



SDN/NFV 引入后的运营支撑系统实施方案和策略

石彦彬, 喻琦, 谢晓军

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 阐述了 SDN/NFV 引入给运营支撑系统带来的敏捷高效流程、实时按需服务、混合组网等方面的挑战, 分析了国际运营商和标准组织的行业趋势和运营商运营支撑系统能力、互联及自动化的现状, 提出了新一代智能、高效、弹性、开放的运营支撑系统的实施方案、边界分工及演进策略建议。

关键词: 运营支撑系统; SDN; NFV; 智能; 高效; 弹性; 开放

中图分类号: TP399

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018106

Operation support system blue print and evolution strategy for SDN/NFV

SHI Yanbin, YU Qi, XIE Xiaojun

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: Firstly, the challenges of operation support system for SDN / NFV were described, such as agile efficient processes, real-time on-demand service, and hybrid network. Secondly, the industry trends of international operators and standard organizations were introduced, and the current situation of operation support system was analyzed, including the capability, the interconnection and the automation. Lastly, the new generation of intelligent, efficient, flexible and open operation support system implementation blue print, boundary division and evolution strategy were proposed.

Key words: operation support system, software defined networking, network function virtualization, intelligent, efficient, elastic, open

1 引言

为应对“人机智能时代”来临的浪潮, 适应“互联网+”的挑战, 电信运营商纷纷进行转型, 引入 SDN (software defined networking) /NFV (network function virtualization), 实现网络智能化、业务生态化、运营智慧化, 为客户提供按需接入、自动

响应、逼真体验、高性价比的综合智能信息服务。

SDN 给网络构建了一个集中的大脑, 通过全局视图和业务集中编排控制, 实现全局流量的整体最优, 实现网络架构的变革; NFV 通过网络功能软件化, 提升网络按需动态扩展、业务快速开发和部署能力, 带来业务的快速迭代创新能力。

收稿日期: 2017-09-20; 修回日期: 2018-02-05



构建“网络智慧运营能力”是 SDN/NFV 价值能否最大化的核心因素，如何通过运营支撑系统的转型，实现网络运营由被动服务到主动智能运维转变、网络建设由规划牵引到按需动态布放转变、网络体系由封闭到网络能力开放转变，构建网络合作共赢生态，提供客户自助服务，实现敏捷高效运营、资源端到端可视、业务随选随控是运营商亟需研究的课题。

2 SDN/NFV 给运营支撑系统带来的挑战

2.1 新网络带来的敏捷高效运营流程挑战

SDN/NFV 对运营流程的影响示意如图 1 所示。

SDN/NFV 的引入，使得传统电信业务交付、运营清晰分离的模式受到以下巨大的挑战。

(1) 基础设施、产品生命周期管理、就绪的端到端流程从长流程变成短流程

传统的网络封闭、隔离建设，采用的是垂直烟囱式堆叠的专用网络设备，直接从设备供应商采购，按照规划、设计、建设、投入使用的流程入网投产，网络就绪周期长，扩容调整困难。新的 SDN/NFV 网络，网络集中控制、网元软件功能化，采用基于通用硬件虚拟化技术的实时就绪

流程，就绪周期短，网络能够智能调整、灵活调度、弹性伸缩。

引入 SDN/NFV 后，互联网模式下的产品生命周期管理，需要采用模型驱动的新服务、新产品设计、验证和上线流程，新产品按需创新，快速迭代；运营支撑系统的软件需要快速集成、测试和上线配置、变更，采取运营式开发，快速迭代上线，上线不影响原有业务。

(2) 服务开通、服务保障和计费的端到端流程从长/短流程变成准实时流程

传统网络的服务开通、服务保障存在两类流程：一类是需要人工参与开通施工和现场排障的长流程；另一类是可以通过网络操作实现的端到端自动化的开通激活与自动判障短流程。

SDN/NFV 网络引入后，重在加强自动化的短流程的能力，通过标准化的接口、集中操作控制能力、网元虚拟化等手段，提升自动化操作的网元范围和业务开通激活、排障的时效性；网络的集中控制、网元虚拟化，使得基于网络情况和用户体验的智能调度、弹性调整更加容易，增强主动服务能力，提升客户体验。同时，需要支撑用户随选业务场景的计费模式调整。

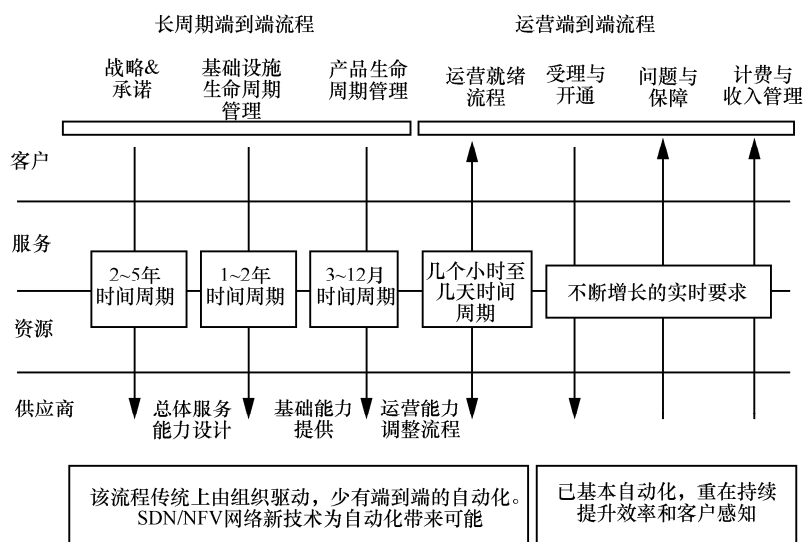


图 1 SDN/NFV 对运营流程的影响示意

2.2 新网络及互联网化服务需求带来的运营支撑系统挑战

(1) 业务模式由线下购买向线上订购延伸, 服务快速创新

运营商传统业务模式为线下购买、运营商定制业务, 服务和维护效率不高, 业务创新慢; SDN/NFV 引入后, 可强化线上订购、用户自定义业务, 缩短新服务从概念到虚拟化部署的时间, 客户可按需、自助、实时、在线获得服务, 适应新业务或市场条件变化, 快速服务创新。

同时, 引入 SDN/NFV 网络, 提供互联网模式的业务随选随控, 在传统业务开通保障流程的基础上极大地增强了用户的业务自助服务能力, 包括基于网上营业厅、掌上营业厅、用户 App 等渠道的随选业务自助、实时变更和计费能力以及基于控制台等的产品功能的自主控制能力。

