



中国移动
China Mobile

光通信技术及未来发展展望

6631班 (1993级)

中国移动研究院

李允博

2023年10月14日@西安

www.10086.cn



1

算力网络需求与发展趋势

2

光通信技术发展及预测

2022年2月17日，国家发改委、中央网信办、工信部、国家能源局四部门联合印发文件，同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等8地启动建设国家算力枢纽节点，并规划10个国家数据中心集群。至此，全国一体化大数据中心体系完成总体布局设计，“东数西算”工程正式全面启动。



算力网络是推动国家“东数西算”纵深发展的重要基础，“东数西算”将带来数据、算力跨域流动，实现产业跃升、平衡区域发展，同时每年节约用电120亿度，消纳弃光弃风，节能减排，助力“双碳”目标实现

超算/AI算力

超算/AI算力+P级数据搬移

制药、气象、基因、航空、自动驾驶、质检、遥感等



- 算力以核时为量纲
- 网络提供10G或100G 光专线
- P或者百T级别大数据的搬运
- 按月/周/天/时收费

东数西存

西部存储+错峰带宽

异地备份容灾、云盘等



- 以存储能力 (xxxT) 为量纲
- 利用网络带宽潮汐的情况，将低谷期的带宽释放给东数西存
- 按时长收费

通用算力

弹性算力+灵活带宽

云电脑、行业入云（医疗云、政务云）等



- 算力以核时为量纲，算力灵活可调
- OTN专线提供基础带宽（百M）以及增值包（带宽灵活可调）
- 提供算力/带宽加速包

边缘算力

实时算力+ms入算

制造、安防、VR、元宇宙等实时性要求高的场景



- 算力以核时为量纲，算力灵活可调
- 入网即入算，<1ms入算
- 提供算力加速包
- 定制时延额外收费

任务式算力

应用累计分发量

AI训练等



- 大数据处理能力
- 图片训练
- 视频渲染
- 图像训练
- 图像渲染
- 基于任务定价

算力网络给光网络带来挑战

算力网络是推动国家“东数西算”纵深发展的重要基础，“东数西算”将带来数据、算力跨域流动，实现产业跃升、平衡区域发展，同时每年节约用电120亿度，消纳弃光弃风，节能减排，助力“双碳”目标实现

