

ROADM技术在现网应用及 问题研究

Research on Application and Problems of ROADM Technology in Existing Network

周鹤¹, 杨其芳², 武清华³, 白冰²(1. 中通服咨询设计研究院有限公司, 江苏南京 210019; 2. 中国电信集团有限公司, 北京 100032; 3. 华信咨询设计研究院有限公司, 杭州 310052)

Zhou He¹, Yang Qifang², Wu Qinghua³, Bai Bing²(1. China Information consulting and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210019; 2. China Telecom Group Co., Ltd., Beijing 100032; 3. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052)

摘要:

介绍了ROADM网络在组网和技术上的特点以及在现网的应用情况, 根据ROADM网络在建设和运营方面的实践经验, 总结了ROADM网络在提高业务开通效率、降低业务时延、提升网络安全性和维护便利性方面的优势, 分析了ROADM网络在波长选择开关维度、业务恢复时长、网络建设成本、光纤纤芯消耗以及网络跨区域协同等方面所面临的挑战, 进而有针对性地提出了相应的应对策略。

Abstract:

It introduces the networking and technical characteristics of ROADM network and its application in the current network. According to the practical experience of ROADM network in construction and operation, it summarizes the advantages of ROADM network in improving service opening efficiency, reducing service delay, improving network security and maintenance convenience, and analyzes the challenges of ROADM network in the aspects of the dimensions of wavelength selection switch, service recovery time, network construction cost, optical fiber consumption and cross regional cooperation, and then puts forward the corresponding countermeasures.

Keywords:

ROADM; All optical network; WSON; Recovery strategy

关键词:

ROADM; 全光网; WSON; 恢复策略

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.03.012

文章编号: 1007-3043(2022)03-0064-05

中图分类号: TN913.7

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 周鹤, 杨其芳, 武清华, 等. ROADM技术在现网应用及问题研究[J]. 邮电设计技术, 2022(3): 64-68.

0 引言

互联网视频、云计算、5G等业务的蓬勃发展, 对承载网在带宽、时延、业务开通效率、调度灵活性等方面提出了更高的要求, 传统的以点到点链状组网为主的传输网络已无法适应业务发展的需要。可重构光分插复用器(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM)技术作为当前全光网络中最实用的技术, 可以有效提升网络的灵活性和健壮性, 利用其光层穿透能力能够减少光—电—光的转换, 进一步节省设备

投资和机房资源消耗^[1]。随着波长选择开关(Wavelength-Selective Switch, WSS)和波长交换光网络(Wavelength Switched Optical Network, WSON)等关键技术的不断成熟, ROADM网络逐渐被主流运营商所采用。本文介绍了ROADM网络的特点和应用情况, 分析了ROADM网络发展面临的挑战, 并提出了相应的应对策略和建议。

1 ROADM网络的特点

ROADM网络较传统链状波分网络在灵活性、安全性、经济性、低时延等方面都具备明显优势^[2]。ROADM网络的优势主要建立在其组网和技术的3个

收稿日期: 2022-01-10

关键因素之上,即 Mesh 化的网络结构、具备光交叉能力的节点设备以及基于 WSON 的控制平面。Mesh 化的网络结构实现了各节点之间的多路由连通,为业务的调度和恢复提供了丰富的物理路由;具备光交叉能力的节点设备可在光层进行波长级的灵活地交叉和调度,实现业务的落地和穿通;基于 WSON 的控制平面可完成业务的自动开通和调度,并在故障情况下实现业务的自动恢复。前两者是 ROADM 网络实现相关功能的物理基础,后者则是 ROADM 网络运行的指挥中枢。以上 3 个因素相辅相成,使得 ROADM 组网适应了网络变革的方向,极大地推动了传输网网络结构扁平化、网络运行智能化和网络管理集约化。

2 ROADM 网络的现网应用实践与分析

鉴于 ROADM 技术在灵活性、安全性、经济性和低时延等方面的特点,国内主流运营商已在干线和城域大规模建设了 ROADM 网络。

中国电信于 2016 年率先在长江中下游区域部署了支持 WSON 的省际 ROADM 区域网,目前已建成覆盖全国 31 省的华北、华南、西北、东北和西南五大 ROADM 区域网。中国联通于 2020 年在京津冀区域建成了支持 WSON 和光复用段保护(Optical Multiplex Section Protect, OMSP)协同的 ROADM 干线网络,目前正在规划建设长三角和珠三角的 ROADM 网络。中国移动主要采用 OTN 电交叉设备实现业务的灵活调度,同时在光层引入 ROADM 的 WSS 器件实现光层的穿通和调度能力。

