



基于切片分组网（SPN）的彩光技术及组网方案

蔡谦, 李晗, 张德朝, 叶雯, 张婷婷, 王东, 李允博, 韩柳燕, 赵阳
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 随着 5G 的规模部署, 对传输网络提出更大带宽、更低时延的要求。作为面向 5G 的综合业务承载平台, 切片分组网 (SPN) 统一承载无线业务、家庭宽带业务和政企专线业务等, 业务量的激增迫使 SPN 汇聚层和核心层急需大带宽长距传输技术。对 SPN 彩光技术及组网方案进行研究, 包括业务需求、技术方案、组网方案、产业及标准进展等, 并进行实验室和现网测试, 验证 SPN 彩光组网功能和性能。

关键词: 切片分组网; WDM; 简化 OADM; OSC

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020242

Optical layer key technology and networking scheme based on SPN

CAI Qian, LI Han, ZHANG Dechao, YE Wen, ZHANG Tingting,

WANG Dong, LI Yunbo, HAN Liuyan, ZHAO Yang

Research Institute of China Mobile Communications Co., Ltd., Beijing 100053, China

Abstract: The large-scale deployment of 5G brings bandwidth and lower delay requirements to transport network. As a 5G oriented multi-service transport platform, SPN will transport wireless service, home broadband service, enterprise service and private line service. SPN distribution layer and core layer network will need huge bandwidth and support long range transport. The SPN optical layer key technology and network scheme were studied, also implemented to verify the function and performance of SPN optical layer.

Key words: slicing packet network, WDM, simplified OADM, OSC

1 引言

5G 定义了 eMBB、uRLLC、mMTC 三大业务应用场景。同时, 针对 5G 新应用场景, 无线空口以及核心网均提出了新架构以适应新需求。5G 新应用场景的提出、新空口的引入、新核心网的部

署对 5G 传输网络均提出了更加严苛的要求, 其中带宽增加 10~100 倍、时延降低 10~100 倍、支持灵活连接、网络软硬切片、更高精度同步以及统一管控。面向 5G 承载需求, 提出了面向 5G 的新一代传输技术体制——切片分组网 (slicing packet network, SPN)。

收稿日期: 2019-10-18; 修回日期: 2020-07-18

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2017ZX03001016)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project (No.2017ZX03001016)

SPN 分别在物理层、链路层和转发层采用创新技术,满足 5G 及未来传输网络需要,包括大容量接口技术 25 Gbit/s、PAM4 和 DWDM、时隙交叉传输平面 SE-TP、面向传输组网的灵活转发 SR-TP、超高精度时间同步技术等,同时控制面采用 SDN 进行统一管控。SPN 技术由切片分组层 (slicing packet layer, SPL)、切片通道层 (slicing channel layer, SCL)、切片传送层 (slicing transport layer, STL) 以及超高精度时间同步和管控一体平台构成。SPL 用于分组业务处理,包括客户业务信号以及对客户业务的封装处理 (L2VPN、L3VPN)、分组隧道处理以及分组业务与以太网二层 MAC 映射处理; SCL 基于 SE (slicing ethernet) 技术,提供硬管道交叉连接能力; STL 用于提供 FlexE 接口以及 IEEE 802.3 以太物理层编解码和传输媒介处理,其中传输媒介基于以太网 IEEE 802.3 标准,光层支持 DWDM 技术。SPN 技术架构如图 1 所示。

2 5G 传输网汇聚核心层组网需求

随着 5G 新空口带宽增加,传输网络带宽需求也相应增加。预计 5G 新空口低频站的均值带宽将达到 3 Gbit/s,峰值带宽将超过 5 Gbit/s,远大于 LTE 基站 440 Mbit/s 峰值带宽; 5G 新空口高频站的带宽将远大于低频站带宽。根据估算,5G 传送网接入层带宽将达 26 Gbit/s,汇聚和核心层带宽