架构

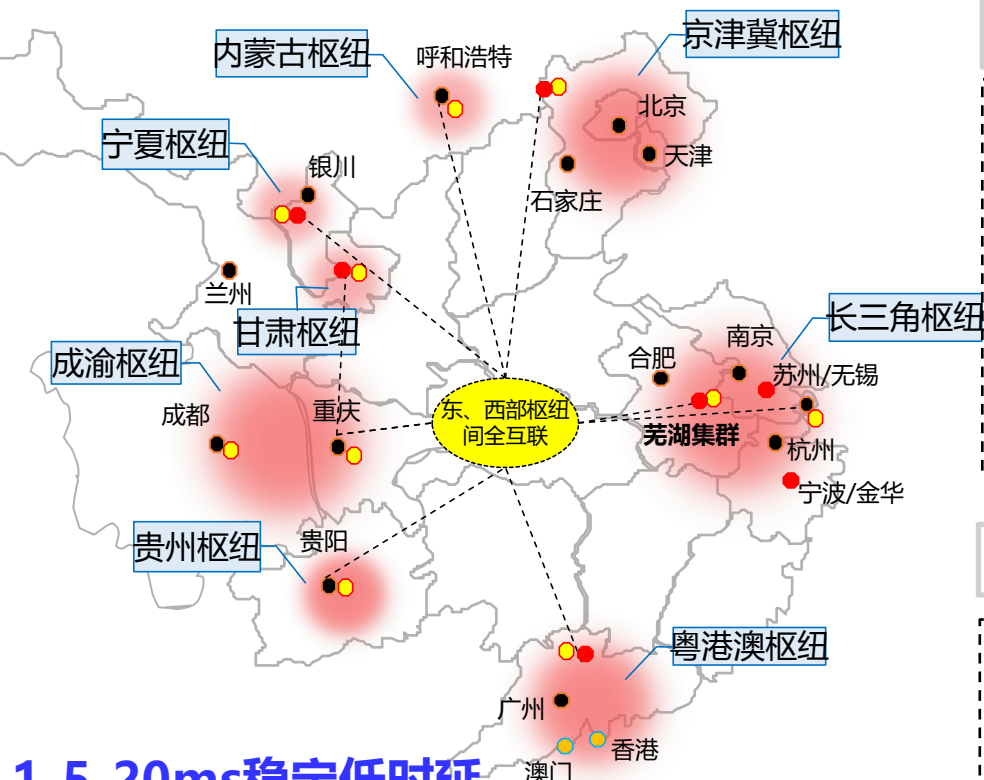
数据中心东西互访：

- 流量流向相对集中，需优化网络架构和组网方案，**一跳直达连接**，降低传输时延。

带宽

流量急剧上升：

- 以上网日志数据为例，全国日生成数据预计达到**12PB**，100G链路传输需要**11天**，需要采用更高速传输链路



业务

业务实时性要求高：

- 算和网之间的资源快速联动，光传送网需要**智能化感知**业务时延、带宽、QoS等需求提供端到端服务。

时延

时延要求：

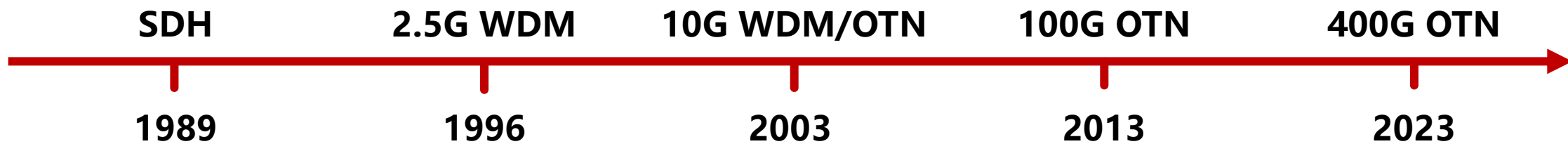
- 构建骨干（枢纽节点之间）20ms、省域/区域5ms、城市1ms三级时延圈

➤ **1-5-20ms稳定低时延**

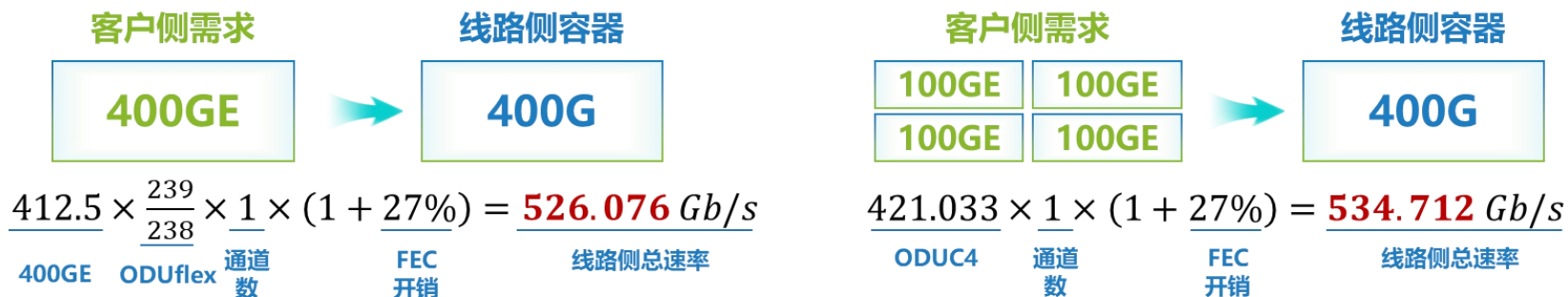
➤ **5个9超高可靠**

➤ **T级超大带宽管道**

➤ **按需快速拆建**



400G是指单波长能够承载400G类型业务的传输技术



16QAM

波特率: $67 \times 4 \times 2 = 536 \text{ Gb/s}$
 调制阶数: 4
 偏振: 2

- 波特率: ~67GBd
- 波道间隔: 75GHz, 总谱宽6THz
- 传输距离 < 600km

