



面向云网融合的智能云原生架构和关键技术研究

陆钢, 陈长怡, 黄泽龙, 黄泽源

(中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 作为云计算的最新技术成果, 云原生技术快速推动互联网和企业应用上云。云原生技术可以为通信运营商网络提供更加经济、便捷的部署和运营方法, 随着运营商云网融合工作推进, 云原生成为运营商网络云化的核心技术和关键抓手。分析了云原生技术应用情况和存在的问题, 提出面向云网融合的智能云原生架构, 研究演进设计、架构部署方案和关键技术, 提出云原生化推进举措。

关键词: 云网融合; 云原生; 微服务; 容器; DevOps; 智能运维; 无服务; 云原生网元功能

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020269

Research on intelligent cloud native architecture and key technologies for cloud and network integration

LU Gang, CHEN Changyi, HUANG Zelong, HUANG Zeyuan

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

Abstract: Cloud native technology, as the latest technology achievement of cloud computing, promotes internet and enterprise application to cloud. Cloud native technology can provide more economical and convenient deployment and operation methods for communication operator network. With the promotion of cloud and network integration of operators, cloud native is the core technology and key grasp of operators' network cloud. The application and problems of cloud native technology were analyzed, an intelligent cloud native architecture for cloud and network integration was proposed, evolution design, architecture deployment scheme and key technologies were studied, and cloud native promotion measures were prospected.

Key words: cloud and network integration, cloud native, micro service, container, DevOps, AIOps, serverless, cloud native function

1 引言

云原生 (Cloud + Native) 的概念在 2013 年被 Matt Stine 第一次提出^[1], 云原生即应用在架构设

计之初, 便以部署在云上为目标, 并且充分考虑云的原生特性, 去进行开发及后续运维, 而不是将传统应用简单迁移上云, 因此称为“云原生”。云原生是一系列思想的集合, 包括 12 因素、微服

收稿日期: 2020-07-03; 修回日期: 2020-09-02

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (No.2018YFB1802400)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB1802400)



务、持续交付、自动化运维、容器、康威定律等，并不是指具体的某一项技术。CNCF (Cloud Native Computing Foundation, 云原生计算基金会) 将云原生定义为一系列技术的集合，包括容器、微服务、服务网格、不可变基础设施与声明式 API^[2]。目前业界一般认为的云原生技术包括容器、容器编排、微服务、无服务、DevOps 和智能运维技术。

新产业环境下，新型信息基础设施建设成为国家推动经济高质量发展的重要支撑，云网融合作为新型信息基础设施的核心，已经成为全球通信和互联网企业共同努力的方向，指导 5G、工业互联网、物联网等新型基础设施建设工作。中国电信提出云网融合包括“网是基础、云为核心、网随云动、云网一体”四层含义，得到业界的广泛认可。围绕这四层含义，要求网络设计开发初期就需要采用云的思维、云的架构、云的技术，辅以人工智能技术，将云的弹性伸缩、快速迭代、智能运维的原生特性带入网络中，增加网络云化的灵活性和适应性，提高云资源利用率，缩短部署周期，提升迭代开发效率，因此有必要从云网融合的角度对智能云原生架构和关键技术进行研究。

2 云原生在电信领域的应用情况和存在问题

2.1 云原生在电信领域的应用情况

全球主流运营商 66% 已经或正在进行云化部署^[3]，利用云原生技术建立与部署更弹性、更灵活、部署更敏捷、容错性更好的平台和应用。国内三大运营商目前已经采用云原生技术构建应用和能力平台以更快响应市场需求的变化，应用效果显著：中国电信采用云原生技术开发 CTWing 开放平台，提供一致的公共平台能力和符合云原生的微服务治理能力，高效支撑各类场景部署和应用需求、应用敏捷管理和高效运维；中国移动基于“Docker+K8S”云原生技术栈构建 10086 客

