



SDN 智能管控编排系统技术方案研究

谭艳霞, 王光全, 王泽林, 郑滢雷, 张贺, 张晨芳, 韩赛, 沈世奎
(中国联合网络通信有限公司研究院, 北京 100048)

摘 要: 随着用户对网络提出更为苛刻的服务质量要求, 运营商着力进行各专业网络的智能化改造建设。首先, 简单介绍了产业界各专业网络软件定义网络 (software defined network, SDN) 改造建设现状, 并对改造过程中存在的问题进行了分析; 然后, 提出了 SDN 智能管控编排系统方案, 以满足用户对跨专业业务端到端自动开通的需求, 并在网络层面实现资源数据的智能分析, 提升运维效率; 最后, 介绍了在提出架构下的专线业务开通流程和实时告警流程与实践。

关键词: SDN; 端到端编排; 能力开放; 智能化

中图分类号: TN915.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023037

Research on technical scheme of SDN intelligent management and control orchestration system

TAN Yanxia, WANG Guangquan, WANG Zelin, ZHENG Yanlei,

ZHANG He, ZHANG Chenfang, HAN Sai, SHEN Shikui

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

Abstract: As users put forward more stringent quality of service requirements for the network, operators focus on the intelligent transformation and construction of various networks. Firstly, the current situation of software defined network (SDN) transformation and construction of various professional networks in the industry were briefly introduced, and then the problems existing in the transformation process were analyzed. Then, the scheme of SDN intelligent management and control orchestration system were proposed to meet users' requirements for end-to-end service provisioning of cross professional services, and realize intelligent analysis of resource data at the network level to improve operation and maintenance efficiency. Finally, the service provisioning process of private line service and real-time alarming process and practice under the proposed architecture were introduced.

Key words: SDN, end-to-end orchestration, capability openness, intelligence

收稿日期: 2022-10-08; 修回日期: 2023-03-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2018YFB2200704)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB2200704)



0 引言

数字经济的浪潮席卷全球,随着网络技术演进及用户对多网络场景、多业务场景下需求的不断变化,软件定义网络(software defined network, SDN)的自动感知能力、任务自动下发能力需要更加灵活,并在终端数据采集、数据可视化等信息技术(information technology, IT)运营方面发挥更大作用^[1-2]。设备厂商的SDN功能对自有设备有较好支持,但用户终端接入呈现多产品化、组网异构化等特点,需要在厂商控制器北向配套智能协同器系统,实现全网端到端的业务快速下发和多维度的可视化呈现。目前,各运营商均在着力进行各专业网络的SDN化和智能化改造建设,各大相关标准组织也在全力推进有关的标准发展。中国移动在切片分组网(slicing packet network, SPN)设备及管控SDN化方面开展了大量的研究工作,在SPN集中管控系统上提供兼容传统多技术操作系统接口(multi-technology operations system interface, MTOSI)、简单网络管理协议(simple network management protocol, SNMP)等接口的北向接口,开放网络编程能力,便于灵活定制、开通业务^[3-4]。中国电信在SDN技术探索和应用部署方面基于自主研发的协同编排系统与接入型光传送网络(optical transport network, OTN)设备统一管控系统,通过编排系统及统一的I2接口协同不同厂商的控制器并兼容现网的多种网络协议,保障了网络端到端的能力^[5-6]。中国联通推出了CUBE-Net 3.0战略,提出算网大脑概念,将在已有的传输网层面^[7-8]和数据网层面^[9-11]SDN改造建设工作的基础上继续夯实云网一体。同时,还将结合人工智能(artificial intelligence, AI)、边缘计算等新业务诉求,探索面向业务级的算力网络新技术,向用户提供实时、高效的算网一体服务^[12]。

1 跨专业协同编排需求分析

不同专业的网络在承载业务时有各自的优势,各运营商根据专业领域划分采用分层独立规划模式,各自独立运行维护。目前各个专业网络都在进行各自的SDN化改造建设且分专业管理^[7,9],这种“烟囱式”架构下的分专业的管理方式给跨域跨网络协同和网络智能化转型带来了较多的问题,具体如下。

- 管控架构“烟囱化”:各专业SDN化改造工作导致管控架构技术不断叠加使得管控难度越来越大,直接或间接地导致建网成本提高^[13]。
- 运维协同难:不同专业网络各自独立运行维护,这种分专业管理方式层间协同能力弱,无法满足一体化运维的需求,尤其是大客户专线业务,存在跨层、跨域、跨厂商的业务部署需求。并且为用户提供端到端组网服务时,可能涉及骨干网、城域网、接入网多段的实施,业务开通过程中容易出现实施时间长、客户体验差等问题。
- 管控接口标准较多:目前各专业控制器对接协同器的北向接口存在软件定义综合承载传送网络(software defined unified transport network, SD-UTN)^[14]、流量工程网络抽象与控制(abstraction and control of traffic engineering network, ACTN)^[15-16]、传输应用编程接口(transport API, TAPI)^[17]、I2等多种不同类型的接口标准,需要从功能完备性、可靠性、接口复杂度等方向出发,考虑运营商实际需求统一化控制器北向接口标准^[7],简化编排器开发和维护的复杂度。
- 资源数据不完备,实时性较差:网络资源数据动态管理不足,各专业网络资源交维入网、割接、故障处理引起资源变动时,

