



层次化软件定义光网络原型系统开发与试验演示

荆瑞泉, 张成良

(中国电信股份有限公司北京研究院 北京 100035)

摘要:针对 OTN 的组网需求,提出了一种层次化的软件定义光网络控制结构,并采用商用 OTN 设备进行了试验测试和验证。本次试验在业界首次基于 OpenFlow 协议扩展实现了对多厂商 OTN 设备的统一控制管理,这种能力对于运营商在多厂商/多域网络环境中提供低成本、性能可控的端到端业务具有重要的价值。

关键词:软件定义光网络;OpenFlow;层次化 SDN 控制器

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015246

Prototype Development and Demonstration of Hierarchical Software-Defined Optical Network

Jing Ruiquan, Zhang Chengliang

(Beijing Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100035, China)

Abstract: For OTN, a control mechanism for multi-domain optical networks with commercial OTN equipments by using hierarchical SDN controller was demonstrated. This experiment is the first demonstration of hierarchical control over multiple domain OTN equipments with extended OpenFlow protocol. This capability will be valuable for carriers providing end-to-end services in multi-vendor environment at the lowest cost with expected scale and performance.

Key words: software-defined optical network, OpenFlow, hierarchical SDN controller

1 引言

在大型运营商的传送网络中,由于分区域网络管理(如骨干网、省网、城域网)或厂商竞争性的原因,多厂商、多域组网的场景是必然存在的。如何在多域网络中实现端到端连接的控制和管理是运营商长期面临的一个难题。目前实现多域网络中的端到端连接控制主要是基于 NMS-EMS(网络管理系统—网元管理系统)架构,但是由于 EMS 北向接口需要传送的信息种类多、数量大,造成 NMS

的开发和维护难度大。因此,目前的 NMS 综合网管一般只能实现对跨域连接的查看功能,而很少实现连接的建立/修改/删除功能。

软件定义网络(SDN)是目前通信和 IT 领域的热点技术之一。SDN 是一种新型的网络架构,它的核心理念是网络的控制平面与数据转发平面进行分离,从而实现对网络资源的可编程化软件控制。SDN 架构适用于不同类型的网络,包括以太网、IP 网和 OTN(optical transport network,光传送网)等。将 SDN 理念应用到传送网络后,可以改善传

收稿日期:2015-02-09;修回日期:2015-09-29

论文引用格式:荆瑞泉,张成良.层次化软件定义光网络原型系统开发与试验演示.电信科学,2015246

Jing R Q, Zhang C L. Prototype development and demonstration of hierarchical software-defined optical network. Telecommunications Science, 2015246



送网在多厂商、多域环境下的端到端组网能力,提高端到端业务的开通速度和网络运营效率,增强传送网的业务创新能力和开放性。对国内运营商而言,实现对多厂商设备和多层多域网络的统一控制和管理是传送 SDN 的主要应用场景之一。

针对 OTN,本文提出了一种层次化的软件定义光网络 (software-defined optical network, SDON) 控制结构,可以实现跨厂商、多域组网场景下的端到端连接控制和管理,满足运营商集约化网络运维的需求。基于该架构,组织国内主流设备厂商进行了 SDON 原型系统的开发和试验演示。下面对 SDON 原型系统的组成架构、层次化连接控制流程、OpenFlow 协议扩展和试验结果进行介绍。

2 SDON 原型系统架构

层次化的 SDON 控制器结构如图 1 所示,在每个设备厂商的控制域内设置一个单域控制器,该控制器由设备商开发。同时,在设备商控制器之上设置一个多域控制器(或称为协同控制器),对下面的单域控制器进行统一控制。SDON 原型系统的多域控制器的开发基于开源的 OpenDaylight 平台实现。采用这种层次化的控制器架构,运营商可以通过多域控制器获得多域网络的全局视图,从而实现对多域网络的全局控制和端到端的业务提供能力。

在 SDON 系统架构中,单域控制器与多域控制器之间的接口称为 CVNI(控制虚拟网络接口),单域控制器通过 CVNI 向多域控制器提供其所控制的传送资源的抽象拓扑信息。CVNI 基于 OpenFlow v1.3 协议实现,并根据 OTN 的技术特点进行了相应的扩展。多域控制器通过 RESTful 风