16QAM-PCS

概率星座整形
 PCS映射机制

- 概率星座整形(PCS)算法 → 波特率 ↑ ~91GBd
- 波道间隔: 100GHz, 总谱宽8THz
- 传输距离达 ~1000km

QPSK

波特率: $134 \times 2 \times 2 = 536 \text{ Gb/s}$
 调制阶数: 2
 偏振: 2

- 采用QPSK, 波特率: ~130GBd
- 波道间隔: 150GHz, 总谱宽12THz
- 传输距离可达 > 1500km

面对超高速率、超宽频谱、新型损伤3大技术挑战，主导400G端到端系统级创新，拉动器件、技术、产业全面成熟，力争今年实现400G全光骨干网首次规模商用

新器件

符号率: ~30GBd → ~130GBd, 提升四倍

新波段

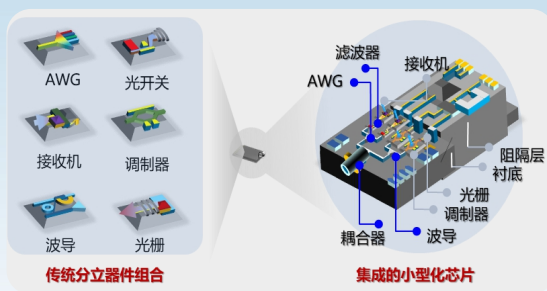
C波段 → C+L波段, 扩展三倍

新损伤

SRS转移: 100G < 1dB → 400G ~ 7dB, 增加6dB

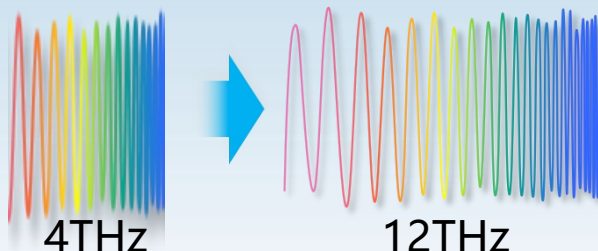
3大技术变革助推400G全光网

1 超高速光器件



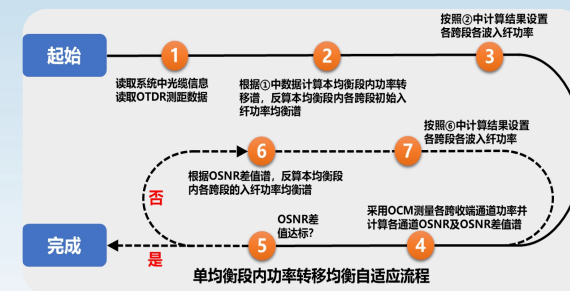
光电合封、高性能DSP、先进工艺共同推动符号率从~30GBd提升到~130GBd