未建立流程驱动资源及时更新,资源准确率不高。

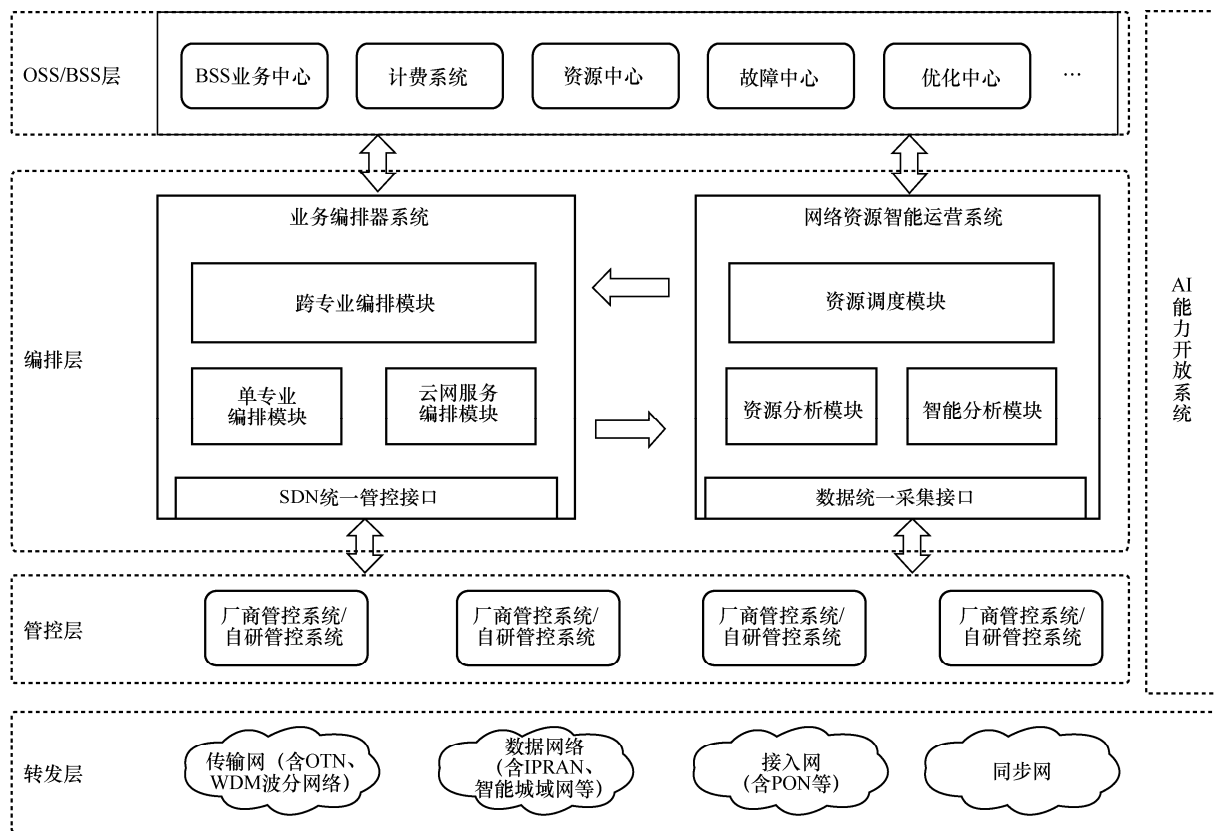
- 智能化应用研发与推广不足:当前开发了部分智能化应用场景,但是目前网络管理场景比较固定且功能分散,需要进一步提高网络自配置、自监控、自修复、自优化等智能化能力,满足智能编排、按需动态调整的需求。

随着用户对网络提出了更为苛刻的质量服务要求,业务部署难度不断增加。为了适应网络技术发展及用户业务需求,需要在已有科研成果的基础上打破现有“烟囱化”编排体系的 SDN 架构,研究制定智能化 SDN 管控编排系统整体架构,端到端满足业务的多样化服务等级协定(service level agreement, SLA)需求,并为云网融合提供

编排支撑。

2 智能化 SDN 管控编排系统架构

在网络智能化改造建设过程中,应首要解决业务自动快速发放需求,然后再基于需求逐步完善智能运营管理功能,提升运维效率。SDN 智能管控编排系统总体架构如图 1 所示,该架构是由业务编排器系统、网络资源智能运营系统、AI 能力开放系统和多个专业的 SDN 控制器/协同器系统组成的层次化编排系统。业务编排器系统聚焦于跨专业智能编排,通过统一的轻量化的控制器北向接口满足用户对于业务快速开通的需求。网络资源智能运营系统致力于网络资源自主可控、可视与智能运维管理,扩展智能化应用场景覆盖面,推进 AI 技术在具体领域的模型和推理应用,



