针对星地融合通信发布了“九万里计划”蓝图，后续将一如既往地

对星地融合通信积极探索，支撑国家卫星互联网重大工程实施，为5G/6G星地融合走在世界前列贡献力量。

进展四：百公里量子直接通信

背景与重要性

量子直接通信是保密量子通信的一种重要模式，也是未来安全通信方案的候选之一。不同于量子密钥分发，量子直接通信可以通过有噪声和窃听者存在的量子信道直接传输信息。相较于传统通信手段，量子直接通信有阻止第三方窃听和侦测窃听的能力。这些特点使其能应用于有高保密需求的场景。量子直接通信作为基本通信协议之一，可以用

来建造量子网络。它在6G无线通信中也有巨大的潜力。

量子直接通信提供基于量子力学基本原理的安全性保障，从物理上避免了传输信息被窃听的可能，同时它赋予通信双方侦测并发现窃听的能力。量子直接通信在经历过概念建立与提出、发展协议与应用探索、原理验证和样机制备后进入了新的阶段——产品研制与推进实用。

取得的突破和进展

北京量子信息科学研究院副院长、清华大学教授龙桂鲁团队和清华大学教授陆建华团队实现了百公里量子直接通信，从而实现保密信息长距离稳定传输。进展研究克服了长距离高噪声带来的高信息损失问题，时间戳和相位量子态混合编码实现了具

有高度稳定性和极低的本征误码率的信息传输，使量子直接通信距离达到102.2km。这是现阶段世界范围内最长的量子直接通信距离，其奠定了无中继条件下城域的点对点量子直接通信技术基础。项目的科学价值可总结为：

01

在量子直接通信中，通过调整编码的量子操作，并使用时间戳（time-bin）量子态编码Z基，极大增强了系统的稳定性。采用LDBCHR（low-density Bose-Chaudhuri-Hocquenghem concatenated with repetition）纠错码，得到了更高的编码效率。这些改进显著提升了最远通信距离、把量子直接通信的通信性能提升了几个数量级。

02

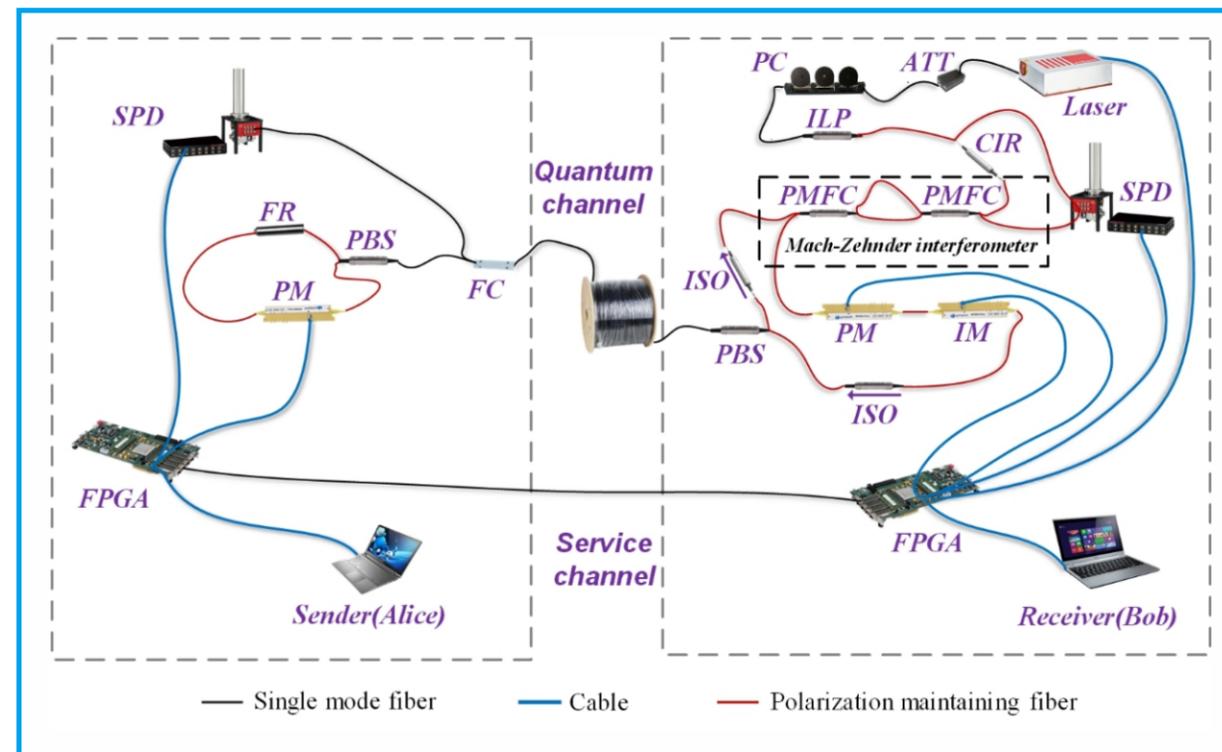
提出了掩膜增容（Increase Capacity Using Masking, INCUM）技术，将搭线信道接收率压低至与主信道接收率完全相同，在理论上大幅提升量子直接通信的可达安全通信速率与最远通信距离。