2 超宽谱有源模块



优化器件设计与材料工艺，减小EDFA、WSS在C/L波段性能差异，向C+L一体化演进

3 超宽带光系统架构



自适应SRS均衡，破解动态网络运维难题，力争功率平坦度 $\pm 0.5\text{dB}$

世界首个现网5616km极限传输和实验室7000km的先导试验基础上，与业界联合进一步完成面向经典商用场景的1673km传输



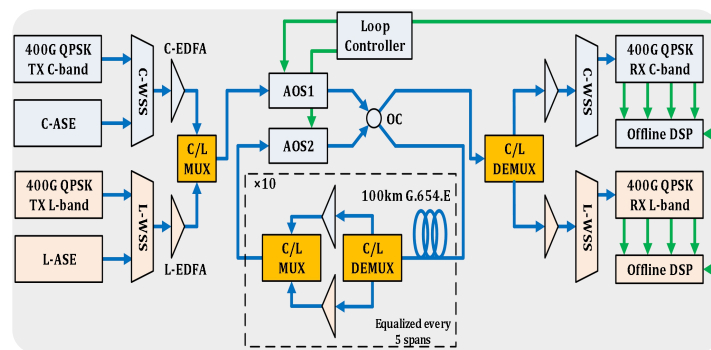
现网极限能力实验



宁波←→贵安现网试点路由

- ✓ 目标: 现网400G QPSK极限传输能力
- ✓ 配置: G.652.D光纤+EDFA/部分拉曼放大

实验室传输纪录



C6T+L6T 400G QPSK环路传输系统

- ✓ 目标: 实验室400G QPSK极限传输能力
- ✓ 配置: G.654.E光纤+纯EDFA

面向经典商用场景的现网试点



贵安←→隆回现网试点路由

- ✓ 目标: 400G QPSK的商用网络部署能力
- ✓ 配置: G.652.D光纤+纯EDFA

空芯光纤有望突破现有实芯单模光纤的固有时延极限和非线性香农极限，对光纤、光器件和光网络系统形成全面的、变革性的创新

实芯单模光纤

反谐振空芯光纤

损耗

衰减已达0.142dB/km理论极限

预期衰减极限 < 0.1dB/km

带宽

可用频谱15~18THz, 当前已用12THz

可用频谱超100THz

非线性

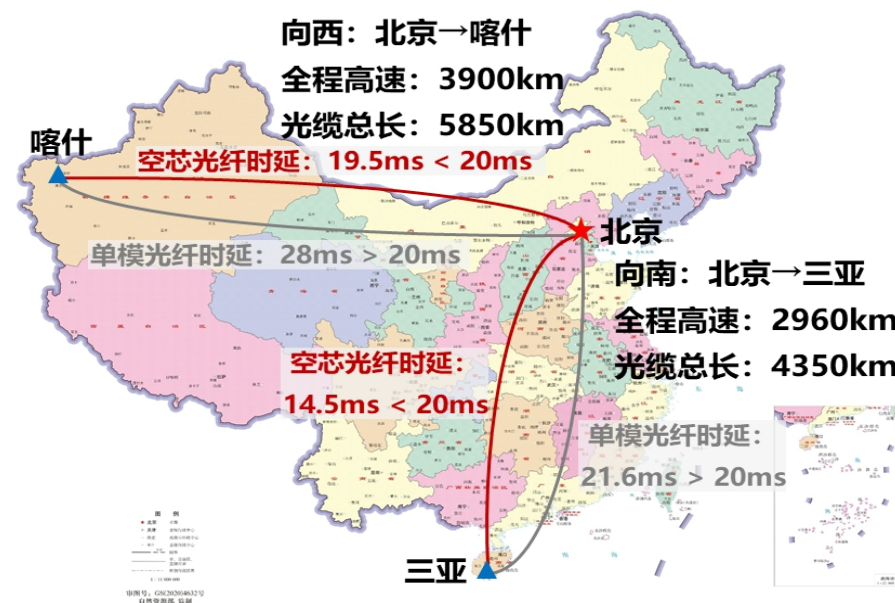
非线性影响彻底凸显, 不能依靠增加功率增加传输距离, 单波入纤功率需 ≤ 6dBm