注：波分复用（wavelength division multiplexing, WDM），运营支撑系统/业务支撑系统（operation support system/business support system, OSS/BSS）

图 1 SDN 智能管控编排系统总体架构



而 AI 能力开放系统^[18]则提供 AI 训练平台,为新技术创新验证提供基础的 AI 能力支撑。

(1) 业务编排器系统

业务编排器系统通过轻量化的 SDN 统一管控接口分别与各专业管控系统进行交互,开放网络能力。在业务编排器上通过跨专业模块和单专业模块的相互配合实现“传输+数据+接入”网络的协同编排,支持灵活的组装能力和丰富的组合形态,从而实现端到端业务路径计算与业务快速部署,保证业务开通、查询等实时性,提高业务发放效率。

(2) 网络资源智能运营系统

网络资源智能运营系统通过数据统一采集接口实现对资源数据的实时定向采集,并通过与业务编排器交互业务信息做到数据协同一致,从而在资源分析模块实现资源、业务、告警的端到端多维度可视化呈现与跨层关联分析等功能。同时,通过智能分析模块对采集到的资源和业务数据进行处理分析,结合自动化技术和 AI 技术,打造自动化和智能化的智能运维流程,提供安全、运维等多种智能服务,提升运维效率和主动运维能力^[19]。

(3) AI 能力开放系统

本系统将 AI 能力模块化设计,提供数据存储、模型训练、模型部署和发布等能力,并通过通用接口按需将 AI 能力提供给网络资源智能运营系统和业务编排系统,为智能化应用研发与推广提供基础的能力支撑。具体地, AI 能力开放系统可提供聚类、粒子群、时间序列预测等算法,为网络资源智能运营系统中的故障定位、性能预测、容量预测等功能提供算法模型支撑。

3 系统及接口功能要求

3.1 业务编排器系统功能要求

业务编排器系统作为网络实时管控的核心,向下集成各网络能力,向上支撑创新业务发展,从技术架构方面看具有单专业能力调动、跨专业

能力协同、场景编排、统一管控接口、微服务架构几个特性。

- 单专业能力调动:实现专业内业务灵活编排,对网络资源以及网络管理能力进行抽象和封装,并提供对接控制器的标准接口。
- 跨专业能力协同:提供多种算路策略,达到控制器随选的目的,实现端到端业务编排和协同,基于灵活组合的业务模板下发并协调各个单专业网络能力。
- 场景编排:基于对不同专业网络的协同编排设计组装业务模板,支持无源光网络(passive optical network, PON)+无线电接入网 IP 化(Internet protocol radio access network, IPRAN)、PON+OTN、IPRAN+OTN 等多种组网场景,可针对复杂的资源覆盖情况全方位适配,支持用户选择合适的接入与承载方案。
- 统一管控接口:提供轻量化 ACTN 统一接口对接各专业网络的管控系统,屏蔽底层网络实现细节,统一通用参数,实现业务编排器与控制器解耦,保证业务开通效率和查询的实时性。
- 微服务架构:采用 Spring Cloud 微服务架构,公用服务组件提供认证授权、注册等能力,业务应用组件提供各专业管理能力以及跨专业协同能力。各个服务模块相对独立的同时实现功能模块的灵活组合,避免重复开发。

业务编排器系统目标架构如图 2 所示,采用两级架构,按省分权分域部署,两级业务编排器系统负责提供端到端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多域控制,完成省内业务编排与发放,一级业务编排器系统对各个二级业务编排器系统、骨干网控制器及国际控制器统一协同,实现跨省业务编排与跨省业务快速发放。

