



以 OSU 为核心的 M-OTN 技术创新与验证

荆瑞泉¹, 霍晓莉¹, 李俊杰², 丁一¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209; 2. 中国电信集团有限公司, 北京 100032)

摘要: 随着运营商停止对 SDH/MSTP 网络的投资, OTN 将逐步替代 SDH 网络并向城域网的边缘延伸, 从而对 OTN 技术提出了新的需求。针对城域光传送网发展面临的挑战和新的业务需求, 提出了以 OSU 为核心、面向城域优化的 M-OTN 技术体系。对 OSU 技术的标准化进展情况进行了介绍, 并重点对 OSU 技术标准的主要内容进行了概要介绍, 包括 OSU 帧结构和开销、OSU 管理帧、无损带宽调整机制等。给出了关于 M-OTN 设备形态和现网演进策略的考虑。对主流厂商的 M-OTN 样机进行了测试, 测试结果表明 OSU 技术在时延、带宽调整和承载效率等方面具有显著的优势。

关键词: M-OTN; 光业务单元; 无损带宽调整

中图分类号: TN914

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021060

OSU based M-OTN technology innovation and verification

JING Ruiquan¹, HUO Xiaoli¹, LI Junjie², DING Yi¹

1. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

2. China Telecom Group Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract: As many carriers are stopping SDH/MSTP investment, OTN networks will replace SDH networks gradually and extend to the edge of the metro network, thus introducing new requirements for OTN technologies. In view of the challenges and new services requirements of the development of the metro optical transport network, the M-OTN technology with the optical service unit (OSU) as the core and optimized for the metro application was proposed. The progress of standardization and main contents of OSU technical standards were introduced, including OSU frame structure and overheads, OSU management frames, OSU hitless bandwidth adjustment mechanism. The consideration on M-OTN equipment types and existing network evolution strategy was given. The M-OTN prototype systems from mainstream manufacturers were tested. Test results show that OSU technology has significant advantages in latency, hitless bandwidth adjustment and transport efficiency.

Key words: M-OTN, OSU, hitless bandwidth adjustment

1 引言

随着 SDH 的逐步退网, OTN 即将全面替代

SDH 网络, 实现对 5G、专线、DCI (数据中心互联) 和视频等业务的综合承载。因此 OTN 在从骨干网向城域网的边缘延伸。与骨干网相比, 城域

网的汇聚和接入层节点数量众多,且业务面临多样化,因此对 OTN 设备业务适配灵活性要求更高,并且对设备成本非常敏感。现有的分组增强型 OTN 技术虽然具备高品质的优势,但是为了支持分组和小颗粒业务,采用了分组、VC (virtual container, 虚拟容器)、ODU (optical data unit, 光数据单元)多平面叠加的方式实现。现有方案存在多平面叠加技术复杂、运维管理复杂、实现成本高等问题^[1]。

针对以上需求和存在的问题,联合业界主要通信设备厂商、运营商和研究机构,提出了以光业务单元 (optical service unit, OSU) 为核心的、面向城域优化的光传送网 (metro-optimized OTN, M-OTN) 技术体系^[4]。M-OTN 的目标是提供低成本、低时延、低功耗的以城域应用为主的综合业务承载方案。M-OTN 创新性地引入了具备灵活带宽调整能力的 OSU 技术,补齐了传统 OTN 技术在小颗粒业务承载效率方面的短板,有利于降低设备复杂度和成本,简化网络运维。M-OTN 不仅可以支持各种颗粒高品质专线业务的承载,还为 8K HDTV、Cloud VR/AR 等高通量、高品质业务提供了更高效的承载方案。

M-OTN 的主要技术特征包括:

- 引入灵活映射的 OSU, 提供对 10 Mbit/s~10 Gbit/s 级粒度多业务的高效承载能力;
- 引入 OTU0/25/50 (optical transport unit, 光传送单元) 新型低成本接口, 重用以太网光模块, 实现客户业务的低成本接入;
- 引入开放式管控接口, 实现对多厂商接入型 M-OTN 设备的统一管控。