非线性系数低3-4个数量级, 非线性效应可忽略, 单波入纤功率可增加1000倍以上

介质光速

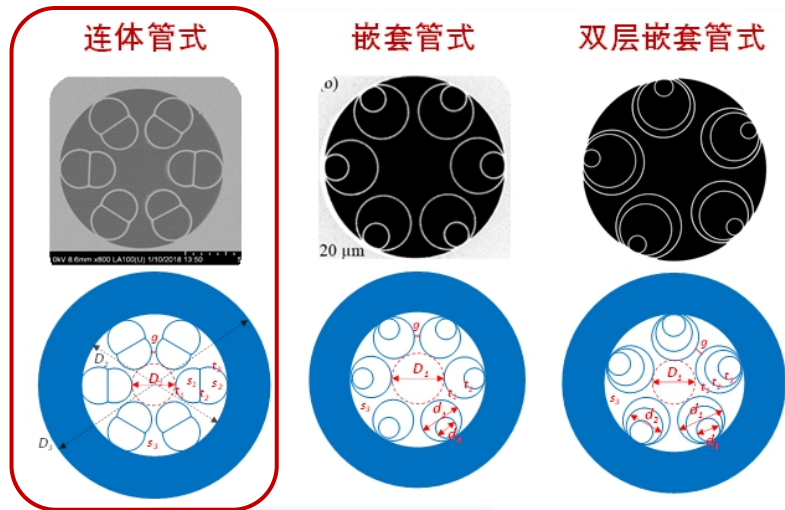
SiO₂折射率约为1.46
介质光速 ≈ 真空光速/1.46

介质光速 ≈ 空气光速/真空光速
光纤时延降低1/3

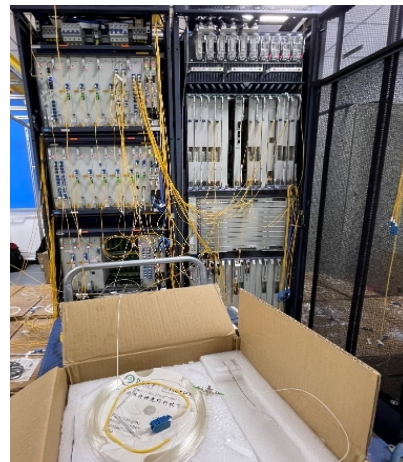


面向东数西算推进空芯光纤产业发展, 充分保障《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》所要求的算力枢纽节点之间20ms覆盖, 还可以实现对全国范围的20ms时延圈覆盖, 真正构建出国土全覆盖低时延通信能力。

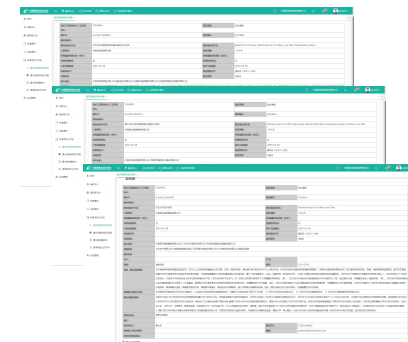
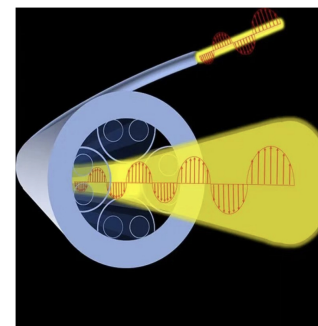
中国移动联合高校和产业从光纤设计与控制、面向空芯光纤的光通信系统攻关、产业生态和标准化等方面深度合作，联合推进空芯光纤及其光传输系统技术发展。



光纤设计与控制



系统技术攻关



产业生态与标准

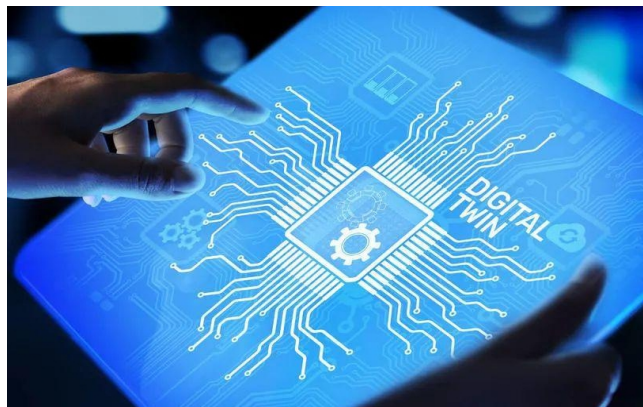
- 深入研究空芯光纤损耗物理损伤机制，以及公里级拉制中微纳精度复杂结构调控
- 当前进展：实现 $0.28\text{dB/km}@1290\text{nm}$ 的损耗，单次拉制长度可 $\geq 5\text{km}$ ，居全球第一阵营

- 从反谐振空芯光纤的全新关键参数特性出发，自底向上重构信道模型，开展信道容量极限估计、新物理维度的系统架构、关键光器件等关键方向研究
- 当前进展：
 - ① 首个空芯光纤非线性系数上限测量
 - ② 首个超高功率入纤功率 28dBm 的 $40\times 800\text{G}$ 实时传输实验