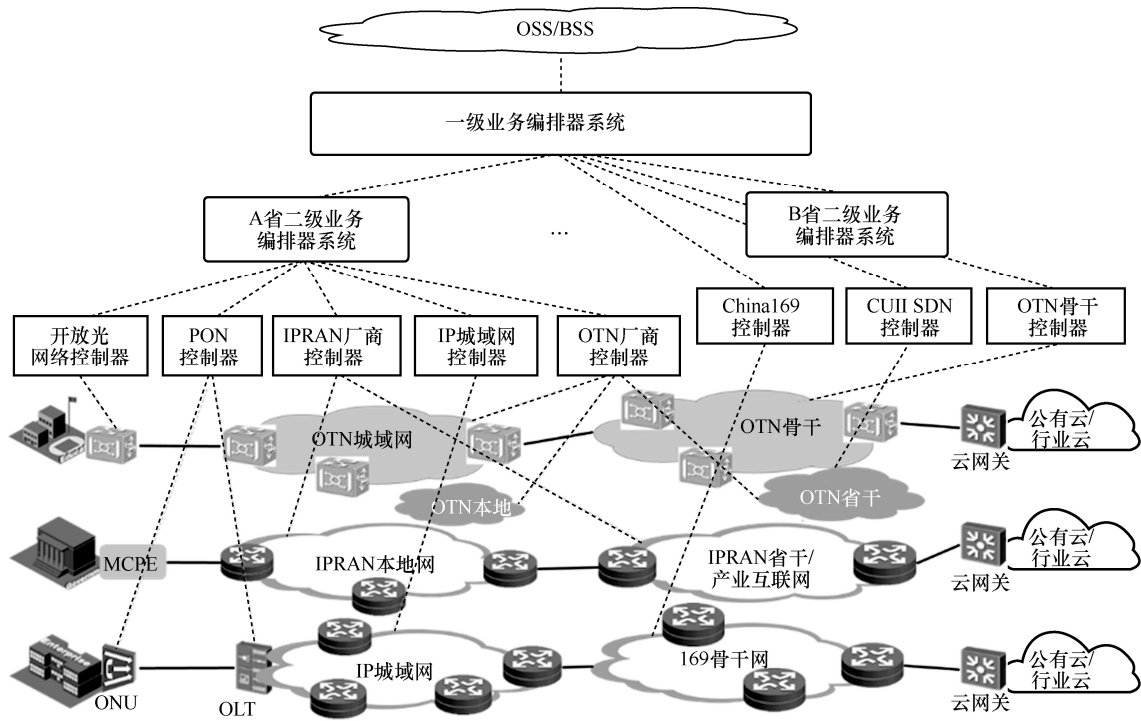


图2 业务编排器系统目标架构

业务编排器通过各个微服务组件的相互配合建设统一的管理编排平面，构建自动化、智能化、一体化的服务体系，提供业务快速开通和使用、带宽按需调整等能力，业务编排器系统主要功能见表1，包括资源管理、业务编排管理、告警管理与性能管理。

表1 业务编排器系统主要功能

功能模块	业务编排器系统功能
资源管理	拓扑资源采集、呈现与同步
	业务资源查询、呈现与同步
业务编排管理	端到端业务路由计算（含保护协同）
	传输+数据+接入网络协同编排
	业务模板管理与编排
	业务带宽动态调整
告警管理	拓扑资源与业务状态监控，支持告警通知逻辑处理
性能管理	业务性能监控与测量、跨专业性能协同

3.2 网络资源智能运营系统功能要求

业务编排器系统的 ACTN 接口抽象模型聚焦于业务发放，面向用户应用构建简化的拓扑还原模型，这导致了业务编排器系统在业务端到端维护方面的能力受限。智能化应用强依赖于编排系统对于网络资源的实时性把握，因此编排层需要依赖自身对网络资源的感知，提高资源数据的准确性并进一步提高智能化能力。基于上述考虑，在编排层引入网络资源智能运营系统，网络资源智能运营系统示意图如图3所示，与业务编排器配合实现控制和管理一体化，通过统一资源采集接口实时获取网络资源数据，并对海量数据资源进行复杂关联分析，提供完整的网络维护能力，打通 OSS/BSS 域流程，实现对 SDN 全生命周期的管理。

网络资源智能运营系统将 AI 技术引入具体领域，推进智能化应用场景覆盖面，构筑网络智慧运营能力。与业务编排器系统相对应，网络资源智能运营系统按省分权、分域、分两级部署。二级网络资源智能运营系统通过数据统一采集接

