



OTN 控制器北向统一接口模型研究与实践

谭艳霞, 郑滢雷, 王光全, 张贺

(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048)

摘要: 在软件定义光传送网络 (software defined optical transport network, SDOTN) 体系架构中, 要求厂商控制器系统通过北向接口接入光传送网络 (optical transport network, OTN) 业务协同器系统。但是目前没有统一的北向接口标准, 这给 SDOTN 跨域跨厂商端到端业务自动开通带来了比较多的问题。阐述了 OTN 控制器北向开放接口标准现状及问题, 从网络模型角度对当前主流的电话应用编程接口 (telephone application programming interface, TAPI) 和流量工程网络抽象与控制 (abstraction and control of traffic engineering network, ACTN) 北向接口标准进行了比较和分析。最后, 介绍了中国联通在 ACTN 统一接口模型标准化和管控系统建设两个方面的研究实践, 并对后续研究方向进行了展望。

关键词: SDOTN; 端到端编排; 统一接口模型

中图分类号: TN915.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022270

Research and practice of OTN controller northbound unified interface model

TAN Yanxia, ZHENG Yanlei, WANG Guangquan, ZHANG He

Research Institute of China United Network Communications Co., Ltd., Beijing 100048, China

Abstract: In the software defined optical transport network (SDOTN) architecture, the manufacturer's controller system is required to be connected to the optical transport network (OTN) orchestrator system through the northbound interface. However, there is currently no unified northbound interface standard, which brings many problems to the automatic provisioning of cross-domain and cross-vendor end-to-end services in SDOTN. The status and problems of OTN controller northbound open interface standards were expounded, and the current mainstream transport application programming interface (TAPI) and abstraction and control of traffic engineering network (ACTN) northbound interface standards from the perspective of network models were compared and analyzed. Finally, the research practice of China Unicom in the standardization of ACTN unified interface model and the construction of management and control system were introduced, and an outlook on the follow-up research and development direction was provided.

Keywords: SDOTN, end-to-end orchestration, unified interface model

收稿日期: 2022-08-25; 修回日期: 2022-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2019YFB1803700)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2019YFB1803700)



0 引言

软件定义网络（software defined network, SDN）作为一种新型网络架构，凭借其快速提供网络服务、实现网络灵活管理、加速网络应用创新、降低运营开销等优势成为整个行业关注的焦点^[1]。SDN 中，接口开放关注的焦点逐渐上移，主要经历了设备开放接口、控制器能力开放接口和系统能力开放接口 3 个阶段。与传统网管接口相比，SDN 轻量化网络接口通过接口对物理层资源进行抽象，按照需求以抽象的资源能力面貌呈现给上层系统，有助于业务应用的快速创新。由于转发层设备复杂性较高，转发层设备与控制器系统之间存在较多的私有接口，解耦尚未实现。

本文探讨在光传送网络（optical transport network, OTN）厂商控制器北向接口上实现 SDN 开放，不同厂商的控制器系统通过统一的标准 YANG 模型实现开放的北向接口，助力运营商在协同层/编排层实现多厂商控制器系统的统一编排和智能运维能力。北向接口根据信息模型定义接口上交互的数据内容和操作。信息模型是对物理资源的抽象表示，它包含一组对象、对象之间的关系、对象属性和对象可以执行的操作。因为

北向接口直接为业务应用服务，所以北向接口信息模型应支持与技术无关的信息模型，以及与技术相关的信息模型。不同的传送技术具有不同的信息模型内容，但是这些技术也具备一些共有的信息模型^[2]。

1 厂商 OTN 控制器北向开放接口标准现状

为解决 OTN 跨域跨厂商端到端业务快速部署问题，中国联通在全国范围内构建了两级软件定义光传送网络（software defined optical transport network, SDOTN）业务协同器架构，实现跨域跨厂商的 OTN 专线业务自动开通^[3]，SDOTN 协同器系统架构如图 1 所示。集团部署的一级 OTN 业务协同器系统对接一千 OTN 管控系统并纳管，实现一千 OTN 资源采集、业务配置自动下发等功能；同时，一级 OTN 业务协同器系统通过层间接口对接二级 OTN 协同器系统，负责跨省业务编排与快速开通，并提供北向可编程的应用编程接口（application programming interface, API）能力。省级部署的二级 OTN 业务协同器系统对接并纳管省内 OTN 厂商管控系统和开放光网络统一管控系统，实现省内 OTN 资源采集，负责省内业务编排与快速开通。OTN 业务协同器系统连接多厂商控