在实际运行中,ROADM 网络的特点得到了验证。在业务性能和维护便利性方面,ROADM 网络提升了业务开通效率,降低了业务时延,提高了网络安全性和维护便利性。

a) 提升了业务开通效率。ROADM 网络较传统波分系统在业务开通效率上有较大提升,业务开通时长由小时级降低到分钟级。首先,ROADM 网络可利用 ROADM 节点的光交叉能力,配合网管端到端业务配置实现波道的自动转接,减少了系统间跳纤的工作量,缩短了端到端波道打通的时间。其次,厂家支持规划工具和网管的协同交互,在业务开通时可将设计阶段规划的业务路由批量导入网管,再逐一或批量下发,提高了业务的发放速度,进一步提升了业务开通效率。

b) 降低了业务时延。ROADM 网络 Mesh 化组网

的路由丰富,并大量采用了域内二干光缆,可为业务自动分配最短路由,降低时延。此外,由于采用光交叉技术,充分发挥了光层穿通的能力,减少了电层处理,进一步降低了时延。经统计,以中国电信某区域 ROADM 网为例,其所承接的 IP 业务较链状系统承接时,平均时延降低了约 6%。

c) 提高了网络安全性和维护便利性。ROADM+WSON 配合使用有效提高了业务的抗风险能力和网络维护的便利性。以中国电信某 ROADM 网络为例,其在实际运行过程中平均每天断纤 1.03 次,恢复成功率在 99% 以上。断纤后业务恢复的时长根据断纤影响的业务量和路由情况的不同而有所差别,恢复时长主要分布在 1 min 以内,最长不超过 4 min,相比传统波分系统小时级的抢修时长有较大提升,有效降低了维护的压力。

3 ROADM 网络面临的挑战及应对策略

随着业务增长和覆盖范围的扩大,ROADM 网络在建设使用过程中逐步显现出一些难点和痛点,下面将重点分析 ROADM 网络发展所面临的挑战及应对策略。

3.1 网络扩容受 WSS 维度数量限制

3.1.1 面临的挑战

随着 ROADM 网络的不断扩展和业务承载数量的不断增加,ROADM 节点需要增加更多的线路方向和本地上下路组,占用更多的 WSS 维度。目前,主流商用的 WSS 维度数量为 9 维和 20 维。部分业务转接和落地较多的 ROADM 节点的扩容已经受到了 WSS 维度限制。以中国电信某区域 ROADM 网络为例,截至 2020 年 10 月份,该网络已建设 315 个光复用段,承载 2 131 条 100 Gbit/s 业务。ROADM 节点的 WSS 维度受限现象非常普遍,在 48 个 ROADM 节点中,有 15 个节点的维度需求已经超过了 20 维。

3.1.2 应对策略

当 ROADM 节点所需线路方向和本地组数量之和超过 WSS 的维度数量时,网络扩展就受到了限制。首先,建议采用同节点增加 ROADM 网元(可形象称之为平行节点)的方式来解决。如图 1 所示,当节点 A 处波道资源不足时,可利用节点 A 空闲的 WSS 维度,扩容 A-B/C/D/E 的光复用段来补充波道资源。随着光复用段的不断增加,节点 A 的 WSS 维度已无法满足扩容的需求。此时,可在该站点建设平行节点 A+,并与周边

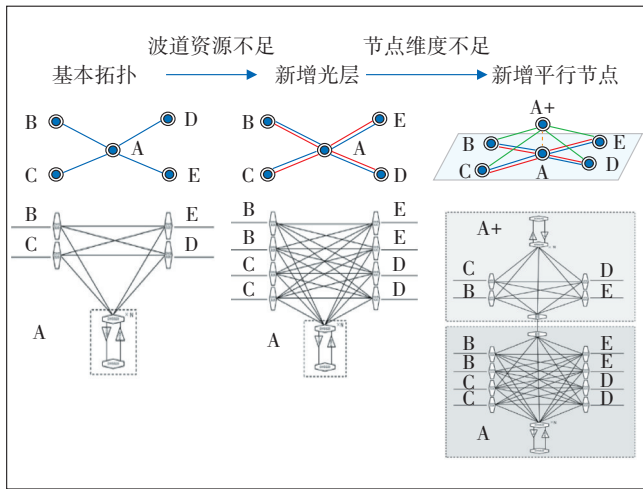


图1 新增平行节点扩展维度示意图

节点(B/D/C/E)以及节点A建立光复用段的连接,从而利用节点A+的维度扩展该站点的维度数量。

另外,光交叉连接(Optical Cross-connect, OXC)技术已趋于成熟,主流厂家均已具备32维OXC设备的供货能力。对于光方向较多、业务量大的ROADM节点,可以考虑引入OXC设备,以增加ROADM节点维度数量,提升网络扩展能力。