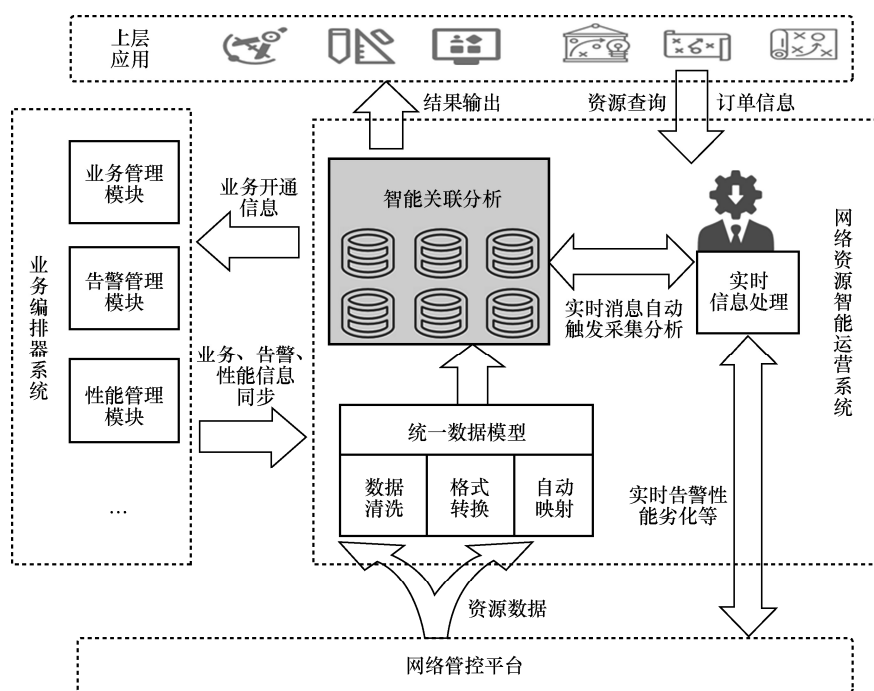


图3 网络资源智能运营系统示意图

口从各管控平台采集单个省的全量资源、告警和性能信息。一级网络资源智能运营系统从 OTN 精品网管控平台、一干 OTN 管控平台和 IP 骨干网管控系统采集全量资源、告警、性能信息，并从二级资源智能运营系统获得各省资源数据和分析结果，完成跨省业务关联分析工作。

网络资源智能运营系统包含资源调度模块、资源分析模块和智能分析模块，主要实现功能包括数据模型标准化、资源调度、业务关联分析、智能告警维护、智能性能维护。

- 数据模型标准化：接口适配不同管控平台，实时获取全量资源信息，实现资源、告警、性能数据的采集和标准化，提升资源管理能力和数据准确性，提升资源价值和效率。
- 资源调度：接收 OSS/BSS 域派单，根据业务进行订单适配，将用户的服务请求信息转换为网络请求信息，并根据资源情况完成 AZ 端资源分配并回单。
- 业务关联分析：基于实时获取的数据，实现物理资源与业务的跨域关联分析，并通

过报文分析，完成各层路由拼接，实现端到端的业务路由可视化呈现。

- 智能告警维护：通过机器学习对多维历史数据进行综合分析和数据挖掘处理，形成告警规则库。同时，基于所获得的告警关联规则，实时接收响应告警、性能劣化等消息，自动确定根源告警及衍生告警，在界面多维度呈现关联结果，实现业务故障快速识别与定位，提高运维效率。
- 智能性能维护：通过机器学习对各性能指标，如光功率、光信噪比（optical signal noise ratio, OSNR）等的历史数据进行训练学习，形成性能预测的模型；对定期采集的性能数据，应用性能预测模型进行趋势推理。根据预测结果对比性能阈值，分析性能发生越限的趋势；根据性能数据越限分析的结果，结合性能调整策略，提供性能调整的建议或自动下发性能调优动作。

3.3 编排层东西向接口

业务编排器系统致力于业务快速发放，网络

资源智能运营系统侧重于网络资源分析与处理，两个系统相互配合拉通 OSS/BSS 域及网络域，支撑发放运维全场景，助力完成基础网络的数字化转型。为了保证编排层两个系统之间数据协同一致，业务编排器系统和网络资源智能运营系统之间通过东西向接口进行数据交互，包含各个一级系统和二级系统之间的接口。接口功能包括可用资源信息查询、业务信息同步，以及业务告警、业务性能信息同步几个部分。

- 可用资源信息查询：业务编排器系统从网络资源智能运营系统查询业务可用资源信息，包括静态哑资源等信息，为业务编排提供强大的路径计算能力。
- 业务信息同步：网络资源智能运营系统向业务编排器系统发送业务开通信息。同时，业务编排器上报新开通业务的创建、修改、删除信息给网络资源智能运营系统，为业务关联分析和业务智能告警等功能提供支撑。

- 业务告警、业务性能信息同步：网络资源智能运营系统能够实时获取业务编排器中针对业务的告警信息、性能信息，并自动提取与告警、性能相关的业务、资源等信息进行关联分析。

4 SDN 智能管控编排系统业务流程

4.1 专线业务开通流程

根据图 1 提出的架构方案，网络资源智能运营系统可以实时采集全量资源数据，因此将与业务开通相关的资源调度工作放到该系统，可以减少 OSS 域各个系统之间的交互流程，提升业务开通效率。在不需要施工，并且资源可用情况下的专线业务自动开通流程如图 4 所示，具体步骤如下。