参考文献[2]介绍了接入型 OTN 设备统一管控系统原型开发与试验演示的成果,参考文献[3]对 OTU25/50 接口进行了规范。本文将重点对 OSU 的技术标准、设备形态、网络演进和测试验证情况进行介绍。

在标准化方面,2019 年年底中国通信标准化协会 (CCSA) 通过了“基于 OSU 的 OTN 设备技术要求”和“光业务单元 (OSU) 技术要求”两个行业标准项目的立项。2020 年 1 月月底于日内瓦召开的 ITU-T SG15 全会上, G.osu (光业务单元通道层网络) 标准项目成功立项。在项目组的共同努力下,上述标准项目进展顺利,目前已经完成 OSU 总体技术方案的制定,后续将积极推动标准的编制和发布。

2 OSU 帧结构和开销

OSU 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。

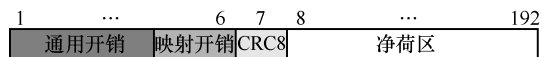


图 1 OSU 帧结构

通用开销包括版本号 (VER)、支路端口号 (TPN)、帧类型 (FT)、连续性校验 (CV)、串连接监视 (TCM1/TCM2)、通道监控 (PM) 和保留开销 (RES), 如图 2 所示。主要开销功能如下。

(1) 版本号: 用于标识 OSU 帧结构版本号。VER 默认为 01, 指示当前版本, 其他值预留为将

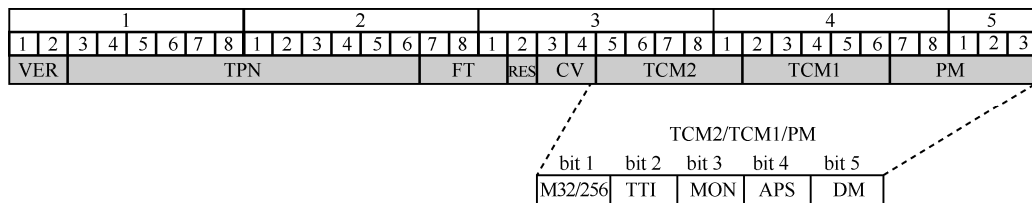


图 2 通用开销



来使用。

(2) 支路端口号：用于标识 OPU_k (optical payload unit-*k*, 光通路净荷单元 *k*) 支路端口和 OSU 帧对应关系, TPN 在承载 OSU 的 ODU_k 服务层通道中唯一。TPN 长度为 12 bit, 即一条 ODU_k 通道最大可以承载 4 000 条 OSU。TPN 处理如图 3 所示, 对于一条端到端的 OSU 连接, 针对不同的服务层, TPN 需要进行逐段更新。

(3) 帧类型：用于标识 OSU 帧类型, 目前定义的帧类型见表 1。

表 1 定义的帧类型

3 bit 值	类型
000	OSU(PKT)数据帧
001	OSU(PRBS)测试信号帧
010	OSU(CBR)数据帧
011	保留
100	OSU(PKT)保持激活帧
101	OSU 客户故障帧
110	OSU 维护状态帧
111	OSU OAM 帧

(4) 连续性校验 (CV)：用于在 OSU 经过的每个段层进行 OSU 帧连续性和带宽是否匹配的检测。与 TPN 处理类似, CV 也需要进行逐段更新和处理。

(5) 串联连接监视 (TCM1/TCM2)：OSU 支持两级 TCM, 每级 TCM 长度为 5 bit。其中 TCM1

用于分段性能监控和时延测量 (DM), TCM2 用于分段保护, 格式如图 4 所示。TCM1 和 TCM2 具体的功能比特需要配合 M32/256 复帧使用。

TCM1 (分段监控)				
M32/256	RES	监控	RES	DM

TCM2 (分段监控)				
M32/256	RES	监控	APS	RES

图 4 TCM1/TCM2 格式定义

TCM1/TCM2 的监控 (monitoring) 开销用于提供 TCM1 和 TCM2 层所属范围内的性能质量监控。TCM1 中的时延测量 (DM) 用于提供 TCM1 层高精度时延测量, 支持单向绝对时延测量和双向时延测量。TCM2 层 APS 字段用于传递 TCM2 层的 APS 保护倒换协议, APS 格式定义和 G.873.1 保持一致。