将达到或超过 100 Gbit/s。由于 5G 传输网将同时承载多种业务,包括无线业务、家庭宽带业务、政企专线业务等,传输网的带宽要求将进一步提高,需超过 2 个 100 Gbit/s 的传输带宽且支持动态扩展。传输网在部署时,由于受到机房空间、供电、成本等限制,汇聚和核心机房资源将日益紧张或较难获得,从而导致机房间距加大,对汇聚和核心层传输距离将增至 80 km。

现有的汇聚层、核心层光层采用 100 Gbit/s 灰光方案,传输距离只能满足 40 km,多路 100 Gbit/s 需占用多根光纤及多个灰光模块,为满足未来汇聚、核心层及以上大带宽长距离传输要求,应考虑新的光层技术方案。基于现有技术以及建网思路,一种方案是采用“SPN 灰光+OTN 技术”实现,即 SPN 通过灰光 100 Gbit/s 和 OTN 互通,在 OTN 平面利用“彩光模块+DWDM”的波分设备实现大带宽长距离传输,“SPN+OTN”方案如图 2 所示。该方案通过两套设备实现,存在一些弊端。

(1) 成本高

需同时部署 SPN 与 OTN 设备,针对部分已部署 OTN 的站点,可只增加部署 SPN 设备,但针对尚未部署 OTN 的站点,需同时部署 SPN 与 OTN 两套设备。

(2) 功耗大

同时部署 SPN 与 OTN 设备,功耗将明显增

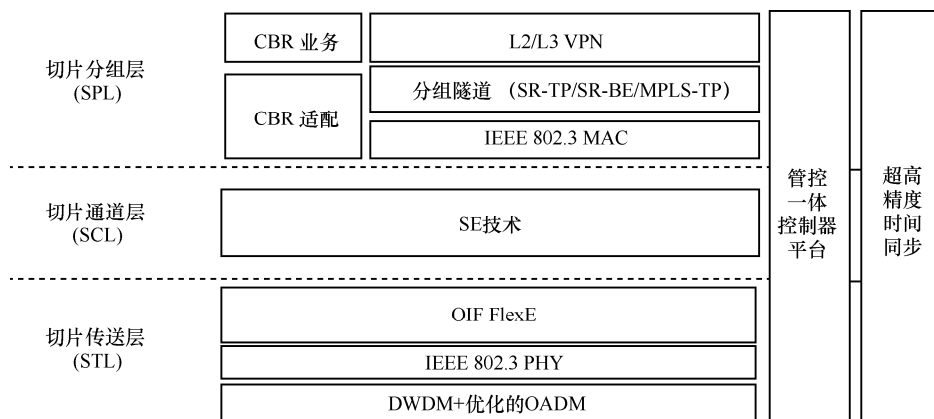


图 1 SPN 技术架构



大,对机房供电、散热等提出挑战。

(3) 端到端管控难

因涉及 SPN 和 OTN 两种设备类型,需进行跨设备协同,但因设备模型差异较大,进行端到端管控难度较大。

(4) 故障点增多,运维复杂

增加了 SPN 灰光接口与 OTN 灰光接口对接,OTN 设备故障等多个对接点和节点,导致潜在故障点增多,运维复杂度增加。

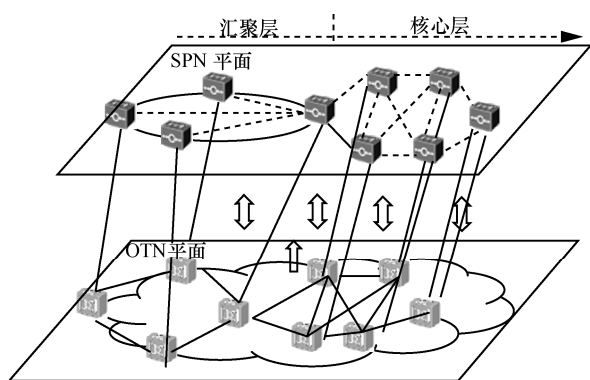


图2 “SPN+OTN”方案

基于以上分析,本文提出 SPN 彩光技术方案,以实现汇聚层、核心层大带宽长距离传输。该方案通过在 SPN 设备上集成彩光的方法,基于 WDM 在光层实现灵活的网络带宽扩展,同时采用简化的 OADM 实现业务灵活穿通,并支持彩光 OSC 管控。SPN 集成彩光方案如图 3 所示。