(2) SDN 强化网络实时动态管理, 强调状态和参数的实时变更

运营支撑系统要能够允许由流量环境和网络事件引发的实时网络和服务的变更。实时响应的粒度需要达到流的级别, 比如分、秒。如果传统运营支撑系统无法支持实时响应, 那么就必须支持 SDN 控制器完成。

在传统网络中, 运营支撑系统需要配置网络服务参数, 对应长期的网络状态。在 SDN 中, 服

务参数必须能够实时变更, 对流量的变化做出及时的响应。运营支撑系统应该配置网络的基础设施, 但是允许 SDN 控制器能够实时地基于流对网络状态或者服务参数进行修改。

2.3 插花式重构的新老网络演进带来的混合支撑挑战

传统通信网络引入 SDN/NFV 的网络结构示意图如图 2 所示。

SDN/NFV 网络是逐渐成熟和演进的, 逐步由逻辑通信网络层(交换、传输、数据、移动等)向数据中心迁移, 在演进过程中运营支撑系统需面临如下挑战。

(1) 需兼顾客户端网络和物理接入网络(光电缆、管道等)的现场施工调测流程支撑

国外运营商, 物理接入网络有两种主要的建设模式: 一种是由统一的国家或运营商等集中统一建设; 另一种是法律规定各个运营商之间线路共建共享, 所以运营商的竞争焦点在逻辑通信网络能力, 物理接入线路的施工可以弱化考虑, 进而提出分钟级开通控制能力。

国内运营商“最后一公里”的竞争激烈, 基于建设成本等因素考虑, 无法做到全覆盖、全入户, 根据用户需求, 临时施工布线和现场上门施工的情况较为普遍, 比如: 线路未入户小区/企业的临时布线、公众/政企的终端配送和现场调测等。

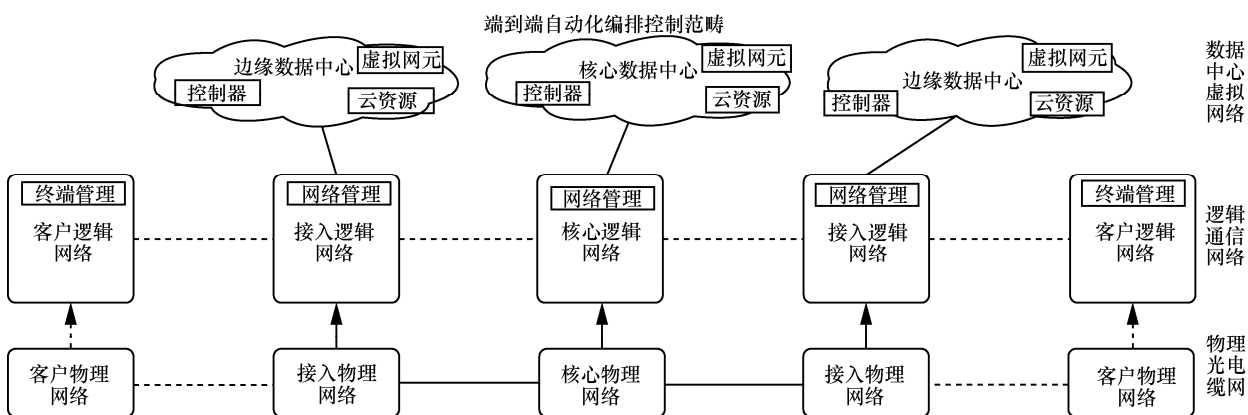


图2 传统通信网络引入SDN/NFV的网络结构示意图



SDN/NFV 网络引入后,自动化的开通、排障以及业务随选随控的前提是物理接入和客户端网络已就绪,因此从流程上既需要考虑新网络的实时、高效流程,又需兼顾物理终端和接入线路的人工施工、排障流程,对跨域端到端业务尤其需要考虑全程全网端到端的施工流程。

(2) 需考虑新老网络插花重构、混合并存模式带来的运营支撑系统挑战

NFV 的网元虚拟化,带来的最大变化是网络部署就绪时效性大幅提升,将 IT 软件的全生命周期管理能力引入网元的就绪管理中。从运营流程上看,对现有的运营流程的影响相对较小,可以看作完全叠加一套新的运营就绪管理流程和能力,但其本身也不是完全孤立的,需要把 NFV 网元的自动化部署能力嵌入业务开通、排障及主动服务的端到端闭环流程内,既提供新的虚拟网元出租能力,又能够为客户虚拟网元提供按需快速部署和弹性调整能力。

SDN 的集中化控制,带来的最大的变化是网络由分散控制向集中控制转变,网络控制能力的北向接口更加容易标准化和开放,网络编排由配置多个网管/网元向配置集中控制器转变。所以从运营流程角度看,自动化并不是新网络的专利,电信运营商传统逻辑通信网络的自动开通、自动判障能力已日趋成熟,SDN 只是让运营流程的自动化更加容易。

在网络演进方面,国外运营商由网络虚拟化降低成本入手,衍生出敏捷服务、高效运营等价值,逐步分段进行虚拟化演进,核心网路由设备改造并不迫切。从国内运营商的经验看,通信网络一直在演进,从来不是一个单一的、一成不变的静态网络,如光进铜退、IMS、软交换、数据网、传输网、移动网络等,每类网络的演进都不会一蹴而就,混合网络支撑是运营支撑系统长期面临的课题,全业务端到端也是其核心价值,SDN/NFV 引入也不会例外。

3 运营支撑系统建设现状及行业趋势

由于“最后一公里”的建设和运营模式的差异,国外运营商更加强调基于逻辑通信网络的自动化、实时的运营能力建设,国内运营商的运营支撑系统则还需兼顾人工施工的端到端流程。经过多年的建设,当前的运营支撑系统在统一模型标准、去 IOE 架构、微服务化改造、两级端到端一体化运营及智能化、自动化等方面都积累了较多成熟的经验。但限于系统分省建设,系统投资、人员队伍、供应商能力等的差异,系统能力并不均衡,全网新业务需求就绪较慢。

