

开放光网络分层架构及 关键技术研究


Research on Hierarchical Architecture and Key Technologies of Open Optical Networks

焦明涛, 刘刚, 王俊峰, 易圣, 段宏 (中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)
Jiao Mingtao, Liu Gang, Wang Junfeng, Yi Sheng, Duan Hong (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

开放光网络已成为业界共识, 讨论了开放光网络的演进历程, 归纳了其基本特征, 总结了当前光网络开放的解耦进展, 提出开放光网络分层解耦的技术架构, 并针对基于白盒主控操作系统的 L2 层级开放解耦提供技术建议, 最后对开放光网络的演进趋势和应用前景做出进一步设想。

关键词:

开放光网络; 白盒操作系统; 模块化波分
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.002
文章编号: 1007-3043(2024)12-0008-06
中图分类号: TN913
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

Open optical networks have become a consensus in the industry. It discusses the evolution of open optical networks, summarizes their basic characteristics, and reviews the current progress. It provides a systematic layered decoupling architecture for open optical networks and offers technical suggestions for L2-level open decoupling based on white-box master control operating systems. Finally, it concludes with further speculation on the evolution trends and application prospects of open optical networks.

Keywords:

Open optical networks; White-box operating systems; Modular WDM

引用格式: 焦明涛, 刘刚, 王俊峰, 等. 开放光网络分层架构及关键技术研究[J]. 邮电设计技术, 2024(12): 8-13.

0 引言

光网络伴随低损耗光纤的诞生而出现, 经过半个世纪的发展, 光网络目前已经成为承载通信业务的基础网络, 现有的光网络系统从功能上可以划分为负责电信号处理及光电转换的电层系统和实现光信号复用及长距离传输的光层系统, 光网络通过光层设备和电层设备的协同, 为全网提供 2 M~400 G 多种速率的

刚性通信管道。

光电芯片集成度的不断提升、对降低单 G 比特传输成本无止境的追求以及越来越强烈的网络 SDN 化及自主可控诉求, 使得光网络逐渐从封闭走向开放解耦。运营商及 OTT 厂商集中采购模块化波分、OTN-CPE 等开放光网络设备, 自主研发开放光网络管控系统实现多厂家开放光网络设备统一纳管, 通过开放网络获取更大的网络自主权, 实现网络的灵活控制和快速业务部署, 光网络的开放解耦已逐渐成为一个重要的行业发展趋势。本文将重点描述开放光网络发展

收稿日期: 2024-12-04

历程、架构、关键技术和演进趋势^[1-7]。

1 开放光网络演进历程

光网络由一条条独立的光网络通道交织而成,光网络通道由光传输系统设备及光纤构成,光传输系统设备内集成数十种重要光电器件,实现光信号的收发、转换与高可靠传递,同时引入时分复用技术和频分复用技术尽可能地降低通道的成本。

由于光网络的高度复杂性,为确保光网络的可靠性和可维护性,底层光传输系统和对应的管理系统均由一个设备商集成整合,导致光传输系统端到端必须为同一供应商,其他厂商系统无法介入,不同厂商传

输系统只能通过客户侧转接才能互通,形成封闭的光网络系统。封闭光网络系统横向之间互通成本高,纵向难以和上层业务联动,随着网络需求的持续变化,封闭光网络系统已逐渐成为未来光网络向弹性敏捷方向演进的障碍。

开放光网络技术最先体现于开放式海缆(Open Cable)架构,可以满足不同共建方独立扩容系统的需求。该架构要求海缆端站部分、登陆站部分与水下部分开放解耦,可以实现多厂家传输端站设备的任意接入、高精度波长管理及业务的快速开通,其架构如图1所示。