步骤 1 BSS 系统确认订单受理，并核查资源完成资源预占用。

步骤 2 开始专线业务的派单流程，网络资源智能运营系统接收来自工单系统的订单，调用

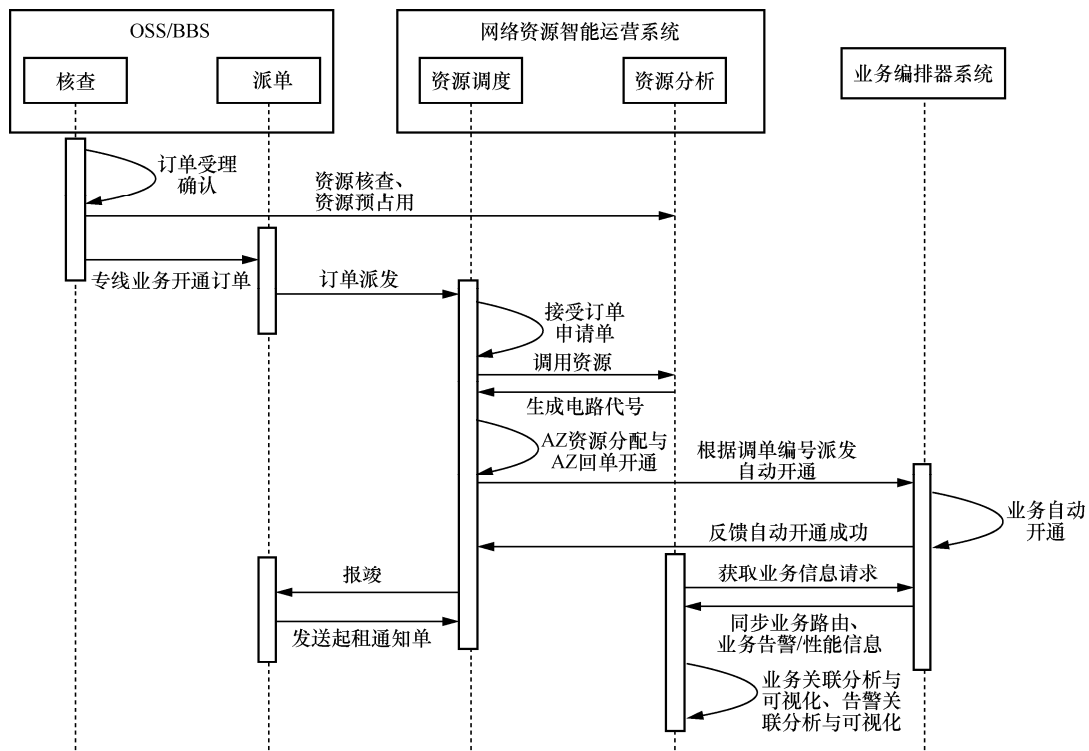


图 4 专线业务自动开通流程



资源生产电路代号。

步骤 3 资源调度模块进行 AZ 端资源分配, 并完成 AZ 回单开通。

步骤 4 资源调度模块将业务开通信息发送给业务编排器系统, 由业务编排器根据业务信息进行预计算和业务自动开通。

步骤 5-1 业务开通成功后, 业务编排器反馈自动开通成功通知给网络资源智能运营系统, 后续完成报竣和起租通知流程。

步骤 5-2 同时, 业务编排器系统将路由信息、业务信息、告警信息等传递给网络资源智能运营系统, 由网络资源智能运营系统完成业务关联分析与可视化、告警关联分析与可视化等工作。

以省内 OTN 专线业务发放为例, 跨域互通实践拓扑示意图如图 5 所示, 省内部署的业务编排器系统通过 ACTN 接口对接厂商 A 控制器、厂商 B 控制器及自研用户终端设备 (customer premise equipment, CPE) 管控平台^[8], 实现对多厂商控制器进行端到端跨域业务发放。省内二级业务编排器收到 CPE-A1 到 CPE-A2 的端到端业务开通请求后, 对业务进行预计算并将可选路由呈现给用户, 用户可以根据需求选择所需的路径。用户选择路径后将端到端业务拆分后分别下发请求到对应的控制器完成业务配置。目前已基本完成各

省二级 OTN 业务协同器架构部署, 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。

4.2 实时告警流程

在 SDN 智能管控编排系统架构下, 厂商管控平台、两级网络资源智能运营系统之间的告警和性能信息通过统一采集接口实时更新, 解决了“烟囱化”架构下的资源孤岛问题, 可以利用实时采集的数据实现故障/隐患的自动诊断与分析, 以实时告警流程场景为例, 实时告警流程如图 6 所示, 处理流程如下。