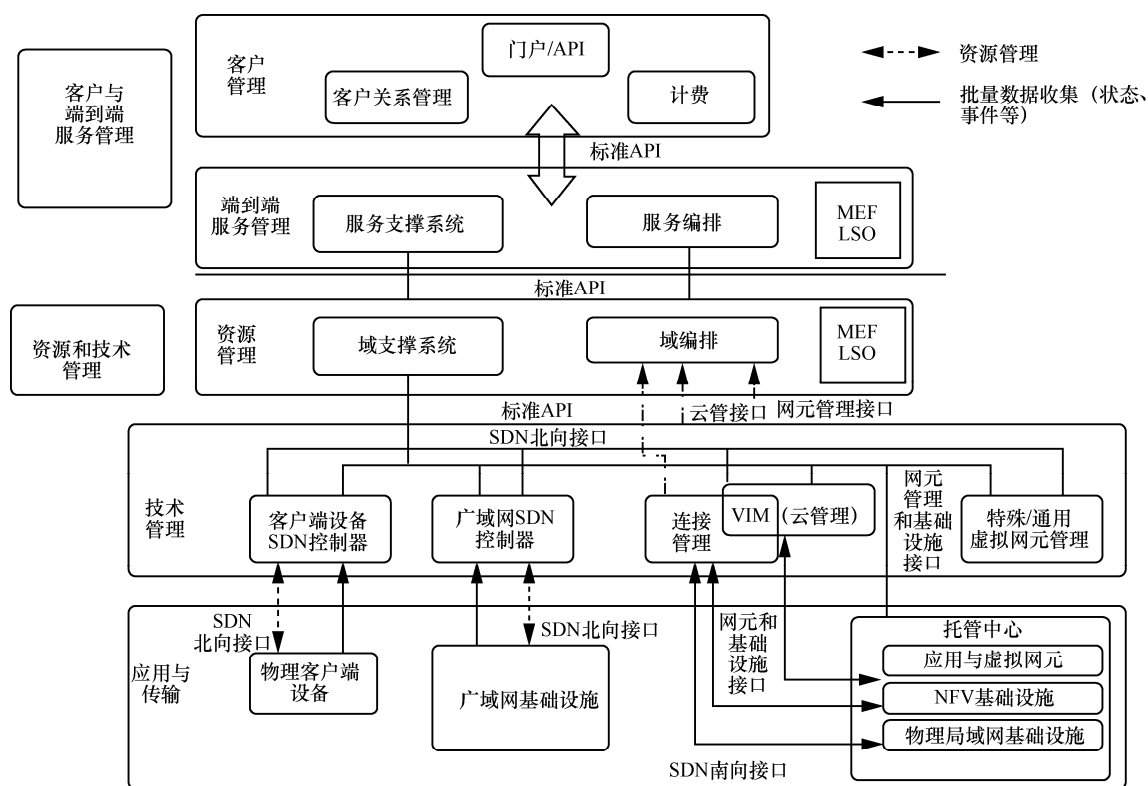
3.1 国际运营商 IT 系统改造思路及行业标准、开源软件现状

国际运营商、标准、开源软件的编排架构总体概览如图 3 所示。

国际运营商、标准、开源软件均选择了以面向客户的服务编排(业务编排)、面向资源的服务编排(网络编排)入手,由面向客户的服务编排解决新老网络混合组网的难题,并明确资源是自动化编排的核心能力。ETSI 标准中 NFVO 负责 NFV 网络编排,BSS/OSS 负责端到端服务编排;MEF LSO 标准通过 LSO 的分层和嵌套,实现端到端业务编排;开源 ONAP 中,MSO 负责端到端业务编排,APP-C、SDN-C、VF-C 等负责 SDN/NFV 网络编排,A&AI 提供端到端资源数据。

AT&T 面向全网,在网络、IT、业务、组织、流程等方面,全面改造、重构运营体系。构建 ECOMP 平台,以此为核心整合 IT 资源,基于 AIC 进行部署;扩展设计框架业务自动化闭环流程管理;配套改造运营商的管理支撑,如组织架构和人员培训等。其优点是充分发挥了 SDN/NFV 的技术优势或潜力,更易于支撑业务快速上线、创新和提高运营运维效率;其缺点是对企业的技术、管理、组织等能力要求极高,风险较大。

DT 以网络服务管理平台为核心,编排与 IT



来源：2016年9月TMF论坛观察研究 编排：为平台变革而准备

图3 编排架构总体概览

系统深度融合，重构传统 OSS 体系。支持实时开通、基础设施动态管理、100%过程处理自动化；支持闭环网络优化、数据模型驱动扩展，避免单点失败；利用大数据分析，具备丰富的客户自我关怀能力。其优点是在利用了 SDN/NFV 技术优势的同时，继承了已有管理传统网络经验，重构可操作性强；其缺点是可能受限于现有供应商实力。

Verizon 强调业务端到端编排与协同，结合传统网络实践经验，引入 SO 和 EEO，两者并存，传统 OSS 后续其功能演进到 EEO。新增两类编排器、整合服务保障功能和传统 OSS/BSS、EMS 等部分组成；重构分步建设，强调业务的端到端快速上线、部署与开通。其优点是新老隔离，业务端到端上线速度快，重构可操作性强；但编排功能存在重复、E2E 业务编排协调要求高。

3.2 传统通信网络的集团和省两级运营支撑系统建设现状

典型运营商的端到端网络运营支撑系统分工如图4所示。

电信运营商中，运营支撑系统主要面向网络运营及管理，支撑开通、保障、维护流程高效运转。目前主流的建设模式是集团和省全业务集中的两级一体化模式，综合网络管理类系统及其之上的服务开通、服务保障、资源管理、激活配置、装维调度、服务管理等系统分两级建设，并通过服务和数据总线统进行互联，实现全网端到端一体化的开通激活、故障处理、服务开放、资产实物管理、数据汇聚等需求；专业网络管理、网元管理、终端管理类系统按照网络段落、技术体制和管理职责分段垂直构建专业类的网络管理系统。去 IOE、微服务化、统一模型标准、服务能力开放等技术条件已成熟，但限于全网各省系统