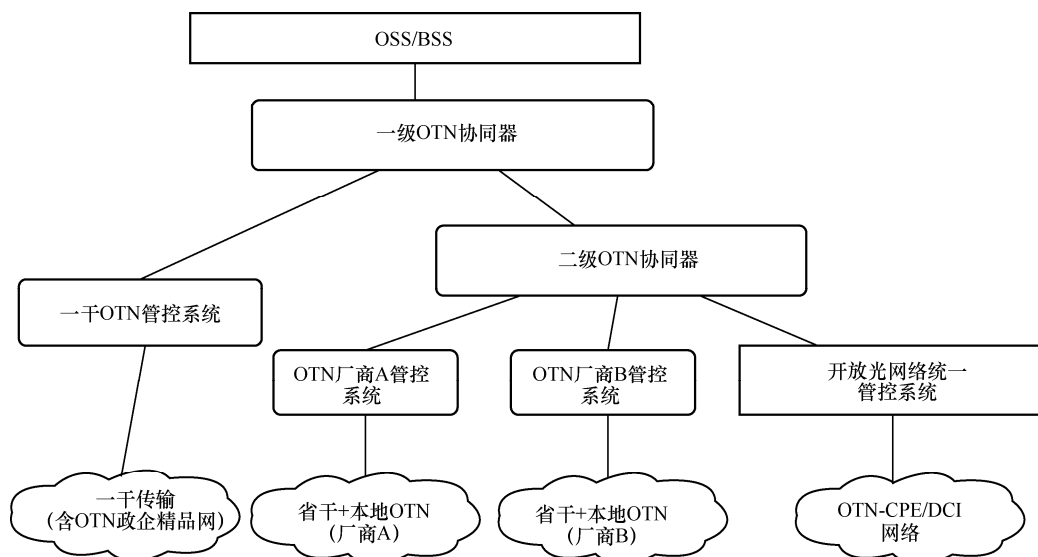


图 1 SDOTN 协同器系统架构

制器的环境要求厂商控制器系统具有统一的北向接口接入 SDOTN 业务协同器系统,实现多厂商控制系统的统一编排,支持跨域跨厂商端到端业务的自动开通。

目前,OTN 控制器系统的主流北向接口标准有两种,分别是流量工程网络抽象与控制(abstraction and control of traffic engineering network, ACTN)和电话应用编程接口(telephone API, TAPI),这两种标准相关情况如下。

ACTN 是互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)提出的标准化 SDN 架构,基于层次化控制器架构通过逐层抽象屏蔽复杂的网络设备技术特征,为用户提供灵活、可控的网络业务服务,实现跨多个专业网络的业务快速发放^[4]。ACTN 定义了技术无关的流量工程(traffic engineering, TE)网络模型以及光通道(optical channel, OCH)、光通路数据单元(optical channel data unit, ODU)、以太网(Ethernet, ETH)和网际互连协议(Internet protocol, IP)/三层虚拟专用网(layer three virtual private network, L3VPN)等技术相关模型,以适应运营商统一的北向接口模型。ACTN 标准历史里程碑如图 2 所示, IETF 在 2016 年发布了数据建模语言 YANG 1.1 标准和 RESTconf 协议,使能网络设备自动化配置,其所定义的各 YANG 模型可以应用于 ACTN 架构中的接口。2018 年发布了 ACTN 架构标准和信息模型标准^[5-6],核心的流量工程网络 YANG 模型在 2020 年发布。2021 年正式发布了光传送网络 ACTN 北向波分数据模型,包括 L0 层网络类型定义和波长交换光网络(wavelength switched

optical network, WSON)拓扑模型。同时,中国通信标准化协会(China Communications Standards Association, CCSA)也制定了 ACTN 系列标准,包括基于 ACTN 的 SDOTN 控制器技术要求、基于 ACTN 的 SDOTN 服务接口要求和基于 ACTN 的 SDOTN 控制器层间接口要求等^[4,7-8]。IETF 所定义的 ACTN 架构提供了支持多厂商、多域的标准化商用方案,具有通用性和继承性等特性,被业界普遍接纳使用。

TAPI 是由开放网络基金会(Open Networking Foundation, ONF)主导的标准化 SDN 架构^[9-11], TAPI 的接口模型中,将单个物理网络节点抽象为 ETH 层、ODU 层、OCH 层 3 层节点;每层节点上,节点边缘点(node edge point, NEP)对应物理端口,以服务接入点(service interface point, SIP)描述业务起始点及终点,设备厂商控制器具备抽象链路信息和 SIP 信息能力。不同层之间通过层间链路连接,层内节点通过层内链路连接,与其他网络域通过域间链路连接。TAPI 标准历史里程碑如图 3 所示, TAPI 随着业务及应用发展,已衍生为 TAPI 2.0 标准及后续迭代版本,接口采用模块化的定义方式。相对于 TAPI 1.0, TAPI 2.0 标准及后续迭代版本对对象的覆盖面和定义更加全面,支持更多业务控制及性能检测功能,对光网络的发展起到至关重要的扩展作用^[12]。

目前,华为和烽火 OTN 管控系统北向接口遵循 ACTN 标准,中兴 OTN 管控系统北向接口遵循 TAPI 2.0 标准。控制器系统北向接口的不兼容使得跨厂商协同和统一编排客观上无法实现。两套标准为上层协同器/编排器带来了较多问题,增