服系统容器云平台，实现端到端云原生，承载语音客服、互联网客服、智能客服及视频客服等核心系统，包含业务系统、应用、服务共 9 650 余个，应用运维效率提高 35%。中国联通容器化大数据能力开放平台，实现跨数据中心的异构计算资源管理和调度，大数据基础服务的容器化，中间件及数据库服务的容器化，资源、服务的自助化开放，承载全国 1 万余个生产任务的调度。

运营商充分认识到云原生是网络云化的必由之路，国外运营商已经开始进行应用探索。AT&T (American Telephone and Telegraph, 美国电话电报公司) 牵头主导 ONAP 社区并广泛引入容器和 Kubernetes, Telefonica、Orange、Telenor 明确 NFV (network functions virtualization, 网络功能虚拟化) 云原生演进路线，进行容器 5GC (5G core) 测试。Bharti Airtel 公司以容器为虚拟化基础设施，构建 NFV PaaS 平台，已经实现 vEPC 容器化的小规模商用。2019 年，加拿大贝尔公司将其语音邮件网络功能移植到一个基于容器的架构上，该架构运行在 Kubernetes 编排层之上，并与 ONAP 架构的生产实例一起运行^[4]。印度 Bharti Airtel 建立全球首个云原生 EPC (evolved packet core, 演进分组核心网)，使用裸机纯容器部署，提供 PaaS 层安全性、可靠性以及增强性能，采用微服务架构构建云原生 vEPC (virtual evolved packet core, 虚拟演进分组核心网) 组件，实现轻量化、自动化、DevOps 的网络架构。

国内运营商也准确地捕捉到这一趋势，通过协同工作的方式从网络云原生角度切入展开云原生场景及技术研究，并开展相关试点工作。其中中国电信正在研发网络云原生平台试点承载轻量化 4G/5G 网元和边缘云，中国移动正在进行边缘计算的容器技术试点，中国联通正在进行 5G 轻量化部署方案的研究。后续国内运营商将联合推动标准编制和开源项目，共同设计云原生平台框架、开发云原生平台并推动其应用。

业界在网络云原生方面也有实质性的试点探索,基于 Linux 基金会下的 LFN(Linux Foundation Networking) 开源社区进行 5G 云原生网络试验,构建了 5G 与 LTE 两个独立的云原生试验网络,并在两个网络之间实现了端到端视频通话。5G 网络跨越两个云(美国圣地亚哥与蒙特利尔)建立, LTE 建立在欧洲索菲亚科技园区,并用阿里公有云部署 vIMS(virtual IP multimedia subsystem, 虚拟 IP 多媒体子系统)和其他软件, vIMS 创建两个网络间的端到端信令。基于云原生的移动网络拓扑如图 1 所示^[5]。

在上述 5G 云原生试验网络中将网络功能采用 Docker 容器承载, 并采用 Kubernetes、Prometheus、Fluentd 等开源项目进行构建。试验网络证明端到端的数据和语音网络系统采用云原生技术的可行性, 并在实时保证、云原生网元功能描述、云原生网元功能设计、网络硬件加速、IPv6、网络接口与协议支持、云原生网元功能生命周期管理等方面进行了关键技术验证。

2.2 云原生在电信领域的存在问题

尽管业界和运营商在云原生领域做了很多有意义的尝试, 并已经在平台和应用领域广泛开展

云原生应用, 但是面对运营商的核心网络系统, 云原生推进遇到了很多现实问题。

(1) 云原生在网络云化方面的技术和标准研究滞后, 尚未融入业界生态的问题

目前国际上 CNCF 已经成为云原生的事实标准, 互联网企业阿里、腾讯等, 电信运营商 AT&T 等, 设备商华为等都加入了 CNCF 并推动云原生发展, 运营商也在 Linux 基金会也成立了专门的 CNTT 工作组推进云原生在电信网络的应用工作。总体来看通信行业在网络云原生方便缺少统一架构指导, 对关键基础性技术研究投入不够, 对核心项目和标准跟进不及时, 导致网络云原生研发水平严重落后业界技术发展。