开放式海缆架构引发针对开放光线路系统的广

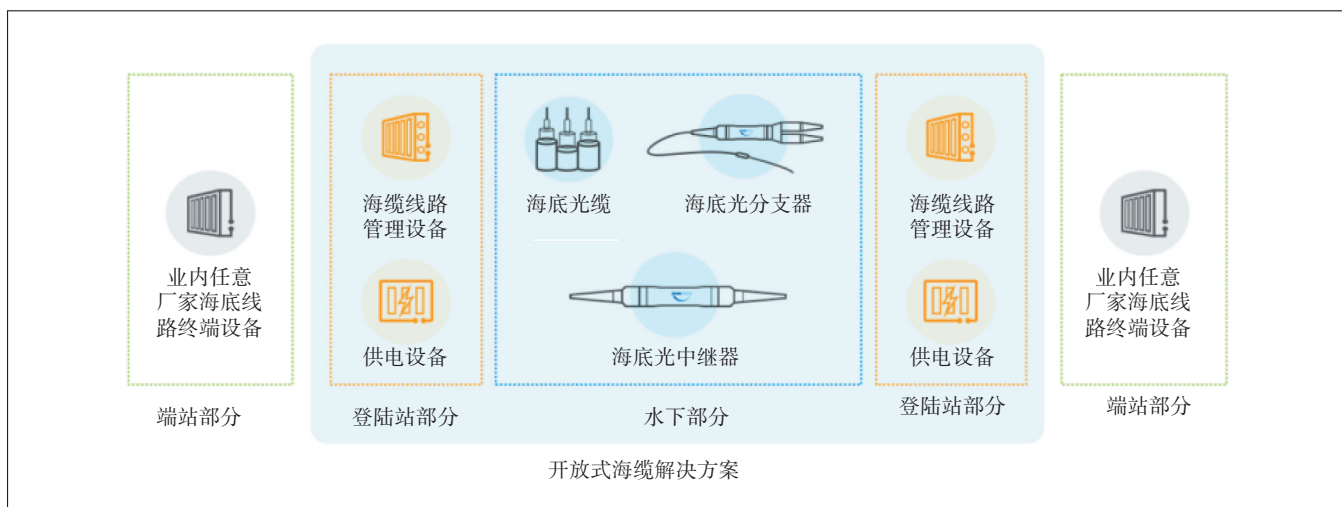


图1 开放式海缆解决方案

泛讨论^[8-9],根据光网络分析机构IHS在2014年的调查结果显示,超过50%的运营商表示在未来2年会部署开放光线路系统,开放光网络进入萌芽状态。

针对运营商的部署意愿,2016年9月ITU-T SG15Q8同意将Open Cable作为G.977.1研究的新标准;2019年4月SubOptic大会发布了Open Cable白皮书;2020年2月ITU-T会议上讨论了G.977.1草案,确定相关设计原则;2020年12月,CCSA“下一代光传送网产业与技术标准推进委员会(TC618)”成立,推动CCSA的open cable标准立项,加快开放光网络技术在城域光模块和WDM传输领域的应用^[10-13]。

同时,运营商也组织启动了多个开放光网络相关的项目,包括OpenConfig、开放解耦传输网络(ODTN)、开放光包传输(OOPT)、OPENROADM等,其中影响较大的有OpenConfig和OPENROADM。

OpenConfig的目标是定义和实现一个通用的、与厂商设备无关的开放管控系统模型,用于管理网络设备,实现网络配置及策略。它定义了统一的数据模型、流式遥感监控协议、管理协议和自动化工具(见图2)。

图2中统一数据模型是基于标准化的NETCONF

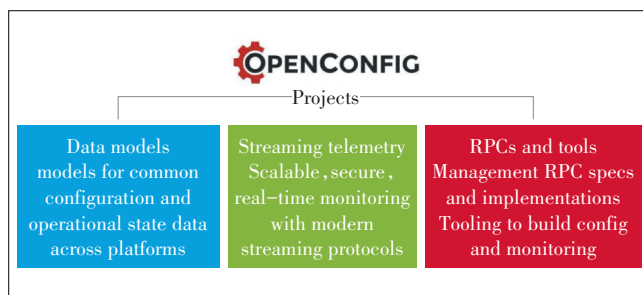


图2 OpenConfig项目的数据模型、遥感及网管

协议框架和建模语言 YANG 编写的模型, 这些模型反映了用户视角, 它们不依赖于任何特定供应商的设备, 并且覆盖了配置和监控数据。流式遥感是基于订阅的模型, 用于高效、准确地监控基于 OpenConfig 模型的网络设备, 与 SNMP 相比, 它能提供更实时的监控能力。远程过程调用 (RPC) 被用作一种网络管理协议, 它基于 gRPC 框架, 定义了用于配置管理、操作状态检索以及通过流式遥测进行批量数据收集的操作, 可以实现基于可编程技术的网络配置和管理, 并提供了自动化运维工具。