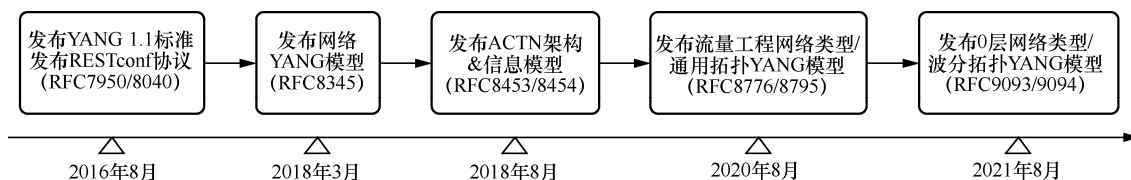


图2 ACTN 标准历史里程碑

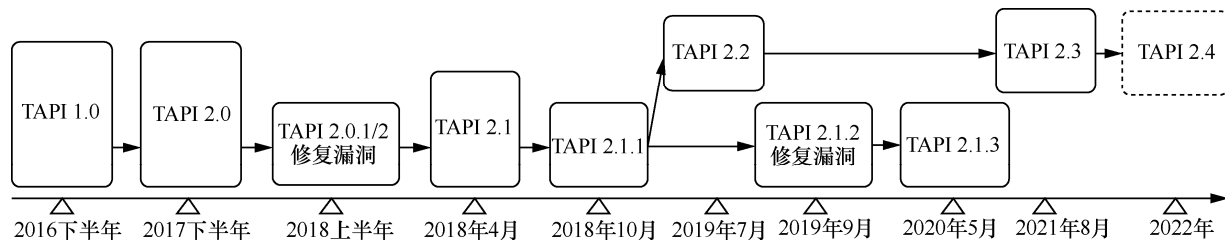


图3 TAPI 标准历史里程碑

大了开发难度，具体如下。

- 两套标准演进无法统一：两套标准对于不同功能模型演进时间无法统一，并且标准在演进过程中会存在多个版本，标准演进无法统一会阻碍网络技术长期发展。
- 两套标准企业标准制定和维护困难：ACTN和TAPI两种标准均包含多种业务场景、多种接口类型和多个接口定义，两套标准对企业标准制定和维护造成负担。
- 两套标准接口模型复杂度高：厂商管控系统采用不同的接口模型标准对接上层协同器会增加北向接口的复杂度，降低接口的互操作性和可扩展性且支持新业务困难。
- 两套标准运行支撑系统（operational support system, OSS）/协同器开发周期长：不同标准间理论上无法保证互通，会增加管理和沟通成本，并且OSS/协同器开发也将变得复杂，推迟了新业务上市时间，降低了市场竞争力。

为了实现支持TAPI协议与ACTN协议OTN管控系统的同时纳管，已有研究通过对不同类型的接口标准进行YANG模型适配以在SDOTN业务协同器上实现不同配置功能的统一化^[3]，但是这种方法会大大增加协同器系统的开发工作量，并且维护困难。控制器系统北向接口模型的质量和统一化程度对于编排系统的整体性能有着至关重要的影响^[13]。因此，有必要由网络运营商定义厂商控制器系统北向统一接口规范，控制器系统集成标准的北向接口引擎与SDN协同器系统对接，有效避免接口重复适配问题，减小协同器开

发难度，加快业务上线周期，提高市场竞争力。

2 ACTN和TAPI接口模型对比

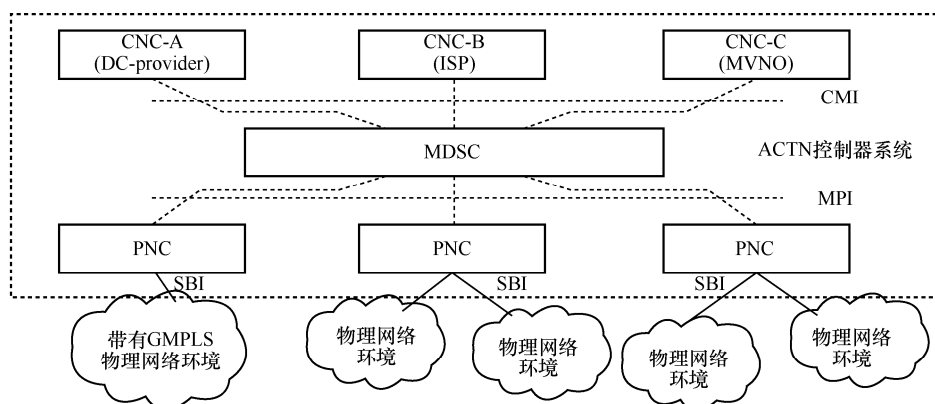
北向接口根据信息模型定义接口上交互的数据内容和操作。信息模型是对物理资源的抽象表示，它包含一组对象、对象之间的关系、对象属性和对象可以执行的操作。ACTN控制器系统以SDN对TE网络资源的控制为基础，为SDN提供一种全新的控制器架构。TAPI将不同的特性作为独立或基本上独立的模块实现，采用模块化的方式定义对象和属性。ACTN和TAPI模型对比见表1，从网络拓扑模型、节点模型、链路模型、业务模型、冗余度等方面对比了OTN控制器北向ACTN和TAPI模型。