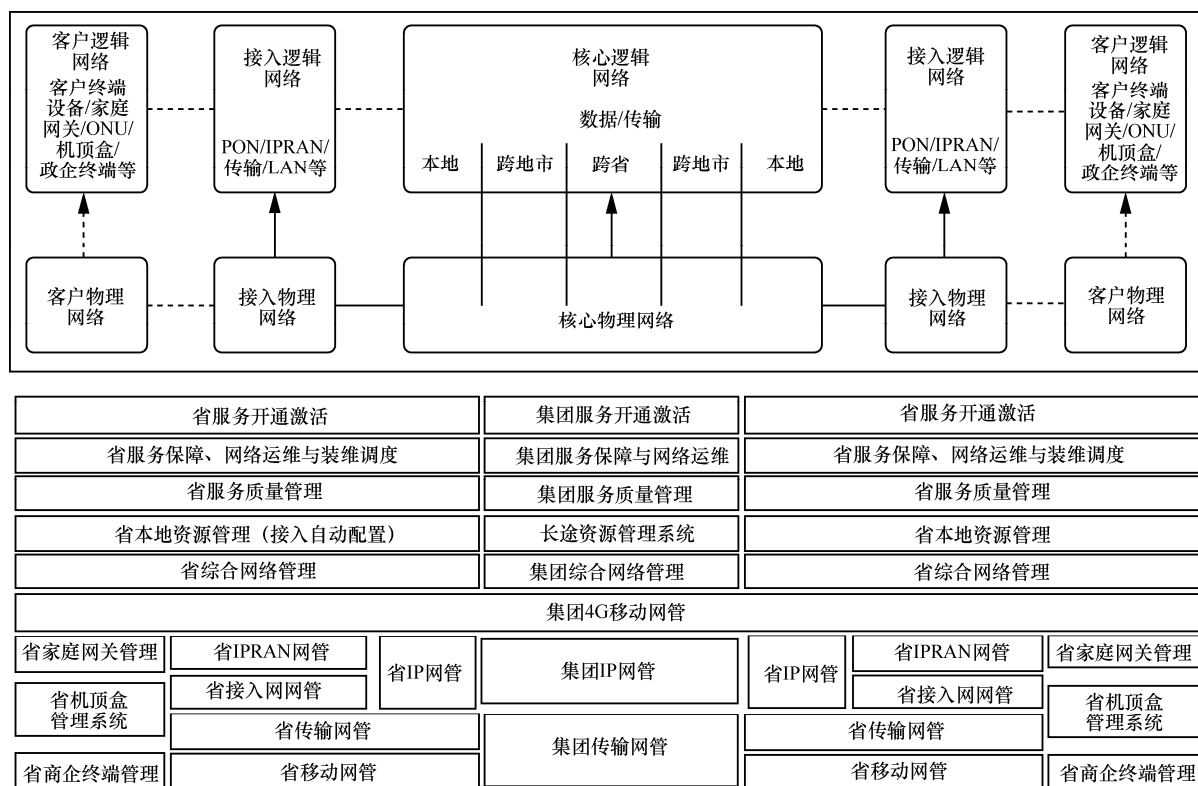


图4 典型运营商的端到端网络运营支撑系统分工

分散建设的现状，并未全部实施；部分运营商也在积极尝试综合类系统、专业网络管理类系统的集团集中建设。

当前全国集中或分大区部署的网元/平台及省接入型、移动业务已可实现自动资源配置、自动网元激活、自动判障及群障主动拦截、网络预检预修的闭环自动流转。其中，99%的移动业务可在3 min内开通；固网接入业务，可实现10 min内到达外线，现场零接触配置，即装即通；移动、固网业务可实现分钟级预处理、端到端故障诊断；带宽型业务时限以天计的原因是设备采购和现场安装调试；固网业务正在探索基于客户业务资源树的闭环自动化处理。

运营支撑系统存在的人工单主要分为两类：第一类需外线施工，占人工单大头，与系统无关；第二类是网元无北向接口，属标网元接口标准化和开放问题，也是SDN/NFV可重点优化的内容。历史经验表明，自动化的难点并不在两

级系统和IT系统能力，而在于网元接口的开放和标准化程度、局数据和流程的差异化程度、资源数据的准确性等方面，对于SDN/NFV仍然是绕不开的主题。

4 新一代运营支撑系统实施方案及演进

为应对SDN/NFV引入给运营支撑系统的挑战，结合国际运营商和标准组织的经验及运营支撑系统现状，新一代运营支撑系统的建设需满足如下业务和技术目标。

- 在业务上，需满足客户实时服务、业务网络快速就绪的高效运营需求；满足客户业务随选随控、网络弹性调整的按需服务需求；满足开通、排障、部署等流程的全程端到端自动化运营需求；满足客户、合作伙伴的多渠道自助服务需求。
- 在技术上，需具备以数据为中心、策略驱动的闭环自动化智慧运营能力；构建微服