(6) 通道监控 (PM)：PM 长度为 5 bit, 用于提供 PM 层端到端的通道监控功能, 包括路径踪迹标识 (TTI)、监控、自动保护倒换 (APS) 和时延测量 (DM), 具体格式如图 5 所示。其中, TTI 采用 32 byte, 功能定义兼容 G.709 定义 TTI 的前 32 byte。其他开销的定义与 TCM 层对应开销相同。

PM (通道监控)				
M32/256	TTI	监控	APS	DM

图 5 PM 格式定义

OSU 映射开销主要和业务映射相关, 并根据承载业务的需求不同, 设定不同的开销功能。主

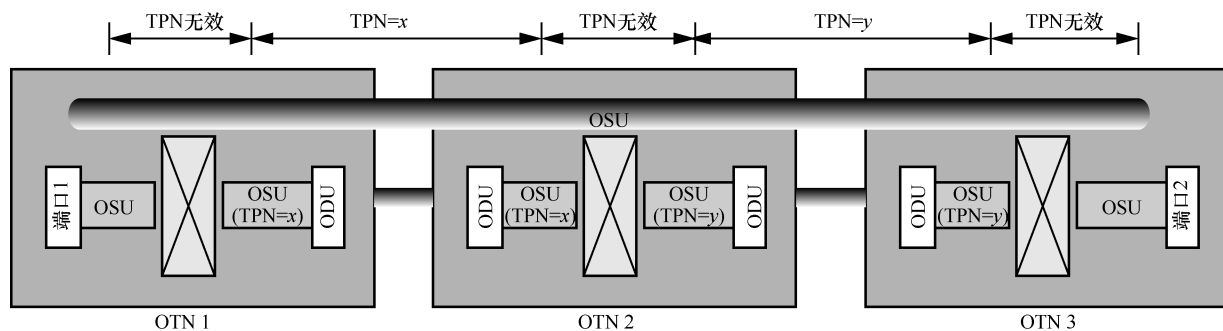


图 3 TPN 处理示意图

要分成两类：CBR 映射开销和以太网映射开销。

(1) BR 映射开销：包含时间戳 (TS)、净荷长度 (PLn) 和序列号 (SQ)，如图 6 (a) 所示。TS 用于携带 CBR 业务时间戳。PLn ($n=1, 2, 3$) 用于指示 OSU 帧净荷区域承载的 CBR 业务所占用的净荷长度。SQ 用于提供端到端 OSU 路径 OSU 帧丢失监控功能。

5					6							
4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
TS								PLn			SQ	

(a) CBR映射开销

5					6							
4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
257b_IND					PTR						RES	

(b) 以太网映射开销

图 6 映射开销

(2) 以太网映射开销：包含 257b 指示 (257b_IND)、指针 (PTR) 和保留比特 (RES)，如图 6 (b) 所示。257b_IND 用于承载以太网业务在该帧中承载的 5 个或者 6 个 257b 头部的 1 bit 类型指示 (0 表示对应 256b 中存在控制码，1 表示对应 256b 中无控制码)。PTR 用于指示第一个 256b 起始的字节位置。

CRC8 校验开销用于对 OSU 帧通用开销和专

用开销进行循环冗余校验。CRC8 校验多项式为 $G(x)=x^8+x^2+x+1$ ，初始值为全 1。

3 OSU 管理帧

除了前面定义的通用开销和映射开销，OSU 还定义了用于 OSU 维护管理的 OSU 管理帧，包括 OSU 客户故障帧、OSU 维护状态帧、OSU 保持激活帧和 OSU OAM 帧。

(1) OSU 客户故障帧

OSU 客户信号失效指示采用特定 OSU 客户故障帧实现，如图 7 所示。

客户信号故障类型由客户故障指示 (CFI) 字段确定，CFI 类型见表 2。

OSU 客户故障帧在 OSU 源端产生，并在 OSU 宿端终结。向下游插入的 OSU 客户故障帧由本地时钟生成，对于 OSU 承载 CBR 业务的情况，按照 OSU (CBR) 的原始比特速率插入 OSU 客户故障帧。对于承载以太网业务的情况，按照以太网业务的最小带宽 10.4 Mbit/s 的速率插入 OSU 客户故障帧。