从接口模型内容看，ACTN与TAPI均包含网络拓扑模型、节点模型、链路模型和业务模型等内容，两者都能满足基本的创建业务需求，支持的信号接入基本相同，但是其具体的数据接口以及模型构成却有所不同。ACTN架构^[4]、TAPI功能架构^[10]分别如图4和图5所示。

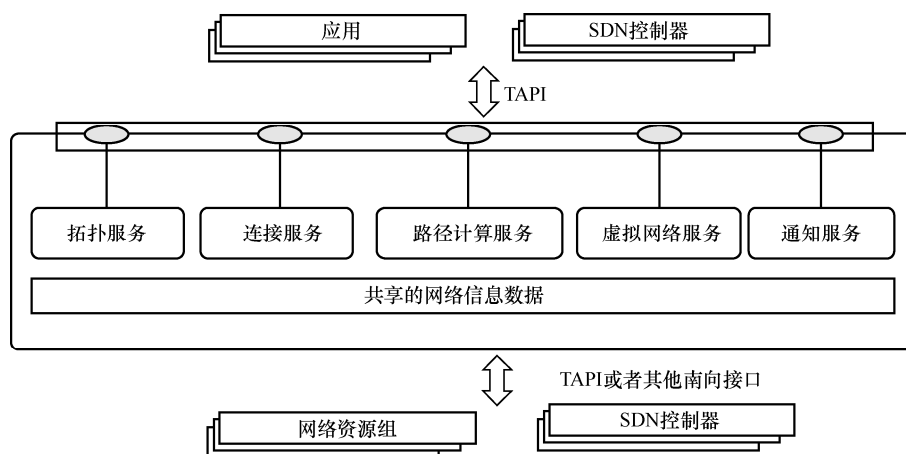
具体地，从网络拓扑模型角度出发，ACTN和TAPI在整体网络拓扑的抽象方式上有很大的区别。ACTN根据需求将整个网络结构抽象成多个网络拓扑，通过对原生拓扑进行层层抽象，逐步简化相连节点间的路径，得到高层级的抽象拓扑，最终所呈现的拓扑结构简单清晰，可读性强。TAPI采取单站嵌套抽象的方式，将整个网络结构抽象为一个转发域（forwarding domain, FD），将相连的FD分组抽象成为一个高层级的FD，相连的高层级FD再不断递归分组抽象成为一个FD，最终

表 1 ACTN 和 TAPI 模型对比

对比项	TAPI	ACTN
网络拓扑模型	采取单站嵌套抽象的方式, 逐级抽象后得到网络拓扑结构隐藏底层级 FD 的内部细节	对原生拓扑进行层层抽象, 得到高层级的抽象拓扑, 该拓扑结构简单清晰、可读性强
节点模型	节点之间存在层级关系 节点功能多样、结构复杂, 定义了节点的时延、代价、风险列表等一系列性能管理信息	节点是平级的 节点结构简单, 包含状态、标识、端口以及隧道终端点和增补对象等信息
链路模型	链路连接两个转发域, 链路可以是单向也可以是双向, 支持光层、电层、以太层的描述	链路连接两个节点, 链路是单向的, 支持光层、电层、以太层的描述
业务模型	专门的路径计算模块, 支持保护倒换功能	路径计算功能主要针对 TE 隧道, 支持保护倒换功能
OAM	有成熟的 OAM 体系和模块	支持 OAM 功能
冗余度	字段冗余度高, 重复信息多, 配置低效	字段冗余度低, 基本无重复信息, 配置高效
其他	二者都能满足基本的创建业务需求, 支持的信号接入基本相同	



注: CNC (customer network controller, 用户网络控制器); MDSC (multi-domain service coordinator, 多域业务协调器); PNC (provisioning network controller, 配置网络控制器); DC-provider (data center provider, 数据中心提供商); ISP (Internet service provider, 互联网服务提供商); MVNO (mobile virtual network operator, 移动虚拟网络运营商); CMI (CNC-MDSC interface, CNC和MDSC之间的接口); MPI (MDSC-PNC interface, MDSC和PNC之间的接口); SBI (southbound interface, 南向接口)

图 4 ACTN 架构^[4]图 5 TAPI 功能架构^[10]



