

新一代光缆通信网传输与组网技术分析

江尚军¹,王增²,吴锦虹¹,罗青松¹

(1.中国电子科技集团公司第三十四研究所,广西 桂林 541004;2.军事科学院 系统工程研究院,北京 100141)

摘要:基于“高速化、智能化、自主化”三大应用需求,提出了新一代光缆通信网总体架构,分析了光缆通信网骨干层传输体制及关键技术、光缆通信接入层传输体制及关键技术、光缆通信网管控架构及关键技术,介绍了光缆通信网自主可控架构和发展建议,可为光缆通信网规划建设、光通信设备开发应用提供参考和指导。

关键词:光缆通信网骨干层;光缆通信网接入层;光传送网;分组增强型光传送网;智能管控;自主可控

中图分类号:TN915 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2022)06-0077-05

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.06.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of transmission and networking technology in the new generation optical cable communication network

JIANG Shangjun¹, WANG Zeng², WU Jinhong¹, LUO Qingsong¹

(1.The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China;

2. Institute of Systems Engineering, Academy of Military Sciences, Beijing 100141, China)

Abstract: Based on the three application requirements of "high speed, intelligence and autonomy", this paper presents the general architecture of the new generation optical cable communication network. The transmission system and key technologies of optical cable communication network backbone layer, the transmission system and key technologies of optical cable communication network access layer, the management and control architecture and key technologies of optical fiber communication network are analyzed, the autonomous controllable structure and development suggestions of optical cable communication network are introduced. It can provide some reference and guidance for the planning and construction of optical cable communication network and the development and application of optical communication equipment.

Key words: optical cable communication network backbone layer, optical cable communication network access layer, optical transport network, packet enhanced optical transport network, intelligent control, autonomous control

0 引言

目前,光缆通信网干线单波道传输速率为 100 Gb/s 的系统已规模商用。随着大数据、云计算、物联网和宽带移动通信等技术的发展,以及 5G 网络的建设应用,高速数据、实时图像、高清视频和视讯会议等新型宽带业务不断增长,现有光缆通信网传输容量已无法满足各类业务系统不断增长的带宽需求,需要更大的光缆通信网带宽支撑。

收稿日期:2021-11-17。

作者简介:江尚军(1979—),男,高级工程师,主要从事光网络规划和长距离光缆通信系统设计与工作,主持参与了多个光缆网总体设计、跨海光缆通信系统科研项目,参与起草了多个光通信方面的国家军用标准和电子行业标准,科研成果曾获得国防科学技术进步奖三等奖。



现有光缆通信网采用多厂家同步数字体系(SDH)设备、分组传输网(PTN)/IP 化移动回传网(IP RAN)设备、密集波分复用(DWDM)设备和光传送网(OTN)设备等构建。这种多种技术体制、多厂家设备共存的多域异构光缆通信网存在跨层协同能力不强、跨域互通困难和统一管控能力不足等问题,无法实现全网资源的统一管控和按需服务,制约了网络组织应用及整体效能的发挥。此外,我国的光缆通信网现网设备尚未实现完全国产化,设备中的高性能专用芯片、高速率光器件、操作系统和数据库等关键软硬件对国外依赖程度较高,存在一定的供应链风险和安全隐患,对光缆通信网后续的维护保障、升级换代造成影响。

针对上述问题,新一代光缆通信网呈现出“高速化、智能化、自主化”三大应用需求和“多层次网络架

构、大容量高速组网、多业务统一承载、灵活化连接调度、智能化协同管控以及自主化等级提升”六大技术特征。因此,需在现有光缆通信网基础上扩容升级以满足各类业务系统不断增长的带宽需求,加强智能化升级改造以提供全网资源的智能管控和按需服务能力,推进国产芯片研制验证及国产化设备开发工作以提供自主可信的网络信息服务保障能力。本文基于上述三大应用需求和六大技术特征,提出新一代光缆通信网总体架构。

1 新一代光缆通信网总体架构

新一代光缆通信网是各类业务网系的公共承载平台,不仅为这些业务网系提供信息宽带传输、业务接入调度和资源管理控制等功能,还要提供自主安全可靠等方面的性能保障。新一代光缆通信网总体架构如图1所示,主要包括传送平面和管理控制平面,同时具备自主化的设备支持能力。传送平面提供骨干层、接入层的大容量端到端传输通道,管理控制平面实现网络资源端到端协同管控,自主化设备为传送平面、管理控制平面提供自主安全保障支撑。这三者的具体特点如下:

◆传送平面具备分层组网架构、灵活连接调度和多业务统一承载^[1]。新一代光缆通信网传输架构分为骨干网和接入网2个层面,骨干层采用栅格形组网结构,接入层为环形组网结构;通过网络资源的软硬管道隔离技术,提供业务连接的灵活调度和组网路由功能,提升业务质量体验和网络带宽效率;支持E1/FE/GE/10GE/100GE、异步转移模式(ATM)、同步转移模式STM-1/4/16/64和光转换单元(OTU)的OTU1/2/2e/3/3e/4等业务统一承载,充分发挥基础承载网络的价值。

◆管理控制平面支持统一管控、协同控制和智能运维^[1-2]。新一代光缆通信网的管理控制平面具备面向软件定义网络(SDN)架构的管理控制能力,提供业务和网络资源的灵活配置能力,并具备自动化和智能化的网络运维能力。

◆自主化设备具备软硬件自主可控能力。新一代光缆通信网的

自主化设备具备较高的自主可控等级,设备关键组成部分(软件、硬件及模块)完全自主研发或采用国产器件设计,实现光通信设备从硬件到软件的自主研发、生产、升级和维护的全程可控。

2 新一代光缆通信网传输架构及传输关键技术

2.1 新一代光缆通信网传输架构

新一代光缆通信网传送平面中的骨干层主要为省级网、城域网提供干线网络连接,接入层主要为地区业务汇聚点之间、用户到地区接入网提供网络连接,其组网架构如图2所示,可实现多层级网络架构、大容量高速组网、灵活化连接调度和多业务统一承载等关键功能特性。

2.2 新一代光缆通信骨干层传输体制及关键技术

现有光缆通信网骨干层采用DWDM+OTN混合技术体制,单波道传输速率达100 Gb/s,开通波道数目为80波,可提供单纤8 Tb/s以上的信息传输能力。DWDM系统在1根光纤上同时传送多个不同波长的光载波,使得光纤的传输能力成倍增加,但主要采用点对点的应用方式,缺乏有效的网络维护管理手段。OTN传输体制包括光层和电层完整的体系结构,可在光层及电层实现波长和子波长业务的交叉调度,提供灵活的基于电层和光层的业务保护功能^[3]。新一代光缆通信网骨干层采用100 Gb/s及以上速率的OTN技

