



专栏: 5G+时代的可编程网络

灰盒光传输设备的 SDN 管控技术研究及应用

胡骞¹, 赵国永¹, 霍晓莉¹, 李俊杰¹, 荆瑞泉¹, 闫飞², 武晓锋²

(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: 传统光传输网络正逐渐走向开放与解耦,“烟囱式”的单厂商单域管理模式也在软件定义网络 (software defined network, SDN) 理念渗透下向多厂商、多域统一管理模式发展,考虑到传输网络的设备差异性和协议复杂性,对传送 SDN 管控提出了一定的要求。首先,提出了介于黑盒设备与白盒设备之间的灰盒概念;然后,以灰盒化的接入型光传送网络 (optical transport network, OTN) 设备为例,探讨了接入型 OTN 的 SDN 统一管控关键技术,包括开放管控架构、业务模板化、拓扑自动生成、设备自动上线、设备远程升级等;最后,结合实践阐述了接入型 OTN 统一管控系统的实现和现网应用情况。

关键词: 传输网络; 网络管理; 光传送网络; 软件定义网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021273

Application and research of SDN-based management and control technology for optical transport grey-box devices

HU Qian¹, ZHAO Guoyong¹, HUO Xiaoli¹, LI Junjie¹, JING Ruiquan¹, YAN Fei², WU Xiaofeng²

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

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

Abstract: Traditional optical transport network is gradually becoming open and disaggregated, and the chimney-type single-vendor and single-domain management mode is also developing to the multi-vendor and multi-domain management mode with the penetration of software defined network (SDN) concept. Considering the equipment difference and protocol complexity of transport network, application of SDN management and control for transport network faces challenges. Firstly, the concept of grey-box was proposed, which was between black-box and white-box. Then, taking grey-box access OTN as an example, the key technologies of SDN unified management and control of access-type OTN were discussed, including management and control architecture, service template, automatic topology generation, automatic equipment online, remote upgrade of equipment, in-band DCN communication between different vendors, etc. Finally, the application of access-type OTN unified management and control system in real network was described.

Key words: transport network, network management, optical transport network, software defined network

收稿日期: 2021-10-20; 修回日期: 2021-12-10

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2019YFB1803705)

Foundation Item: The National Key Research and Development Project of China (No.2019YFB1803705)



1 引言

光传送网是运营商的基础网络，既为无线、IP、云等不同专业的业务网提供稳定可靠的基础承载能力，也为政企客户提供高品质专线服务。光传送网络（optical transport network, OTN）经历了准数字同步体系（plesiochronous digital hierarchy, PDH）、同步数字体系（synchronous digital hierarchy, SDH）、多业务传送平台（multi-service transport platform, MSTP）、光传送网络等不同技术阶段的演进，但与数据通信领域的路由器/交换机相比，一直存在网络管理标准化程度差、多厂商各自管理网络的“烟囱式”现状。这种“烟囱式”的单域管理给多厂商统一管控带来一定难度，端到端管理、跨域跨专业协同等目标难以实现，且随着网络管理的智能化，单域封闭式管理造成的网络数据接口、数据质量不统一，也为数据分析造成障碍，影响网络智能化发展。

软件定义网络（software defined network, SDN）技术^[1]的出现为打破“烟囱式”管理模式，实现多厂商统一管控带来曙光。随着 SDN 的应用逐步从 IP 网络发展到光传送网络，传送 SDN 技术迅速成为光网络管控领域的热门研究课题，其管控模式分为分层管理和直控网元两种。

对于分层管理模式，各设备厂商仍然采用厂商网管进行设备管理，但北向会按网络运营商要求提供开放统一的应用程序接口，网络运营商可以在各厂商网管基础上构建多域控制器，实现多厂商统一管控。在分层管理阶段，学术界和产业界最初探索了基于 OpenFlow 协议进行光层扩展的方式，以支持 OTN 管理能力^[2]，但由于 OpenFlow 协议中存在大量与光传送网无关的内容，导致协议复杂性高且相关性差，后续 ONF、IETF 等标准组织发展了 TAPI、ACTN 等新的协议规范^[3]，CCSA 制定了相应的控制器层间接口^[4]，部分运营商也自行制定了厂商网管北向接口企业标准。尽管分层管理方