OPENROADM 旨在创建一个开放的光网络架构, 通过定义软、硬件接口和光传输业务接口来实现多厂家部件的兼容和可替换性, 允许不同供应商的设备在同一个网络中无缝集成和互操作。OPENROADM 模型的核心在于提供一个开放、可扩展且标准化的设备集成框架, 使不同厂商的光网络设备能够互操作并协同工作, 其网络模型如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 相对于 OpenConfig 定义的软硬件分离, OPENROADM 更加强调运营商能够跨不同厂商的设备实现统一组网和编排, 建议使用开放的标准 APIs (如统一硬件抽象接口) 来实现设备间的互操作性, 使得不同厂商的设备能够在同一网络中协同工作。

在标准组织和开放光网络项目组织联合推动及引导下, 开放光网络产业链日益成熟, 在国内, OTT 厂商腾讯和阿里巴巴在 2019 年开始试点部署开放光网络设备; 中国电信从 2021 年开始集采部署盒式波分 (DCI-BOX) 开放光网络设备, 后续在 UMS 经验基础

上, 利用控制器和北向开放接口实现多厂商设备的统一管理, 推动盒式波分的软硬解耦。中国联通从 2022 年开始集采部署开放光网络模块化波分设备, 并基于自研开放光网络统一管控系统开展统一纳管试点工作。在 2023 年, CCSA 发布《开放与解耦的波分复用 (WDM) 系统技术要求》(YD/T 4298-2023) 行业标准, 开放光网络已成为行业共识。

从 2014 年到 2023 年, 开放光网络从概念萌芽到规模部署历时 10 年, 发展历程中不同组织对开放光网络的定义也不尽相同, 但总结下来开放光网络应至少包含 2 项基本特征: 一是系统软硬件接口及光传输业务接口标准开放; 二是支持多厂商设备解耦合及互操作。

2 开放光网络架构

传统光网络的网元设备及其网络管理系统均由设备制造商提供, 网元设备与网络管理系统之间的接口标准采用私有 (厂家原生) 协议或模型, 形成管网紧耦合模式。不同厂家的网元设备北向接口、主控协议数据模型、软硬件接口、设备组件及业务接口等差异明显, 无法跨厂家互通。针对管网紧耦合、跨厂家难互通的现状, 开放光网络从管网分离、接口标准的角度撬动原有的封闭架构, 体现到具体的网络应用和部署实践层面, 本文将开放光网络归纳为网络统一管控和硬件设备标准化 2 个方面并展开论述。