- 凝聚产业共识，通过学术和产业组织，协同全产业链共同突破反谐振空芯光纤大规模工业化制备难题，通过标准化进程，引导方案归一，加快应用进展
- 当前进展：
 - ① 推动空芯光纤成为中国光学工程学会5大产业难题
 - ② 在CCSA牵头和联合牵头立项3项空芯光纤研究课题



- 血管有一千多亿条，总长度**96000**公里
- 人体细胞约有**40万亿—60万亿**个
- 至少六千二百八十四次((*英国每日邮报*)
- • • • •



- 光缆总长超过**6000万**公里
- 光网络设备超过**3亿**端
- 每年约**30万**次光缆故障
- • • • •

人（网络）的数字孪生，采集、分析从**出生到成长（规划到运行）**过程中的所有数据，结合其**父母遗传/自身体检数据（网络历史故障/现行运行状态）**等信息建立数字虚拟模型，全生命周期相映射，同步更新**人体（网络）**各项变化，**病因（故障）**定位，推演**未来健康**进而**提前干预**

光网络智能化意义

面向算力网络发展，光网络规模持续增加、技术体系多样、新业务需求提高，对运维提出了更大挑战，光网络的智能化可有效提升运维效率和业务满足度，进入高速发展时间窗口期。

网络规模大



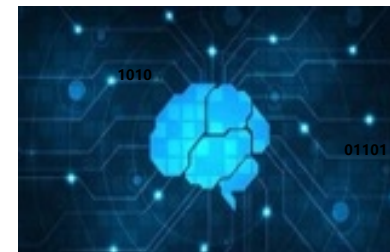
- 光缆总长超过3000万皮长公里
- 光网络设备超2亿端
- 技术多样 (OTN、PON、SPN ...)