(2) OSU 维护状态帧

OSU 维护状态采用特定 OSU 维护状态帧实现，如图 8 所示。

1								2								3								4								5		
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
VER		TPN										FT		RES	CV	TCM2				TCM1				PM										

5				6								7								8~192												
4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	...											
CFI		RES										CRC8								RES												

图 7 OSU 客户信号失效帧

表 2 CFI 故障类型定义

比特位置	故障类型
第 5 byte 的第 4 bit	客户信号失效(CSF)，用于指示客户侧信号故障（如 LOS），0 表示正常，1 表示故障
第 5 byte 的第 5 bit	客户侧前向缺陷指示 (FDI)，对于支持本地故障指示（如 LF）的客户侧接口，将客户信号物理层中的本地故障指示采用 FDI 向下游透传。0 表示正常，1 表示故障
第 5 byte 的第 6 bit	客户侧反向缺陷指示 (RDI)，对于支持远端故障指示（如 RF）的客户侧接口，将客户信号物理层中的远端故障指示采用 RDI 向上游透传。0 表示正常，1 表示故障

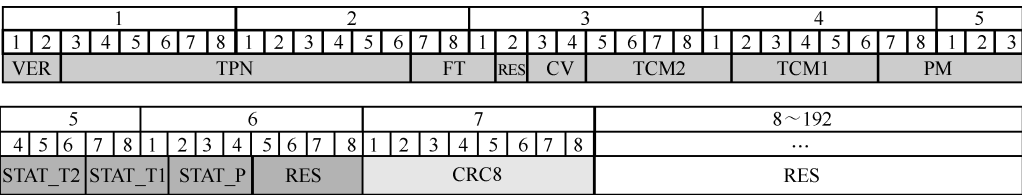


图 8 OSU 维护状态帧

维护状态类型由 STAT_T2/STAT_T1 或 STAT_P 字段确定, 分别对应 TCM2、TCM1 和 PM 层次。维护状态类型见表 3。

表 3 维护状态类型

3 bit 值	类型
000	OSU_NORMAL
001	OSU_HOLDOFF
101	OSU_LCK
110	OSU_OCI
111	OSU_AIS
其他	保留

(3) OSU 保持激活帧

采用 OSU 保持激活帧的方式, 确保在承载以太网业务情况下无业务数据传送时 OSU 连接的稳定性, 同时维持 OSU 开销的管理监控等功能正常运行。OSU 保持激活帧只使用通用开销, 映射开销和净荷为保留字段。OSU 保持激活帧的发送频率可以灵活配置。为维持 OSU 管理监控功能正常运行, 当 OSU (PKT) 速率低于 10.4 MB/s 时, 在 OSU 帧中插入 OSU 保持激活帧, 保证 OSU 速率维持在至少 10.4 MB/s。

(4) OSU OAM 帧

OSU 采用专用 OAM 帧方式实现特定管理维

护功能, 如无损带宽调整、GCC 和加密等。OSU OAM 帧格式如图 9 所示。

OAM 帧管理维护功能类型由 OAM 帧类型 (OT) 字段确定, 目前定义的 OAM 帧类型只有 OSU 无损带宽调整控制帧 (00001)。OSU OAM 帧开销区其他比特和 OSU 净荷区为保留字段 (RES), 默认值为 0, 可根据不同的 OAM 帧类型进行功能定义。

4 OSU 无损带宽调整机制

现有的 ODUflex 无损带宽调整机制由于需要管控系统与所有参与调整的设备进行交互, 且存在控制协议复杂、需要两端对齐 OPU 时隙等问题^[5], 导致其在现网中 (特别是多厂商组网场景中) 很难部署应用。为了避免上述问题, 提出了对 OSU 无损带宽调整机制的基本功能要求, 包括如下 6 点。

(1) 网管/控制平面的带宽调整指令应只需发给源、宿节点, 然后通过 OSU 开销将调整指令传送给其他节点; 同时调整过程应不需要网管参与, 以便适用于没有统一网管的多域网络应用场景。