03

设计了一种单路量子直接通信协议，仅在通信双方间的量子信道中传输一次量子态即可完成量子直接通信，降低了损耗，与双路方案相比使通信距离翻倍，提高了传输速度，降低了系统复杂度与硬件成本。

04

实现了100km光纤长度的量子直接通信，在为城域点对点量子直接通信奠定基础的同时，给予量子直接通信发展更多可能，以此为我国信息安全事业添砖加瓦。

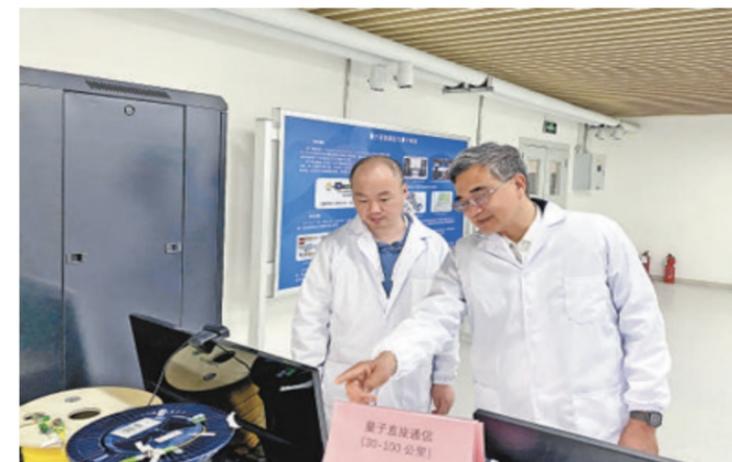


百公里量子直接通信系统示意图

人民日报 有品质的新闻

我国科学家实现百公里距离量子直接通信

人民日报 2022-04-14 00:00



龙桂鲁（右）与同事进行实验调试

进展五：冬奥复杂极端条件下第五代移动通信技术创新与应用

背景与重要性

为了达到党和国家对冬奥通信“万无一失”的极高要求，亟需解决常规5G设备低温难启动、高海拔易损坏、强风不稳定和密集组网强干扰等因素导

致的5G网络无法工作难题，为北京冬奥会办赛、参赛、观赛提供高可靠、大容量5G基础设施。

取得的突破和进展

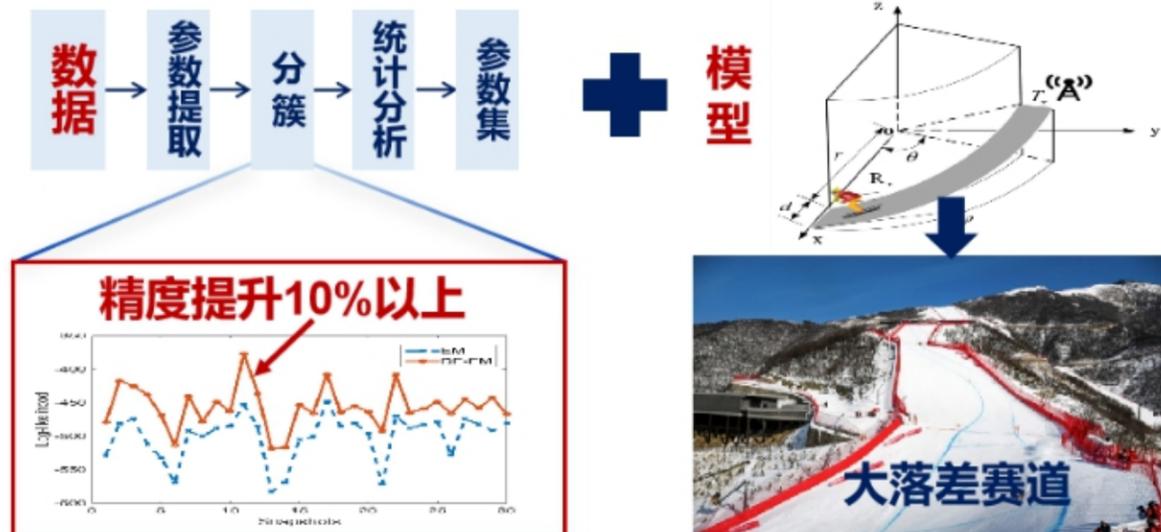
中国联通科技冬奥团队和北京邮电大学张平院士研究团队联合华为技术有限公司、国家无线电监测中心等单位开展了基础理论、关键技术、先进设备与组网方案等开展了系列创新研究，突破了复杂场景下电磁传播环境快速感知和精确建模、高可靠

大容量传输、多维立体覆盖组网等关键技术，开发了5G室外极端环境基站、室内超大带宽微基站、电磁干扰检测系统等，为北京冬奥会提供高可靠、大带宽的5G通信服务网络，为北京冬奥会的成功举办做出了突出贡献。