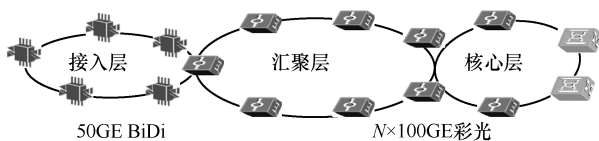


图3 SPN 集成彩光方案

3 5G 传输网 SPN 彩光技术方案

5G 传输网 SPN 将按照接入层、汇聚层和核心层进行部署。SPN 接入层基于 50GE BiDi 灰光组网,汇聚层和核心层基于 100GE 灰光或者 $N \times 100\text{GE}$ 彩光进行组网。汇聚和核心层 SPN 设备

支持彩光传输平面,基于 DWDM 波长复用,支持 $N \times 100\text{GE}$ 和单跨 80 km,实现汇聚和核心层的大带宽高效传输。

SPN 设备由数据转发平面、光传输平面和管理控制平面组成,SPN 设备系统结构如图 4 所示。数据转发平面包括分组交换、SE 交叉、OAM、保护、QoS、同步等模块,实现 G.mtn 接口(mtn 指 mobile transport network, G.mtn 为 ITU 定义的传输接口标准)、网络硬切片、L3 灵活连接、低时延转发、超高精度时间同步等功能,数据转发平面通过 UNI (user to network interface)、NNI (network to network interface) 和其他设备互通,其中 UNI 和无线设备或者核心网设备连接,NNI 和传输设备连接;管理控制平面包括路由、信令和资源管理等模块,基于 SDN 架构,实现对 SPN 设备及网络的管控,通过 PCEP 和 BGP-LS 业务路由的收集和下发,并通过 Netconf 实现设备的管理控制。

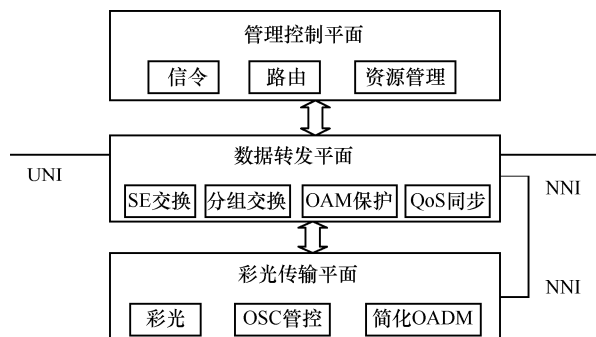


图4 SPN 设备系统结构

彩光传输平面包括彩光模块、光层波长复用、解复用和穿通、光信号放大、动态功率均衡、OSC 管控通道等部分,彩光模块支持 DWDM 可调波长配置,并通过 FEC 实现长距传输,SPN 彩光传输平面如图 5 所示。彩光传输平面基于 DWDM 波长复用技术,将多路波长复用到一根光纤中传输,实现汇聚层和核心层的大带宽高效传输。汇聚层设备基于 FOADM 架构,手工跳纤实现波长的穿通;核心层设备基于 FOADM 或者 ROADM,支