式可以实现多厂商统一管理，但它只是通过分层管理的方式屏蔽了多厂商差异，并没有实现多厂商设备的管控协议标准化，比较适合技术复杂的骨干传输设备。

随着光网络开放与解耦概念的提出^[5]，学术界和产业界对传送 SDN 的研究逐渐开始扩展到直控网元模式。光网络的开放与解耦概念中，开放主要指纵向开放，即光网络设备要遵循 SDN 理念实现接口统一开放、传送平面与控制平面分离；而解耦主要指横向的、数据平面硬件之间的解耦，如实现光电分离、模块解耦等。实现开放解耦光网络的本质是设备白盒化、管控 SDN 化，但应当指出，与路由器/交换机不同，传输设备的白盒化因芯片、模块、器件和协议的诸多复杂性，较难在短期内实现。但是，相较于复杂的骨干传输设备，位于传输网络末端的设备一般在功能、形态和性能方面更为轻量级，适合作为光网络开放解耦的对象，如接入型 OTN 设备、盒式波分设备等。

本文首先提出灰盒传输设备的概念，然后以灰盒化的接入型 OTN 为例，阐述对其进行 SDN 统一管控的关键技术，包括管控架构、业务模板化、拓扑自动生成、设备自动上线、设备远程升级等，最后结合实践阐述接入型 OTN 统一管控系统在现网中的应用情况。如无特殊说明，本文所述灰盒传输设备均指灰盒光传输设备。

2 灰盒传输设备

在讨论灰盒传输设备之前，首先要明确黑盒、白盒与灰盒的区别。在 SDN 应用到传送网之前，传输设备基本是黑盒化的，即设备不解耦、管控不开放或开放能力有限，不仅容易出现异厂商互通问题，网络运营商在使用黑盒传输设备组网时也很难做到对网络的自主可控；白盒设备的概念在服务器、交换机等 IT 领域出现较早，它不仅要对设备的功能、性能和接口提出要求，还需要对设备的板卡、模块甚至芯片设计进行深度定制，

是一种完全开放解耦的设备形态。供应商在提供白盒设备时具有更好的一致性,网络运营商可降低规范接口难度,减少厂商适配工作,有利于专注实现管控功能创新。AT&T 主导的开放可重构光分插复用器(open reconfigurable optical add/drop multiplexer, OpenROADM)项目^[6]对白盒化可重构光分插复用器(reconfigurable optical add/drop multiplexer, ROADM)做出了探索与尝试,但目前尚未得到广泛应用。笔者认为,白盒设备的深度定制化能够更好地满足网络运营商需求,但传输设备涉及的光电交叉能力、板卡模块设计和底层芯片实现都相对复杂,在光传输领域完全复制服务器、交换机的白盒化模式目前阶段尚难实现。

当前乃至未来较长的时期,灰盒模式是一种更符合传输设备特性的实现方式,即网络运营商对设备提出功能和性能要求,并定义统一接口规范,由供应商遵循网络运营商提出的规范进行设备实现和接口开放。灰盒的本质是部分开放解耦,网络运营商不必深入关注设备的板卡、模块等内部设计,只需要在功能、性能和接口层面提出要求,因此更符合传输设备特点,易于实现设备开放能力和网络统一管控之间的需求匹配。

3 灰盒传输设备的 SDN 统一管控关键技术

接入型 OTN 设备是框式 OTN 设备的小型化、盒式化演进,它降低了 OTN 设备的成本并实现了与框式 OTN 设备的物理层互通与解耦,允许利用 OTN 线路接口提供的通用通信通路(general communication channel, GCC)接入城域/骨干 OTN 的带内数据通信网络(data communication network, DCN),同时可提供标准的 Netconf/YANG 接口实现统一纳管,是一种典型的部分开放解耦的灰盒传输设备。灰盒传输设备采用 SDN 架构实现统一管控,因为 SDN 技术与设备灰盒/白盒化相伴相生,灰盒化允许对设备进行统一的开放接口定义,是引入 SDN 开放管控架构的重要前提,而渗透了 SDN 理念的管控系统秉承接口标准化、软件可编程和北向能力开放的特征,可以在跨域跨厂商范围内实现更多模板化、自动化和易用性功能,本节首先介绍符合 SDN 理念的开放管控架构,然后对灰盒接入型 OTN 设备的 SDN 统一管控关键技术进行阐述。