3.2 恢复时间较长

3.2.1 面临的挑战

根据ROADM网络的实际运营经验,业务恢复的时长一般在秒级,在重载场景下会达到分钟级。恢复时长难以稳定到秒级甚至更低,无法有效替代IP网自身保护方式。如何降低并稳定恢复时长,使ROADM网络的恢复能力更有价值,是ROADM网络发展面临的一个挑战。

3.2.2 应对策略

3.2.2.1 缩短恢复时间的目标

目前,ROADM网承载的主要业务为IP类业务,其业务本身具有一定的保护模式。IP业务采用较多的保护模式为双路由的链路冗余保护,即一条路由故障后,通过路由器自身的恢复机制切换至另一路由实现业务恢复。由于光缆/设备修复时间长,链路故障易造成IP网拥塞并扩散,且路由器端口价格高,保护成本也较高。如果借助ROADM网络提供的恢复能力将恢复功能由IP层转移到传输层,则可以减轻链路故障对IP网的影响,提升IP网性能。但ROADM替代IP的保护需要解决多重保护或保护协同的问题,其根源主要在于ROADM恢复时间可能小于IP网收敛时间。IP网

收敛主要分为5个步骤,分别为链路故障检测、Router-LSA生成、全网泛洪、SPF路由计算和FIB下发,其主要时长包括链路故障检测4个hello报文(HelloInterval值为10s)40s,Router-LSA生成延时2s,SPF路由计算延时5s。因此,当ROADM网络恢复时间能够小于40s时,才能有效实现和数据的协同保护。

3.2.2.2 降低恢复时间的方法

a) 引导厂家对核心算法进行优化,采用集中算路+分布控制架构,加快路由收敛,避免波长冲突,降低恢复时间。

b) 在网络规划时针对业务进行细化评估,对业务的重要性进行优先级排序,进而设置差异化的QoS等级属性。重要的业务设置高QoS等级,可采用预置路由等方式优先保障其恢复资源和恢复时间。

3.3 全业务恢复导致建网成本和光纤资源消耗增加

3.3.1 面临的挑战

3.3.1.1 建网成本问题分析

ROADM网络采用区域组网模式,相比于传统链状系统,减少了系统间的背靠背OTU转接,降低了OTU板卡数量。另一方面,ROADM网络为实现灵活调度、发挥光层穿通的能力,一般采用超长距OTU板卡,而链状系统则是根据需要配置硬判决、软判决和超长距OTU板卡。因此,ROADM网络配置的OTU板卡平均单价会高于链状系统。下面就某运营商实际发生的374条100Gbit/s业务需求数据进行仿真模拟,对采用ROADM网络承载和链状系统承载2种方式的建网成本进行比较分析,具体如表1所示。

分析结果表明,业务采用ROADM网络承载相较于采用传统链状系统承载,节省30%的OTU数量。由于板卡价格存在差异(参照某运营商集采的价格),在

表1 ROADM网络承载和链状系统承载建网成本统计表

模式	OTU板卡类型	板卡数量/块	投资/万元
ROADM承载模式	工作路由 (超长距,含业务上下和中继)	780	5 850
	恢复路由 (超长距,中继,100%的业务恢复能力)	407	3 052
	小计	1 187	8 902
链状系统承载	硬判	1 182	7 716
	软判	438	
	超长距	30	
	小计	1 650	7 716

ROADM网络考虑全部业务具备恢复能力的情况下,投资较链状系统增加15%;在不考虑恢复的情况下,较链状系统降低24%。由此可见,ROADM网络的全业务恢复将增加建网成本。

3.3.1.2 光纤资源消耗问题分析

传统单波100 Gbit/s波分系统可以承载80波100 Gbit/s业务,即每对光纤可以承载8T的业务流量。ROADM网络中每对光纤的业务承载数量有所降低,主要有2个原因:一是ROADM网络为实现业务100%的自动恢复功能需要预留恢复波道,占用频点资源;二是ROADM网络作为一个Mesh化区域网,受限于网络结构和业务分布,各光复用段难以同时达到高利用率,导致较低利用率段落的波道资源无法充分使用。可见,ROADM网络灵活性和健壮性的实现除技术因素外,是以光纤使用量的增加为代价的。本文以长江中下游ROADM网络为例,对各期工程投产后承载的业务量、光复用段利用率、恢复波道占比等数据进行了整理分析,如表2所示。