格的应用编程接口(API)向应用层提供虚拟化的网络能力。在本次 SDON 原型系统开发和测试中,中国电信集团公司(以下简称中国电信)定义了单域控制器和多域控制器之间的 CVNI 规范和 API 规范,并开发了多域控制器和上层应用。

多域控制器的功能结构如图 2 所示,其主要构成模块包括协议控制器、拓扑管理器、路由控制器、连接控制器和网络资源虚拟化管理器。

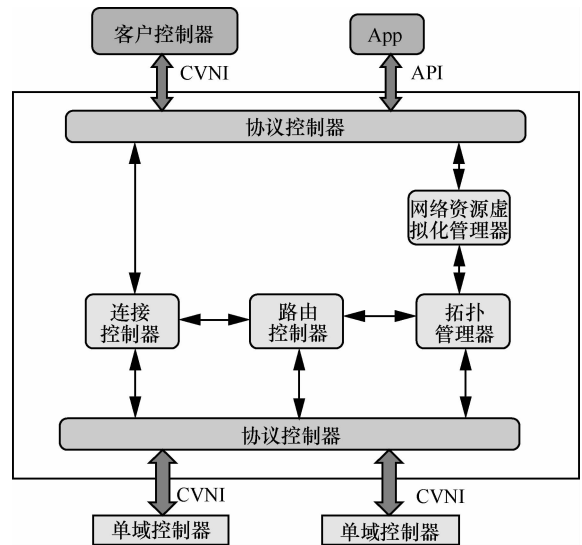


图 2 多域控制器的功能型

多域控制器各模块的功能描述见表 1。

3 层次化连接控制流程

在层次化的 SDON 架构中,每个域可以采用不同的连

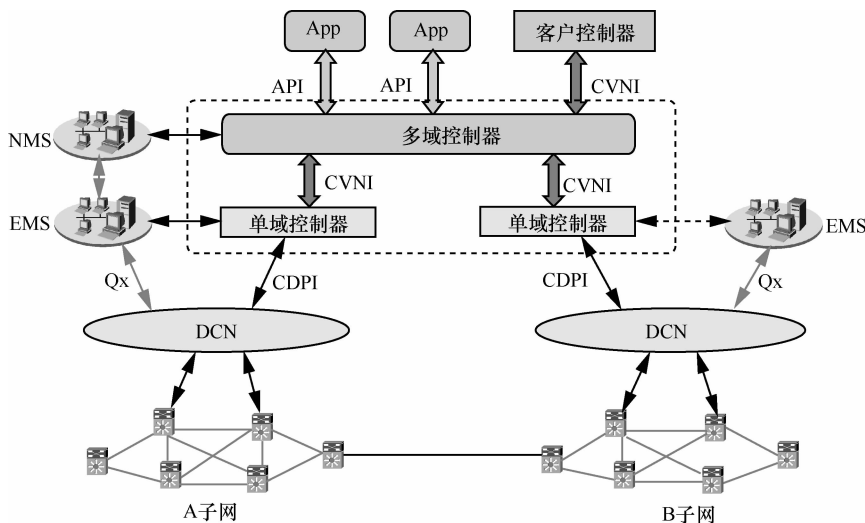


图 1 层次化的 SDON 控制器结构

表 1 多域控制器组成模块功能描述

模块名称	功能描述
协议控制器	负责 OpenFlow 和 RESTful 等协议的控制和通信
拓扑管理器	负责对流量工程数据进行收集、存储及对资源状态进行管理,包括域间拓扑信息
路由控制器	负责选路相关功能,包括计算跨域路径和拼接单域控制器的算路结果
连接控制器	负责连接建立、修改、删除等相关的流程处理
网络资源虚拟化管理器	负责完成传送资源和拓扑信息的抽象和虚拟化

接控制方法,例如一个域可以采用分布式的 GMPLS 控制平面,而另外一个域则可以是基于 OpenFlow 的集中控制方式。层次化架构的使用可以实现传统网络与基于 OpenFlow 的传送网的共存。另一方面,多域控制器与单域控制器之间(即 CVNI)的连接控制流程则需要进行规范和标准化,以便实现多厂商网络的互联互通。SDON 原型系统所采用的层次化连接建立流程如图 3 所示。

具体流程描述如下:

- 应用/客户控制器向多域控制器发起业务建立请求;
- 多域控制器中的协议控制器(PC)进行协议解析,然后将业务建立请求发送给连接控制器(CC);
- 连接控制器向路由控制器(RC)发起路径计算请求;
- 路由控制器根据拓扑管理器提供的网络拓扑和资

源信息计算出端到端的连接路径,并反馈给连接控制器;

- 连接控制器将端到端的连接路径拆分为单域路径信息,并通过协议控制器下发给各个单域控制器;
- 单域控制器完成本域内的连接建立,并将连接建立的结果反馈给多域控制器;
- 多域控制器汇总各个单域控制器的应答后,将最终的连接建立结果上报给应用/客户控制器。

4 OpenFlow 协议扩展

由于最初的 OpenFlow 协议只支持分组交换技术,因此目前 ONF 的 OTWG 工作组正在对 OpenFlow 进行扩展,以便用于光传送网中。OTWG 已经完成的第一阶段的

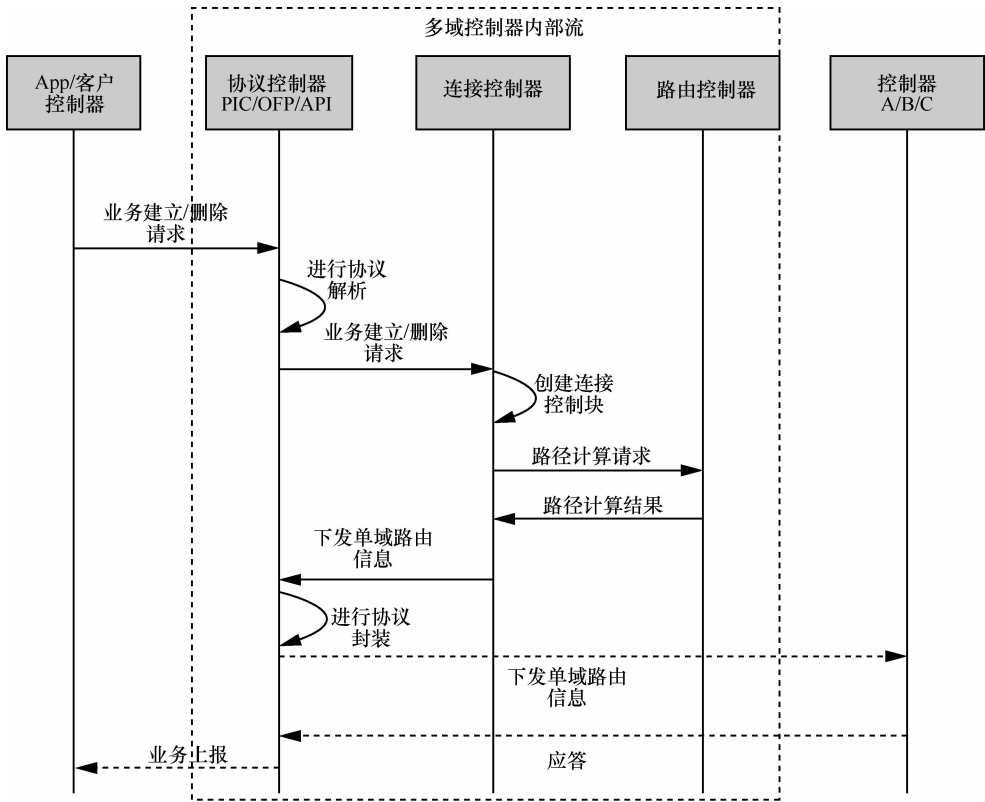


图 3 多域网络中的层次化连接建立流程



OpenFlow 扩展只支持端口属性上报和流表匹配(即连接建立和删除)两项基本功能。

在层次化的 SDON 控制器架构中,单域控制器和多域控制器之间采用 OpenFlow 协议进行信息交互。单域控制器将其所控制的网络域的网络拓扑进行抽象后,通过 OpenFlow 上报给多域控制器。多域控制器将各个单域控制器上报的抽象网络拓扑整合后形成全网的网络拓扑视图。由于 OpenFlow 协议最初是用于 SDN 控制器直接控制网元设备的场景,在控制器和每个网元之间都有一个 OpenFlow 协议进程,控制器通过网元的 IP 地址就可以唯一识别每个网元,如图 4 所示。因此在 OpenFlow 的端口属性上报、连接建立、删除、修改、查询等消息中没有标识节点地址的字段,从而对 OpenFlow 应用于单域控制器和多域控制器