3.1 开放管控架构

接入型 OTN 设备统一管控系统架构如图 1 所示,多厂商接入型 OTN 设备可以通过统一管控系统实现直接纳管。这种管理方式要求所有接入型

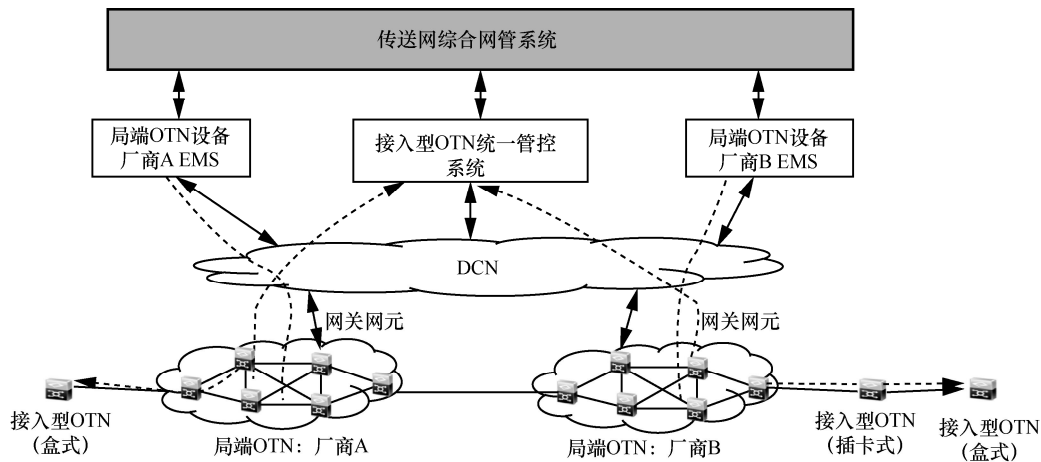


图 1 接入型 OTN 设备统一管控系统架构



OTN 设备必须遵循相同的开放接口规范，目前业界常用 Netconf 协议实现设备与管控系统之间的通信，而对数据模型的描述一般均采用 YANG 模型，这符合 SDN 理念的开放特征。

3.2 业务模板化

在传送网中，接入型 OTN 主要定位解决 OTN 的延展和接入问题，希望能够通过 OTN 的小型化和盒式化下沉至客户机房或更接近客户侧的局端机房位置，因此与框式 OTN 相比更关注多业务的接入能力，业务多样性也为管控系统实现业务管理带来一定程度上的挑战。

在接入型 OTN 管控系统中采用定义业务模板的方式解决多业务接入的参数按需配置问题。

首先在 YANG 模型中定义连接配置接口，根据设备的交叉能力至少应包括以太网连接、SDH 连接和光数据单元（optical data unit，ODU）连接 3 种连接配置接口；考虑到对以太网接入业务的不同处理方式，还应支持 EoO（ethernet over OTN）和 EoS（ethernet over SDH）两种方式。对于 EoO 业务，通过以太网连接或 ODU 连接接口区分是否执行以太网交换处理，而对于 EoS 业务，为了区别于一般的以太网业务需要单独定义业务接口。

业务分类见表 1，在接入型 OTN 管控系统中针对业务类型，对客户端接入型 OTN 设备和局端接入型 OTN 设备分别进行单站配置，配置内容一般应包括业务类型、连接层协议名称、请求带宽、业务映射模式、保护信息和端口信息等。其中，