2.1 统一管控系统架构

光网络管控系统早期仅具备网元管理功能, 其系统架构符合 TMN (Telecommunications Management Net-

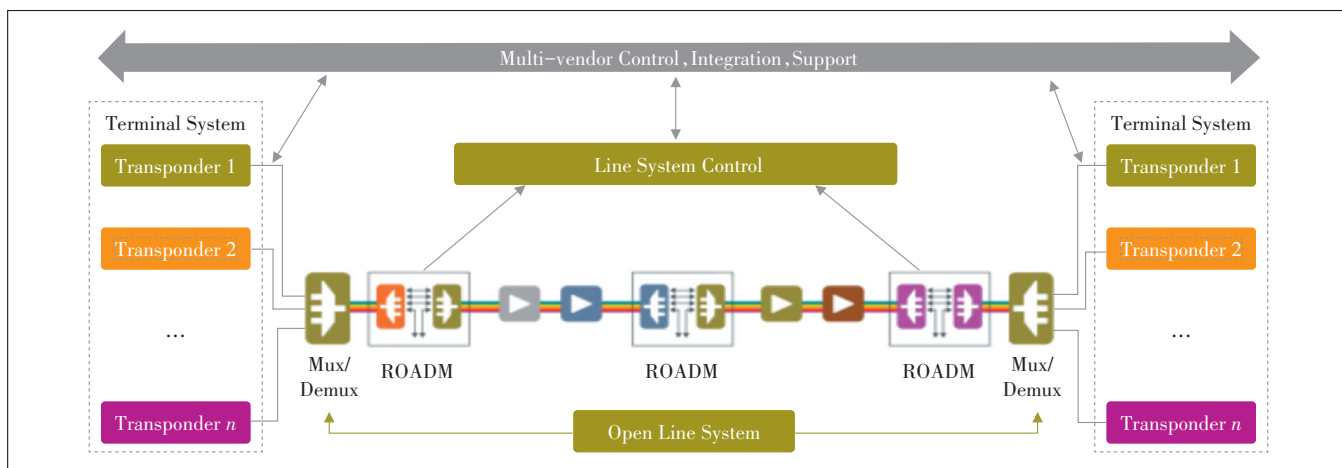


图 3 OPENROADM 项目定义开放光网络模型

work)的要求(见图4)。其中网元管理层(EMS)主要实现网元级别管理,若需要端到端管理,需要通过网络管理系统(NMS)实现。网元设备与网络管理之间的接口如图4所示。

在图4中,网元管理层通过北向接口和南向接口分别实现网络管理层和网元设备的之间的连接。其中北向接口实现不同EMS之间的通信,同时向上层网络管理层系统提供资源、告警、性能等信息。传统光网络EMS北向主要采用CORBA、SNMP、FTP等协议,各厂商接口协议不统一,采用相同接口协议的厂商也分别定义不同的信息模型,因此传统光网络基于北向接口实现多厂商统管的方案,需要适配不同厂商的通信协议与各EMS进行通信,同时将各EMS不同的信息模型进行抽象和封装,适配为NMS内统一的信息模型,才有机会实现不同EMS的通信和统管。网管模型中EMS南向接口主要采用Qx、FTP、syslog等协议,实现与网元之间的管控信息交互,同样因为协议不统一且数据模型不一致,导致接口难以通用。综上所述,南北向接口及数据模型的统一是光网络实现统一管控的关键。

光网络内涵的不断增加,以及业务交付敏捷化、网络灵活化、部署云化等技术进展,要求管控系统由TMN弯管模型定义的分层、分离走向一体均化。一体化的管控可实现统一的资源分配、高效的端到端业务

发放、灵活的业务路由策略和保护策略,并支持光网络的扁平化。同时光网络管控系统从早期的物理机部署向云化部署转变,云化部署可实现纳管网络规模的弹性扩容,并更敏捷地与同样云化部署的上层系统进行交互。

因此,开放光网络统一管控系统架构应采用一体化管控模式。管控系统与网元设备间应制定统一的南向接口协议和设备数据模型,实现多厂家设备的统一管理和控制;管控系统与应用平台间应制定统一的北向接口协议和管控数据模型,实现网络能力的开放,同时应支持云化部署,具备SDN化、智能化管理控制能力^[14-15]。

2.2 硬件设备标准化

光网络硬件根据其应用场景的不同划分为多个产品系列,本文重点讨论的是波分设备的硬件标准化。不同的波分设备厂家设备虽然遵循同样的技术规范,但是受技术演进历程、供应链和集成方案的影响,差异较大。单就安装方式而言,国内主流的光网络设备相对统一地沿用了欧洲电信标准化协会(ETSI)设备规范建议,但是又做了不同程度的优化和集成创新,导致设备尺寸和固定方式多样化、气流组织复杂,各厂家设备需要使用各自专用子框和机柜,难以和其他设备共架装机。不能共架安装导致装机空间浪费、部署和运维难度增大、机房能效低等问题,