得到一个简化的网络拓扑结构, 该结构可以隐藏底层级 FD 的内部细节。

不同接口在抽象逻辑上的差异性对接口性能的影响较大, 并且这种差异性接口的多样化无法弥补的。ACTN 的抽象化程度高于 TAPI, 主要关注与业务下发紧密相关的属性, 接口模型更轻量化, 在创建业务时时效性明显优于 TAPI, 适合大规模组网环境下的业务快速发放^[13]。并且, 从查询类接口的时效性和资源消耗方面看, ACTN 接口的统一资源标识符 (uniform resource identifier, URI) 适应度更好, 能多角度满足上层系统的查询需求^[13]。

从节点模型角度出发, 在 ACTN 模型中, 节点是平级的, 结构简单, 只包含状态、标识、端口以及隧道终端点和增补对象等信息。在 TAPI 模型中, 节点存在层级关系, 功能更多样, 结构更复杂, 在网络抽象拓扑中还可以通过属性赋值的方式将其设置为一个网络拓扑。同时, 节点中还定义了节点的时延、代价、风险列表等一系列性能管理信息等。

从链路模型角度出发, ACTN 模型中, 链路连接两个节点, 是单向的, 支持光层、电层、以太层的描述。同样地, 在 TAPI 模型中, 链路连接两个转发域, 可以是单向也可以是双向, 同样支持光层、电层、以太层的描述。

从路径计算角度出发, ACTN 模型中, 路径计算功能主要针对 TE 隧道, 即对 TE 隧道进行预计算, 计算的限制条件包括主备路径的必经路由和排除路由以及带宽信息, 计算策略由算路策略和权重组成。算路策略包括代价、跳数、时延, 自定义程度不高。在 TAPI 模型中, 有专门的路径计算模块, 可以定义更多的约束条件、更丰富的目标函数, 约束条件包括代价、风险、时延、分离策略等, 目标函数包括带宽最优、链路利用最优、包含现有路径等, 自定义程度更高、更复杂。另外, ACTN 和 TAPI 模型均包含操作维护管理

(operations administration and maintenance, OAM) 相关模型。

可以看到, 相较于 ACTN 的网络模型, TAPI 的抽象逻辑导致网络模型更复杂、功能更多样, 有成熟的 OAM 体系和模块, 并且有专门的路径计算模块, 自定义程度更高。ACTN 的网络模型结构简单, 通过 TE 隧道提供路径计算功能, 自定义程度不高。但是 TAPI 因为网络模型复杂, 模型设计过程中的冗余度高, 重复信息多, 配置低效。

另外, TAPI 模型迭代过程中各版本间存在大量的属性调整, 包括增添、删除、重命名、拆分, 以及功能上的变动, 使得新版本的 TAPI 无法实现旧版本的一些功能, 各个版本间兼容性较差。相比较于 TAPI 模型, ACTN 版本迭代过程中要求向前兼容, 兼容性较好。

综合各方面的考虑, 本文提出了基于 ACTN 的 OTN 控制器系统北向统一接口模型, 解决跨域专线业务自动快速开通需求。同时, 在完善基于 ACTN 的 OTN 控制器北向接口标准的基础上, 积极推动 IP 承载网络和无源光网络 (passive optical network, PON) 控制器系统北向 ACTN 接口标准化工作, 为厂商控制器北向统一接口模型标准化和跨专业业务协同编排与智能运维管理奠定基础。

3 ACTN 统一接口模型研发实践

为推进控制器系统北向统一接口标准化, 实现多厂商控制系统统一编排, 支持跨专业、跨厂商业务端到端自动开通, 本文作者团队在 OTN 控制器北向 ACTN 接口模型标准化和管控系统建设两个方面展开了大量的研究, 在 ACTN 接口模型标准化工作上, 牵头制定 CCSA 系列标准, 包括基于 ACTN 的 SDOTN 接口模型及测试方法标准等^[4,7-8]; 参与 ACTN 国际标准讨论, 包括业务名称、管理状态等内容。在管控

系统建设方面，目前中国联通已基本完成 SDOTN 一二级协同器架构部署，完成基于 ACTN 的 SDOTN 架构的整体布局，实现跨域透传业务、跨域 OTN 承载以太网（Ethernet over OTN, EoO）业务自动编排。自研的开放光网络管控平台对接入型 OTN 设备的管理也已经进入正式集约化商用部署阶段^[14]。

3.1 ACTN 统一接口模型

基于 ACTN 统一接口模型的业务编排器架构如图 6 所示，不同网络的网络层设备通过各自的管控系统进行统一管控，管控系统与网络设备之间的南向接口由各个管控系统分别定义。其中，接入型 OTN 设备和模块化波分设备通过自研开放光网络系统统一管控，PON 设备通过自研 PON 管控系统进行管控。各厂商的 PON 管控系统、OTN 管控系统和 IP 承载网络管控系统通过统一 ACTN MPI（MDSC-PNC interface）标准接口接入业务编排器系统，向业务编排器系统提供网络资源信息与管理权限等，由业务编排器完成“传输+数据+接入网络”的协同编排，解决跨厂商、跨专业业务互联互通的问题。两级业务编排器系统之间采用 ACTN MMI（MDSC-MDSC interface）进行交互，完成