之间通信时的技术实现方案造成影响,主要体现在以下两个方面。

(1) 将 OpenFlow 用于单域控制器和多域控制器之间的通信,相当于多域控制器与每个单域控制器模拟的 N 个节点进行通信,因此多域控制器与每个单域控制器之间需要采用 N 个 OpenFlow 协议进程,如图 4(a)所示。该方案存在系统实现复杂、通信信令处理效率低等问题。当单域网络规模达到几十至几百个节点时,将对单域控制器和多域控制器的处理能力造成比较大的挑战。

(2) 由于 OpenFlow 端口属性上报消息中没有本地节点标识符、远端节点标识符和远端端口号等信息,因此单域控制器虽然已经具有本域网络的拓扑信息,但是却无法通过端口属性上报消息将节点之间的连接关系上报给多域控制器,从而使得多域控制器还需要与每个单域控制器模拟的 N 个节点之间运行邻居发现协议,以便获取单域的网络拓扑信息,带来了单域控制器和多域控制器软件实现的复杂性。

针对上述 OpenFlow 协议用于单域控制器和多域控制器之间通信时存在的问题,本文提出在多域控制器与每个单域控制器之间只采用一个 OpenFlow 协议进程的实现方案(如图 4(b)所示),以满足采用层次化 SDN 控制器架构实现多域组网的需求。该方案避免了现有技术方案存在的实现复杂、通信信令效率低的问题。具体的 OpenFlow 协议扩展如下:在 OpenFlow 协议流相关的消息中增加节点标识符(node ID),用于区分某个消息发送给(或来自)哪个虚拟节点;在 OpenFlow 协议端口属性上报消息中增加远端节点标识符和远端端口号,实现节点之间邻接关系的上报。

通过增加以上信息,在多域控制器与每个单域控制器之间只采用一个 OpenFlow 协议进程的情况下,可以实现单域网络拓扑的上报以及连接建立、删除、修改、查询等功能。上述 OpenFlow 协议扩展方案已经提交给 ONF 进行标准化。

5 试验演示

本次测试采用多域组网模拟现网实际环境,并基于商用光传送网设备,采用层次化 SDON 控制器架构,如图 5 所示。每个厂商 OTN 设备组成一个域,由其单域控制器进行控制;中国电信开发的多域控制器通过各厂商单域控制器实现对整个多域网络的端到端全局控制,并向上层应用提供开放的 API;上层应用通过 API 实现业务的快速开通