(2) 调整完成后, 源、宿节点应向网管/控制平面反馈调整结果。

(3) 调整目标带宽可在服务层带宽内任意调

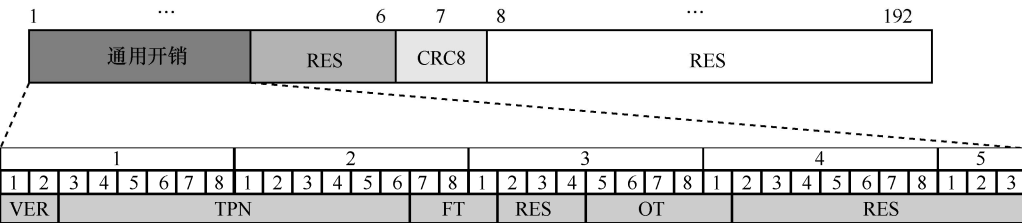


图 9 OAM 帧格式

整,调整颗粒为 $n \times 10$ Mbit/s。例如在 OTU2 链路中,一条 OSU 的带宽可在 10 Mbit/s 到 10 Gbit/s 的范围内以 $n \times 10$ Mbit/s 为步长进行调整。

(4) 应支持同时调整工作和保护路径的带宽,以便满足业务正常保护倒换的需求。

(5) 应具备端到端确认机制,保障带宽调整的可靠性,避免出现部分节点调整成功、部分节点调整失败的情况。

(6) 因故障调整失败时,应支持自动回退到初始带宽,以便保持网络状态的稳定性,避免产生残余连接。

基于以上功能需求,提出了 OSU 无损带宽增加和减少流程,其中带宽增加流程如图 10 所示。

使用 OSU 无损带宽调整控制帧进行节点之间的控制信令交互,帧格式如图 11 所示。

具体的开销字段含义见表 4。

5 M-OTN 设备形态和现网演进

参考运营商城域网/本地网的机房分类,M-OTN 设备在网络中的部署位置如图 12 所示。

根据 M-OTN 设备的形态、技术特征和在网络中的部署位置的不同,将 M-OTN 设备分为固定盒式和插板式两种,其中插板式设备又可以分为 I 型和 II 型两种。不同种类 M-OTN 设备的部署位置和主要功能特征见表 5。对应现网 OTN 设备的分类方法,固定盒式 M-OTN 和 I 型插板式