组合业务的管理，主要包括网络分层拓扑资源的管理、路径计算、业务连接控制、拓扑及业务资源状态变化的通知管理等。业务编排器系统通过 RESTful 接口接入业务支撑系统（business support system, BSS）/OSS，接收 BSS/OSS 的业务请求，处理业务逻辑等。

目前，基于 ACTN 的 SDOTN 接口模型的企业标准已经形成，主要内容包括层次化的拓扑、TE 隧道（OTN 隧道、同步数字体系（synchronous digital hierarchy, SDH）隧道、OCH 隧道）、透传业务、EoO 业务、SDH 承载以太网（Ethernet over SDH, EoS）业务、性能监控、通知等模型。以透传业务为例，基于 ACTN 的 OTN 透传业务模型层次关系示意图如图 7 所示。另外，基于 ACTN 的软件定义 IP（software defined Internet protocol, SDIP）网络接口模型目前已完成一阶段的定制，包括拓扑、TE 隧道、二层虚拟专用网（layer two virtual private network, L2VPN）业务、L2VPN 业务性能监控、L3VPN 业务、通知上报等模型，后续将继续推进分段路由（segment routing, SR）业务和以太网虚拟专线（Ethernet virtual private line, EVPN）业务模型的标准化工作。

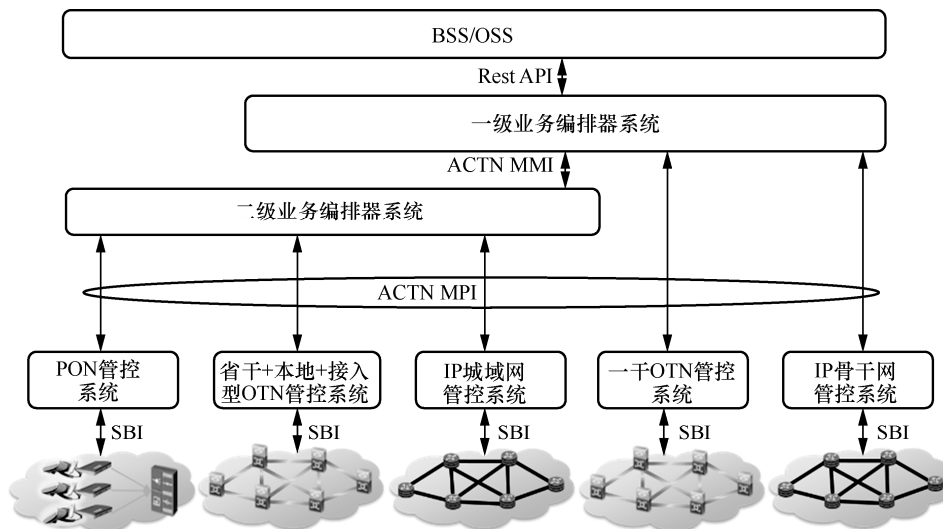


图 6 基于 ACTN 统一接口模型的业务编排器架构

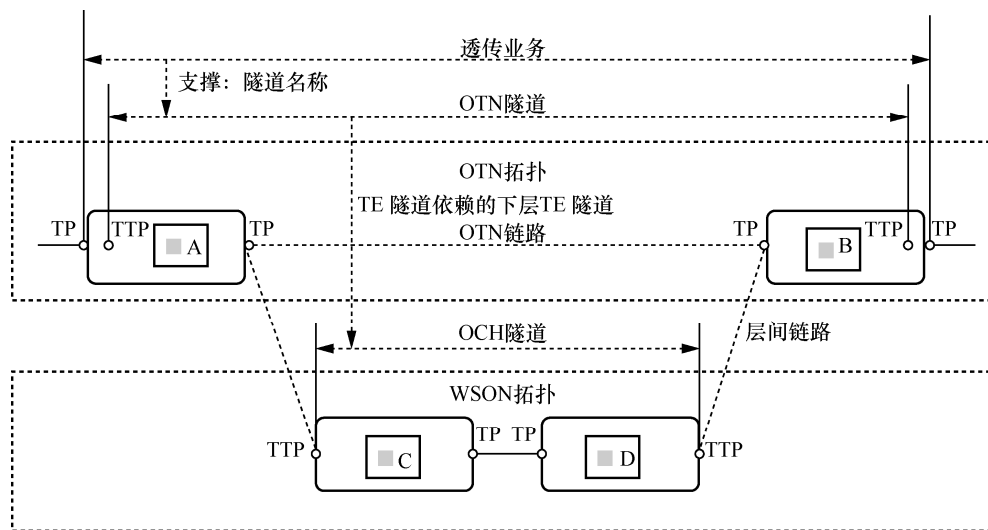


图7 基于 ACTN 的 OTN 透传业务模型层次关系示意图

3.2 ACTN 管控系统功能架构

为了对提出的统一化 ACTN 接口模型进行接口功能验证, 本文在 SDOTN 协同器基础上, 对跨专业业务编排器系统进行研发, 打破现有各专业网络 SDN 化改造导致的网管系统“烟囱林立”问题。如图 6 所示, 业务编排器系统架构是一个两级的编排器架构, 两级业务编排器系统负责提供跨专业业务编排能力和北向开放接口, 其中二级业务编排器系统负责省内业务编排, 一级业务编排器系统负责跨省业务编排。