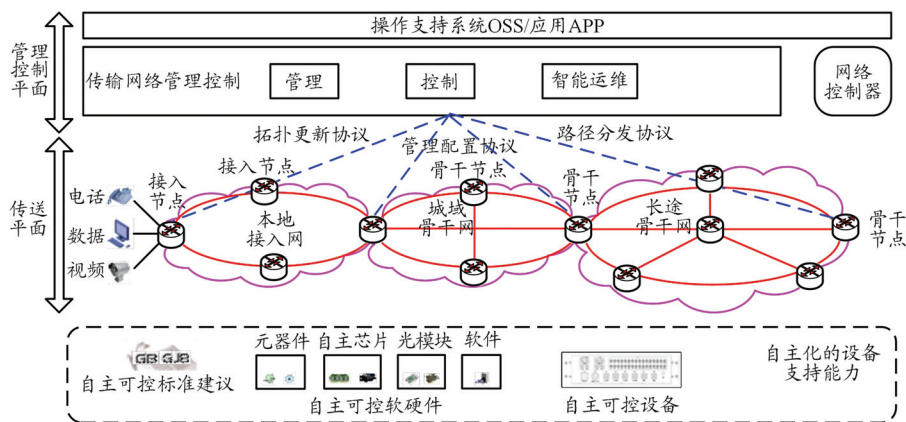


图1 新一代光缆通信网总体架构

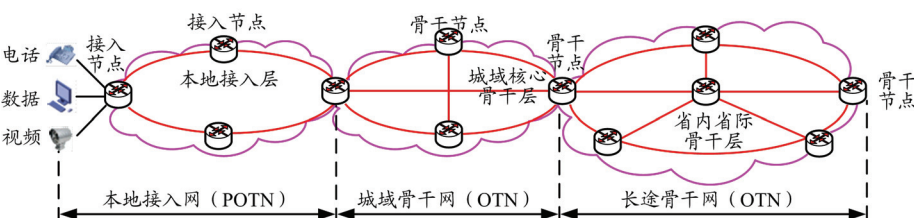


图2 新一代光缆通信网传送平面组网架构

术体制,实现从 DWDM+OTN 混合技术体制向智能 OTN 技术体制升级换代。DWDM 技术与 OTN 技术的对比情况如表 1 所示。

表 1 DWDM 技术与 OTN 技术对比情况

对比项目	DWDM 技术	OTN 技术
支持业务类型	支持 STM-N SDH 业务、OTU1/2/2e/3/4 OTU 业务、FE/GE/10GE 以太网业务等	支持 STM-N SDH 业务、OTU1/2/2e/3/4 OTU 业务、FE/GE/10GE 以太网业务等
OSC 光监控通道	具备	具备
光通道波长调度能力	不具备	具备
光层保护恢复能力	不具备	具备
电路调度和保护能力	不具备	具备
操作维护管理能力	较弱,缺乏网络维护管理手段	强,帧结构中有开销管理字节

不同于采用“强度调制+直接探测”的传输速率为 10 Gb/s 及以下的光传输系统,单波道传输速率为 100 Gb/s 及以上的 OTN 传输系统是一个融合新型码型调制技术、高光信噪比容忍度和高灵敏度检测接收技术的复杂综合系统^[4-6]。新一代光缆骨干层关键技术包括多维度多进制调制技术、相干接收及电域处理技术和前向纠错编码技术等。其中,多维度多进制调制技术是在一个符号上承载多个比特信息以提高频谱效率,降低符号发送的波特率,减小基带带宽与之相关的色散和偏振模色散,降低对传输通道和光电器件带宽的要求;相干接收及电域处理技术可以在相干检测的同时获知光场的偏振、幅度和相位信息,并利用本振光源获得更高的接收机灵敏度和更好的光信噪比灵敏度,采用数字信号处理的方法,消除色散和偏振模色散导致的眼图畸变和码间干扰;前向纠错编码技术的原理是在发送端编码时加入冗余校验比特,在接收端通过解码对效验比特进行一定的计算,纠正码流中的错误,从而改善系统误码性能。另外,若采用高冗余度的超强前向纠错技术和软判决译码方式可获得更高的编码增益性能。

2.3 新一代光缆通信网接入层传输体制及关键技术

现有光缆通信网本地接入层主要采用 SDH、PTN/IP RAN 和分组光传送网(POTN)技术体制,几种技术体制对比情况如表 2 所示。可以看出,POTN 技术融合了 PTN 和 OTN 技术,具备 SDH 时分复用业务、IP 分组业务和 OTU 业务等全业务承载功能,可实现分组数据和时分复用(TDM)/OTN 之间的灵活适配与互通;向

表 2 本地接入层 SDH 技术、PTN/IP RAN 技术、POTN 技术对比情况

对比项目	SDH 技术	PTN/IP RAN 技术	POTN 技术
支持业务类型	支持 E1、FE/GE/10GE、ATM、STM-1/4/16/64 等	支持 E1、FE/GE/10GE、ATM、STM-1/4/16/64 等	支持 E1、FE/GE/10GE、ATM、STM-1/4/16/64、OTU1/2/2e 等
业务交换类型	电路交换	分组交换	统一信元交换
IP 业务占用带宽	固定	灵活	灵活
IP 业务承载效率	较低,刚性管道	高,柔性管道	高,刚性+柔性管道
服务质量	高可靠	对 IP 业务提供多等级具有质量保障的服务	对 IP 业务提供多等级具有质量保障的服务
保护恢复能力	50 ms 电信级	50 ms 电信级	50 ms 电信级
OAM 操作维护管理能力	强	强	强
网络架构	IP/SDH/OTN 三层架构	IP/PTN/OTN 三层架构	IP/OTN 两层架构

