



研究与开发

基于 OSU 的 M-OTN 技术创新和应用部署研究

龚雅栋, 荆瑞泉, 周恒, 李俊杰, 霍晓莉
(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘要: 随着 SDH 和 MSTP 网络面临退网, OTN 将取代 SDH/MSTP 网络, 下沉到网络的边缘节点。同时, 客户业务的需求也正在发生快速变化, 而分组增强型 OTN 在其承载业务上存在着各种问题和挑战。提出了基于 OSU 的城域网优化 OTN(M-OTN)技术体系, 并结合其技术本质和实验测试数据, 全面分析了 M-OTN/OSU 的技术优势。结果表明, M-OTN/OSU 相较于分组增强型 OTN 技术在多个方面具有明显优势。M-OTN/OSU 在现网中如何应用部署以及网络演进, 同样备受关注。结合 M-OTN/OSU 的技术特点和现网中已部署设备情况, 分享了对于 M-OTN/OSU 的组网方案, 以及网络演进策略的研究。

关键词: M-OTN; 光业务单元; OTN; 分组增强; 演进

中图分类号: TN929.11

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022267

Research on OSU based M-OTN technology innovation and application

GONG Yadong, JING Ruiquan, ZHOU Heng, LI Junjie, HUO Xiaoli
Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: With SDH and MSTP networks facing withdrawal from the network, OTN will replace SDH/MSTP networks and sink to the edge of the network. At the same time, the requirements of customers' services are also changing rapidly, but the packet enhanced OTN has various problems and challenges in carrying these services. Therefore, the M-OTN technology system based on OSU was proposed, and the technical advantages of M-OTN/OSU were comprehensively analyzed by combining its technical essence and experimental data. The results show that M-OTN/OSU has obvious advantages over packet enhanced OTN technology in many aspects. The application and deployment of M-OTN/OSU in the field network and network evolution are of great concern. Combined with the technical characteristics of M-OTN/OSU and the deployed devices in the field network, the research of M-OTN/OSU in networking scheme and network evolution strategy was shared.

Key words: M-OTN, OSU, OTN, packet enhanced, evolution

0 引言

同步数字体系(synchronous digital hierarchy,

SDH)和多业务传送平台(multi-service transport platform, MSTP)技术诞生于 20 世纪 90 年代初期, 相关技术发展已停滞多年, 且设备和芯片也

面临供给问题,目前各运营商均在考虑将其逐步退网^[1]。光传送网(optical transport network, OTN)技术从 1998 年开始制定标准,到现在已在网应用多年,并且国内三大运营商在 2018—2019 年均投资建设了政企 OTN 骨干网,其高品质特性得到了客户的普遍认可。随着近两年 SDH 和 MSTP 网络相关问题的突显,以及客户被提供了更高品质的、端到端的统一 OTN 承载网络,OTN 正在逐步替代 SDH/MSTP 网络,下沉到边缘业务节点^[2-3]。随着一些客户业务新需求快速发展,其对光传送网 OTN 技术提出了新的需求和挑战。目前,现网中应用部署的分组增强型 OTN 相对于传统 OTN 在小颗粒业务承载方面有了很多优化和改善,但其在分组、虚容器(virtual container, VC)、光数据单元(optical data unit, ODU)等多种技术平面叠加的方式^[4],使得设备在现网应用中存在着各种问题,难以满足未来业务的快速发展需求。

因此,中国电信联合业界产业链推出了城域优化 OTN(metro-optimized OTN, M-OTN)技术体系,引入最低 2.6 Mbit/s 颗粒度的光业务单元(optical service unit, OSU)技术,实现对小颗粒业务的更优承载,并解决分组增强型 OTN 现网应用的问题^[5]。对 OSU 技术的本质分析以及近期的实验室和现网测试验证,均表明 M-OTN/OSU 在小颗粒业务承载、时延优化、业务汇聚比等带宽随选等方面具有更好的表现。

考虑现网中城域和骨干已经建设了大规模的 OTN,为了保护现网资源,需要进一步研究基于 M-OTN/OSU 业务承载的网络架构,以及现有 OTN 如何向 M-OTN/OSU 网络平滑演进策略。

1 业务发展对光传送网需求和现网设备应用现状

1.1 业务发展对光传送需求

近年来,随着企业和政府数字化平台加速转型,其专线业务带宽需求增长快速、网络架构也从

以前的分级网络向网络扁平化方向发展。2020 年,我国把“新基建”作为战略发展方向,云网融合也随之提升到了新的高度,同年中国电信提出“云改数转”的战略转型目标,并发布了《云网融合 2030 技术白皮书》详细阐述了对网络的需求^[6]。可见,无论是适应政企业务转型的变化,还是实现云网融合的战略目标,均对光传送 OTN 技术提出了新的需求,下面对其分别进行阐述。