业务编排器系统采用微服务架构, 每个服务运行在其独立的进程中, 服务与服务之间采用轻量级的通信机制互相沟通。业务编排器系统的微服务基础架构包含 5 个部分: API 网关、业务应用微服务、微服务注册/配置中心、用户认证授权中心和消息中间件。其中, 业务应用微服务包含统一管控接口模块、单专业编排模块和跨专业编排模块。具体地, 跨专业编排模块包含跨专业业务编排、跨专业路径计算、跨专业保护协同、跨专业性能管理等功能, 主要完成 IP 网络与 OTN 协同、OTN 与 PON 协同和云网协同等, 实现跨专业端到端业务编排的意图。单专业编排模块包含 OTN 业务编排、IP 网络业务编排和 PON 业务

编排, 实现单专业内端到端的业务编排能力, 并支撑响应跨专业编排模块需求, 实现敏捷的网络业务发放。

业务编排器系统功能架构如图 8 所示, 业务编排器系统通过 ACTN 统一管控接口分别与各专业管控系统交互, 完成数据采集和业务配置下发等功能。同时, 在业务编排器上通过跨专业微服务模块及其他单专业的业务微服务模块相互配合实现“传输+数据+接入”网络的协同编排, 实现跨域业务路径计算、业务自动开通、业务带宽动态调整, 以及业务层面告警、性能监控等功能, 提高业务发放效率。

业务开通成功强依赖于编排器系统对于网络资源的实时性把握, 因此编排层同样需要依赖自身对网络资源的感知, 构建网络资源智能运营系统, 实时获取网络资源数据, 进行资源分析及智能运维功能的实现, 增强网络资源服务能力。明确生产用管控系统与运营用资源管理系统的关系, 保证数据的完整性和唯一性且适应网络动态变化。