01

场景化电波传播建模框架

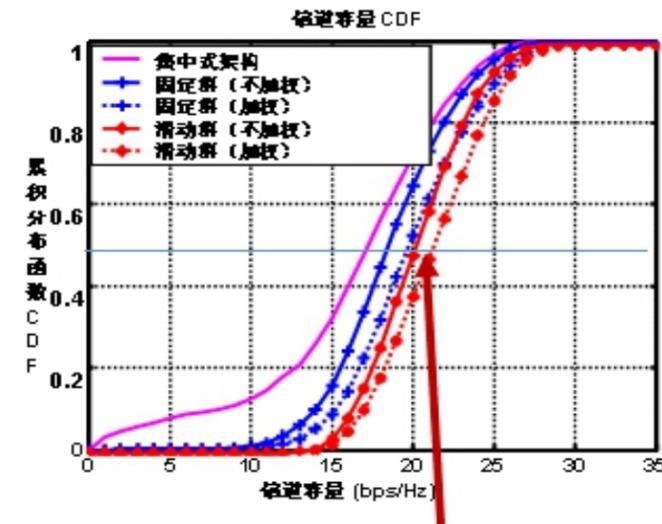
针对冬奥会复杂山区场景提出了基于混合高斯模型信道簇的混合差分期望最大求解算法和场景化非规则几何三维随机无线信道建模理论，提升信道特征分簇精度10%以上，实现了对冬奥复杂环境的精确刻画，支持了冬奥5G网络精准规划与优化。



02

全覆盖立体组网理论

针对冬奥复杂山区环境挑战，提出了5G多维立体组网方案，为高山滑雪中心国内落差最大赛道提供了高可靠5G通信保障。针对京张高铁覆盖难题，提出了滑动超级小区组网理论和超级小区合并组网方案，最大小区合并能力提升1倍，小区容量提升20%，切换频次降低50%，有效保证了高铁列车上业务体验的稳定性。



容量增加20%
滑动超级小区组网



03

高可靠大容量传输技术

针对10万人超密接入难题，研发了业界最大的300MHz带宽5G室内基站和室内智能化大规模天线传输技术，实现单用户峰值速率3.4Gbps和单小区峰值容量4.7Gbps，达到5G商用网络最高水平。

04

冬奥极端环境5G新型基站设备

针对冬奥室外极端环境挑战，提出了温度精确感知与控制的自适应算法、陶瓷介质滤波器超高性能微米级镀层工艺、室外基站360°全向风载优化设计，研发了满足-45°C超低温、珠峰5200米海拔和16级极限风速等极端条件的5G室外基站，使5G基站设备在极端环境适应性方面达到新的高度。

重大意义

项目成果为北京冬奥会打造了高可靠、大带宽的5G通信服务网络，为北京冬奥会的成功举办做出了突出贡献。项目成果还在珠峰直播，挪威数字化渔场以及京雄、京沪等10余条高铁等场景下广泛应用，近两年直接经济效益超20亿元。

进展六：空口AI理论与技术

空口AI技术是满足5G-A和6G更复杂场景和需求的关键技术创新方向，已成为国际竞争的焦点领域，是我国引领技术融合创新的新机遇。当前业界空口AI技术有一定进展，但难以标准化与现网应用，实用性存在巨大挑战。主要表现为：**一是效率低**，算法复杂度高、数据开销大、算力需求高、通用性差；**二是能力弱**，算法跨场景泛化弱，不能匹配网络的大动态变化；**三是质量差**，传统网络架构

不支持实时空口AI推理，可靠性难以保证。

针对上述重大挑战，中国移动和东南大学联合科研团队（王晓云、金石、韩双锋、郭佳佳、李刚、张静、刘志明、李潇、温子睿、王启星、刘光毅、金婧、崔春风）开展攻关，已形成两大突破性阶段成果。成果形态包括论文7篇、专利14件、国际标准文稿5篇和行业白皮书2本。

进展一：提出面向空口AI实用性的网络能力（网络容量等KPI提升）、效率（资源效率、代价开销等）和质量（实时性、可靠性等）均衡优化理论方法。

一是率先提出能力-效率-质量三角均衡优化的总体评估方法与框架，以实现多场景系统综合效能（谱效与能效加权）最大化的优化目标，并提出系列设计理念和研发思路。

二是基于均衡优化方法，提出AI与通信深度融合的大规模MIMO信道获取系列方法，破解单场景下能力和效率之间的矛盾。包括基于信道特征构建

数据集以降低测量与反馈开销、基于时、频、空域信道相关性设计AI架构降低反馈开销等。

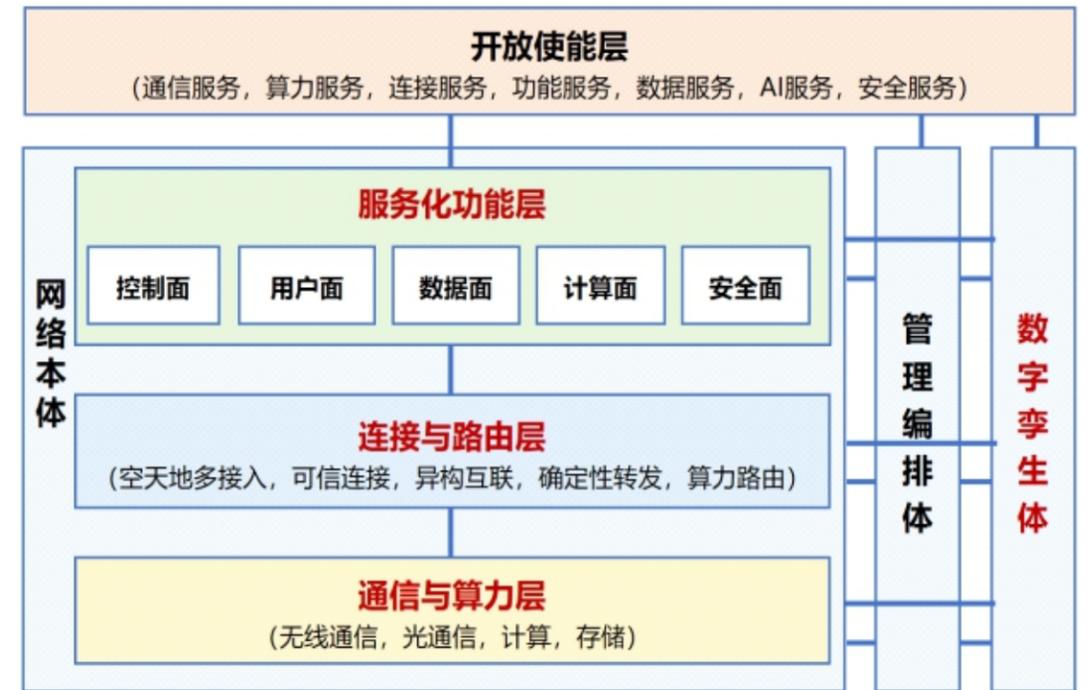
三是基于均衡优化方法，提出系列低开销高效率的泛化性提升方法，提升面向多场景的网络效率和质量。包括基于基站无监督学习神经网络的低开销泛化性提升方法、基于单编码器多译码器架构的泛化性提升方法等。