(1) 小颗粒业务仍然是主流

随着政企数字化转型的速度加快,客户对小带宽的刚性管道电路需求比较旺盛,通过对于现网中电路带宽的分布情况调研,1 Gbit/s 以下带宽占到了 90%以上,其中 100 Mbit/s 以下带宽达到 50%以上,相信未来小带宽电路需求仍会长期存在^[7]。

(2) 业务汇聚比要求更高

随着政企网络架构从分级网络到网络扁平化的发展,银行、政府、金融等机构都在考虑自身网络向扁平化调整,如银行机构相对于传统的分级网络结构层级多、设备资源不集中的问题,网络架构扁平化后设备资源由一级分行(省分行)集中统筹管理、网络结构层级简化,可大幅降低运维成本和故障风险。同时,这样的调整对 OTN 业务汇聚节点的电路汇聚比提出了更高的要求,分支到总部的业务汇聚比可达到几千比一。一个典型案例:某银行在某省内 3 000 个分支网点,网点到省分行的业务汇聚比达到 3 000:1。

(3) 带宽随选能力需求强烈

近几年,很多政企客户在数字化转型过程中比较关注运营商提供的 OTN 电路带宽随选能力,主要体现在两个方面:一是可以按时间段的需求调整电路带宽,另一个是为了节省成本,带宽调整的颗粒度要求更加精细(10 Mbit/s 带宽颗粒度)。比如医疗行业客户在数字化转型过程中,提出其电子病历或造影图像进行了平台化集中管理和储存,患者下载打印的高峰期集中在白天,而



夜间对电路带宽需求相对较少,希望分时间段提供更精细化的带宽随选能力。

(4) 入云业务新需求

随着云计算进入快速发展阶段,政务、金融、交通、物流、教育等行业均在加速上云。入云场景和入云服务品质的需求千差万别,用户上云业务带宽具有多样化的需求,从几十 Mbit/s 到几十 Tbit/s,同时部分高品质客户业务要求提供带宽保证、安全隔离、带宽随选能力以及更优的时延,这样亟须光传送网提供一种更灵活、更优化的 OTN 新技术,满足未来大量高品质入云的需求^[8]。

1.2 现网 OTN 设备应用现状

目前,现网 OTN 传输承载网络中主要应用部署的是分组增强型 OTN 设备,其技术本质是将 OTN 和 SDH 统一时隙信元交换和以太网的分组交换多种技术的整合叠加^[9]。现网小颗粒业务主要是采用以太网在 SDH 技术体系承载 (ETH (Ethernet) over SDH, EoS) 和分组两种方式进行承载^[10-11],而这两种承载方式在应用过程中均存在着各自的问题。

EoS 承载方式现网应用存在的问题如下。

(1) 城域汇聚核心节点由于需要处理大量的本地或跨域业务的调度,其设备存在着 VC 低阶交叉容量严重不足的问题。

(2) 客户业务接入或者网络中负责低阶交叉调度节点的映射复用路径最多需要 6 级,比如客户接入节点业务映射路径:客户业务-VC12-VC4-STM16-ODU1-ODU2-OTU2。这会导致业务转接时延大的问题。

(3) 对于现网中的 EVPL (Ethernet virtual private line) 业务,客户总部节点业务单板卡/接口汇聚比低 (64:1),需要更多传输设备客户端板卡满足更高汇聚比的要求,客户设备需要更多以太网端口与传输设备对接且带宽利用率比较低。

分组承载方式现网应用存在的问题如下。

(1) 分组承载方式其技术本质还是共享带宽

承载方式,很难满足高品质客户专线应用场景要求的带宽保证、安全隔离的需求。

(2) 分组承载方式传输线路需进行分段分组汇聚方式,提高线路带宽利用率,但此种方式很难直观呈现端到端承载管道的信息和性能,带来运营维护上的困难,进而降低了客户对高品质业务的体验感。

(3) 异厂商基于分组承载方式的子网保护互通存在问题,在跨域专线或入云承载上难以满足可靠性要求^[12]。

2 M-OTN/OSU 技术本质和优势

基于上文分析的目前业务需求以及现网 OTN 设备应用现状的问题,中国电信联合业界多方提出了 M-OTN/OSU 的技术体系,其主要技术核心点是借鉴 OTN 的 TDM 技术,引入以 2.6 Mbit/s 为颗粒的灵活容器光业务单元 OSU,并且兼顾现有的 OTN 架构体系。