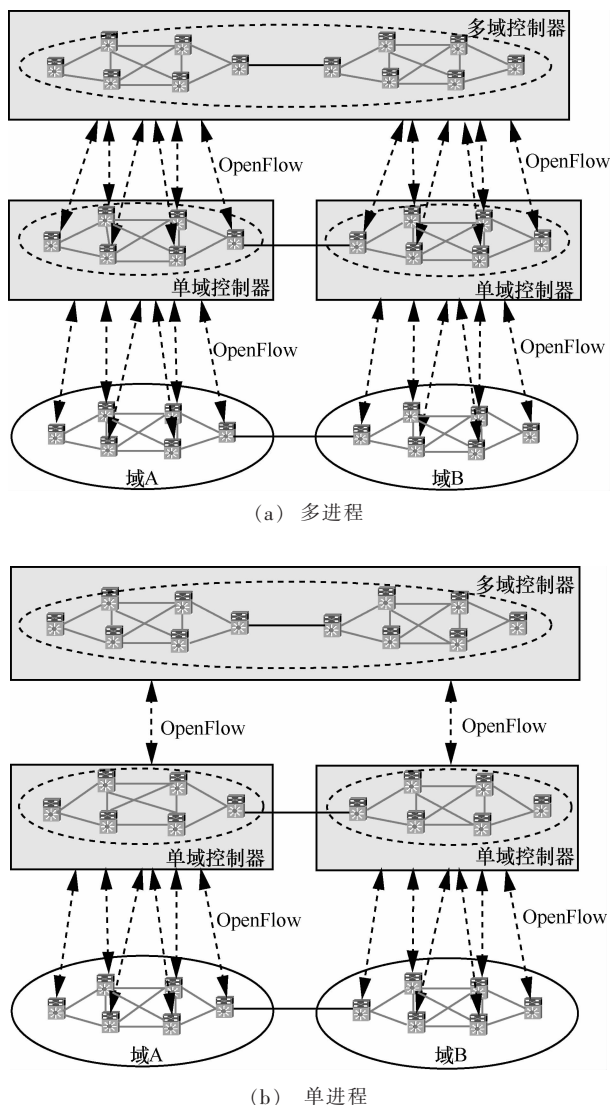


图4 CVNI 接口多进程与单进程 OpenFlow 协议的比较

和管理。试验网络的域内链路速率为 OTU2 和 OTU4,域间链路速率为 OTU2。主要测试内容包括多域控制器与 3 家厂商单域控制器的互通性、多域控制器获取各域拓扑信息、建立/查询/删除连接(包括域内和跨域连接)的能力等。

在本次测试中,中国电信的多域控制器成功实现了对 3 个厂商单域网络和设备的统一控制,在多厂商组网场景下实现了端到端连接的建立、查询、删除以及网络拓扑的初始化全量上报和网络拓扑变化时的增量上报等功能。图6显示了在多域管理(MDM)应用中看到的多域网络拓扑以及两条电路(GE 和 10GE)的建路结果。在协议分析仪中获取的连接建立消息序列如图 7 所示,可以看出连接建

No.	Time	Destination	Protocol	Length	Info
304	"REF"	10.130.24.10	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
305	0.000655000	10.130.24.10	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
306	0.001142000	10.130.24.10	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
307	0.001787000	10.130.24.10	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
308	0.002546000	10.130.5.100	OpenFlow	150	Type: OFPT_FLOW_MOD
309	0.003335000	10.130.5.100	OpenFlow	150	Type: OFPT_FLOW_MOD
311	0.004280000	10.130.5.100	OpenFlow	150	Type: OFPT_FLOW_MOD
312	0.005064000	10.130.5.100	OpenFlow	150	Type: OFPT_FLOW_MOD
315	0.014040000	10.130.5.211	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
316	0.015185000	10.130.5.211	OpenFlow	162	Type: OFPT_FLOW_MOD
349	0.267560000	10.130.5.100	OpenFlow	62	Type: OFPT_BARRIER_REQUEST
350	0.274711000	10.130.5.11	OpenFlow	62	Type: OFPT_BARRIER_REPLY
353	0.300265000	10.130.5.211	OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REQUEST
355	2.125475000	10.130.5.11	OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REPLY
357	2.127389000	10.130.24.10	OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REQUEST
358	2.128325000	10.130.5.11	OpenFlow	74	Type: OFPT_BARRIER_REPLY

图 7 连接建立消息序列

立的时间大约为 2 s,相比目前分钟级的水平有了很大的提高。图 8 给出了在协议分析仪中看到的 OpenFlow 协议的扩展情况,包括节点 ID、远端节点 ID 和远端端口号。