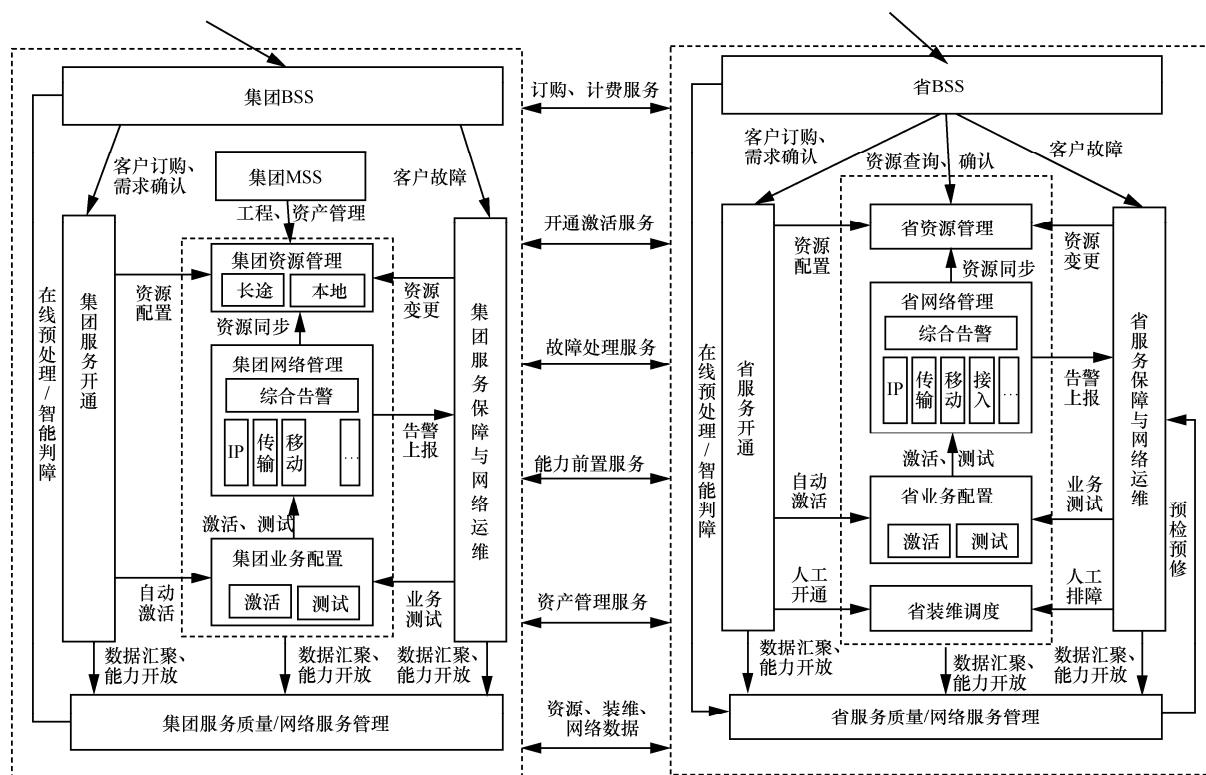


图5 典型运营商的两级运营支撑系统架构

务架构，实现服务能力开放，支撑运营式开发；可按需弹性伸缩，能自诊断、自恢复，故障和升级避免影响业务；为客户提供7×24 h实时、在线的服务保障；具备网络和运营支撑系统的集中管理、集中运营能力。

基于此目标，运营商需构建智能、高效、弹性、开放的新一代运营支撑系统，兼顾新老网络业务演进需求，提供“实时、按需、在线、自助”的客户体验。

4.1 新一代运营支撑系统实施方案

4.1.1 构建元数据驱动、云网资源统一、智能驱动、智慧运营的功能框架

新一代运营支撑系统的能力架构示意如图6所示。

(1) 实时、动态维护产品/服务/资源的端到端视图，支撑快速就绪与自动运维

资源管理负责维护产品/服务/资源及网络拓

扑的存量数据与端到端视图，并与SDN控制器、VNFM、云管理平台、网络管理、自动编排等联动，确保网络资源及状态的实时准确。

资源管理提供服务 and 数据访问能力，智能驱动实时/非实时的业务编排及智能分析闭环处理流程，向客户提供端到端资源可视能力，并可基于元数据驱动，实现新业务、新网络特性快速配置就绪，减少需求开发周期。

(2) 新老网络混合的跨域端到端业务编排，优化运维流程，支撑网络平滑演进

端到端业务编排衔接新老网络业务，基于端到端资源数据拆分新老网络编排任务，实现高效的业务和网络编排与自动化处理，支撑客户实时、按需、自助的业务变更需求，减少人工介入，提升运维效率。

基于企业数据的智能分析驱动，端到端闭环自动化编排处理，确保服务实时在线，支撑网络弹性调整。流程、策略等集中配置与发布，微服

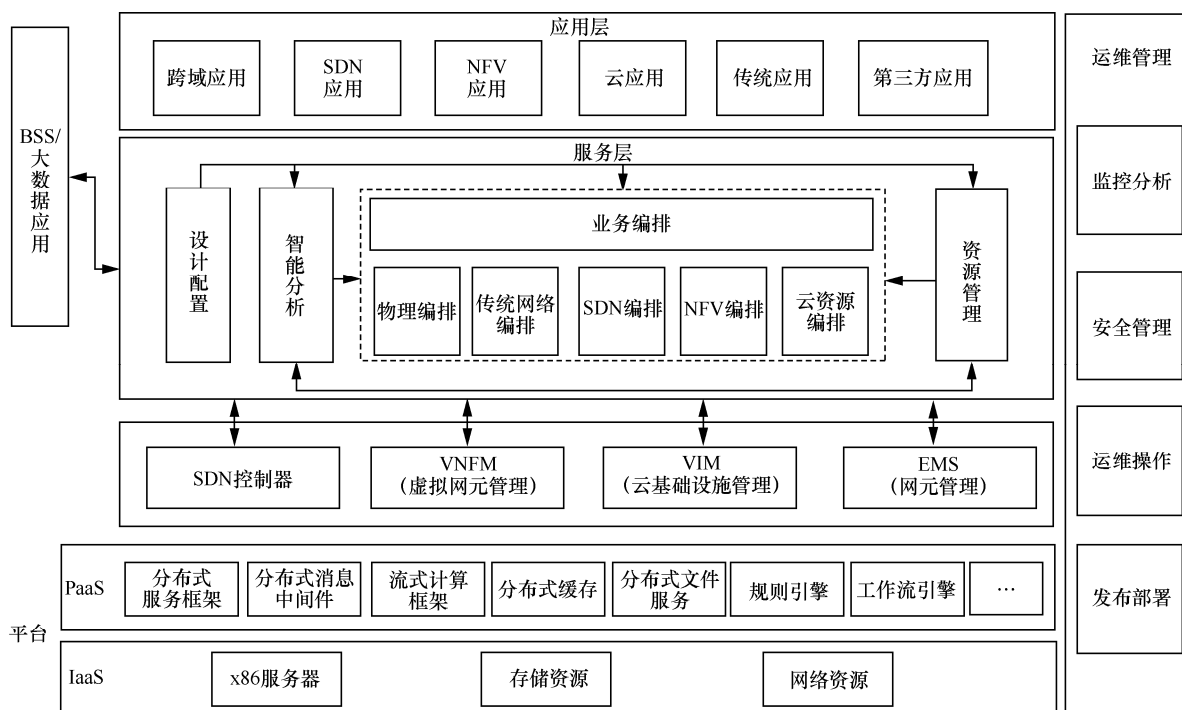


图6 新一代运营支撑系统的能力架构示意

务架构设计，支撑业务和网络编排能力快速就绪。

(3) 租户级的业务统一端到端监控，智能化的数据分析，实现敏捷的自动化运维

基于南向控制器采集汇聚实时和批量的事件、日志、性能、流量等数据到企业数据中心，构建数据分发及服务开放能力，支撑运营商及第三方合作伙伴的自主数据应用能力。

基于配置、策略、资源拓扑和数据中心网络数据，进行数据挖掘与分析，实现端到端智能监控分析，动态驱动客户服务问题、网络故障异常及网络弹性伸缩等的闭环自动化处理。

4.1.2 搭建平台共享、数据注智、策略驱动、架构开放的技术框架

(1) 平台共享，分层解耦、集中云化，网络与IT深度融合

IaaS层全面融合，业务云、网络云、IT云资源统一规划、统一部署、统一运营，共建共享；PaaS层技术架构共享，提炼IT系统、编排控制、虚拟网元等的公共PaaS服务组件，快速支持应用