OSU 的帧结构如图 1 所示,长度为 192 byte,OSU 帧长的选择综合考虑了业界交换芯片的交换效率、开销占比等因素。OSU 帧结构包括 7 byte 的开销区域和 185 byte 的净荷区域,其中开销区域分为 3 部分:通用开销、映射开销和 CRC8 校验区。其中通用开销包括版本号 (version, VER)、支路端口号 (tributary port number, TPN)、帧类型 (frame type, FT)、连续性校验 (connectivity verification, CV)、串联连接监视 (tandem connection monitoring, TCM, 如 TCM1/TCM2)、通道监控 (path monitoring, PM) 和保留开销 (reserved, RES) 帧结构详细的功能描述可参考文献^[13]。

OSU 作为 OTN 技术体系中一种创造性低阶容器,可通过 OSU 级联方式最优匹配以太网业务承载,主要承载 2 Mbit/s~10 Gbit/s 的以太网业务,并兼顾 STM1/STM4 等 TDM 业务。OSU 通过定义 192 byte 的净荷块 (payload block, PB),通过周期内占用 OPU 时隙 PB 数量控制带宽,实

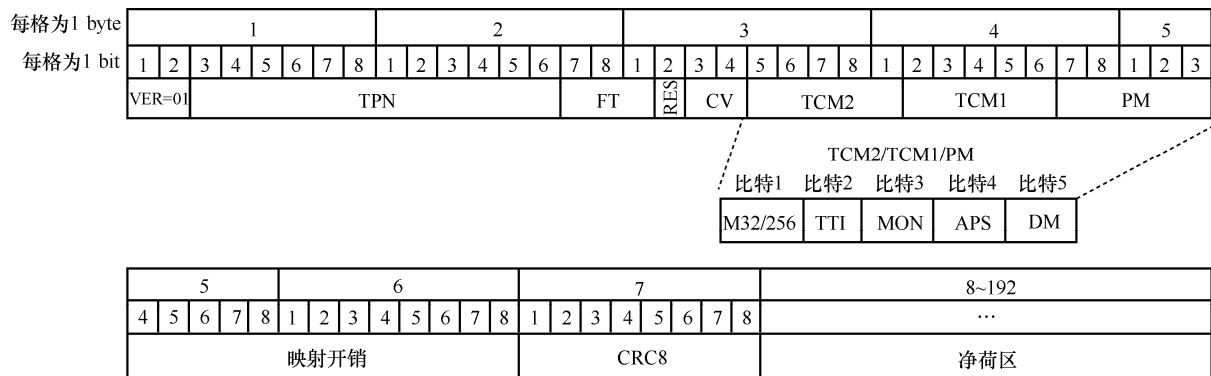


图 1 OSU 帧结构

现业务颗粒的更加灵活承载，提高光净荷单元（optical payload unit, OPU）带宽的利用率。同时，通过随路带外的无损带宽调整控制帧^[13]，减少对网管协议交互，提高带宽调整效率和可靠性。基于 OSU 的映射复用结构如图 2 所示，通过较少业务映射层级、匹配信元交换，实现低时延传送，且 OSU 到 ODU_k 分为单级映射和多级映射，当单节点设备接入业务为单一类型业务时，采用单级映射复用机制，最大化地体现时延优势，以及简化业务开通和运维工作。

OSU 技术的主要支持功能如下。

- 支持多业务映射复用到 OSU 功能。
- 支持多路 OSU 复用到 OPU 功能。
- 支持 OSU 的 PM/TCM 监控功能，以及告警指示信号（alarm indication signal, AIS）/开放连接指示（open connection indication, OCI）/锁定指示信号（lock indication signal, LCK）维护信号下插功能。

- 支持 OSU 时延测量功能。
- 支持 OSU 子网 1+1 连接保护（subnetwork connection protection, SNCP^[14]）倒换。
- 支持 OSU 带宽无损调整功能。

M-OTN/OSU 技术作为一种新型的光传送网技术，相对于现有 OTN 技术，有其特有的优势，后面章节结合实验室和现网测试数据情况，进一步证实 OSU 技术的相对优势，具体如下。

（1）精细化的业务弹性硬管道承载能力

传统 OTN 硬管道方式，以 ODU_k 的固定时隙进行带宽捆绑，最小时隙为 ODU₀（1.25 Gbit/s），单个 ODU₄ 仅支持 80 个基于 ODU₀ 的硬管道业务连接数^[15]。M-OTN/OSU 采用最小 2.6 Mbit/s 的灵活时隙，单个 ODU₄ 理论最大支持 4 000 条硬管道业务连接数（12 bit TPN）。