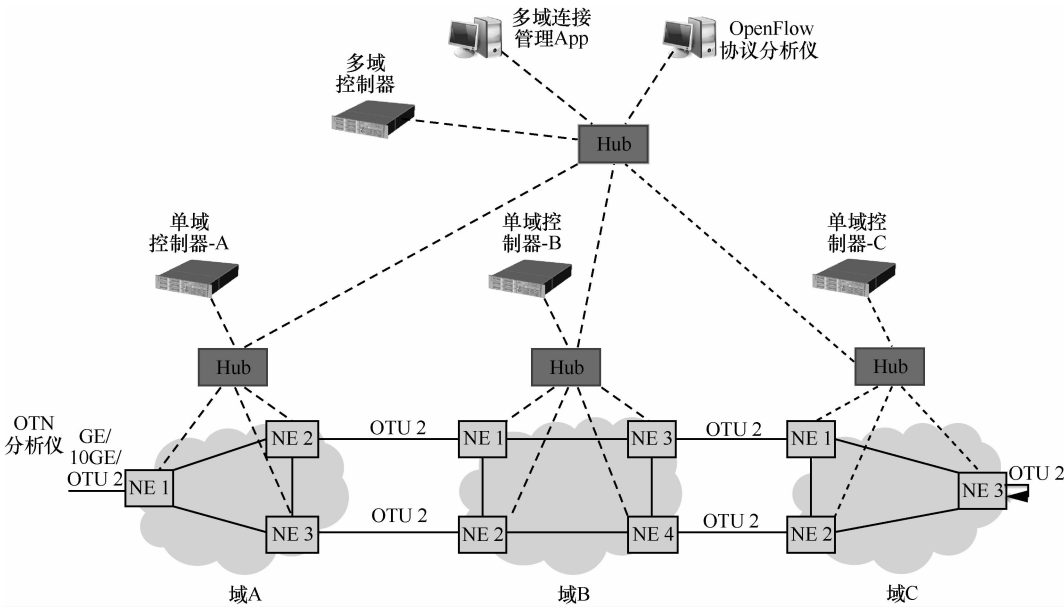


图 5 SDON 原型系统测试和演示环境

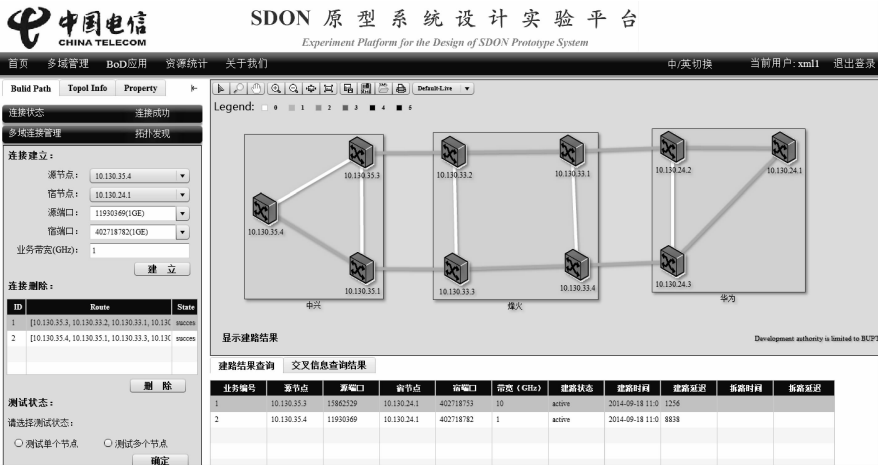


图 6 建路结果



No.	Destination	Protocol	Info
144	10.130.5.11	OpenFlow	Type: OFPT_PORT_STATUS
Status: 0x00000000			
OTN Port Desc			
Type: 2			
Length: 24			
Port signal type: OFPOTPT_OTU2 (12)			
Reserved: 0			
Pad: 0000			
Node id: 10.130.24.1 (10.130.24.1)			
Remote node id: 10.130.24.3 (10.130.24.3)			
Remote port no: 402849875			
304	10.130.24.10	OpenFlow	Type: OFPT_FLOW_MOD
OpenFlow 1.3.x			
Version: 1.3 (0x04)			
Type: OFPT_FLOW_MOD (14)			
Length: 96			
Transaction ID: 11			
Cookie: 0x000000000a821801			

图 8 OpenFlow 协议扩展

6 结束语

本文提出了一种层次化的 SDON 控制结构,并采用商用 OTN 设备进行了试验测试和验证。本次试验在业界首次基于 OpenFlow 协议扩展实现了对多厂商 OTN 设备的统一控制管理。这种能力对于运营商在多厂商和多域网络环境中提供低成本的端到端业务具有重要的价值。在后续工作中,将进一步扩展试验的内容,以支持更复杂的网络功能和更多的应用,如保护恢复、OAM 监视和虚拟传送网

业务(VTS)等。

参考文献

- 1 ONF. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks, 2012
- 2 ONF. OpenFlow Switch Specification, Version 1.3.0 (Wire Protocol 0x04), 2012

[作者简介]



荆瑞泉,男,中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师、传送网专业专家,主要研究方向为传送 SDN、OTN、移动承载技术等。



张成良,男,中国电信股份有限公司北京研究院副院长、教授级高级工程师,主要研究方向为 WDM 高速传输技术、SDN、OTN 技术等。