上兼容 OTN 制式,向下兼容 SDH、PTN 制式,能适应业务 IP 化和网络扁平化发展趋势^[7-8]。随着业务趋于 IP 化,光缆通信网从传输话音业务为主向传输分组业务为主转变。为提高业务快速开通部署和分组业务高效灵活承载能力,新一代光缆接入网应向适应 IP 业务灵活接入的技术体制发展,实现向 POTN 技术体制演进,满足业务 IP 化和网络扁平化发展需要。

基于 POTN 技术体制的新一代光缆接入网关键技术包括统一信元交换技术、多业务统一承载技术等^[9-10]。其中,统一信元交换技术采用支持基于信元交换的统一交换矩阵,对各种业务协议透明,可以任意调整分组和 TDM 业务的比例而保持总的交换能力不变,且统一交换平面可大幅降低了设备功耗和体积,符合绿色节能的理念;多业务统一承载技术能实现分组、OTN 和 SDH 等各类业务的统一承载功能,作为集成 OTN、时分复用和分组技术于一身的统一传送平台,可根据业务的类型选择最佳的传送方式,具有简化网络层次、减少设备堆叠以及便于网络运营和维护等优势。

3 新一代光缆通信网管控架构及管控关键技术

3.1 新一代光缆通信网管控体制

现有光缆通信网兼容 DWDM、OTN、SDH 和 PTN/IP RAN 等多种技术体制,包含华为、中兴和烽火等多个厂家设备。在光缆通信网统一管控方面,包括网络

管理系统(GNMS)域间互通管理技术、外部网络节点接口(E-NNI)域间互通控制技术、路径计算单元(PCE)域间路由控制技术和软件定义光网络(SDON)统一管控技术,4种互通管控技术对比情况如表3所示。其中,SDON统一管控技术将网络设备的控制平面与传送平面分离,利用层次化控制器结构、多域控制器和域内控制器分别实现对域间、域内资源的管控^[11-12]。新一代光缆通信网采用基于SDON的统一管控机制,实现控制与转发分离、逻辑集中控制和网络能力开放,提高光缆通信网业务跨域互通、资源统一管控和设备快速部署能力。

表3 光缆通信网互通管控技术对比情况

对比项目	GNMS 域间互通管理技术	E-NNI 域间互通控制技术	PCE 域间路由控制技术	SDON 统一管控技术
应用平面	管理平面	控制平面	控制平面	控制平面
管理方式	集中式	分布式	集中式或分布式	集中式控制, 分布式部署
可扩展性	较差	较好	较好	较好
应用情况	网管监控结合人工调度	未实际应用, 协议标准不完善, 各厂家设备支持程度有差异	在智能 SDH 设备上跨域调度, 需要适配不同厂家设备私有接口协议。	进行了 OTN 跨厂商、多域组网测试, 验证了可行性
统一管控和跨域调度能力	只能监测, 不能控制	无法实现, 协议标准不完善, 各厂家设备支持程度有差异	具备路径选择和计算功能, 需要与其他控制机制配合。	具备, 电信采用协同控制器完成不同厂家的 OTN 设备跨域互通测试

3.2 新一代光缆通信网管控架构

新一代光缆通信网通过 SDN 架构实现端到端网络和业务的协同,提升业务自动化开通部署和智能运维能力。新一代光缆通信网管控架构如图3所示,采用应用层、SDN 多域控制层、单域控制层和物理设备层4层管控架构,包括多域控制器、单域控制器、相关管理系统以及相应的协议和接口。应用层负责针对不同厂商、不同传输体制光缆网的跨域连接、按需带宽等功能进行抽象处理;SDN 多域控制层主要负责全网信息收集、维护与应用层和单域控制层的关系,并根据应用层的功能要求进行功能实现;单域控制层负责各厂商设备内部的资源管理和调度;物理设备层负责具体物理功能的实现,提供业务端到端传输通道。