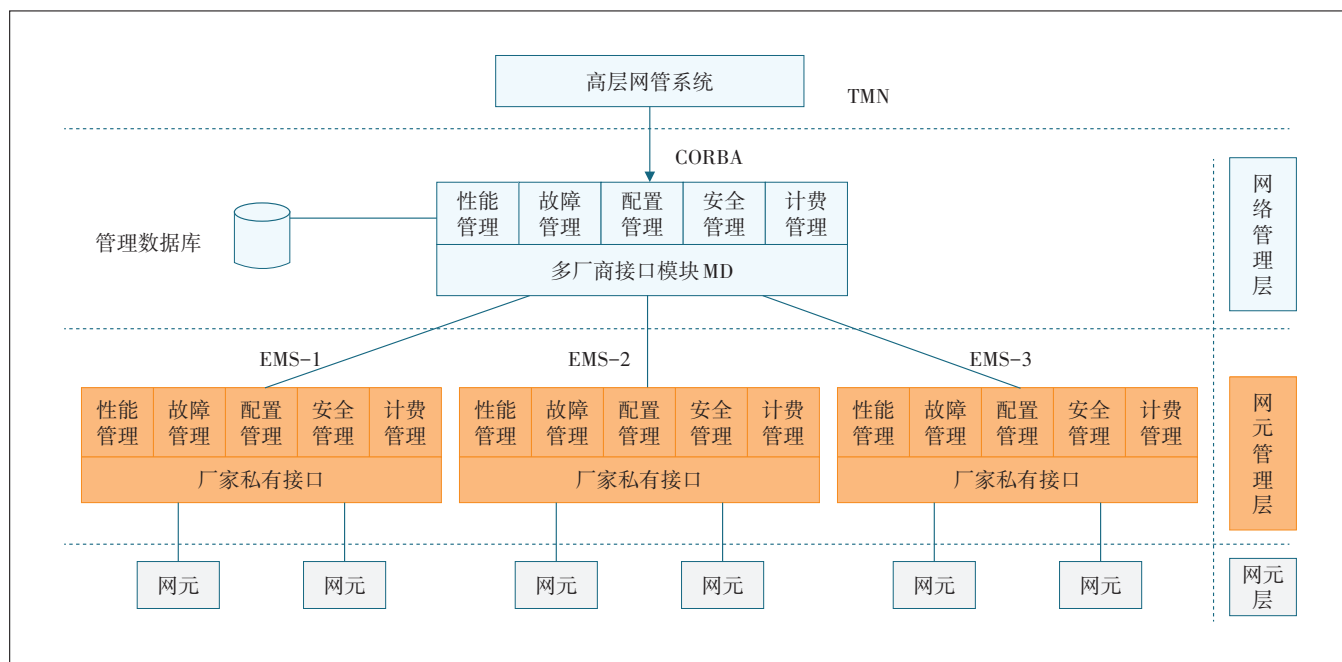


图4 TMN网管模型

同时差异化设备的成本难以有效核算、成本不透明等问题广受诟病。

开放光网络光网络硬件设备的标准化演进目标是提供一个开放、可扩展且标准化的设备集成框架,使光网络系统中不同厂商设备标准互通组网、通用部署安装、可以互操作及互相替换。从实施角度而言,推进设备形态标准化、功能模型通用化和接口开放化是硬件标准化的关键步骤。

首先是设备形态标准化,伴随光网络设备DC化部署的需求日益强烈,运营商及OTT厂商首先在设备形态标准化方面发力,中国联通的模块化波分设备、中国电信的DCI-BOX设备、腾讯的TPC设备等,均采纳19英寸标准和2U高度机框,能够适配数据中心的标准机架,气流组织统一采用前进风后出风的散热模式,设备前面板配置8个业务槽位,通用模型如图5所示。

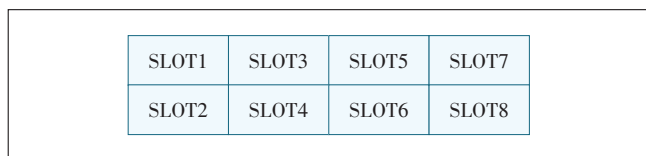


图5 开放光网络波分设备机箱常见前面板结构

前面板8个槽位中,1、3槽位,2、4槽位,5、7槽位,6、8槽位可以合并,以供需要较宽尺寸的业务板卡使用。设备背面提供双槽位1+1保护的CRPS电源,双槽位1+1保护的主控板,以及2:1保护的风扇单元,设备后面板通用模型如图6所示。

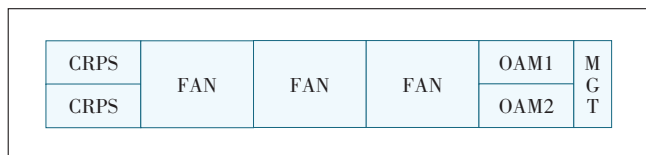


图6 开放光网络波分设备机箱常见后面板结构

产品形态标准化定义了统一机框尺寸,可以实现不同厂商的设备共架装机;统一插槽结构及面板端口设置,有助于运维人员掌握设备规范,避免反复学习不同厂家的设备和操作差异。但是产品形态标准化只是表层标准化,多厂家设备兼容互操作的东西向解耦还需要完成功能模型通用化、接口开放化等工作,也是本文后续重点讨论的内容。