表2 长江中下游ROADM网络波道使用情况表

时间	业务量 (100 Gbit/s, 到达值)	ROADM 站点数 量	OMS段 数量	OMS段 平均利 用率/%	恢复波 道 占比/%
一期	324	21	62	42.50	48.30
二期	366	21	62	50.40	50.60
三期	891	22	83	77.50	45.40
四期	1 472	22	100	82.90	43.10

从表2可以看出,随着业务量的增加和网络结构的不断优化,光复用段的平均利用率由一期的42.5%逐步提升至82.9%;恢复资源的共享度也在不断提升,体现在恢复波道的占比由48.3%下降到43.1%(二期由于业务增量较小,未对网络组网进行优化,占比有小幅波动)。

根据四期建成后的数据,平均每对光纤承载的工作波道数量为 $80 \times 82.9\% \times (1 - 43.1\%) \approx 38$,即平均每对光纤承载的业务量约为3.8 T。根据现有业务流向的流量进行迭代计算,后期该网络波道利用率最多提升20%左右。因此,在承载相同数量业务的情况下,长江中下游ROADM网络的光纤使用数量是链状波分系统的1.8倍左右。目前,光纤资源成为ROADM网络建设的瓶颈,而光缆的建设周期相对系统建设更长,短时间内无法满足网络建设的需求。

因此,怎样改进ROADM网络业务的恢复机制以

降低投资并减少光纤资源的消耗,是ROADM网络面临的又一挑战。

3.3.2 应对策略

3.3.2.1 引入差异化恢复策略

ROADM网络的自动恢复能力给运维提供了非常便利的维护手段,但这种恢复能力是建立在增加成本和消耗资源的基础之上的。因此,恢复策略应考虑在网络能力、成本和资源消耗之间做平衡。上文已经介绍了全业务恢复会给建网成本和资源消耗带来较大的压力,建议引入差异化的恢复策略,根据业务重要性等级提供不同的恢复能力,具体建议如下。

a) 建议对高可用率要求的业务提供自动恢复能力,如大客户专线业务。

b) 建议对重要局向的业务提供自动恢复能力,如北京—上海、北京—广州、广州—上海等重要局向的IP类业务。这些局向承载的业务量大,重要业务多,中断影响范围广。

c) 建议对无需增加恢复中继资源的业务进行自动恢复。因为,这类业务的恢复路由只是占用频点,不需要增配中继板卡,该类业务的自动恢复可以在不增加投资的情况下,为客户提供更好的体验,并提升运维效率。

d) 对于无需传输提供保护的其他业务,建议设置尽力而为的恢复策略,不再专门为恢复配置中继板卡和频点,降低建网成本和对光纤的消耗。

3.3.2.2 提升单纤容量

a) 适时引入96波/120波技术,提升单纤波道数量。96波技术是采用C波段1 529~1 567 nm范围的波长资源,120波技术是采用C++波段1 524~1 572 nm范围的波长资源。较80波系统,96波和120波技术可分别提升20%和50%系统容量。目前,主流厂家的96波技术已成熟,具备商用条件,可积极引入ROADM网络。在现网扩容阶段引入96波技术时,需注意OA板卡和WSS板卡的兼容性。120波技术主要技术瓶颈在WSS器件,2020年一季度国内主要设备厂商已经陆续推出支持120波的WSS样品,技术趋于成熟,但规模商用暂不具备条件,待条件成熟后可适时引入。

b) 适时引入超100G技术,提升单纤容量,降低光纤资源消耗。目前,超100G传输技术主要应用和研究方向为200G/400G,其主要技术挑战是平衡高频谱效率和长距离传输之间的矛盾。400 Gbit/s传输设备在实验室已经通过测试,但由于其传输距离、价格和成

熟度等原因,尚不具备规模商用条件。而单波 200 Gbit/s 传输技术已经成熟,具备规模商用的能力。因此,建议 ROADM 网络尽快引入单波 200 Gbit/s 技术,提升单纤容量,降低光纤资源消耗。