业务需求高



- 时延要求：百毫秒 → 十毫秒量级
- 业务响应：天级 → 分钟级
- 调度机制：面向链路 → 面向业务

运维难度大



- 光网络结构复杂，自智难度大
- 运维、调度时间周期长
- 故障处理慢，导致每年业务中断约300小时

光网络智能化关键技术

统一定义系统模型

- 针对智能化能力进行统一的模型和参数定义
 - 多种技术统一抽象建模
 - 数据精准标注，提升信息密度

精确感知复杂参量

- 从设备/板卡级 → 芯片级延伸
- DSP芯片毫秒级提供关键参数感知能力
- 模块计算+系统测量拟合感知，提升建模精准度

高效处理网络事件

- 跨层：光层OAM拉通光电协同感知调度
- 跨域：统一标准Telemetry数据同步
- 跨界：层次化智能检测实现算力与网络联动

全生命
周期管理



网络规划



网络建设



网络维护

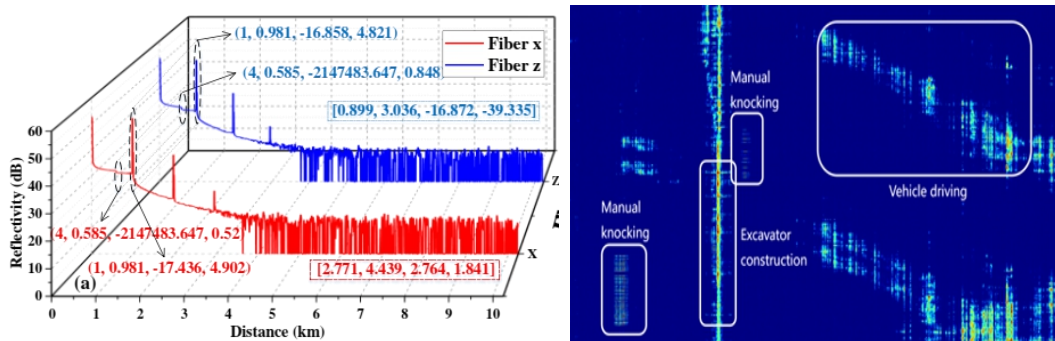


网络优化



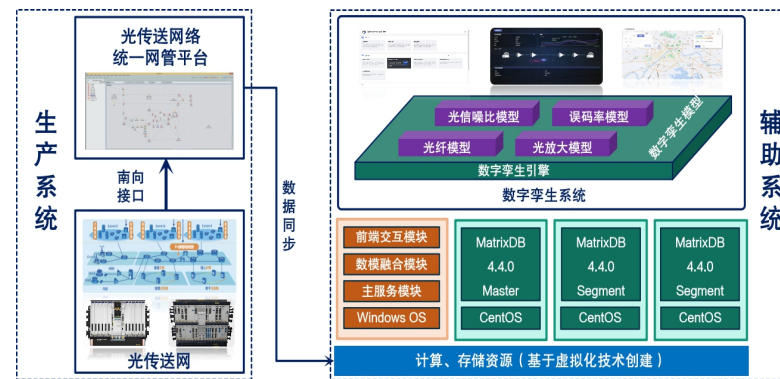
网络运营

光纤同路由自动识别



- 实时感知光纤静态特征参量（长度、衰减、熔接点）和动态特征（车辆、施工等引发的振动）参量
- 对现网4297对同路由光纤采用随机森林模型自动识别，准确识别4122对，**准确率95.93%**

网络健康度监控和优化



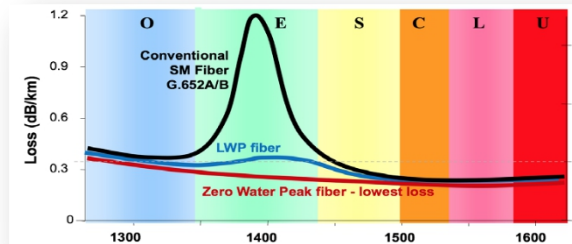
- 基于光学机理（芯片、器件、模块、光纤等）进行计算与仿真，同时对实际网络参数（光功率、OSNR、误码率等）进行实测，二者进行联合拟合评估，确立研判标准
- 对现网1500个OSNR监测点、250个EDFA监测研判**准确率为99%**。

1 Capacity: 长途光系统单纤容量能超过100T吗?

2010 ~8T/Fiber → 2030 百T/Fiber

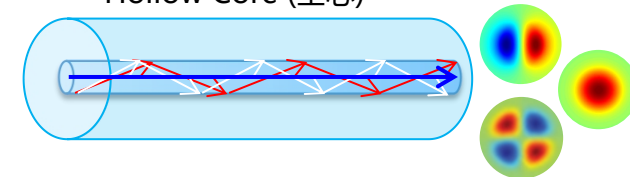
- 速率** • 100G@SE=2 → 1.6T@SE挑战4
- 频谱** • C波段4THz → C+L+S+x@25THz+
- 跨距** • 80km/Span → 40km/Span

2 Spectrum: C波段之外, 可以利用的新频谱空间有多大? • C+L光谱 vs 光纤可用光谱 400nm



3 NG Fiber: G.652之后, 下一代主流光纤是什么?

- SDM (少模/多芯)
- Hollow Core (空芯)



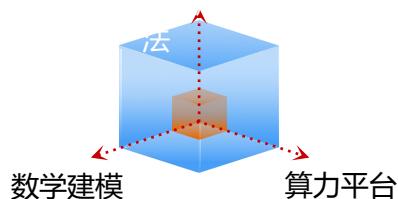
4 Algorithm: 光信道算法能够突破非线性难题吗?

- 单波单偏振传输数学模型: 非线性薛定谔方程

$$i \frac{\partial A}{\partial z} = -i \frac{\alpha}{2} A + \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \gamma |A|^2 A, A: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{C}$$

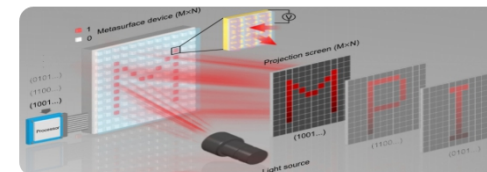
衰减 色散 克尔SPM效应

5 Network: 超大规模网络规划能够找到最优解吗?



6 OXC: 能够实现超低损128维+波长交换吗?

- 128高维、11Deg大转角光学设计、超材料突破



8 Satellite ON: 能否构建高动态、大带宽、大规模光网络?

- 空间数字相干技术, 数百G星间链路
- 空间动态管控, 航天级ASON网络
- 高集成插卡式, 轻量化光通信

9



一流的科技人才队伍，专业化的团队，工作氛围良好

基础电信企业首个院士工作站

员工1700+，平均年龄34岁

国家高层次人才9人

享受国务院特殊津贴9人

教授级高工19人

国际行业和标准化组织领导30余人

集团及以上劳模6人

集团级首席专家3人

院领军人才14人

院青年领军人才25人

...