和网元实现；SaaS层统筹规划，网元、网管/控制器、协同与编排、业务支撑等分层解耦，协同演进，能力开放共享。

(2) 数据注智，闭环自动化，支撑精益网运、敏捷服务

新一代运营支撑系统数据需纳入企业数据中心，统一数据模型标准和主数据，统一加工和存储，打通数据和生产系统(BSS/MSS/OSS)。精准营销和服务、精确管理、精益网运等智慧应用嵌入生产流程、智能决策、闭环反馈、迭代优化。构建一体化智慧运营体系，深化精确管理，提升运营效能，改善客户感知。

数据注智的闭环自动化流程示意如图7所示。

(3) 策略驱动，服务与数据集成，构建弹性、开放、顽健的云化、智能系统

新一代运营支撑系统需构建微服务架构，支撑快速上线，新特性以天或周为单位上线；需采用去IOE、云化技术架构，实现弹性升级，根据服务能力平滑扩展；实现“升级/回滚/扩容”零断服，

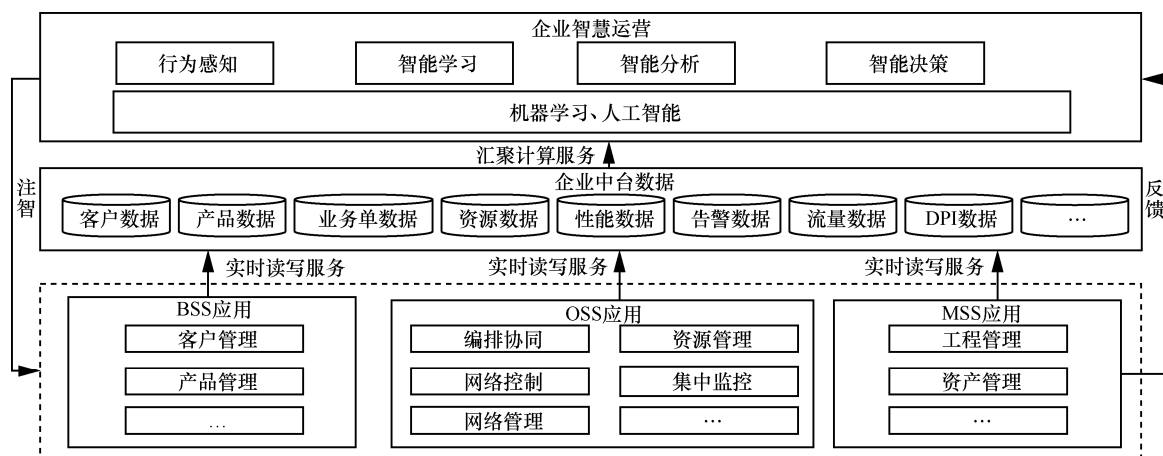


图7 数据注智的闭环自动化流程示意

确保 IT 服务 7×24 h 在线；构建开放架构，支撑运营商、合作伙伴、设备商快速实现业务创新。

(4) 架构开放，构建合作共赢的生态链，培养自主研发能力，构建 DevOps 机制

新一代运营支撑系统需基于元数据、策略、服务、编排、大数据等构建 DevOps 的闭环系统。支撑在线开发、业务部署“零接触”，大幅缩短新业务上线周期；基于开放的系统架构，支撑用户和第三方的研发，构建合作共赢的产业链；积极培养自主研发力量，建立运营式开发机制，适应网络重构的全新挑战。

4.1.3 BSS/OSS/网元的能力分层解耦，前后端分工合作的系统边界

新一代 BSS/OSS 系统的边界分工示意如图 8 所示。

新一代 BSS 负责业务和障碍的受理、计费、在线业务变更等，优化支撑业务的随选随控、按需调整和计费，并与网络协同和业务编排配合，实现资源的容量、速率、路径及其流量、质量的端到端可视，开通、排障等编排服务过程的端到端可视。

新一代 OSS 协同编排层负责相对静态的面向客户和网络的业务编排和网络协同调度，完成新

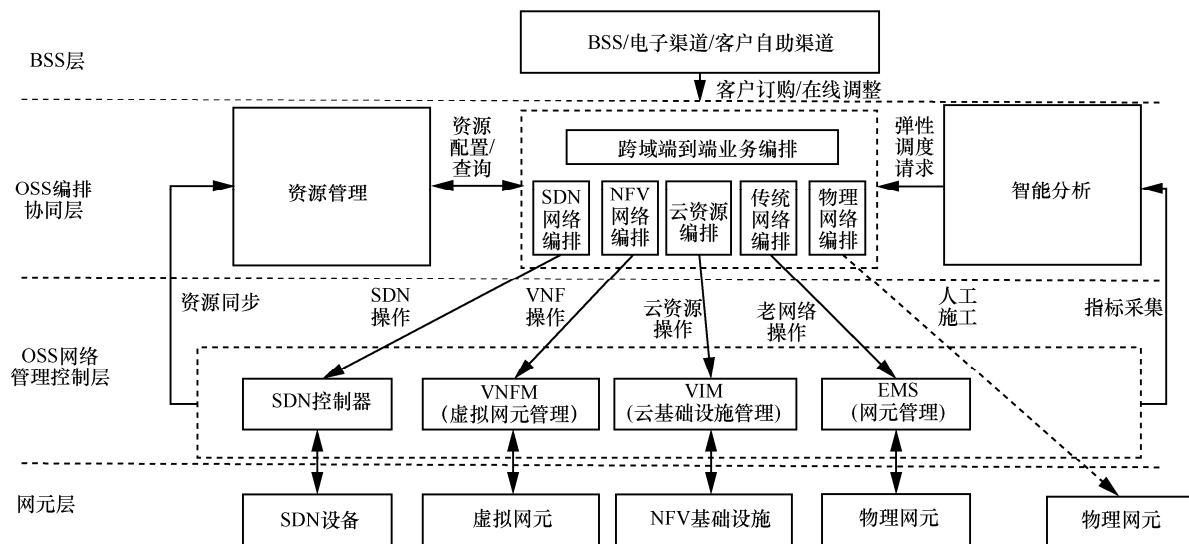


图8 新一代 BSS/OSS 系统的边界分工示意



老网络端到资源的统一管理、端到端资源可视和动态资源分配，进行网络事件、性能、流量、质量等的智能监控分析和决策，智能驱动开通、排障、部署等流程的闭环自动化处理，并负责动态网络控制策略的生成和管理。