进展二：面向内生AI的网络需求，提出“三体四层五面”总体架构和支持实时空口AI的新型接入网架构，满足空口AI的实时性和可靠性。

一是率先提出多要素融合的“三体四层五面”总体架构，针对性设计面向内生AI的数据面和计算面，支持AI任务的高效敏捷。

二是基于总体架构，进一步提出支持实时空口

AI推理的新型接入网架构和协议，定义接入网AI新功能模块以及与基站协议栈的新接口，实现协议栈处理的实时智能化。



三体四层五面网络架构

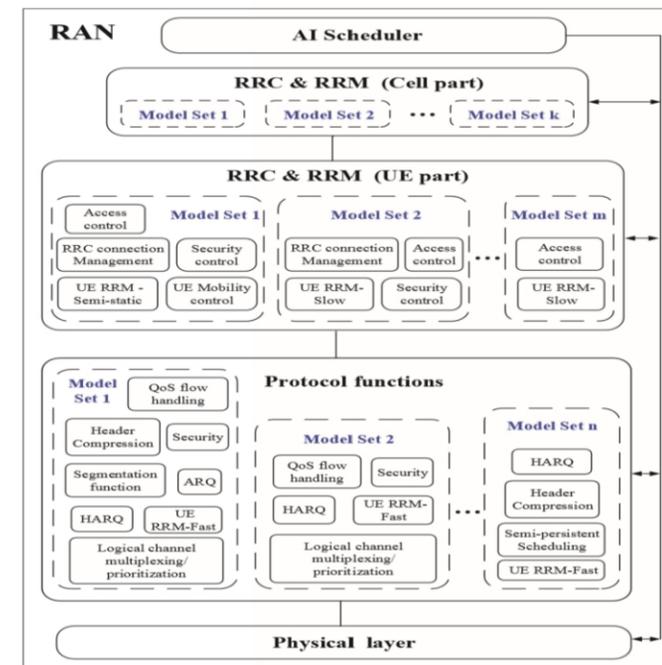


Figure 1. Proposed AI-enabled RAN architecture.

实时空口AI接入网架构

上述成果受到了产学研各界的高度关注和评价，其中，大规模MIMO信道智能压缩成果被评价为开拓技术 (pioneer)，网络架构等成果被国内外院士专家评价为“前瞻性的尝试和探索，非常有意义”、“开启了边缘智能新范式”。

进展七：高国产化率毫米波室内分布式微基站

5G商用四年来，我国已实现以中频为代表的整机系统全球领先，但我国在高频器件及产业链成熟度方面相比国外存在一定差距，高频关键核心技术处于被“卡脖子”状态，无法满足下一代高频大带宽通信网络演进需求。因此破除核心技术“卡脖子”的难题、实现毫米波自主可控技术体系建设是实现我国移动通信产业持续高质量发展的必由之路。

整体看来，以欧美为代表的国际高频技术产业链较国内领先，体现在四个方面：一是国际较国内高频产业链成熟度高。国际10+国家/地区部署28GHz毫米波网络，国内毫米波处于试验验证阶段；二是国内高频关键芯片技术落

后于欧美。国际高频芯片已商用，国内射频等芯片尚未研发成功；三是国内外毫米波部署局限在室外。未对高密室内热点区域进行毫米波覆盖；四是国内较国外毫米波芯片集成进度慢。集成欧美国家的高频芯片已成熟商用，国内高频自主可控芯片未实现整机集成验证。

中国联通研究院联合东南大学、紫金山实验室、中航国际、成都天锐星通、深南电路组成以尤肖虎、李福昌为代表的联合研发团队立足于商用网络需求，以高国产化率毫米波室内分布式微基站研发为突破点，成功取得**四方面突破和进展**：



图1 中国联通研究院院长李红五发布高国产化率毫米波室内分布式微基站

一是建立首个具有中国特色的毫米波技术体系，通过标准引领、研发验证、产业协同，解决国内26GHz产业链薄弱的难题；创新移动性增强、灵活帧结构等方案解决异场景差异化需求难题；pRRU级节能方案解决毫米波密集部署时的高能耗问题，推动毫米波产业链快速成熟。