全面完善的实验室构成

- 测试认证实验室6个:

无线、核心、承载网、支撑系统、业务平台、终端

- 基础研究实验室6个:

无线、网络架构、多媒体、大数据、卡检测、用户行为

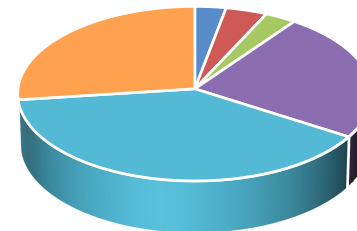
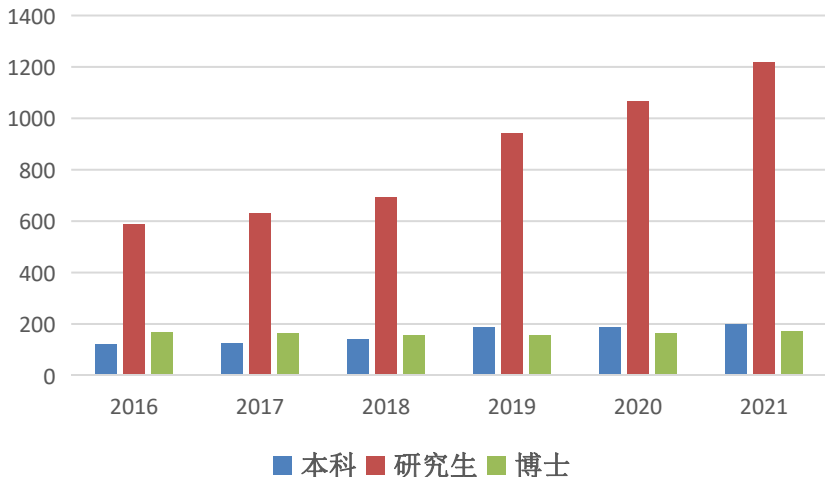
- 开放试验中心5个:

5G联创开放实验室、新产品开放试验、行业应用/业务孵化、第三方应用认证测试、终端开放中心

- 国家级工程实验室5个:

新一代移动通信技术、国家移动电子商务、移动网络与多媒体、网络安全技术、移动互联网安全

研究院的人才比例构成



■ 北京大学 ■ 清华大学 ■ 北航
■ 北邮 ■ 其他985/211 ■ 其他院校

90%拥有硕士以上学位

86%是国家知名院校以及海外名校毕业生

深度参与国家重大科研项目研发

- 承担国家级科研项目**140项**，包括“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项、国家高技术研究发展计划（863计划）、发改委国家工程实验室等

创新成果不断涌现

- 140余项**成果获得国家和省部级奖励
- 持续引领**TD-LTE、5G、下一代网络、移动物联网、人工智能**等技术产业发展，增强中国移动话语权和影响力

国家级重大荣誉



- TD-LTE关键技术与应用项目获**国家科技进步奖特等奖**
- TD-SCDMA关键工程技术研究及产业化应用项目获**国家科技进步奖一等奖**
- PTN、OTN等项目**三次**获**国家科技进步奖二等奖**
- LTE相关专利获**运营商唯一中国专利金奖**，其他专利获**一项专利银奖和十项优秀奖**

招聘方向

研究院招聘职位主要涉及：

➤ 网络研究类、人工智能类、开发类、无线研究类、物联网研究类、市场研究类、信息安全类等，需求覆盖通信类、电子类、计算机类、自动化类、数学类、统计学类专业

➤ 招聘流程

网申→笔试→测评→专业面试&综合面试→体检/审批→发放offer

➤ 网申入口

移动研究院招聘官网：

<https://wecruit.hotjob.cn>



关注移动研究院招聘公众号
更多详细信息持续更新中

谢谢!

中国移动研究院



中移智库