2.3 分层解耦的开放光网络架构

从管控系统北向接口、南向接口、主控系统软硬

件接口、板卡接口到光模块接口,开放光网络是一个分层相对明确,可以层层解耦的系统工程,本文首先提供开放光网络分层解耦的系统架构,并在该架构内讨论功能模型通用化和接口开放化的实现方案。根据解耦深度,本文将开放解耦划分为4个等级:管控级解耦(L1)、主控级解耦(L2)、背板级解耦(L3)和模块级解耦(L4)。分层解耦的开放光网络架构及各层的规范内容和预期目标如图7所示。

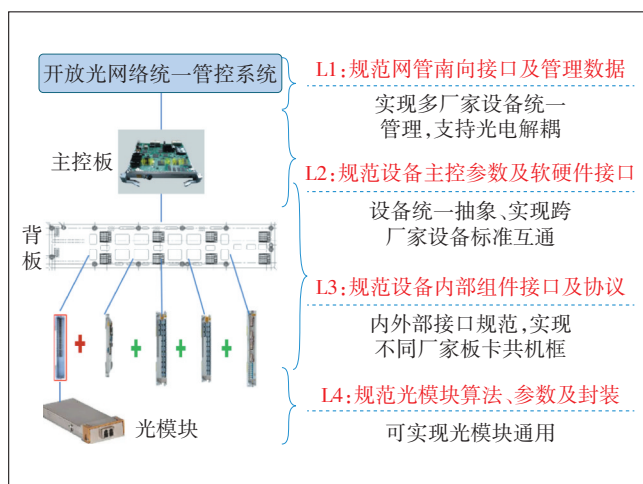


图7 开放光网络系统结构

对应开放光网络系统架构的分层定义,当前运营商及OTT厂商开放光网络处在L1层级,即初步具备不同厂商设备的统管能力,并逐步推广传输系统的光电解耦,各方对于继续推进开放解耦的方向意见一致,但是对于预期的实现方案不尽相同。

针对L2层级,本文提供基于光网络设备白盒主控操作系统,对不同厂家的设备进行统一抽象的方案建议。当前阶段白盒主控操作系统主要针对开放模块化波分设备及OTN-CPE设备,通过对其主控系统的数据模型和功能模块重新设计,使其能够达到模块化、容器化、标准化的技术目标,在运营商规范引领下推广为通用的白盒主控标准,使适配该标准的不同厂家的硬件设备抽象为统一的网元模型,可以互通组网,跨厂家整机替换。

在白盒主控方案实现过程中,首先将主控系统分析拆解,形成模块化的设计,从而能够进一步通过数据库的设计将各个相对独立的模块进一步解耦合,形成一个以数据库为核心实现数据、消息交互的模型,各个业务模块通过标准接口实现数据传递和通信的设计方案,以达到模块化设计的目标。

然后将各个独立的模块容器化。这个过程的主要目的是确保模块化设计通过容器化的部署方式,使得模块具有独立性和可替代性,以便于后续开发过程中的不断迭代。

最后是标准化,为形成对底层硬件的统一控制,需要定义标准化的硬件驱动接口,只要满足这个驱动接口的产品都应该能够满足白盒化系统的控制需求。通过上述步骤可以实现光网络主控功能模型通用化和软硬件接口开放化,推动开放光网络至L2层级,该层级的集成硬件设备将具备互操作能力,可以实现跨厂家设备标准互通。

L3背板级开放解耦可以实现不同厂家的板卡设备同机框互操作,并将硬件集成成本彻底透明化,但受限於各厂商的供应链和当前的商业模式,进程尚无法预测;L4模块级解耦需要光模块封装、参数、算法和器件标准统一,目前开放光模块Open ZR+ MSA已经发布多个迭代版本,它是光网络继续开放解耦以及上层网络融合应用的重点关注方向。