基于 OSU 灵活容器，实现一业务一管道的端到端精细化承载服务，以网络中 OTU₂（10 Gbit/s）链路为例，当前 EoO（ETH over ODU）方案只能

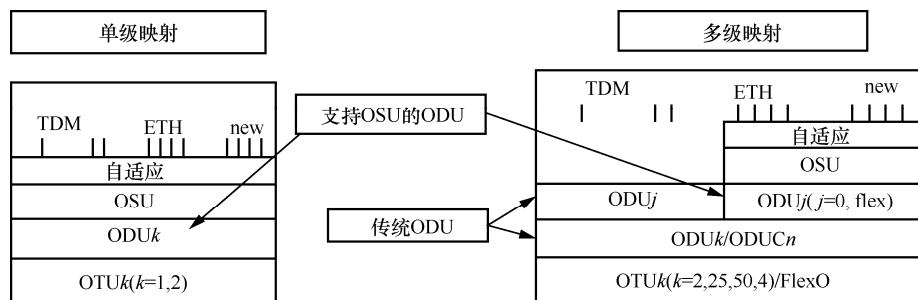


图 2 基于 OSU 的映射复用结构



支持 8 条 GE 业务, EoOSU (ETH over OSU) 方案可以承载 10 条 GE 业务, 承载效率提升了 25%, 可极大提高运营商网络的线路带宽利用率、降低运维管理的难度。

(2) 低时延特性

相较于小颗粒业务承载 EoS 方式的 6 级映射复用路径^[16], EoOSU (ETH over OSU) 承载方式最少只需要 3 级映射路径 (如: 客户业务-OSU-ODU2-OTU2), 可将设备业务转接时延大幅降低。

(3) 基于 OSU 的汇聚比能力强:

传统 EoS 方式的业务汇聚节点单板卡/接口 (10 GE/GE), 支持不同分支/方向的业务汇聚比最大仅为 64:1, 基于 OSU 技术的汇聚节点单板卡/接口 (10 GE/GE) 最大业务汇聚比可达 200:1 以上。

(4) 无损带宽调整能力强

传统 OTN 基于 GHAO 协议进行带宽调节过程中, 仅支持基于 ODUflex 最小 1.25 Gbit/s 颗粒度的带宽调整, 且协议复杂、带宽调整时间长^[17-18]。M-OTN/OSU 基于 OSU 技术进行带宽调整, 最小调整颗粒度为 10 Mbit/s (理论最小调整颗粒为 2.6 Mbit/s), 且协议简单、带宽调整时间可达秒级。

(5) 小颗粒业务交叉容量大

基于 OSU 技术的 M-OTN 设备交叉架构, 采用信元 (cell) 交换的实现原理, 其交叉容量不受其承载管道方式和支持业务连接数的影响。经实验室验证, 应用在城域核心节点的 M-OTN 设备, 可支持最大 3.2 万条基于 OSU 的单向业务连接数,

按照现网小颗粒业务平均带宽 50 Mbit/s 计算, 整台设备的低阶管道交叉容量可达 1.6 Tbit/s, 相对于目前分组增强型 OTN 设备最大 80 Gbit/s 的低阶 VC 交叉容量, 提高了 20 倍。

3 实验结果

为了充分验证基于 OSU 业务承载的功能和性能情况, 分别进行了实验室和现网实验测试, 测试结果表明 OSU 具有明显的技术优势。

3.1 实验室测试结果

在实验室阶段, 对基于 OSU 技术的设备进行业务承载、保护、时延、通道连接能力等方面进行了测试, 下面详细阐述对单节点时延和通道连接能力测试结果。

(1) 单节点时延性能

本次测试, 被测设备客户侧采用 ETH 端口, 线路侧采用 OTU4 接口环回方式, 分别测试 2 Mbit/s 和 10 Mbit/s 在 64~1 518 不同以太网包帧长情况下的时延, EoS 和 EoOSU 两种承载方式映射复用路径如下。

- EoS: GE→VC12→VC4→STM-16→ODU1→ODU4→OTU4。
- EoOSU: GE→OSU→ODU4→OTU4。

单节点 EoS 和 EoOSU 双向时延数据见表 1, 2 Mbit/s 和 10 Mbit/s 业务单节点时延数据对比如图 3 所示, 测试结果表明: 对于小颗粒带宽业务承载的时延性能, EoOSU 相对于 EoS 的承载方式,