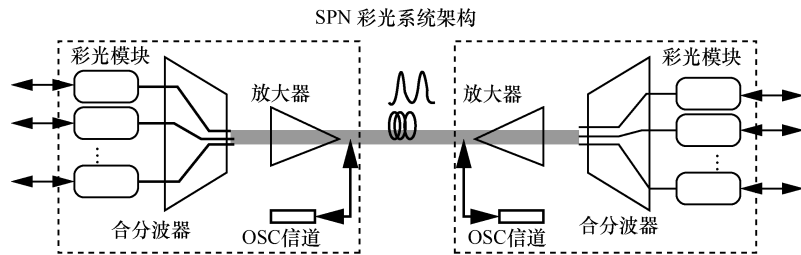


图5 SPN 彩光传输平面

持手动或者自动波长穿通。同时，该平面通过 OSC 管控通道，实现彩光波长、功率和告警控制等功能。

3.1 彩光模块

彩光模块实现业务数据在光层和电层之间转换，并实现业务光层长距传输。业务数据到达设备后通过 IP 层封装到 MAC 和 PHY 层；数据到达 PHY 层内部，进入光模块处理。设备和光模块在 PHY 层通过 Serdes 接口实现信息互通，SPN 设备和彩光模块接口如图 6 所示。

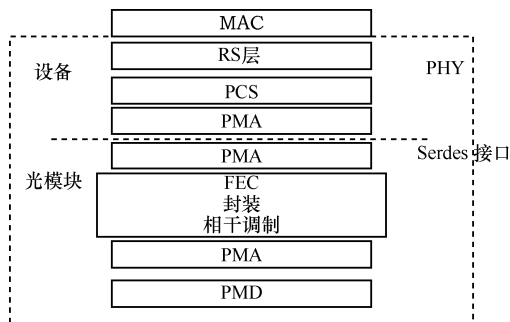


图6 SPN 设备和彩光模块接口

彩光模块包括 DSP、驱动器、TOSA 和 ROSA 等组件，如图 7 所示。DSP（数字处理器）负责相干调制、解调及 FEC 等电层处理功能，并将数据按照 G.709 方案封装发送。相干调制方式有多种，包括 QPSK、16QAM 和 64QAM 等，SPN 彩光模块建议采用 QPSK 调制方案。FEC 技术能提高传输增益，增大传输距离，目前支持 SPN 彩光模块的 FEC 方案包括：GFEC、SC-FEC、HD-FEC 或 SD-FEC。TOSA 为光模块的发送单元，包括激光器、调制器等器件，将信号通过不同波长发出。ROSA 为光模块的接收单元，包括探测器、放大器等器件，接收不同波长信号并转为电信号。

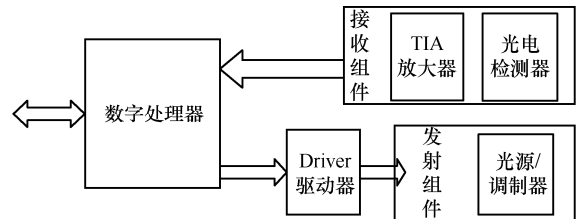


图7 SPN 彩光模块

对于光模块标准，除了 G.709 方案外，还有 IEEE 802.3 方案，主要区别在于 G.709 方案封装使用 OTN 头部格式并支持 >100 km 的传输距离，IEEE 802.3 方案封装使用 ETH 头部格式并根据 80 km 传输距离要求新定义模块的传输指标，如链路功率预算、色散代价、散热等。当前彩光模块主要基于 G.709 方案，IEEE 802.3 方案还处于标准讨论制定阶段，标准成熟后可用。

目前主流的 SPN 彩光模块均支持 CFP2 封装，并支持 DWDM 可调波长配置，波长分布在 C 波段。对于彩光模块封装，未来将采用更小的 QSFP28 封装。

3.2 简化 OADM

汇聚和核心层 SPN 设备需支持波长复用和解复用，并通过波长穿通实现更加灵活的核心汇聚层彩光波长组网，SPN 简化 OADM 方案如图 8 所示。SPN 采用简化 OADM 方案实现彩光波长复用、解复用和波长穿通。简化 OADM 方案包括合分波、PA/BA 等模块，合分波负责将多个波长复用到一根光纤以及将多个波长从一根光纤中解复用，PA/BA 实现彩光波长的功率放大及均衡功能。对于波长穿通，有两种方式，一种为手动的波长穿通，另一种为自动波长穿通。