3.3 新一代光缆通信网管控关键技术

新一代光缆通信网管控关键技术主要包括跨域

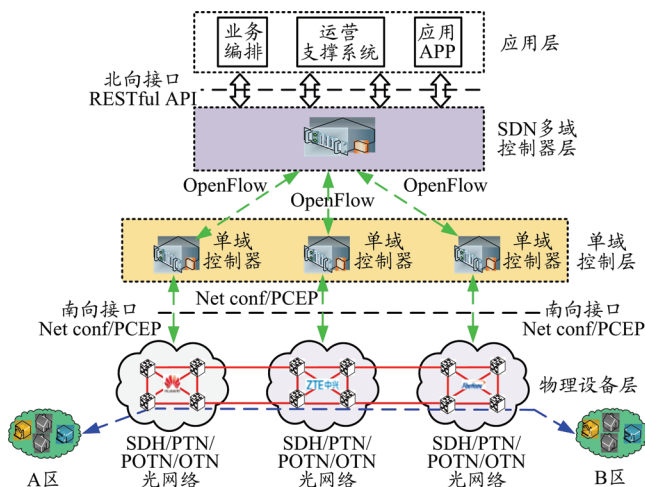


图3 新一代光缆通信网管控架构

业务快速调度/恢复技术、多层网络管控技术和南北向接口协议^[13-14],具体介绍如下:

①跨域业务快速调度/恢复技术。跨域连接控制采用域内集中控制和域间分布式控制相结合的半集中式控制方式来优化建路时间,采用多域故障责任推挽的域间故障定位方法缩短故障恢复时间。

②多层网络管控技术。采用统一的多层管控网络模型,实现分组、SDH、OTN 和光层等网络技术的信息建模,定义用户统一的北向接口信息模型。

③南北向接口协议。新一代光缆通信网管控架构由南向向北分为传送平面、控制平面和应用平面。传送平面涉及多种传输体制,控制平面与传送平面之间的南向接口可采用多种网络协议,如网络配置协议(Netconf)、路径计算单元通信协议(PCEP)等;控制平面与应用平面之间由 SDN 北向接口负责通信,控制平面向上层应用提供基于表现层状态转移(Restful)协议的应用程序接口(API),实现网络的开放和可编程能力;控制平面多域控制器和单域控制器之间接口基于 OpenFlow 协议,并根据层次化 SDN 组网需求进行扩展。

4 新一代光缆通信网自主可控架构及发展建议

围绕国家自主创新发展战略,为了降低核心器件、基础软硬件对国外依赖程度,确保光缆通信网的信息传输安全,新一代光缆通信网采用基于国产软硬件平台的光通信设备,消除使用进口器件对光缆通信网运行带来的潜在威胁和制约,提高光缆通信网的安全可信能力等级,保障光缆通信网的运行维护、升级换代,形成从技术、软硬件、设备到系统的完整自主可控体系。新一代光缆通信网自主可控体系架构如图4

所示,主要包括自主可控顶层设计、自主可控光缆网、自主可控光通信设备、自主可控设备的关键软硬件和光纤光缆传输设施。在整个体系中,自主可控光通信设备对上支撑光缆网顶层设计及传输设施的自主可控,对下指导设备关键软硬件自主可控的规划和实施,是自主可控光缆通信网的“枢纽”和工作重心。