表 1 单节点 EoS 和 EoOSU 双向时延数据

以太网包帧长/byte	2 Mbit/s 业务带宽 (1×VC12)		10 Mbit/s 业务带宽 (5×VC12)	
	EoS/μs	EoOSU/μs	EoS/μs	EoOSU/μs
64	1 424.65	1 038.67	1 153.69	289.24
128	1 661.22	1 264.74	1 200.97	340.94
256	2 133.68	1 690.94	1 296.87	443.97
512	3 078.81	2 511.66	1 489.96	651.08
1 024	4 968.21	4 152.54	1 872.91	1 065.31
1 280	5 913.44	4 972.95	2 064.81	1 273.45
1 518	6 971.87	5 740.88	2 243.3	1 469.68

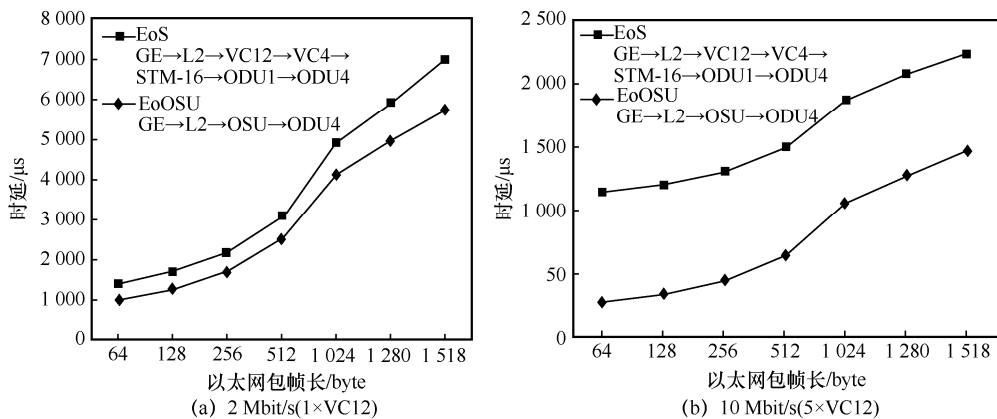


图 3 2 Mbit/s 和 10 Mbit/s 业务单节点时延数据对比

在以太网包帧长 64~1 518 byte 范围内均具有明显的时延优势, 单级双向时延最大可降低约 800 μ s。

(2) OSU 业务连接数

由于 OSU 主要用于承载 1 Gbit/s 以下速率带宽业务, M-OTN 设备支持的最大 OSU 数量是一个非常重要的性能指标。针对网络核心节点的 M-OTN 设备, 实验室测试结果表明, 一个单节点设备可以支持多达 3.2 万个单向 OSU 连接, 具有 6.4 Tbit/s (单条业务 200 Mbit/s 带宽) 的 OSU 交叉连接能力。单个 100 Gbit/s OTN (OTU4) 接口可以支持多达 1 000 个双向 OSU 连接, OSU 业务连接数测试结果如图 4 所示。

(3) 基于 OSU 客户端口业务汇聚比

根据实验室测试结果, 基于 OSU 的 GE 客户

端口业务汇聚比可达到 239:1, 相较于 EoS 承载方式 64:1 的汇聚比具有明显优势, 可很好地适应政企网络架构扁平化发展的需求。

3.2 现网测试结果

为了进一步验证 M-OTN/OSU 技术在业务承载、带宽调整等方面的功能和性能, 2021 年年底在江苏省无锡市和南京市进行了 M-OTN/OSU 多厂商设备组网的现网试验。试验网络由两个 M-OTN 城域网和省级骨干网组成, 两个区域网络连接采用省干 100 Gbit/s OTN 进行连接。现网测试网络连接拓扑如图 5 所示, 在本次多厂商现场试验中, 城域核心 (metro core, MC)、城域汇聚 (metro aggregation, MA) 和城域边缘 (metro edge, ME) 节点由 A 厂商提供, M-OTN