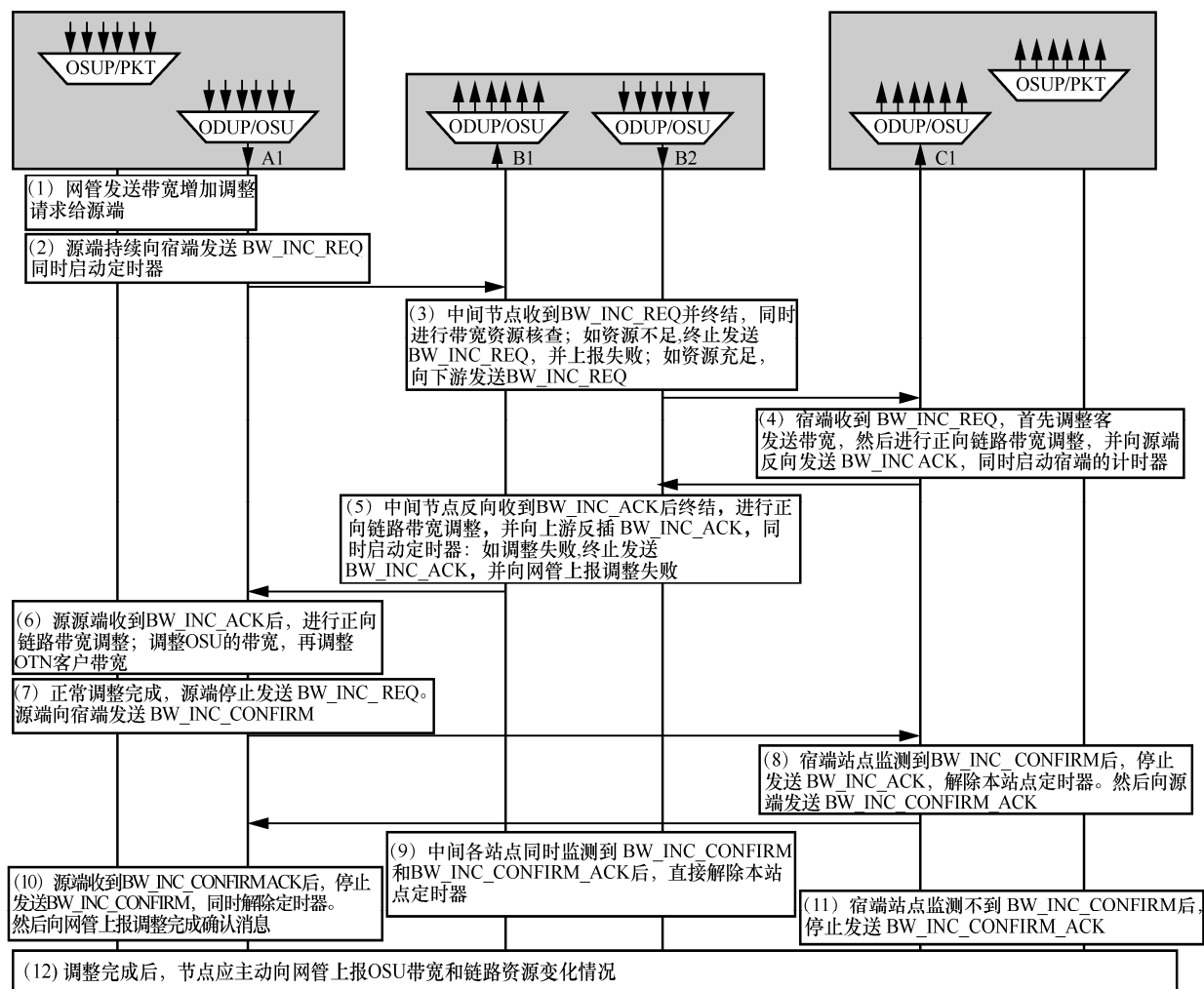


图 10 OSU 无损带宽增加流程



1	2	3	4	5	6	7
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
VER	TPN	FT	RES	OT	BW_ADJ_REQ	CRC8

8	9	10	11	12	13	14~97
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	...
RES	C_{M+N}/C_{M-N}	RES	C_M	RES	C_M	RES

98	99	100	101	102	103	104~186
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	...
RES	C_{M+N}/C_{M-N}	RES	C_M	RES	C_M	RES

187	188	189	190	191	192
1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8
RES	C_{M+N}/C_{M-N}	RES	C_M	RES	C_M

图 11 无损带宽调整控制帧格式

表 4 无损带宽调整控制帧信息含义

无损带宽调整控制帧包含信息	含义
BW_ADJ_REQ (2 bit)	00: BW_ROLLBACK_REQ, 带宽调整回退请求 01: BW_INC_REQ, 带宽增加请求 10: BW_DEC_REQ, 带宽减少请求 11: BW_INC_CONFIRM, 带宽增加完成确认
BW_ADJ_ACK (3 bit)	000: BW_ROLLBACK_ACK, 带宽调整回退请求响应 001: BW_INC_ACK, 带宽增加响应 010: BW_DEC_ACK, 带宽减少响应 011: BW_INC_CONFIRM_ACK, 带宽增加完成确认响应 100: BW_INC_NACK, 带宽增加故障响应
Timer (10 bit)	定时器时长值, 网管可配置, 以秒为单位, 取值范围 0~1 023
C_{M+N}/C_{M-N} (16 bit)	待调整的目标带宽对应的 C 值, 对应为 C 倍的基准速率。当带宽增加时为 C_{M+N} , 当带宽减小时为 C_{M-N}
C_M (16 bit)	待调整的原带宽对应的 C 值, 对应为 C 倍的基准速率