二是研制成功首个国产毫米波CMOS双极化相控阵芯片和阵面，突破解决射频前端芯片线性度低及噪声高难题、幅相调制电路精度低难题及有源相控阵工艺成熟度低等难题，性能指标达到国际领先水平。



图2 尤肖虎教授带领团队开展国产有源相控阵芯片研发

三是成功研发首款毫米波室内分布式微基站设备，破解毫米波器件高效IQ压缩、AIP天线小型化及毫米波大带宽高峰均比等难题，满足室内高速率低时延的需求。



图3 高国产化率毫米波室内分布式微基站

四是首次实现90%高国产化率的毫米波芯片集成替代，创新国产超宽带压控振荡器架构，突破性解决传统国产器件集成度低、高温可靠性差、关键性能指标偏差等问题，并首次实现飞腾CPU匹配毫米波协议栈稳定运行，实现整机功能、性能达到国际先进水平。

本进展成功建立稳健发展的中国高频技术自主可控体系，实现国内毫米波自主可控基站设备研发首个里程碑突破，可有效降低国内毫米波产业发展门槛，提升我国产业链供应链韧

性和安全水平。面向商用的毫米波室内示范验证，可满足国内ToB/ToC/ToH多场景差异化需求，解决行业应用灵活、绿色、大容量等网络新要求。

进展八：面向“东数西算”的算力网关设备创新研发及实践

背景与重要性

在国家“东数西算”、双碳、科技自立自强的战略驱动下，我国数字化基础设施建设明显加速，数字经济逐步成为驱动经济增长的核心力量，数据

中心、边缘计算、泛在计算等组成的高性能算力网络系统将发挥主要支撑作用，数字时代正在召唤一张高效率的“算力网络”。

国际国内进展情况

2019年，项目团队在核心期刊，发表全球首个算力网络论文，第一次向业内详细阐述算力网络概念。2021年7月，在国际电信联盟电信标准化部门(ITU-T)第13研究组(SG13)报告人会议上，通过了由项目团队牵头的算力网络框架与架构标准(Y.2501)，该标准是首项获得国际标准化组织通过的算力网络标准，在算力网络发展中具有里程碑式的意义。目前，项目累计形成相关国际国内标准20余项，论文26篇（其中SCI 3篇，EI 11篇），授

权专利8项，软著18项，行业奖项8项，处于业界第一阵营，掌握行业发展话语权。

在自主研发方面，项目团队深入开展算力网络关键技术的创新研究，全面系统开展了算力网关、算力网络调度平台的自主研发，体现了中国独立自主的科研创新精神，其中算力网关设备的创新研发和落地实现国际尚属首次，其思想理念及核心技术在他国尚无先例。

取得的突破和进展、重要意义

作为践行云网融合，解决算力供给不均衡的关键抓手，中国电信雷波、解云鹏团队聚力推进关键技术攻关和产业升级，突破多项核心关键技术，创新提出了算力网关核心协议CP-BGP，并自主研发了算力网关设备，完成了业界首个面向“东数西算”场景的落地试点应用。通过“多目标最优

算力寻址算法”核心路由算法，为业务提供最佳路由决策。与传统网关相比，算力网关具备业务感知、算力感知、以及算力路由等功能，它能够基于业务需求、算力信息、网络信息融合计算，动态选择满足业务需求的转发路径和服务节点，从而实现算力和网络资源的全局优化，达到降本增效的目的。



图1 多形态的算力网关设备

例如在东数西算、东数西渲等业务场景中，算力网关解决了跨域的算力感知、网络感知能力，能够帮助客户在多维的算力提供商间感知其算力信息，并通过CP-BGP网络协议进行传输与同步，以达到业务需求第一时间感知并反馈的效能，结合当前的算力状况和网络状况生成路由信息并发布到网络，将计算任务报文路由到合适的计算节点。

目前项目团队的算力网关是一种软硬件解耦的开放网络设备，它基于开源的SONiC网络操作系统，可灵活适配ASIC架构、x86架构等多种硬件形态，实现物理硬件和网络操作系统(NOS)的解耦，让标准化的硬件与算力网络相关协议进行组合适配，这样的架构设计让算力网关具备了灵活、高效、可编程等特点，极大的方便了算力网络演进过程中的协议扩展。