FOADM 支持手动波长穿通, 通过外部光纤连接, 固定将一个或多个波长从合分波器转接到另一个合分波器, 实现固定波长穿通设备传输, 以上波长无须进入 SPN 设备内部电层处理, 其他波长则经过 SPN 设备进行电层处理。ROADM 支持自动波长穿通, 通过软件配置合分波器, 一部分波长穿通, 另一部分波长上下路, 实现更加灵活的彩光波长转发。FOADM 通过 AWG 器件实现, 成本较低, 但是维护上稍显复杂, 需要人工现场操作。ROADM 方案通过 WSS 器件实现, 成本较高, 管理维护较简单。

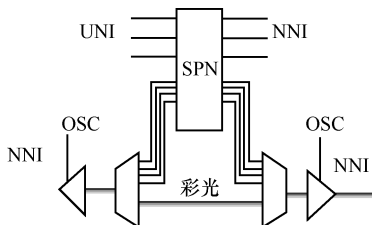


图 8 SPN 简化 OADM 方案

SPN 汇聚层设备将基于 FOADM 架构, 通过手工跳纤方式实现波长穿通; 核心层设备将基于 FOADM 或者 ROADM, 通过手动或者自动方式实现波长穿通。汇聚层设备应具备 16 波系统 DWDM 能力, 节点至少支持 4 波上下路能力; 核心层设备应具备 40 波 DWDM 能力, 节点至少支持 16 波上下路能力。

3.3 OSC 管控

SPN 彩光组网方案通过 OSC 管控通道实现单独的带外管理控制信息传输, SPN 彩光 OSC 管控通道如图 9 所示。SPN 波分复用板卡通过独立波长传输管控信息, 管控信息编码后, 通过 GE 接口发送到彩光光路上, 通过耦合器复用到线路侧光纤上, 发送到对端, 对端接收后, 解析管控波长, 发送到独立 GE 接口, 并完成管控信息解码, 实现 OSC 管控通道。

OSC 管控通道传输信息包括彩光波长、功率、1588 时间同步信息和告警控制等, 也可将 SPN 设备管理信息在 OSC 管控通道传输。

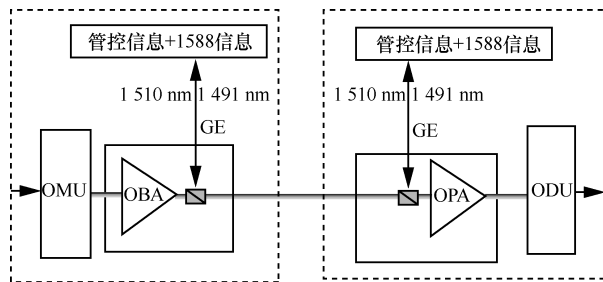


图 9 SPN 彩光 OSC 管控通道

OSC 支持单纤双向组网能力, 波长可采用 1 510 nm/1 491 nm, 且 OSC 信息逐节点处理。

4 5G 传输网 SPN 彩光组网方案

大带宽和长距传输是 SPN 彩光的两大场景需求。未来 SPN 不仅能够满足 5G 业务承载需求, 也可通过不同业务分片实现对集团客户专线、家庭宽带等多样化业务的大带宽综合承载, 从而将导致大量业务将在核心汇聚层聚集。SPN 彩光方案作为 SPN 汇聚层及核心层主要组网方案, 满足大带宽和长距传输需要, 5G 时代 SPN 彩光组网示意图如图 10 所示。彩光组网方案包括逐点组网和穿通组网两种方式, 彩光逐点组网即每两端 SPN 设备之间采用彩光连接, 逐点总结并进行电层相关处理 (路由切片和统计复用等), 彩光穿通组网即端到端彩光光层组网, 彩光波长在业务的源宿 SPN 彩光节点进行处理, 中间节点穿通传输彩光波长, 节省中间节点的彩光模块。彩光逐点组网适用于带宽复用高和灵活转发业务, 彩光穿通组网适用于刚性大带宽和固定路径转发业务。在实际组网中, SPN 的两种彩光组网方式将混合使用。