步骤 1 网元产生原始告警。

步骤 2 统一采集与指令适配平台采集原始告警并实时传递原始告警到网络资源智能运营系统。

步骤 3 网络资源智能运营系统采集原始告警并解析后, 上传到智能运营系统告警分析子模块进行处理。

步骤 4 告警分析子模块进行告警级别、类别等标准化处理, 进行告警过滤、告警关联分析, 并将结果实时发送到告警定位子模块, 进行告警定位呈现。

步骤 5 将告警分析结果与业务编排系统进行共享和信息同步。

步骤 6 调用电子运维工单接口, 实现自动派单。

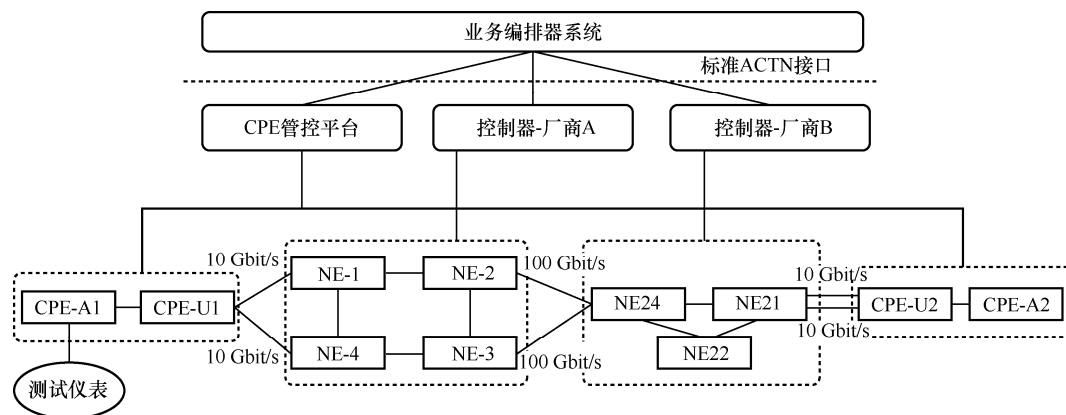


图 5 跨域互通实践拓扑示意图

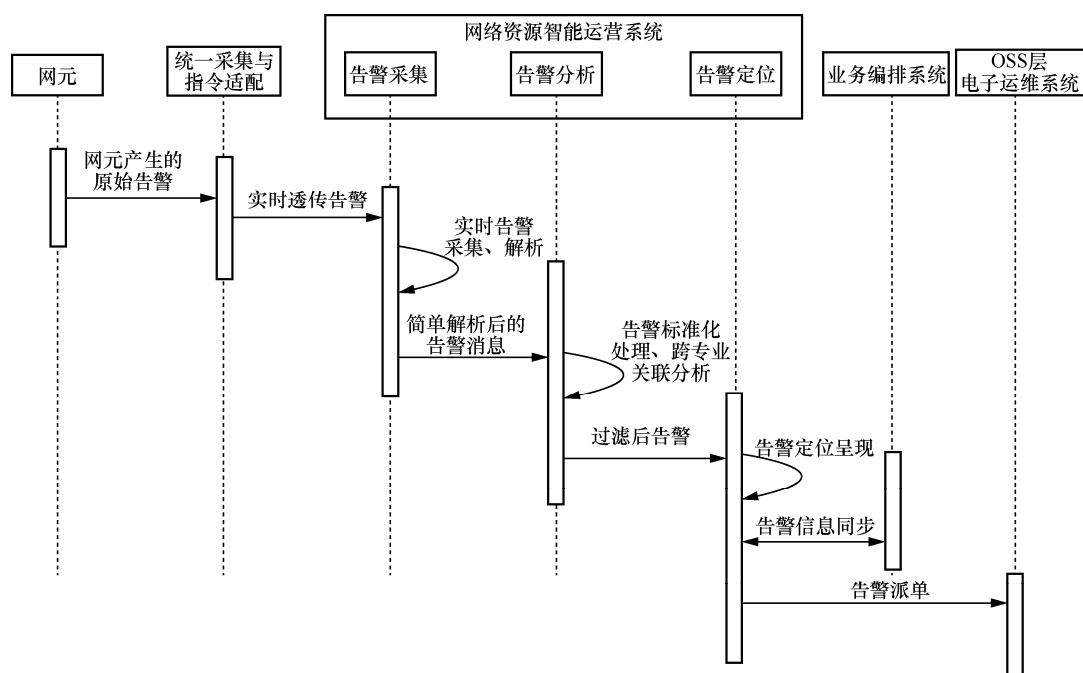


图6 实时告警流程

5 结束语

业务需求的快速增长对网络提出灵活、高效、智能的升级要求,随着 AI 等新技术的成熟,赋予网络架构演进更多的可能。如何改造网络中现有 SDN 架构下的“烟囱化”问题,并提供智能化的跨专业网络业务端到端自动开通能力以及智能化运维能力已成为未来网络架构建设亟须解决的问题。因此,SDN 智能管控编排系统架构方案是推出各类创新型网络产品、云网一体化协同的基础,也可以为运营商未来的发展方向提供参考。后续工作将在本文提出的 SDN 智能管控编排系统架构基础上进一步推动与完善 IP 承载网络和 PON 控制器系统北向 ACTN 接口标准化与网络资源智能运营系统相关工作,加速网络的自动化和智能化转型。

参考文献:

- [1] 新华三. 2021-2022 年中国 SDN 市场发展状况白皮书[R]. 2022.
H3C. Development of China's SDN market from 2021-2022[R]. 2022.
- [2] 唐雄燕, 曹畅. 中国联通网络重构与新技术应用实践[J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(2): 6-11.