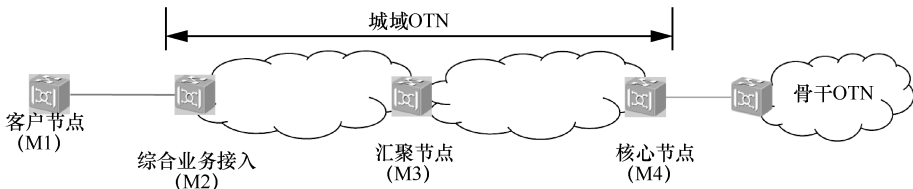


图 12 M-OTN 设备在网络中的位置

M-OTN 又可统称为接入型 M-OTN。

为了同时支持基于 OSU 的业务(如 10 Mbit/s~10 Gbit/s 分组业务、STM-1/4 等)和基于 ODUk 的业务(如 10 Gbit/s 以上分组业务、STM-4 以上

的 TDM 业务等), 城域 OTN 应同时支持 OSU 和 ODUk 交换。城域网可采用 OTN 现网升级或新建一个 M-OTN 平面的方式实现对 OSU 的支持。为了保护已有网络投资, 要求近期新建的城域 OTN

表5 M-OTN 设备分类

设备类型	固定盒式 M-OTN	I 型插板式 M-OTN	II 型插板式 M-OTN
对应现网设备类型	固定盒式接入型 OTN	插板式接入型 OTN	城域 OTN
部署位置	客户节点	客户节点、M2、M3、M4	M3、M4
交换能力	OSU、ODUk (可选)	OSU、ODUk、以太网 (可选)	OSU、ODUk、以太网 (可选)
管控接口	标准接口	标准接口	非标准接口

设备应支持平滑升级到M-OTN设备。在城域OTN的核心节点设备上,需要将到其他城域OTN的OSU复用到ODUk中。因此,骨干OTN只需要支持ODUk交换即可,可以继续沿用现有OTN。

6 M-OTN 样机测试验证

在标准制定的同时,还组织了OSU关键性能验证和M-OTN设备样机测试,测试拓扑和测试现场环境如图13所示。

测试结果表明基于OSU的M-OTN技术具备如下显著优势。

(1) 低时延特性: 对比现阶段采用的EOS (Ethernet over SDH) 和EOO (Ethernet over OTN) 方案,OSU技术具有明显的时延优势;特别是与承载小颗粒业务的EOS方案相比,优势非常显著,双向时延可降低1~3 ms,如图14所示。