新一代OSS网络管理控制层中的SDN控制器、云管平台、VNFM、EMS等负责动态的网络控制和调度策略的执行，负责SDN/NFV/传统网络各专业内的网络/网元的管理、配置、控制和数据采集。

4.2 新一代运营支撑系统实施演进策略

新一代运营支撑系统各模块实施演进示意如图9所示。

(1) 业务编排兼顾新老网络，微量迭代、平滑演进

业务编排模块北向对接BSS，根据端到端资源分解网络编排需求，实现新老网络编排的拆分和调度，按流程调度各段落的资源分配和施工。业务编排演进模式有两种：一为现OSS系统微扩展模式，此模式现有BSS/OSS接口和流程体系不用做较大调整，可快速支撑业务，但需强化业务随选随控的处理性能和服务开放方面的能力；二为新建模式，需要全部承接现有BSS/OSS的接口需求，且需要对接端到端资源，以区分新老网络和业务。

(2) 新网络编排全新建设，传统网络编排逐步整合

网络编排模块北向对接业务编排，可采取新

网新办法、老网络老办法的原则逐步演进。其中，NFV编排、云编排模块与传统通信网络编排耦合度不大，可相对独立全新建设，由业务编排进行端到端衔接；SDN编排模块，编排的是通信网络端到端能力，初期可考虑SDN改造部分的网络段落编排能力独立新建，后期逐步与传统逻辑网络编排模块融合，实现混合组网模式下的通信网络编排；传统网络编排中，物理光电缆网络和客户端网络安装施工，保持现有的流程和支撑体系，不需要打乱重来，仅需考虑其中的逻辑通信网络编排能力的迁移融合。

(3) 业务编排和资源管理协同演进，网络编排垂直整合

业务编排负责的是全业务、端到端的编排能力，需要围绕端到端资源展开，二者是密不可分的整体，可根据集约化需求，协同进行垂直整合集中；网络编排各段能力相对独立，可由业务编排进行端到端衔接，故可分专业、分技术体制、分段落逐步进行垂直整合集中，并逐步与新网络编排能力融合。另外，在迁移演进过程中，需统筹兼顾，统一数据和服务标准，开放共享服务和数据能力，兼顾面向客户的资源和服务的端到端可视、业务随选随控等需求。