端口信息一般应涉及虚拟局域网（virtual local area network，VLAN）属性、交换能力、ODU 的净荷类型/适配类型、时隙占用情况等。

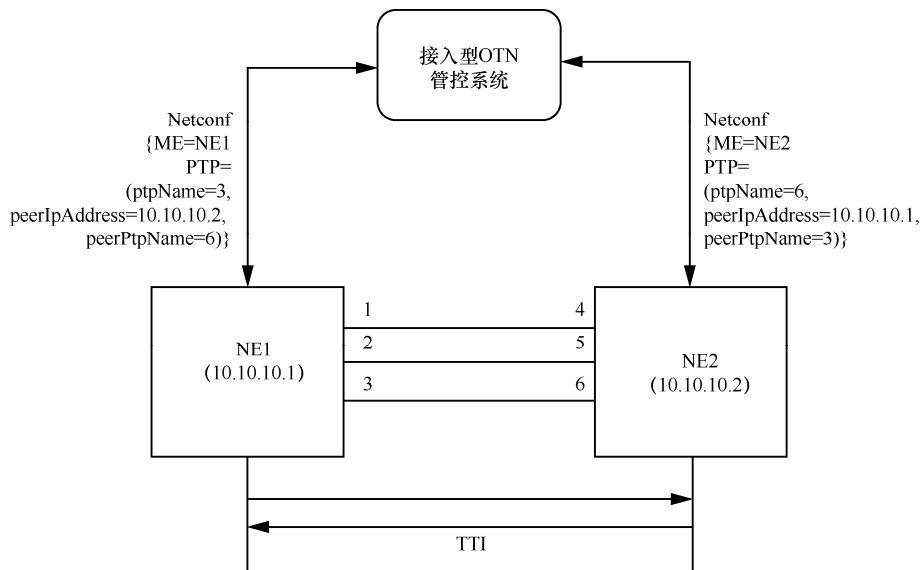
为完整描述设备能力，YANG 模型会对接口参数进行详细约束，但在实际应用中上述参数在不同业务场景里一般是固定值，为简化运维过程中的业务创建流程，可针对不同的业务场景提供模板。

3.3 拓扑自动生成

在多厂商接入型 OTN 管理中，如何在管控系统中呈现不同设备之间连接关系形成网络拓扑是一个重要问题。接入型 OTN 设备被要求支持链路自动发现协议（遵循 ITU-T 标准 G.7714.1），通过对配置参数的标准化实现了异厂商设备之间的信息交互。接入型 OTN 设备在接入管控系统之后，使用串联连接监测（tandem connection monitoring，TCM）的传送踪迹标识（trail trace identifier，TTI）封装资源发现报文，获取对端设备的端口信息，并上报至管控系统。接入型 OTN 链路自动发现流程如图 2 所示，网元 NE1 的 3 号物理端口（physical termination point，PTP），在上报端口资源时，要求携带通过 TTI 字段封装的对端端口信息，显式地向管控系统上报对端物理端口名称 peerPtpName 和所属网元 IP 地址 peerIpAddress。利用这种对端端口信息的上报，管控系统可以获取多厂商设备之间的连接关系，自动生成网络拓扑。

表 1 业务分类

客户侧端口类型	业务类型	客户端接入型 OTN 交叉类型（UNI-NNI）	局端接入型 OTN 交叉类型（NNI-NNI）
以太网端口	分组	ETH	ETH
	透传	ODU	ODU
	部分透传	ETH	ODU
	EoS	EoS	SDH
SDH 端口	VC	SDH	SDH

图 2 接入型 OTN 链路自动发现流程^[7]

3.4 设备自动上线

对于放置于客户机房的接入型 OTN 设备，考虑到需要尽量缩短在客户机房的现场施工周期，即插即用成为这种客户终端设备（customer premise equipment, CPE）的主流方式，而这要求管控系统必须支持设备的自动上线功能。在出厂时完成基础配置的设备，在机房安装上线后即可实现自动上线，可以实现管控系统的自动纳管。设备的自动上线示意图如图 3 所示，具体步骤包括以下几个。