(2) 无损带宽调整: 与现有的ODUflex带宽调整机制相比,基于OSU的业务带宽无损调整时间更短、调整颗粒更精细。

(3) 提升承载效率: 以10 Gbit链路为例,目前EOO方案只能支持8条GE业务,OSU方案可以承载10条GE业务,承载效率提升了25%。

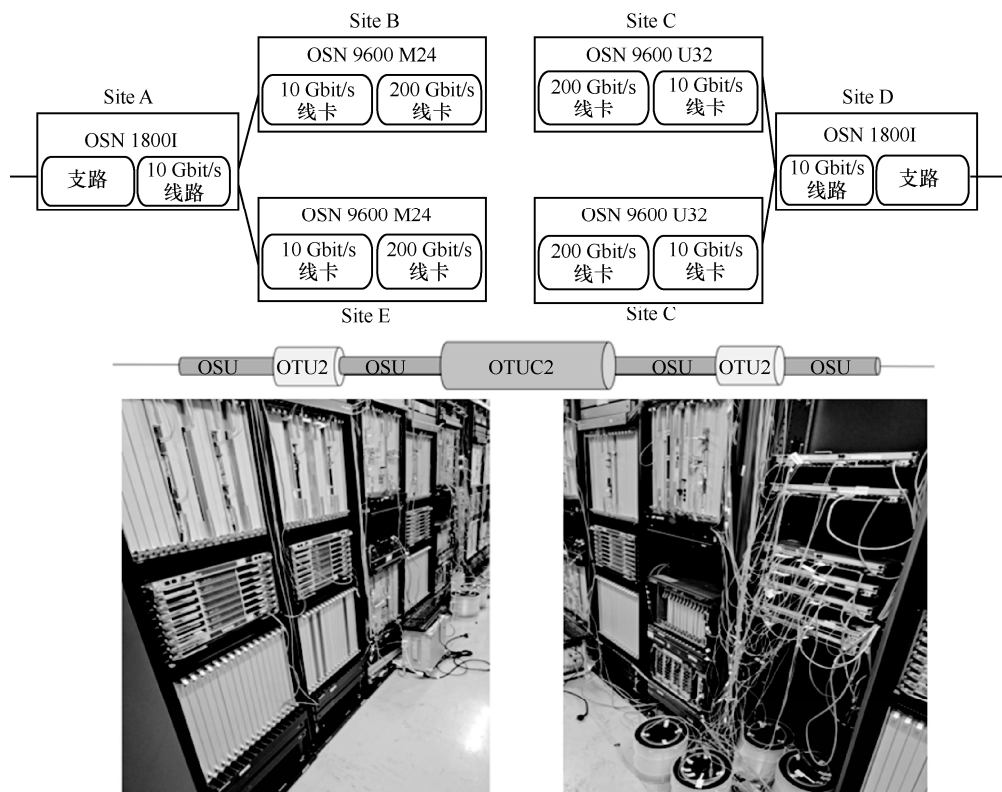


图13 测试拓扑和测试现场环境

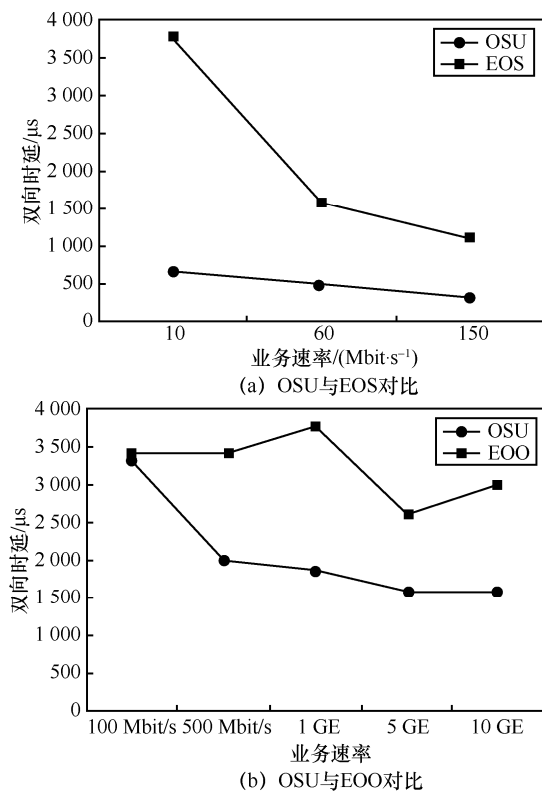


图 14 时延测试对比结果

7 结束语

M-OTN/OSU 是首个由中国运营商和设备厂商联合主导推动的光传送网 (OTN) 核心系列标准, 是我国在光传送网国际标准领域实现由跟随向引领的突破。笔者将在 M-OTN 产业发展中持续引领标准方向, 联合产业链上下游各方打造完整的生态圈, 实现 M-OTN 在现网的快速部署和应用。M-OTN 技术具有的灵活带宽、低时延、开放管控接口等特性可以很好地满足以高品质专线业务为主的综合业务承载需求, 势必在未来传送网的演进和发展中扮演重要角色。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 荆瑞泉, 赵国永, 徐云斌, 等. 接入型 OTN 设备统一管控系

统原型开发与试验演示[J]. 电信科学, 2020, 36(4): 154-160.

JING R Q, ZHAO G Y, XU Y B, et al. Prototype development and demonstration of unified management-control system of access-type OTN[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(4): 154-160.

- [3] ITU-T. OTU25 and OTU50 short-reach interfaces: G.709.4[S]. 2020.

- [4] 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.

- [5] ITU-T. Hitless adjustment of ODUflex(GFP): G.7044[S]. 2011.

[作者简介]



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



霍晓莉 (1977-), 女, 中国电信股份有限公司研究院教授级高级工程师, 主要研究方向为光通信技术、OTN 等。



李俊杰 (1977-), 男, 中国电信集团有限公司光传输专业首席专家, 中国电信集团有限公司科学技术委员会委员, 主要研究方向为光通信技术、WDM 等。



丁一 (1995-), 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技术、传送网管控技术等。