SPN 彩光集成方式分为外置和内置两种, 外置即通过外置光子架的方式实现合分波, 而内置则直接将合分波功能做到板卡上, 形成一张合分波板, 该板卡可直接插入 SPN 槽位当中。对彩光波长、功率和告警控制等功能性能的管控将通过 OSC 管控通道实现。

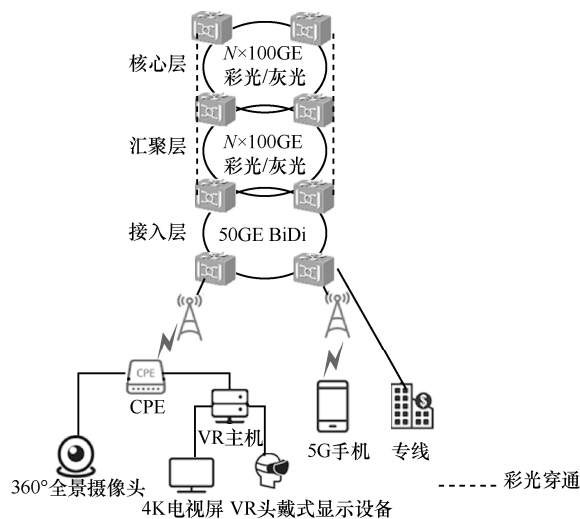


图 10 5G 时代 SPN 彩光组网示意图

5 5G 传输网 SPN 彩光测试

中国移动已牵头组织 SPN 彩光的多轮实验室测试，产品已具备商用能力。在正在进行的中国移动 SPN 入网测试中，华为、中兴、烽火、诺基亚及爱立信五大 SPN 主流厂商均拿出了 SPN 彩光产品以供测试，本次测试对彩光模块的性能、WDM 接口的 Sn/Rn 参考点性能、MPI-Sm 和 MPI-Rm 光接口性能、主光通道的 OSC 接口性能及大组网场景下的功能、性能等进行了验证。从已测试的结果可知，各主流厂商已具有较成熟的 SPN 彩光解决方案，可实现大带宽的灵活扩展，内置和外置集成方式均有实现，相关性能和 OSC 管控能力基本能够满足现网需求。

SPN 彩光已具备异厂商互联互通能力。在 2019 年 5 月的光网络论坛现场，中国移动携五大主流 SPN 设备商和三大 SPN 专用测试仪表商共同向业界首次展示了 SPN 彩光互联互通能力，Opinet 论坛 SPN 彩光互联互通现场演示拓扑如图 11 所示。本次现场演示成功展示了多厂商 4×100GE 彩光互联互通、50GE BiDi 灰光互联互通及 100GE G.mtn 接口灰光互联互通的能力，同时验证了异厂商 SPN 保护能力和 SPN 对多种业务的综合承载能力。

SPN 彩光产业链包括设备商、光模块厂商、芯片及器件厂商，经过近两年的推动，SPN 彩光产业链已逐渐成熟，但由于彩光相干光器件结构复杂，指标要求高，相干 DSP 算法复杂，需采用高速数字逻辑芯片，导致彩光模块成本较高，后续需推进彩光模块及器件的新技术应用降低成本。未来将在国际、国内标准组织推进相关彩光技术标准化，进一步促进 SPN 彩光方案的成熟，提高性价比并实现规模应用。

6 结束语

本文提出的 SPN 彩光技术方案满足未来传输网综合业务承载需要，满足大带宽、长距离等高效传输需求，相比现有方案，具有更高性价比，并可实现对业务网络的统一管理控制。SPN 彩光技术方案已在设备层面实现，支持未来城域核心、汇聚层大带宽传送需求。