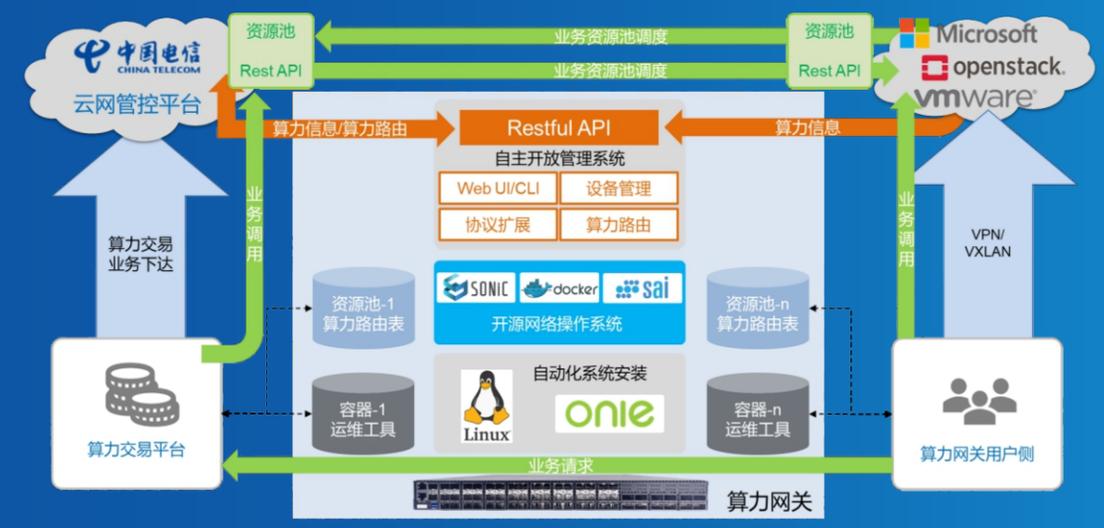


图2 开放灵活的算力网关体系架构

基于算力网络和算力网关设备，目前项目在甘肃、江苏现网实际承载业务52个，承载用户10000+，完成了甘肃、江苏共计46个异构资源池

的纳管,提升资源利用率20%以上，成功打造了业界首个面向“东数西算”场景的应用案例，有效打通“东数西算”的大动脉，织就全国算力一张网。

进展九：超3Pbit/s单模19芯光纤传输系统实验

背景与重要性

随着C+L波段WDM传输系统的广泛商用，光纤传输系统的容量得到了极大提升。由于光纤非线性与光信噪比的制约，传统单模光纤在C+L波段传输窗口的容量极限被限制在100Tbit/s。随着各种新兴互联网应用的兴起，全球互联网通信需求也在快速增长，超高的传输容量需求给光纤通信技术带来了巨大挑战。为应对这一挑战，国际权威的研究机构都开始将研究重点转向以扩展波段光传输技术和

空分复用光传输技术为代表的下一代光纤通信技术的研究。扩展波段光纤传输技术是将原有的C+L波段传输窗口向其它如O/E/S/U等波段拓展。另一方面，以多芯和少模光纤为代表的空分复用光纤的出现，为光纤通信容量的提升打开了新的大门。国外研究机构在以上两个方向都投入了大量的资源，力图获得先发优势和垄断地位，一旦发展成熟将会对整个光通信产业产生颠覆性影响。

国际国内进展情况

在扩展波段光传输方面，2020年英国UCL基于40km单模光纤利用S+C+L扩展波段实现了178 Tbit/s的传输；2022年日本NICT基于54km单模光纤利用S+C+L扩展波段实现了超200 Tbit/s的传输。在单模多芯光纤传输方面，2015年日本NICT实现了2.15Pbit/s单模22芯光纤传输实验，创造了此前单模多芯光纤传输容量的最高记录；2022年，日本NICT实现了业界首次1Pbit/s单模4芯光纤与扩展波段结合实验。中国信科光通信技术和网络全国重点实验室，是国内最早布局扩展波段和

空分复用两大战略方向的科研机构，并获得多个国家和湖北省重点研发计划项目的重点支持。2017年，实验室实现了国内首次560Tbit/s单模7芯光纤传输系统实验；2019年，又基于完全自主研发的硅基集成相干收发芯片实现了国内首次1.06Pbit/s单模19芯光纤传输系统实验；2022年，实施了国内首次155Tbit/s S+C+L扩展波段光信号传输50公里标准单模光纤实验；同年，又在业界首次实现了336Tbit/s光信号实时传输332公里单模7芯光纤的系统实验。