(1) 客户端接入型 OTN 设备在机房安装上电，自动申请 IP 地址。

(2) 通过动态主机配置协议（dynamic host configuration protocol, DHCP）方式获取 IP 地址后，自动发送上线消息。

(3) 管控系统在收到上线消息以后，自动与设备建立 Netconf 连接，并同步设备信息。

(4) 设备实现自动上线，管控系统可实现设备的管理。

3.5 设备远程升级

传统方式的设备升级经常需要进入机房操作完成，自动化程度低且时效性差。近年来，尽管

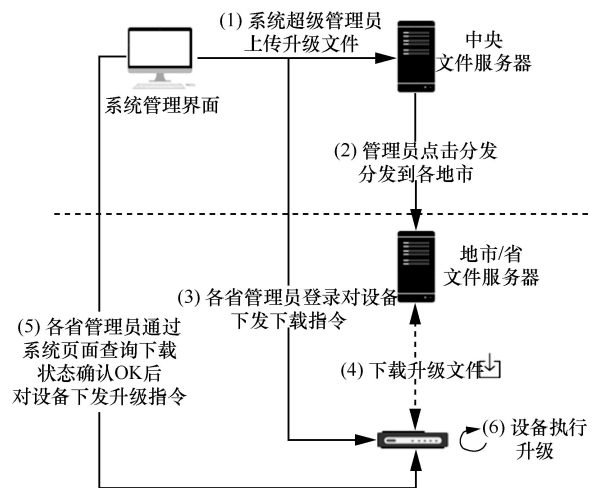


图 3 设备自动上线示意图

厂商网管已逐步实现设备远程升级功能，但随着光网络的开放解耦，多厂商组网、光电解耦逐渐成为趋势，网络运营商的自主管控需求也越来越迫切。接入型 OTN 统一管控系统全国统一部署，文件服务器采用全国集中部署与分省/市分布部署相结合的方式，可以采用如图 4 所示的方法对设备进行远程升级。在这种方式中，文件服务器可以结合控制器的分权分域进行分层管理，对于省市范围有效的设备升级/配置文件可以下沉至地市/省服务器，满足省市需求；对于全国范围通

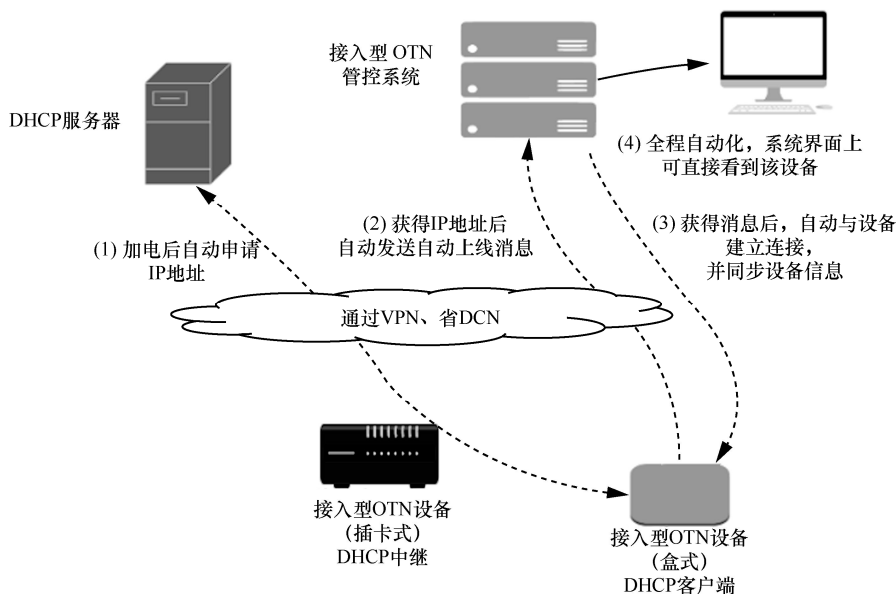


图4 设备远程升级流程

用的设备升级/配置文件，可以在中央文件服务器放置，实现全网一键升级，也可以同时放置在地市/省服务器，缓解 DCN 压力且降低时延，满足 DCN 资源紧张或网络设备较多的省份需求。