(a) 单OTU4接口可配置最大OSU连接数



(b) 单节点可配置最大OSU连接数

图 4 OSU 业务连接数测试结果

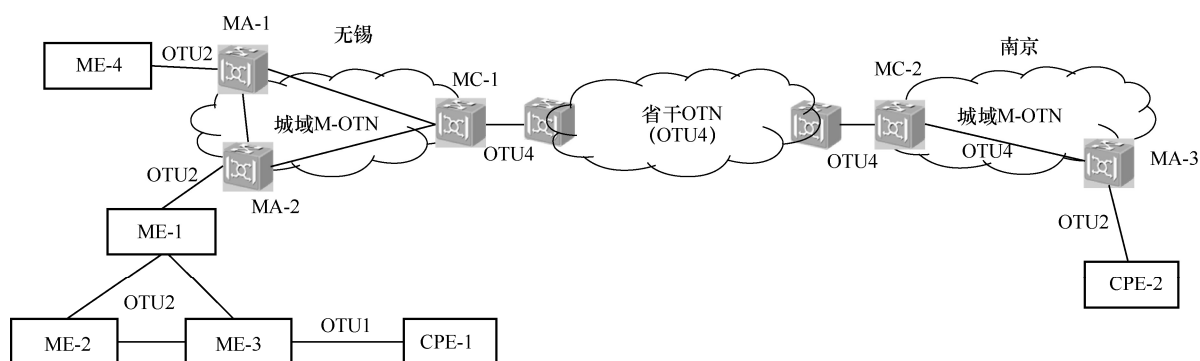


图5 现网测试网络连接拓扑

CPE-1 和 CPE-2 节点分别由 B 厂商和 C 厂商提供。

在 CPE-1 和 CPE-2 节点之间创建基于 OSU 承载的端到端 ETH 业务 (EoOSU 方式), 在两个本地网络节点中使用 OSU 到 ODU 的复用方式, 省干 OTN 节点采用 ODU 透传方式。

经过现网测试, 充分验证了基于 OSU 技术在多域网络间且在异厂商设备间的业务承载和互通功能^[19], 满足现网业务承载的需求。带宽调整颗粒度和调整范围如图 6 所示, 图 6 (a) 显示了基于 OSU 的带宽调整功能, 其最小调整颗粒度可达到 2.6 Mbit/s; 图 6 (b) 显示了 OSU 具备带宽大范围的调整能力, 现网进行了从 100 Mbit/s 到 1 000 Mbit/s 再到 500 Mbit/s 的带宽范围调整测试, 且调整过程中业务无损。图 7 为基于 OSU 的带宽调整相应时间实时数据采集信息, 结果表明

单次基于 OSU 的无损带宽调整, 仅需 15 s 即可完成, 与传统基于 ODUflex 的 GHAO 分钟级带宽调整机制相比具有明显的优势。

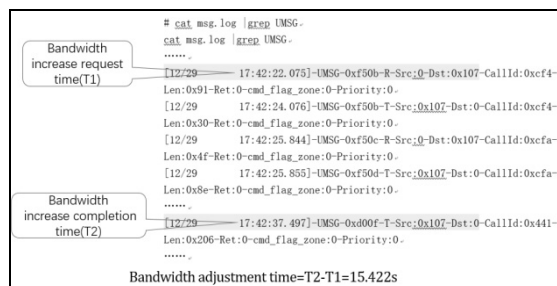
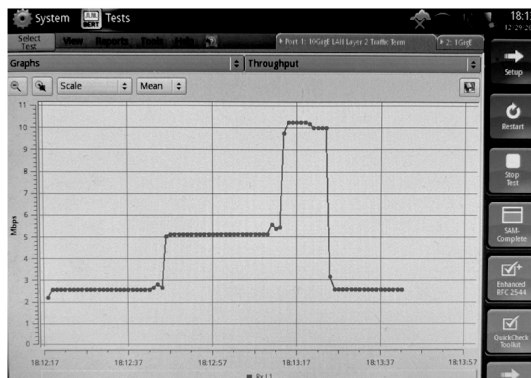