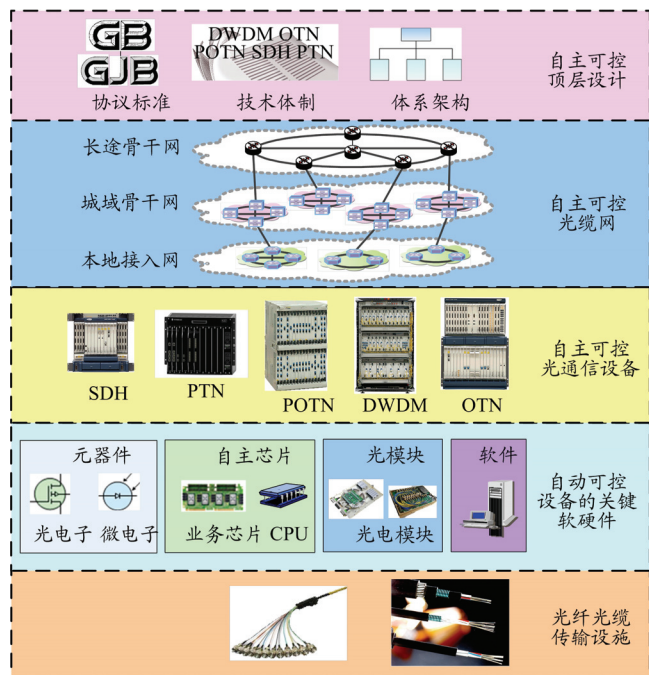


图4 新一代光缆通信网自主可控体系

新一代光缆通信网自主可控总体发展目标按照“夯实基础、填平补齐、逐步推进”的原则,其自主可控等级从依赖级向主导级演进,最终实现光通信设备及技术体制整体架构完全自主化。在光通信设备完全自主化方面,依托国产化软硬件成果条件,突破面向自主核心部件的软硬件适配、整机设计技术,设备采用的中央处理器(CPU)、可编程逻辑阵列(FPGA)、操作系统和数据库等关键软硬件全为自主化产品,完成了OTN、SDH、PTN和POTN等设备的国产化改造。在技术体制整体架构完全自主化方面,掌握完整的核心技术链,建立全过程的保障体系,形成自主可控光缆通信网标准规范、评估机制及准入制度,实现光缆通信网体系架构的自主可控。

5 结束语

光缆通信网中各类业务系统不断发展、网络架构革新变化等为光缆通信网传输与组网技术的快速发

展提供了契机。新一代光缆通信网总体架构由自主可控的传送平面、管理控制平面等构成,传送平面实现大容量高速组网和多业务统一承载,管理控制平面提供多层多域网络的统一管控和智能运维,自主化装备为光缆通信网提供自主安全保障支撑。从传送平面的技术发展来看,100 Gb/s及以上OTN是光缆骨干网的主流技术体制,10~100 Gb/s POTN是光缆接入网的发展方向,OTN+POTN的网络架构适应未来通道宽带化、业务IP化和网络扁平化发展趋势。从管理控制平面的技术发展来看,基于SDON的统一管控机制满足多层多域异构光缆通信网业务跨域互通、灵活控制和快速部署要求。从光缆通信网装备自主可控发展来看,消除供应链风险隐患、提升装备自主可控等级、保障网络运行维护和升级换代至关重要,同时应遵循填平补齐、逐步推进的原则,支撑光缆通信网自主可控体系架构的建立。

参考文献:

- [1] IMT-2020(5G)推进组. 5G 承载网络架构和技术方案白皮书[R]. 北京:IMT-2020(5G)推进组,2018.
- [2] IMT-2020(5G)推进组. 5G 承载需求白皮书[R]. 北京:IMT-2020(5G)推进组,2018.
- [3] 中国通信标准化协会. 光传送网 (OTN) 网络总体技术要求: YD / T1990-2009[S]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [4] 甄学伟, 胡启明. 对 100G OTN 系统关键技术及主要故障的几点思考[J]. 信息通信,2019(7):156-157.
- [5] 陆源, 白立武, 张立明. 面向大数据时代的超 100G 波分技术应用分析[J]. 信息通信技术,2020(6):74-80.
- [6] 福宝全, 张海宾. 100GOTN 技术及组网建设研究 [J]. 信息通信,2017,173(5):169-171.
- [7] 中国通信标准化协会. 分组增强型光传送网络总体技术要求: YD / T 2939-2015[S]. 北京:人民邮电出版社,2016.
- [8] 中国通信标准化协会. 分组增强型光传送网设备测试方法: YD / T 3404-2018[S]. 北京:人民邮电出版社,2019.
- [9] 李雯, 周微微, 刘光. 基于统一承载平台的 POTN 组网方案研究[J]. 数字通信世界,2018(4):9-10.
- [10] 丁伟强, 黄宏波, 曹静, 等. 面向泛在电力物联网的传输网发展分析[J]. 浙江电力,2019(12):50-56.
- [11] 中国通信标准化协会. 软件定义光网络 (SDON) 总体技术要求: YD / T 3401-2018[S]. 北京:人民邮电出版社,2019.
- [12] 中国通信标准化协会. 软件定义光传送网 (SDOTN) 控制器层间接口技术要求: YD / T 3417-2018[S]. 北京:人民邮电出版社,2019.
- [13] 赵阳. 基于 OpenFlow 的 IP 和光传送网统一控制关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2017.
- [14] 周宇. 面向 IP 及光网络融合的控制技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2018.