4 应用实践

结合上述灰盒传输设备的SDN统一管控关键技术，开发了接入型 OTN 设备统一管控系统（universal management system, UMS）的原型系统^[8]，并在全国范围的 OTN 中推动了现网商用试点。在试点工作中，UMS 采用了全国集约方式部署；为了解决全国统一管理问题，骨干层通过 CN2 VPN 穿通至本地层，然后利用本地 DCN 接入传输机房。UMS 整体运行在云资源池 A，在平台即服务（platform as a service, PaaS）平台上部署了前端、后端、外部接口、协议适配等服务程序。

UMS 系统的业务模板化界面如图 5 所示，如第 3.2 节所述，将业务划分类别以后，采用模板化参数对不同业务应用场景创建导引，尽力而为地隐藏不需要输入的参数，简化业务创建流程，保证 OTN 中业务参数的一致性，简化运维，减少由人工失误造成的配置错误。

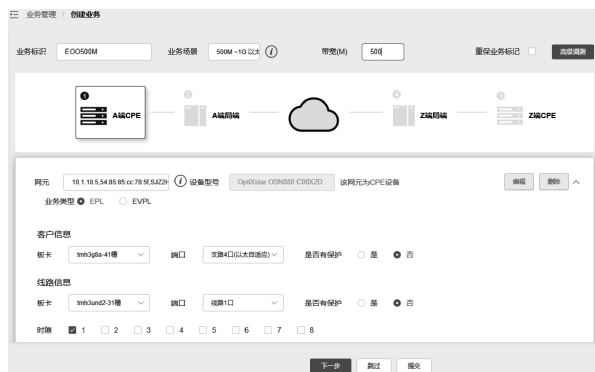


图5 UMS 系统的业务模板化界面

UMS 目前已经利用设备自动上线的机制纳管了近百台客户端接入型 OTN 设备，现网中通过 UMS 查询或配置设备的最大响应时长不超过 5 s，符合电信级网络管控要求。

自动生成的拓扑界面如图 6 所示，灰盒接入型 OTN 设备利用 OTN 帧结构中 TCM2 的 TTI 封装资源发现报文，可以获取 NNI 侧端口信息，构建与邻接设备之间的链路关系，形成拓扑。应当指出，如第 2 节所述，灰盒传输设备主要位于传输网络末端，宜采用直控网元模式，但为了实现传输网络的全网端到端协同管理，也可以与分层管控的模式相结合，在 UMS 北向构建协同管控平台实现，这也符合 SDN 的北向能力开放特征。

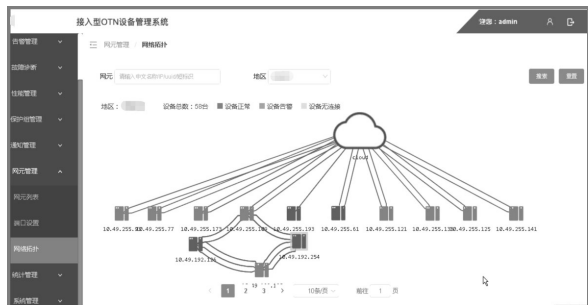


图6 自动生成的拓扑界面

针对以太网业务, UMS 还可以在多厂商统一管控的场景下提供性能监控能力, 包括吞吐量、丢包率和时延, 以太网性能监控如图 7 所示, A 端口与 Z 端口来自不同厂商的设备, 可以在 UMS 中统一呈现和管理。

5 结束语

灰盒传输设备兼顾了传输设备复杂性和光网络开放解耦需求, 是介于黑盒与白盒设备之间的一种权衡方案, 其开放性可基本满足网络运营商的需求。本文以灰盒化接入型 OTN 为例探讨了灰盒传输设备的统一管控关键技术, 并结合应用实践证明, 这种方式可以获得较好的网络自主可控能力和多厂商协同管理能力。但是应当指出, 灰盒模式仍然处于部分解耦阶段, 多厂商在硬件层面的实现差异客观存在, 如果在硬件层面无法获得统一, 那就只能在管控接口统一考虑适配问题, 会影响统一管控的一致性效果, 或者增加多厂商

协同管理的复杂度。如部分接入型 OTN 设备的交叉存在槽位限制, 且不同型号的限制不同, 这会给路由计算时的端口选择带来一定困难, 尽管可以通过管控接口的定义明确要求设备在 YANG 模型中上报交叉限位能力, 但当这种硬件差异随着厂商和设备型号的增加逐步累积又无法在硬件层面统一时, 势必影响统一管控效果。采用自研或深度定制化的设备实现物理层面尽力而为的统一, 可能是一种可行的技术路线。