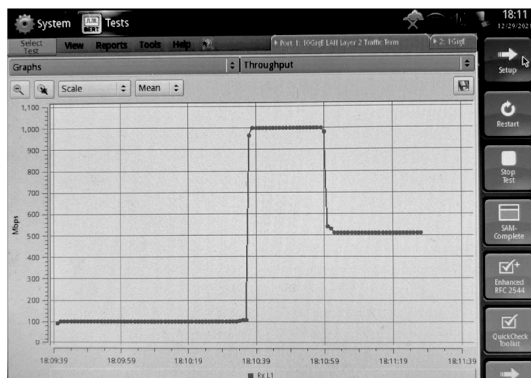
图7 基于 OSU 的带宽调整相应时间实时数据采集信息

4 M-OTN/OSU 应用部署和网络演进

M-OTN/OSU 承载的业务类型主要包括政企总部分支互联专线、入云业务、CloudVR 等多样性业务。对于本地业务, 城域 M-OTN 设



(a) 最小 2.6 Mbit/s 带宽调整



(b) OSU 大范围带宽调整能力

图6 带宽调整颗粒度和调整范围

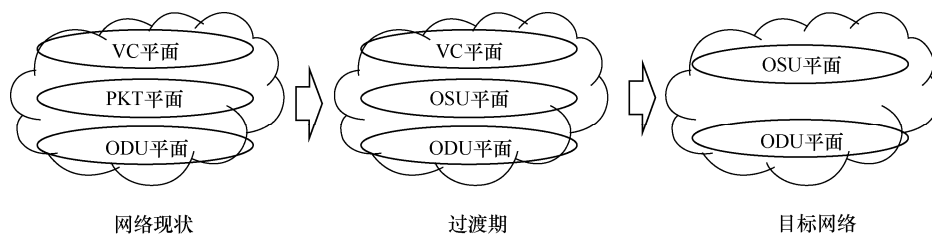


图8 城域 M-OTN/OSU 网络演进策略示意图

备同时支持基于 ODU k 和 OSU 承载业务,在城域核心汇聚节点进行基于 OSU 和 ODU k 的业务调度处理。对于跨域业务,城域出口 M-OTN 设备将 OSU 复用到 ODU k 中,骨干 OTN 继续沿用 ODU k 交叉能力^[20],充分利旧现有骨干网络资源。

为了充分利用现有网络资源,现有城域分组增强型 OTN 分阶段实现向 M-OTN/OSU 的演进,可对现网设备采用升级方式实现对 OSU 的支持,最终达到 OSU 和 ODU 双平面的目标网络。在全网设备对 OSU 能力覆盖不全面的过渡期间,采用 VC、OSU 和 ODU 3 平面的方式,支持过渡期多种业务的多样承载需求。城域 M-OTN/OSU 网络演进策略示意图如图 8 所示,随着整体网络对 OSU 覆盖面的扩大,最终实现 OSU 和 ODU 双层平面极简化目标网络。

在网络演进中的过渡阶段需要关注以下几个要点,以确保从过渡期到目标网络的平滑演进。

(1) 最大限度地保护现网资源,尽量通过现网设备主控/交叉板软件升级+新增支持 OSU 业务板卡方式,使现网设备具备基于 OSU 业务承载的能力。

(2) 考虑现网各地区政企 OTN 业务发展需求和网络投资情况,进一步研究分批次引入 OSU 平面。

(3) 跨地区的业务承载,在具备 M-OTN/OSU 网络条件下优先采用 OSU 平面进行业务承载,对于跨分组增强型 OTN 和 M-OTN 的情况,采用 VC 或 ODU 平面进行业务承载。

(4) 过渡阶段中后期,应关注 VC 平面网络资源利用率情况,避免出现投资浪费情况。

5 结束语

M-OTN/OSU 是由中国电信联合业界主流设备厂商推出的创新型光传输技术体系,从其技术特征优势和实验数据分析,可以看出 M-OTN/OSU 可以很好地适应未来业务发展的趋势和需求。OSU 技术的引入拓展了 OTN 光传送网的应用范围,提高了业务承载能力以及简化了网络结构和运维,给近几年技术升级几乎停滞的 OTN 技术打了一颗强心剂。设备、芯片和仪表厂商等业界产业链对 M-OTN/OSU 技术的大力投入,将加速 M-OTN/OSU 在现网应用部署的步伐,相信在几年时间里 M-OTN/OSU 技术会在现网中得到大规模商用。

参考文献:

- [1] 谭旺生. 一种基于政企 OTN 专网的 SDH 退网改造方案[J]. 通信技术, 2022, 55(4): 526-532.
TAN W S. The SDH network withdrawal solution based on the government-enterprise dedicated OTN network[J]. Communications Technology, 2022, 55(4): 526-532.
- [2] 唐雄燕, 王海军, 杨宏博. 面向专线业务的光传送网(OTN)关键技术及应用[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 18-25.
TANG X Y, WANG H J, YANG H B. Key technologies and application of optical transport network for leased line services[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 18-25.
- [3] 陈乐贤. 小颗粒政企专线承载技术探讨与应用[J]. 电信科学, 2020, 36(S1): 217-222.
CHEN L X. Discussion and application of small particle government and enterprise special line bearing technology[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(S1): 217-222.