3 结束语

本文对开放光网络分层架构及关键技术进行了深入探讨,开放光网络已经成为通信行业的一个重要发展方向。从封闭系统向开放解耦的转变,不仅为运营商带来了更大的网络自主权,也为整个行业带来了新的机遇和挑战。白盒化主控系统的设计和实现,标志着在实现网络设备解耦合和互操作性方面迈出了重要的一步。通过模块化、容器化和标准化的设计理念,不仅提高了网络的灵活性和可维护性,也为未来的技术创新和业务发展奠定了坚实的基础。

展望未来,开放光网络将继续推动光通信行业的创新和发展。随着白盒化、开源协议和可插拔光模块等技术的成熟,预计将会有更加开放和智能的光网络解决方案的出现。这些解决方案将能够更好地适应新兴的网络业务需求,如智算、空天地一体化等,同时也将支持网络资源的池化和动态调整,实现网络资源的高效利用。

随着开放光网络管控系统与上层应用的进一步融合,期待能够实现更加精细化和个性化的网络服务。这将为用户带来更加丰富和多样化的网络体验,同时为运营商提供更多的商业机会,也将吸引更多的厂商和开发者参与到开放光网络的建设和创新中来,共同推动光通信行业的进步和繁荣。

参考文献:

- [1] 华为技术有限公司. 开放光网络传输系统关键技术[R/OL]. [2024-03-03]. <http://www-file.huawei.com/~media/corporate/pdf/white%20paper/key-technologies-in-open-optical-transmission-systems-cn.pdf>.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 开放与解耦的波分复用(WDM)系统技术要求: YD/T 4298-2023[S]. 北京:人民邮电出版社,2023.
- [3] Junos® OS. OpenConfig user guide [EB/OL]. [2024-03-03]. <https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/junos/open-config/open-config.pdf>.
- [4] OpenROADM.org. Open ROADM network model. version7.1[R/OL]. [2024-03-03]. https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/081/4ce/open-roadm-network-model-whitepaper-v7.1-v2.1-published-.pdf.
- [5] OpenZR+ 400G digital coherent optics for multi-haul [R/OL]. [2024-03-03]. https://www.openzrplus.org/site/assets/files/1074/openzrplus_whitepaper_-_sept_29_2020_final.pdf.
- [6] Open ZR+. Open ZR+ MSA technical specification, version3.0[R/OL]. [2024-03-03]. https://www.openzrplus.org/site/assets/files/1096/openzrplus_rev3p0_final2.pdf.
- [7] 余少华,胡先志. 超高速超大容量超长距离光纤传输系统前沿研究[M]. 北京:科学出版社,2015.
- [8] 切斯尼. 海底光缆通信系统:上册:设计及应用[M]. 王红霞,左名久,胡珊,译. 2版. 北京:机械工业出版社,2016.
- [9] HARTLING E R. Subsea open cables: a practical perspective on the guidelines and gotchas [R/OL]. [2024-03-03]. https://wixlib.com/document/2d82c_subsea-open-cables-a-practical-perspective-on-the-guidelines-and-asn.html.
- [10] 张成良,韦乐平. 新一代传送网关键技术和发展趋势[J]. 电信科学,2013,29(1):1-7.
- [11] 郑波. 高速率WDM系统光信噪比(OSNR)计算方法及软件实现[J]. 邮电设计技术,2014(1):60-66.
- [12] 杨宁,杨铸,漆启年,等. DWDM系统中级联EDFA光信噪比计算[J]. 通信学报,2003,24(1):75-82.
- [13] 张成良,李俊杰,马亦然,等. 光网络新技术解析与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2016.
- [14] 杨泽卫,李呈. 重构网络:SDN架构与实现[M]. 北京:电子工业出版社,2017.
- [15] 冯振华,方瑜,施鹤. 大容量、智能化光传输系统:机遇、挑战与应对策略[J]. 中兴通讯技术,2022,28(1):62-69.

作者简介:

焦明涛,高级工程师,硕士,主要从事通信光网络相关科研及产品开发工作;刘刚,高级工程师,硕士,主要从事开放光网络技术体制研究工作;王俊峰,高级工程师,硕士,主要从事光传送网管控系统研发测试工作;易圣,光网络设备硬件架构师,硕士,主要从事光网络设备硬件开发及集成测试工作;段宏,高级工程师,硕士,主要从事光网络领域WDM、OTN的研究、开发、咨询、设计等工作。