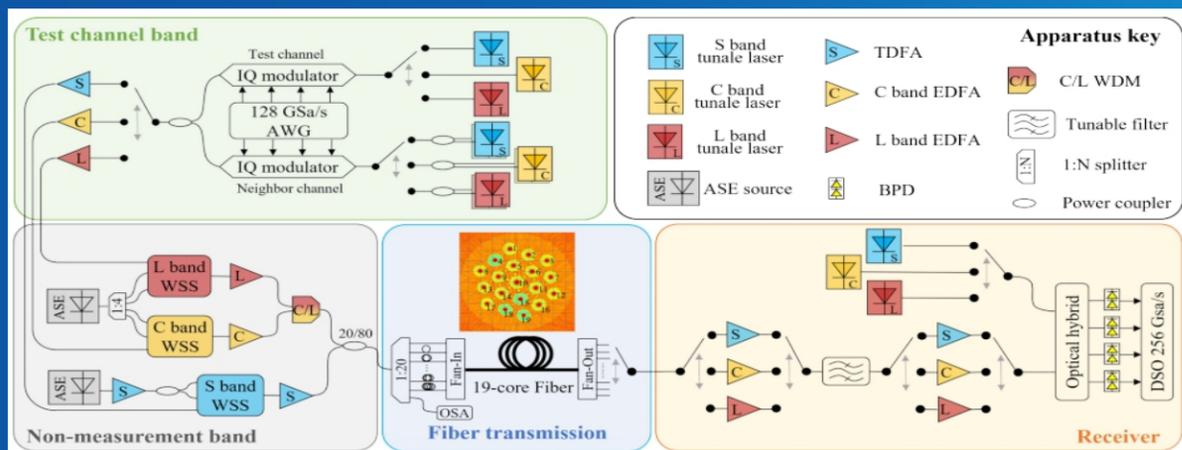


图1 基于S+C+L波段的19芯光纤传输实验系统结构框图

取得的突破和进展

2022年9月，中国信息通信科技集团有限公司下属光通信技术和网络全国重点实验室的肖希、罗鸣团队组织实施了国内首次19芯单模光纤和S+C+L扩展波段相结合的传输系统实验，总传输容量超3Pbit/s。该实验系统利用中国信科旗下烽火通信自主研发的新型非耦合19芯单模光纤作为传输介质，同时在S+C+L扩展波段内构建总谱宽达到17THz，拥有680个DWDM信道，相比传统基于标准单模光纤和C+L波段的WDM传输系统，扩展波段与多芯光纤相结合的传输方式极大地提升了光纤中传输的信道总数，大幅度的提升单纤传输容量。相

关成果在2022年11月召开的亚洲光通信与光子学会议ACP2022上以最高水平Post deadline paper的形式发表。紧接着，该团队又借助超高阶概率星座整形算法，并进一步优化各个波段功率分布，实现了总速率4.1Pbit/s，净速率3.61Pbit/s的S+C+L扩展波段单模19芯光纤传输实验，传输容量较之前的结果提升近40%，再次打破国内光纤传输系统实验容量的最高纪录。实验结果作为特邀论文发表在光通信领域权威期刊《IEEE Photonics Technology Letters》上，并被科技日报、长江日报等主流媒体广泛报道。

重大意义

本次“超3Pbit/s单模19芯光纤传输系统实验”系列成果是全球首次传输容量超3Pbit/s的单模多芯光纤传输实验，也是国内首次将扩展波段光传输与空分复用光传输技术相结合的实验。实验结果刷新了单模多芯光纤传输容量的世界纪录，同时

也实现了国内光纤传输容量的最高纪录；标志着我国在扩展波段与空分复用光传输领域均迈入了世界先进水平。实验成果及其后续进展是我国在“三超”光传输领域的又一次重大突破，对我国光通信产业的技术升级将产生积极的推动作用。

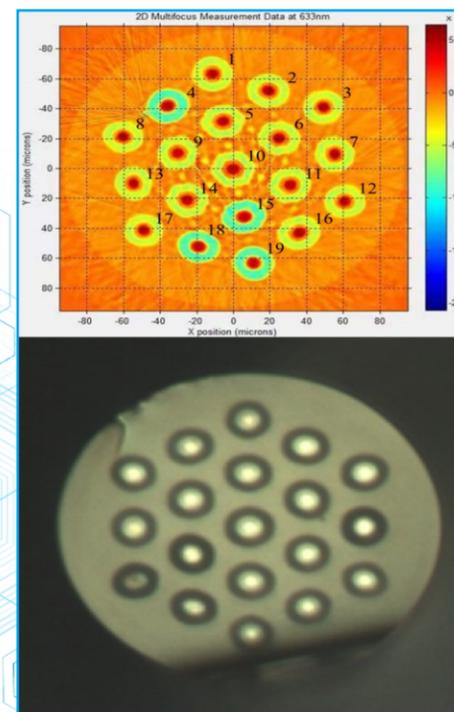


图2 芯光纤端面折射率分布图与光纤端面照片

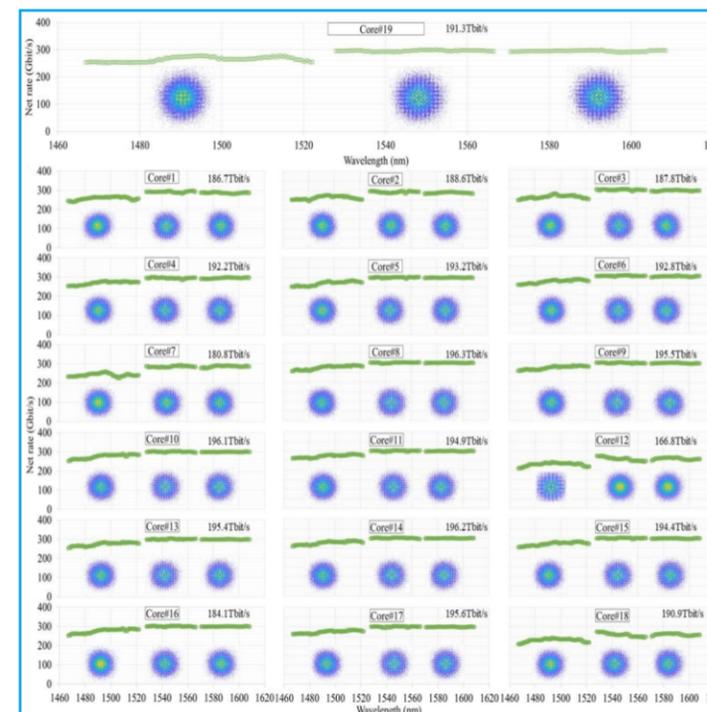


图3 系统误码率测试结果

进展十：小型化高效能5G融合天线技术

背景与重要性

国家发展改革委等多部门联合政策明确提出：到2025年，数据中心和5G基本形成绿色集约的一体化运行格局，其中5G基站能效提升20%以上。面临5G和已有系统制式等网络长期共存、天面资源极