- [4] 工业和信息化部. 分组增强型光传送网 (OTN) 设备技术要求: YD/T 2484-2013[S]. 2013.
- MIIT. Technical requirements for packet enhanced optical transport network (OTN) equipment: YD/T 2484-2013 [S]. 2013.
- [5] CCSA. OTN 支持 1G 以下客户信号技术研究[R]. 2019.
- CCSA. Study of technologies of sub1G services over OTN [R]. 2019.
- [6] 李俊杰, 霍晓莉, 闫飞, 等. 光网络如何使能云网融合[J]. 通信世界, 2021(9): 30-32.
- LI J J, HUO X L, YAN F, et al. How optical network enable cloud-network integration [J]. Communications World, 2021(9): 30-32.
- [7] 孙良. 城域高品质专线 OTN 承载网络与 SDH 融合组网研究[J]. 数字通信世界, 2021(6): 103-105.
- SUN L. Research on integration of high-quality private line OTN and SDH bearer network[J]. Digital Communication World, 2021(6): 103-105.
- [8] 杨军, 张丽萍. 新基建背景下运营商云光协同 OTN 入云关键技术研究[J]. 通信与信息技术, 2022(3): 42-43, 13.
- YANG J, ZHANG L P. Key technologies of OTN joining cloud computing in the integration of cloud computing and OTN of operator under the background of new infrastructure[J]. Communication & Information Technology, 2022(3): 42-43, 13.
- [9] 工业和信息化部. 分组增强型光传送网网络总体技术要求: YD/T 2939-2015[S]. 2015.
- MIIT. General technical requirements for packet enhanced optical transmission network: YD/T 2939-2015[S]. 2015.
- [10] 彭登, 许付才. 基于 VC-OTN 高品质专线承载网建设方案探讨[J]. 通信与信息技术, 2022(4): 78-80, 84.
- PENG D, XU F C. Discussion on construction scheme of high quality dedicated line bearing network based on VC-OTN[J]. Communication & Information Technology, 2022(4): 78-80, 84.
- [11] 中国通信标准化协会. 光传送网 (OTN) 多业务承载技术要求: YDB 076-2012[S]. 2012.
- China Communications Standards Association. Technical requirements for multi-service bearer in optical transport network (OTN): YDB 076-2012[S]. 2012.
- [12] 郭艳春, 王晨, 沈艳涛, 等. OTN 保护方式及多重保护协同方案[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(5): 70-74.
- GUO Y C, WANG C, SHEN Y T, et al. Discussion on OTN protection modes and multi protection cooperation schemes[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2022, 35(5): 70-74.
- [13] 荆瑞泉, 霍晓莉, 李俊杰, 等. 以 OSU 为核心的 M-OTN 技术创新与验证[J]. 电信科学, 2021, 37(4): 116-124.
- JING R Q, HUO X L, LI J J, et al. OSU based M-OTN technology innovation and verification[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(4): 116-124.
- [14] 工业和信息化部. 光传送网 (OTN) 保护技术要求: YD/T 2713-2014[S]. 2014.
- MIIT. Technical requirements for optical transport network (OTN) protection: YD/T 2713-2014[S]. 2014.
- [15] 工业和信息化部. 光传送网 (OTN) 接口: YD/T 1462-2011[S]. 2011.
- MIIT. Interfaces for the optical transport network(OTN): YD/T 1462-2011[S]. 2011.
- [16] 工业和信息化部. 接入型光传送网 (OTN) 设备技术要求: YD/T 3843-2021[S]. 2021.
- MIIT. Technical requirements for access equipment of optical transport network (OTN): YD/T 3843-2021[S]. 2021.
- [17] ITU-T. Hitless adjustment of ODUflex (GFP): G.7044[S]. 2011.
- [18] 工业和信息化部. 光传送网 (OTN) 带宽无损调整技术要求: YD/T 3119-2016[S]. 2016.
- MIIT. Technical requirements for bandwidth hitless adjustment of optical transport network(OTN): YD/T 3119-2016[S]. 2016.
- [19] 工业和信息化部. 分组增强型光传送网 (OTN) 互通技术要求: YD/T 3403-2018[S]. 2018.
- MIIT. Interworking technical requirements for packet enhanced optical transport network (OTN): YD/T 3403-2018[S]. 2018.
- [20] 于涛. 分组增强型 OTN 设备对政企专线承载的应用[J]. 通信技术, 2020, 53(8): 2070-2075.
- YU T. Application of packet-enhanced OTN equipment to government-enterprise private line[J]. Communications Technology, 2020, 53(8): 2070-2075.

[作者简介]



龚雅栋 (1985-), 男, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要从事光传输 OTN/WDM 等技术和应用方面的研究工作。



荆瑞泉（1972—），男，中国电信股份有限公司研究院正高级工程师，主要研究方向为光通信 OTN 技术、传送网管控技术等。



李俊杰（1977—），男，博士，中国电信股份有限公司研究院正高级工程师、科技管理部主任，中国电信集团有限公司光传输技术首席专家。长期从事光传输、光网络技术和应用方面的研究工作。



周恒（1994—），女，中国电信股份有限公司研究院工程师，主要研究方向为光通信 OTN 技术等。



霍晓莉（1977—），女，中国电信股份有限公司研究院正高级工程师，长期从事光通信技术的研究工作，涉及 MSTP、ASON、40 Gbit/s/100 Gbit/s WDM、同步等领域。