参考文献:

- [1] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. OpenFlow[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 69-74.
- [2] ONF. Functional requirements for transport API: TR-527[S]. 2018.
- [3] 胡骞, 荆瑞泉, 赵国永. 基于 TAPI/ACTN 双栈的传送 SDN 互通方案[J]. 光通信技术, 2018, 42(9): 18-21.
HU Q, JING R Q, ZHAO G Y. SDN transmission interworking scheme based on TAPI/ACTN dual-stack[J]. Optical Communication Technology, 2018, 42(9): 18-21.
- [4] CCSA. 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]. 2018.
CCSA. Technical requirements of Intermediate-Controller plane interface for Software-Defined Optical Transport Network (SDOTN): YD/T 3417-2018[S]. 2018.
- [5] CAMPANELLA A, OKUI H, MAYORAL A, et al. ODTN: open disaggregated transport network. discovery and control of a disaggregated optical network through open source software and open APIs[C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2019. Washington, D.C.: OSA, 2019: 1-3.
- [6] BIRK M, RENAI O, LAMBERT G, et al. The OpenROADM initiative[J]. Journal of Optical Communications and Network-

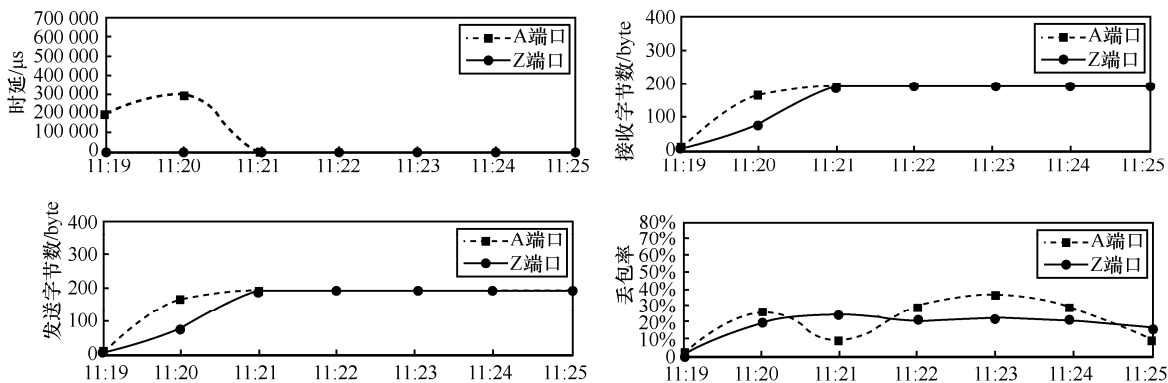


图7 以太网性能监控



ing, 2020, 12(6): C58.

- [7] CCSA YD/T. 接入型光传送网(OTN)设备管控技术要求(报批阶段)[S]. 2021.

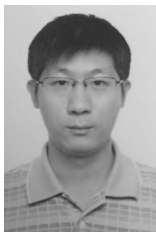
CCSA YD/T. Technical requirements of management and control for access OTN equipment[S]. 2021.

- [8] 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.

[作者简介]



胡骞 (1988-), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为传输网管控技术等。



赵国永 (1978-), 男, 中国电信股份有限公司研究院高级工程师, 长期从事光通信技术的研究工作, 主要研究方向为传送 SDN 与软件系统架构设计。



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 OTN 技术与网络、传输网管控技术等。



李俊杰 (1977-), 男, 中国电信股份有限公司研究院教授级高级工程师, 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、传输与接入技术组副组长, 主要研究方向为光通信技术、光网络等。

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。

闫飞 (1978-), 男, 中国电信集团有限公司工程师, 主要研究方向为 OTN/ROADM 技术与网络规划等。

武晓锋 (1980-), 男, 中国电信集团有限公司工程师, 主要研究方向为 OTN 技术及维护运营、传输网管控技术等。