- TANG X Y, CAO C. Network reconstruction and new technology applications of China Unicom[J]. ZTE Technology Journal, 2017, 23(2): 6-11.
- [3] 韩柳燕, 叶雯, 王敏学, 等. 面向 5G 和算力的 SPN 2.0 发展[J]. 通信世界, 2022(17): 33-35.
HAN L Y, YE W, WANG M X, et al. Development of SPN 2.0 for 5G and computing power[J]. Communications World, 2022(17): 33-35.
- [4] 中华人民共和国工业和信息化部. 切片分组网络: YD/T 3826-2021[S]. 2021.
Ministry of Industry and Information of the People's Republic of China. General technical requirements for slicing packet network (SPN): YD/T 3826-2021[S]. 2021.
- [5] 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.
- [6] 龚雅栋, 荆瑞泉, 周恒, 等. 基于 OSU 的 M-OTN 技术创新和应用部署研究[J]. 电信科学, 2022, 38(11): 96-105.
GONG Y D, JING R Q, ZHOU H, et al. Research on OSU based M-OTN technology innovation and application[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(11): 96-105.
- [7] 谭艳霞, 郑滢雷, 王光全, 等. OTN 控制器北向统一接口模型研究与实践[J]. 电信科学, 2022, 38(10): 163-172.
TAN Y X, ZHENG Y L, WANG G Q, et al. Research and practice of OTN controller northbound unified interface model[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(10): 163-172.



- [8] TAN Y X, ZHANG Y, ZHENG Y L, et al. Experimental demonstration of hierarchical control over multi-vendor SDOTN networks based on extended ACTN[C]//Asia Communications and Photonics Conference. 2020.
- [9] 易昕昕, 张桂玉, 桓一博. 中国联通跨域跨网络的智能化协同方案应用研究[J]. 邮电设计技术, 2021(11): 74-78.
YI X X, ZHANG G Y, HUAN Y B. Research on application of China Unicom's cross-domain and cross-network intelligent collaboration scheme[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(11): 74-78.
- [10] 唐雄燕, 马季春, 曹畅, 等. 中国联通 169 网络 SDN 化改造的成果与经验[J]. 移动通信, 2019, 43(7): 2-6.
TANG X Y, MA J C, CAO C, et al. Achievements and experiences from SDN transformation of China Unicom 169 network[J]. Mobile Communications, 2019, 43(7): 2-6.
- [11] 马季春, 孟丽珠. 面向云网协同的新型城域网[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(2): 37-40.
MA J C, MENG L Z. New metropolitan area network for CloudNetwork synergy[J]. ZTE Technology Journal, 2019, 25(2): 37-40.
- [12] 中国联合网络通信有限公司研究院. 中国联通 CUBE-Net 3.0 网络创新体系白皮书[R]. 2021.
Research Institute of China United Network Communications Group Co., Ltd. China Unicom CUBE-Net 3.0 network innovation system[R]. 2021.
- [13] 顾荣生, 尹祖新, 王丽琼. 传输网络架构演进思路探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(6): 18-23.
GU R S, YIN Z X, WANG L Q. Discussion on evolution strategy of telecom transmission network architecture[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(6): 18-23.
- [14] 曹畅, 胡锦航, 庞冉, 等. 中国联通 SD-UTN 网络技术与应用研究[J]. 邮电设计技术, 2016(11): 54-60.
CAO C, HU J H, PANG R, et al. Study of SD-UTN technology and application in China Unicom local unified transport networks[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(11): 54-60.
- [15] IETF. Framework for abstraction and control of TE networks (ACTN): RFC 8453[S]. 2018.
- [16] IETF. Information model for abstraction and control of TE networks (ACTN): RFC 8454[S]. 2018.
- [17] ONF. SDN architecture 1.1: TR-521[S]. 2016.
- [18] 陈俊明, 张洁, 左罗. 运营商 AI 能力建设及演进探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(12): 83-88.
CHEN J M, ZHANG J, ZUO L. Discussion on construction and evolution of operators' AI capability[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(12): 83-88.
- [19] 韩赛, 张冬月, 王泽林, 等. 跨专业承载网络智能运维研究与应用[J]. 电信科学, 2022, 38(11): 113-122.

HAN S, ZHANG D Y, WANG Z L, et al. Research and applications on intelligent operations of cross-professional carrying network[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(11): 113-122.

[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、光电协同等。



王光全 (1968-), 男, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师, 主要研究方向为光通信网络。



王泽林 (1983-), 男, 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 IP、云网融合、算力网络、白盒开源等。

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。

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。

张晨芳 (1984-), 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院工程师, 主要研究方向为光通信网络。

韩赛 (1988-), 女, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院高级工程师, 主要研究方向为网络智能、自智网络等。

沈世奎 (1983-) 男, 博士, 中国联合网络通信有限公司研究院正高级工程师, 主要研究方向为光通信网络。