3.4 区域协同问题

3.4.1 面临的挑战

基于无电中继传输能力、网管和控制平面的管理能力、光缆路由等因素考虑,运营商目前主要采用的是区域组网模式,各区域内部组建 ROADM 网络,其建设、管理也相对独立。而各主流运营商正着力推进云网融合战略,比如中国电信已经明确了“2+4+31+X”的云网融合资源布局,并围绕京津冀、长三角、粤港澳、陕川渝等重点区域推进建设数据中心,由此各区域将产生大量大颗粒的业务承载需求。如何提升跨区域协同能力,实现端到端的业务开通和管理,是 ROADM 网络面临的又一挑战。

3.4.2 应对策略

在 ROADM 区域组网的模式下,实现跨区域业务的端到端管理,提升区域间的协同能力主要有以下 2 个途径。

a) 引入 SDN 技术,逐步实现 Open ROADM 架构。目前,ROADM 架构是基于厂商私有软件控制的封闭系统,由厂商私有软件来规划、管理和维护。不同厂家的 ROADM 网络无法进行高效协同。因此,首先要将 ROADM 根据功能模块进行拆解,不同的功能模块可以由不同的厂商来提供,并开放接口,由 SDN 控制器/编排器来统一调度。然后通过 SDN 控制器的智能管理,实现带宽的自动检测和调整、故障的侦测和自动恢复以及对光性能的感知,实时准确地优化网络性能。

b) 同厂家 ROADM 区域网的融合。异厂家 ROADM 区域网的高效协同需要引入 SDN 技术,实现较为复杂。而同厂家由于设备和控制平面的天然适配,其跨区域的协同可以通过网络融合的方式实现。

中国电信也在同厂家 ROADM 区域网网络融合方面做了积极的尝试和创新。2019 年中国电信对同厂家且相邻的长江中下游 ROADM 网和华北区域 ROADM 网进行了融合。首先,在两网重合的边界节点采用 WSS 线路维度对接的方式实现了两网的物理对接;而后网管对合并之后的整个网络进行网络拓朴学习,进而进行网元信息的整合;然后通过分析整网的拓朴结构和资源情况进行业务工作路由的优化调

整;最后对 2 个 WSON 控制平面子网进行融合。虽然是同厂家网络融合,在具体操作的过程中也要特别关注两张网络设备的兼容性和网络管理版本的兼容性。

a) 设备兼容性。由于 2 张网络可能不是同期建设,采用的设备型号可能不一致,配置的板卡也有区别。这就要在融合前对两网的所有设备板卡进行遍历性排查,检验两网设备板卡的互通性,避免因互通性问题导致业务无法加载。

b) 网管版本兼容性。在设备兼容的前提下,还应注重网管版本的兼容,这将影响融合后设备的统一管理和控制平面的统一加载。如不兼容,需要首先进行网管版本升级匹配,再进行 WSON 的加载。在融合前,必须针对相应的 WSON 全局配置进行检查,并对不同的配置策略进行处理,否则可能导致融合后 WSON 运行不正常,影响现网业务。

4 展望

随着 ROADM 技术和关键器件的不断发展,ROADM 网络将朝着全国一张网的方向不断演进。得益于 SDN 和 Open ROADM 的逐步成熟,跨厂家的融合组网也将成为现实,这使得 ROADM 网络更加开放、灵活和高效。通过算法优化和硬件能力的提升,ROADM 网络的恢复时间将进一步缩短且更加稳定,这使得 ROADM 的恢复能力更具价值。另一方面我们还要在网络规划和应用策略上进一步深入研究,以寻找性能和成本的最佳契合点。未来随着技术的进步以及对网络规划研究的不断深入,ROADM 网络将在迎接挑战 and 解决问题的过程中不断完善,并得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] 唐建军,李俊杰,张成良. 全光网的探索研究与应用实践[J]. 电信科学,2019,35(4):10-15.
- [2] 叶胤,袁海涛,江树臻. ROADM 和 OTN 技术在干线传输网络的应用研究[J]. 电信技术,2016(11):34-38.
- [3] 华进,张国新,周鹤. ASON 技术在 ROADM 网络中的应用[J]. 光通信技术,2018,42(2):20-22.

作者简介:

周鹤,毕业于东南大学,高级工程师,主要从事光传输专业的规划设计工作;杨其芳,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要从事通信网络的规划、设计管理和项目管理工作;武清华,毕业于中国科技大学,高级工程师,主要从事光传输网络规划设计工作;白冰,毕业于北京邮电大学,高级工程师,主要从事国家重点信息通信项目和通信网一级干线的工程技术管理、设计管理和项目管理工作。