4 结束语

厂商控制器北向接口的开放和统一化程度

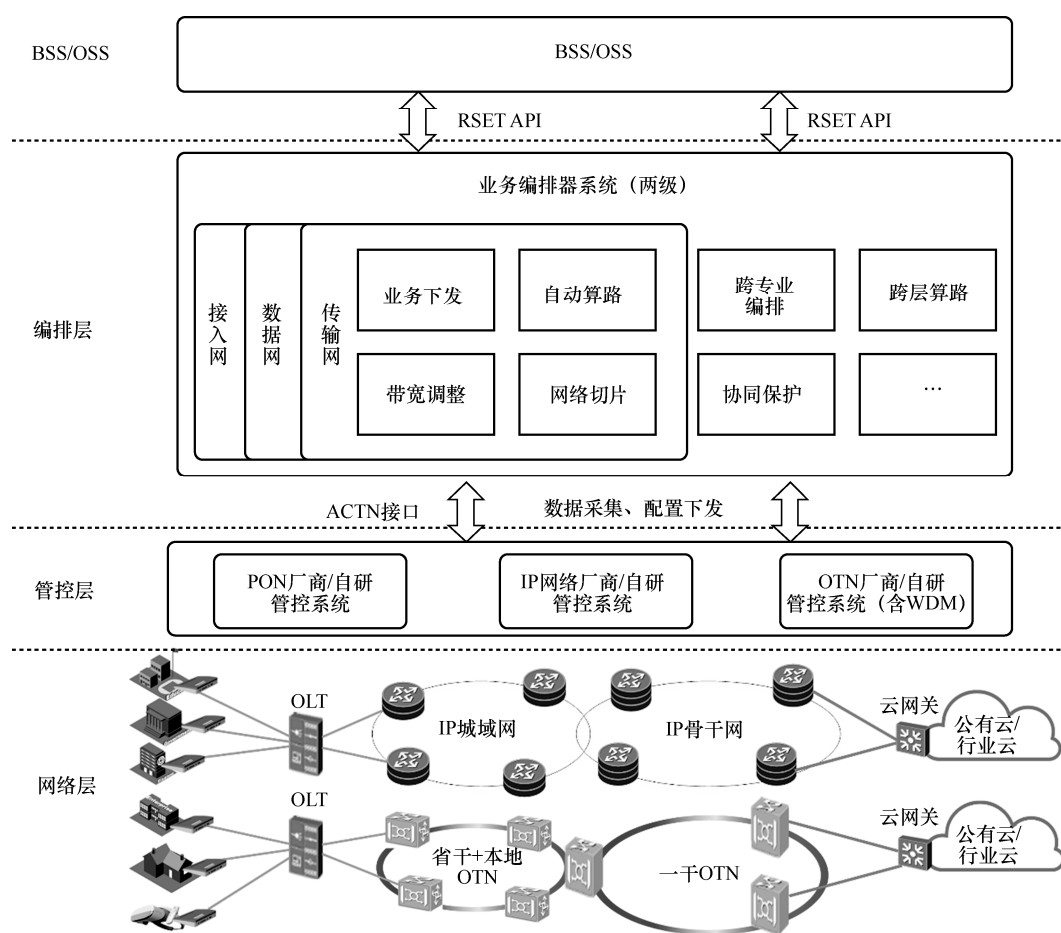


图8 业务编排器系统功能架构

对于 SDN 编排系统的整体性能有着至关重要的影响, 统一化接口模型方便进行 API 的管理和复用, 使得接口模型的扩展和维护性更好。目前业界围绕 ACTN 接口能力已经开展了大量开拓性研究及测试工作, 下一步将在光传送网控制器北向 ACTN 接口的研究基础上, 积极推动 IP 承载网络和 PON 控制器系统北向 ACTN 接口标准化, 统一化管控系统北向建模接口, 探索跨专业网络端到端业务协同的能力, 进一步提升数字化、智能化水平。

参考文献:

- [1] ONF. SDN architecture[R]. 2016.
- [2] 柏文琦, 胡怡红, 寿国础. 软件定义传送网北向接口 TAPI 模型与实现[J]. 光通信研究, 2018(6): 47-51.
- [3] 许鹏, 杨艳松, 刘雪峰, 等. SD-OTN 多控制系统协同关键技术及应用[J]. 邮电设计技术, 2022(3): 82-86.
XU P, YANG Y S, LIU X F, et al. Key technology and application of multi-control system orchestration for SD-OTN[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2022(3): 82-86.
- [4] 工业和信息化部. 基于流量工程网络抽象与控制 (ACTN) 的软件定义光传送网 (SDOTN) 控制器技术要求: YD/T 3600—2019[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
MIIT. Technical requirements for ACTN based SDOTN controller: YD/T 3600—2019[S]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019.
- [5] IETF. Framework for abstraction and control of TE networks (ACTN): RFC8453[R]. 2018.
- [6] IETF. Information model for abstraction and control of TE networks (ACTN): RFC8454[R]. 2018.

BAI W Q, HU Y H, SHOU G C. Modeling and implementation of transport API-the northbound interface of software definition transport network[J]. Study on Optical Communications, 2018(6): 47-51.



- [7] 工业和信息化部. 基于流量工程网络抽象与控制 (ACTN) 的软件定义光传送网 (SDOTN) 网络服务接口技术要求: YD/T 3828—2021[S]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- MIIT. Technical requirements on ACTN-based SDOTN network service interface: YD/T 3828—2021[S]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2021.
- [8] 工业和信息化部. 基于流量工程网络抽象与控制 (ACTN) 的软件定义光传送网 (SDOTN) 控制器层间接口要求 (报批稿) [S]. 2022.
- MIIT. Technical specifications on MMI in ACTN-based Software-defined SDOTN[S]. 2022.
- [9] ONF. SDN Architecture 1.1: TR-521[S]. 2016.
- [10] ONF. Core information model: TR-512 v1.3.1[S]. 2018.
- [11] ONF. Functional requirements for transport API: TR-527[S]. 2016.
- [12] 徐云斌. ONF TAPI 2.0 信息模型发布 加速软件定义光传送网进程[J]. 通信世界, 2018(5): 41-42.
- XU Y B. ONF TAPI 2.0 information model release-accelerates the software defined optical transport network process[J]. Communications World, 2018(5): 41-42.
- [13] ZHENG Y L, LIU Y C, WANG G Q. Considerations on the model selection of SDOTN controller northbound interface[C]//Proceedings of 2021 IEEE 6th International Conference on Computer and Communication Systems. Piscataway: IEEE Press, 2021: 440-446.
- [14] 周彦韬, 郑滢雷, 张贺. 自研 CPE-OTN 设备管控系统 中国联通发掘专线市场[J]. 通信世界, 2020(30): 36-37.

ZHOU Y T, ZHENG Y L, ZHANG H. Self-developed CPE-OTN control system-China Unicom explores the dedicated line market[J]. Communications World, 2020(30): 36-37.

[作者简介]



谭艳霞 (1991—), 女, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为传输网管控技术、IP 与光协同等。



郑滢雷 (1978—), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为承载网络的开放性管控系统接口标准研究以及系统平台的开发工作。

王光全 (1968—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 长期从事光通信网络的技术研究、标准跟踪以及相关的技术管理工作。

张贺 (1971—), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院教授级高级工程师, 主要研究方向为光纤传输、同步网新技术等。