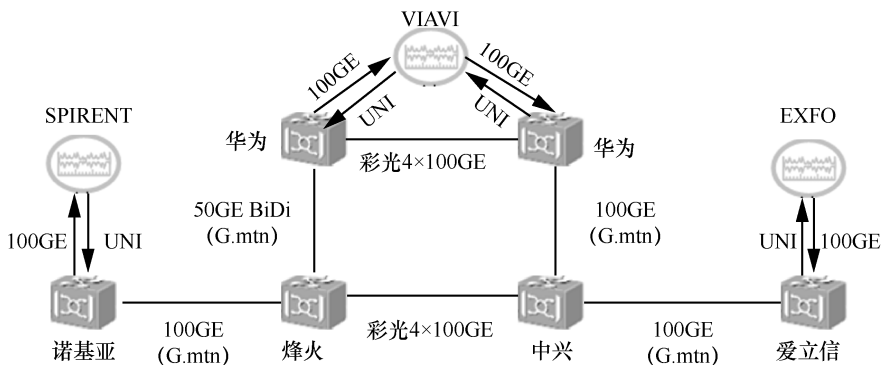


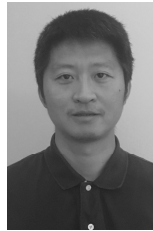
图 11 Opinet 论坛 SPN 彩光互联互通现场演示拓扑



参考文献:

- [1] COHEN G, BALA K. WSS technology for the next generation ROADM networks[C]//Proceedings of 2011 SPIE. [S.l.:s.n.], 2011.
- [2] 冯建和, 纪越峰, 管克俭. 基于 AWG 实现 OADM:模型与方法研究[J]. 通信学报, 2001, 22(7): 111-116.
- FENG J H, JI Y F, GUAN K J. Implementation of OADM based on AWG: model and method [J]. Journal of Communications, 2001, 22(7): 111-116.
- [3] 朱思. DWDM 传输系统网管互通技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- ZHU S. Research on network management interworking technology of DWDM transmission system[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011.
- [4] 赵春华. ROADM 在光层组网中的配置及应用[J]. 电信科学, 2014(6): 148-151.
- ZHAO C H. Configuration and application of ROADM in optical layer networking [J]. Telecommunication Science, 2014, 30(6): 148-151.
- [5] 肖礼, 袁志林, 付成鹏, 等. 智能城域光传输网及核心光器件[J]. 电信科学, 2019, 35(4): 39-46.
- XIAO L, YUAN Z L, FU C P, et al. Intelligent metropolitan area optical transmission network and core optical devices [J]. Telecommunication Science, 2019, 35(4): 39-46.
- [6] 陈佳男, 仇亚. PTN/OTN 传输技术在运营商城域网中的应用探析[J]. 中国新通信, 2016, 18(23): 120.
- CHEN J N, QIU Y. Application of PTN / OTN transmission technology in operator's metropolitan area network [J]. China new communications, 2016, 18(23): 120.

[作者简介]



蔡谦 (1978-), 男, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 5G 回传网络 SPN 和前传网络 Open-WDM 的研究工作。

李晗 (1975-), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要从事 SPN/PTN、前传 Open-WDM、OTN/WDM、PON 和同步等光通信领域策略、标准和技术研究工作。

张德朝 (1979-), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院高级工程师, 主要从事 SPN/PTN、OTN/WDM、前传 Open-WDM、PON 和同步等光传输与接入网领域技术研究和标准化工作。

叶雯 (1986-), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 PTN、SPN 的研究工作。

张婷婷 (1988-), 女, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 PTN、SPN 的研究工作。

王东 (1986-), 男, 博士, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 OTN、WDM 的研究工作。

李允博 (1975-), 男, 博士, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 OTN、WDM 的研究工作。

韩柳燕 (1982-), 女, 博士, 现就职于中国移动通信有限公司研究院, 主要从事 PTN、SPN 和同步技术的研究工作。

赵阳 (1985-), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院工程师, 主要从事 OTN/WDM、SOTN、前传 Open-WDM 的研究工作。