4.3 云VPN业务随选场景支撑验证

云VPN业务随选场景编排分工示意和云VPN业务随选场景编排流程示意如图10和图11所示。

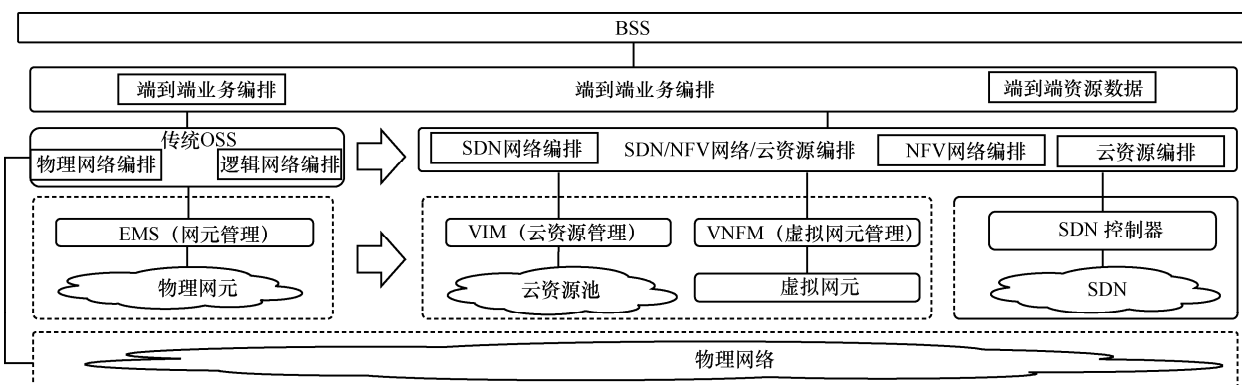


图9 新一代运营支撑系统各模块实施演进示意

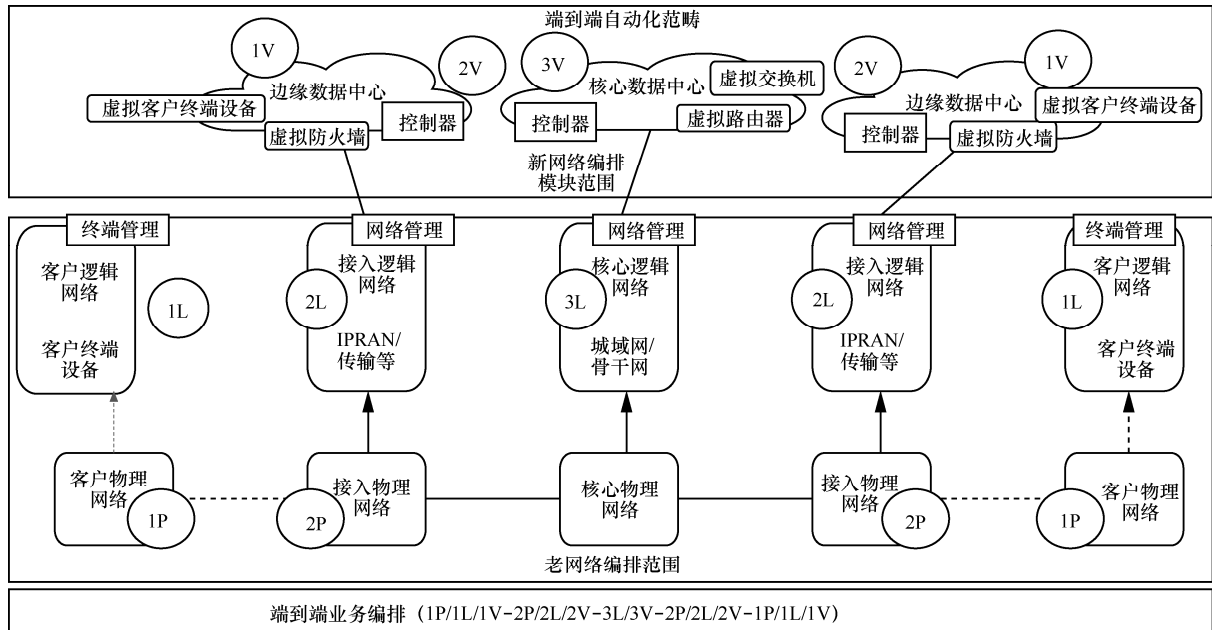


图 10 云 VPN 业务随选场景编排分工示意

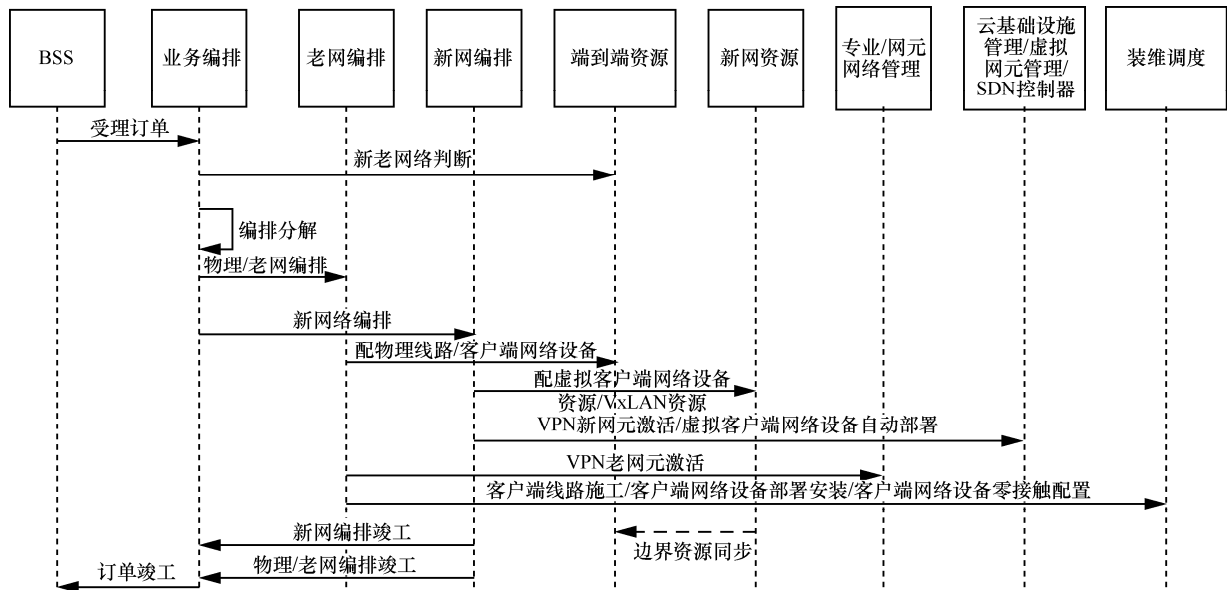


图 11 云 VPN 业务随选场景编排流程示意

场景支撑说明如下。

(1) 端到端业务编排

业务编排根据端到端资源拓扑，分解调度各网络段落的编排施工任务，完成 1P/1L/1V-2P/2L/2V-3L/3V-2P/2L/2V-1P/1L/1V 的端到端编排施工。

(2) 物理网络施工（客户端、接入、核心）

由物理网络编排负责 1P、2P、3P 环节的资源分配、设备采购和现场施工。

(3) 未 SDN 化的逻辑网络激活（客户端、接入、核心）

由传统网络编排负责 1L、2L、3L 的环节的



资源分配, 通过网络管理完成业务激活配置。

(4) SDN 化的逻辑网络激活(客户端、接入、核心)

由 SDN 编排负责 1V、2V、3V 环节的资源分配, 通过 SDN 控制完成业务激活配置。

(5) 虚拟化网元出租(CPE、FW、路由器、Switch 等)

由 NFV 网络编排和 VNFM、VIM 配合, 完成 1V、2V、3V 环节虚拟化网元的资源配置、网元部署和弹性调整。

(6) 云资源出租

由云资源编排负责云资源的资源分配、编排施工和弹性调整。

(7) 业务随选随控

在物理网络已经施工就绪的前提下, 业务编排基于端到端资源拓扑, 调用各网络编排能力实现业务速率、QoS 等的随选随控。

5 结束语

运营商新网络部署不会打破重来, 而会向 SDN 和 NFV 演进, 会首先部署带来最大价值或最需升级的地方, 如数据中心间的连接的 SDN、承载 IT 或 NFV 服务的云服务等, 是一个长期的过程。同时, 新网络部署, BSS/OSS 必须并行改造, 否则新的 SDN 或 NFV 网络带来的好处将不能完全实现。而运营支撑系统如何构建网络智慧运营能力, 支撑插花式重构的混合组网模式, 满足敏捷高效运营和客户按需、实时、自主、在线服务的需求, 又是重中之重。

各大运营商现有的运营支撑系统建设情况、系统能力、供应商实力、自主研发团队实力以及网络演进策略、产品服务策略等的差异导致了各自新一代运营支撑系统的演进实施方案的不同。各大运营商和行业标准、开源软件都在积极地尝试和推进相关举措, 如 AT&T 的 ECOMP、ETSI

的 MANO 标准、ONF 的 LSO、TMF 的数字化转型、ONAP 的开源软件等, 如何选择符合运营商实际的运营支撑系统实施演进方案, 仍然需要运营商持续的验证和尝试。

参考文献:

- [1] 赵鹏, 段晓东. SDN/NFV 发展中的关键: 编排器的发展与挑战[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 18-25.
ZHAO P, DUAN X D. Key of SDN/NFV development: development and challenge of orchestrator [J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 18-25.
- [2] 王海宁, 赵慧玲. NFVO 标准和实践[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 3-9.
WANG H N, ZHAO H L. NFVO standards and practice [J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 3-9.
- [3] 韦乐平. SDN 的战略性思考[J]. 电信科学, 2017, 31(1): 1-6.
WEI L P. Strategic thinking on SDN [J]. Telecommunications Science, 2017, 31(1): 1-6.
- [4] 赵慧玲, 史凡. SDN/NFV 的发展与挑战[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 13-18.
ZHAO H L, SHI F. Development and challenge of SDN/NFV [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(8): 13-18.

[作者简介]



石彦彬(1980—), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要研究方向为 OSS 系统规划、设计、建设与运营的研究与支撑。



喻琦(1985—), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院工程师, 主要研究方向为 OSS 系统规划、设计、建设与运营的研究与支撑。

谢晓军(1972—), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要研究方向为 BSS/OSS 系统规划、设计、建设与运营的研究与支撑。