度紧张、站址电磁环境越来越复杂等问题，导致天面资源匮乏、5G网络能效激增的矛盾成为核心问题，而5G基站天线作为5G基站的核心部分，小型化高效能5G融合天线技术成为解决核心问题的关键技术。

国际国内进展情况

为解决上述问题，行业内均处于积极探索5G基站天线技术路线的阶段。目前主要采用嵌套技术或融合技术两种路线，其中，嵌套技术是指高频在低频中间嵌套，融合技术是指低频和高频空间叠

层放置。由于融合技术的空间复用度极高，因此，在小型化和集成化的天线技术方面，融合技术是主流技术路线之一。

取得的突破和进展

中信科移动通信技术股份有限公司的杨耀庭团队坚持独立自主的小型化高效能5G融合天线技术的技术路线，持续攻克和突破5G融合天线的技术瓶颈，核心技术已达国际先进水平，并实现对应技术

的模块、产品批量生产和规模商用，不断突破产品小型化和高效能。已完成相关发明专利申请23件和授权发明专利36件，获得国家和省级奖项3项。四大创新进展的具体情况如下：

进展一：高增益去耦滤波辐射单元技术，提升高频方向图性能

采用自主设计的滤波去耦枝节和设计方法，设计开发低频滤波辐射单元，高频单元增益提升约0.44dB，天线效率可提高约7%。

01

进展二：低损耗一体化集成移相器技术，降低馈电网络损耗

采用特定的多路移相端口内部拓扑，缩小馈电网络的尺寸，可将移相器集成度提升50%以上，网络损耗降低0.5dB，天线效率可提高约8%。

02

进展三：超高集成化多路传动组件技术，提升天线集成度

在切换路数相同的传动组件中，采用非均匀圆周齿轮分布和极简单层齿轮链路的结构，尺寸同比缩小40%以上，为实现馈电网络小型化和降低电机能耗奠定基础。

03

进展四：超高集成化的多频阵列融合技术，实现产品小型化

结合高低频阵列布阵和阵列去耦技术，采用辐射单元复用技术，实现天线外形尺寸比普通天线尺寸减小50%以上，成本降低20%以上。

04

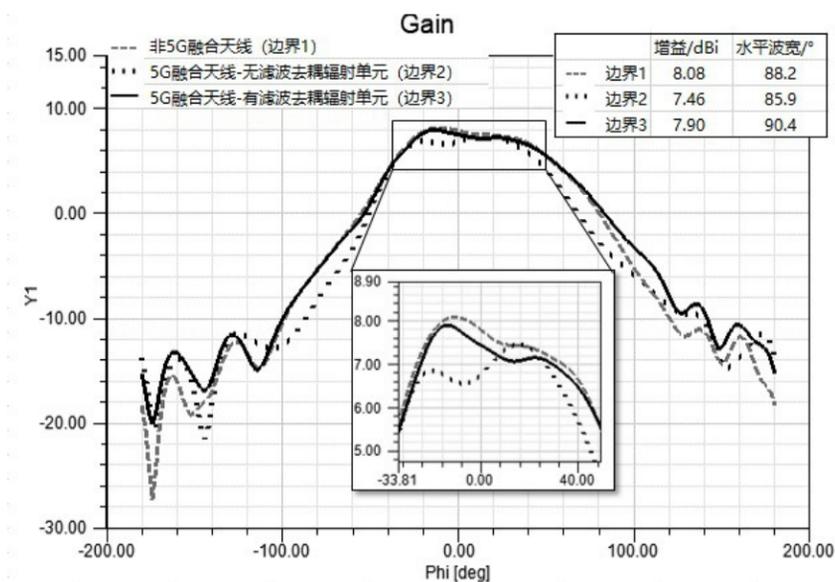


图1 有无低频滤波去耦辐射单元对应的高频方向图曲线

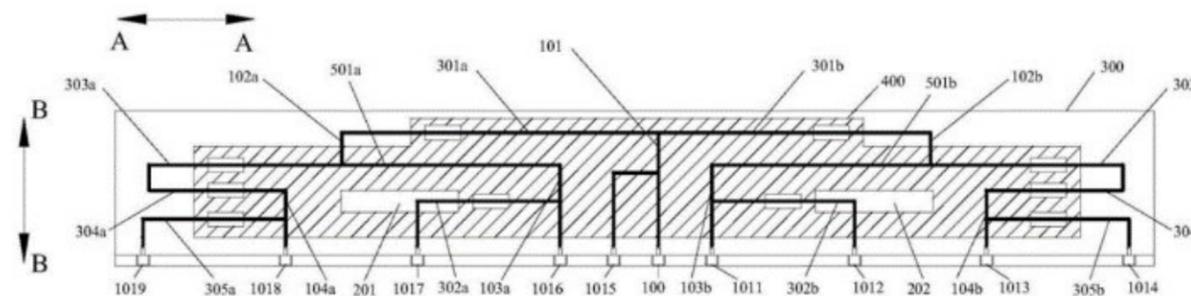


图2 低损耗一体化集成移相器示意图

重大意义

小型化高效能5G融合天线技术解决了多频多制式天线尺寸大和融合后指标恶化的问题，为5G网络升级建设提供了高集成度和高效能的天线产品，为我国无线通信产业保持国际领先优势开创了有利局面，为实现无线通信行业核心技术自主可控和节能高效奠定了良好的基础。