(2) 现有云网融合系统已经应用, 面临如何向云原生架构演进的问题

以 AT&T 为代表的运营商初期采用云适应网络的理念开展重构工作^[6], 基于 SDN (software defined networking, 软件定义网络)/NFV 技术重构其网络系统, 采用以编排器为核心的下一代运营系统来管理网络, 采用云管平台管理虚拟化资源。而云原生架构更多的是以云的思维设计和重构网络, 因此如何保证原有云网融合系统平滑演

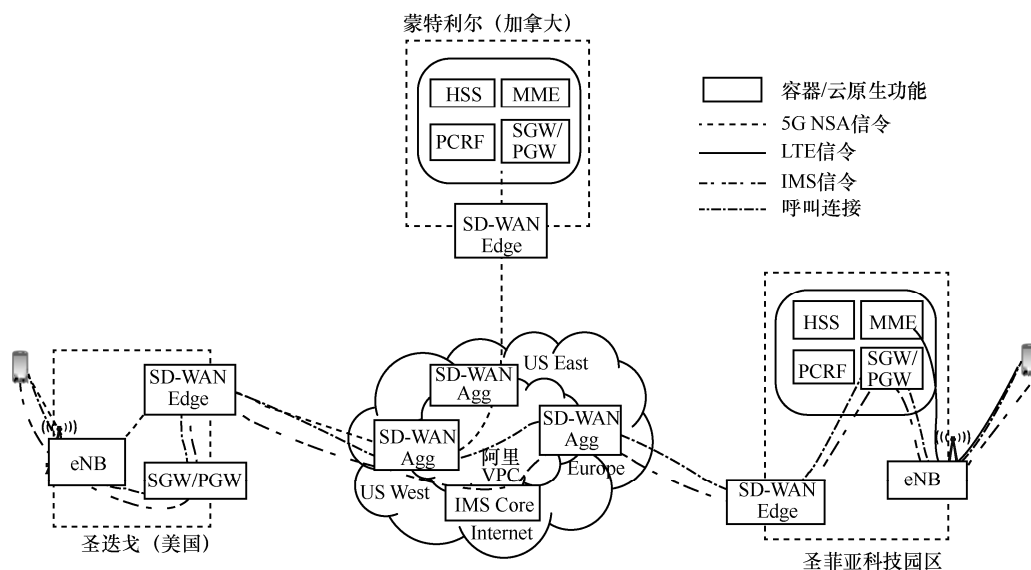


图 1 基于云原生的移动网络拓扑



进到基于云原生的系统阶段成为网络云化的一个不可避免的问题。

(3) 云原生服务拆分、多层解耦后,给网络云化带来的运维复杂性问题的

云原生是 IT 技术的集大成者,业界充分认识到网络采用云原生技术的必要性,但是云原生带来的运维难度给网络运维人员带来极大的挑战,运维复杂性成为运营商推进网络云原生改造的最大阻力。运营商如何从 CT 传统运维过度到 IT 智能化运维、从网元黑盒化运维过度到云原生白盒化智能运维成为目前影响云原生技术应用到网元领域的关键问题。

3 智能云原生架构设计及关键技术研究

为满足网络云原生需求,本文基于云原生平台、方法和工具,进行了 EPC 和 5GC 研发探索。在前期实践基础之上,参考 CNCF 等开源项目设计理念,同时借鉴前期业界在网络云原生化的经验,提出支持云网融合的智能云原生平台

(intelligent cloud native platform, ICNP) 参考设计架构。

3.1 整体架构

平台基于容器技术,以微服务为服务对象,支持承载网元,实现网络云原生化的快速开发、弹性扩展和智能运维。智能云原生平台的功能架构如图 2 所示,由控制子系统、智能运维子系统、DevOps 子系统、服务代理、公共服务、业务服务、容器编排和容器 8 部分组成,以下重点介绍前 6 个部分。

(1) 控制子系统

控制子系统包括注册中心、配置中心、安全中心和平台适配器 4 个组件。主要功能包括:注册中心用来发现和注册微服务,支持其他微服务框架比如 Spring Cloud、Service Comb 等服务发现;配置中心支持配置路由、负载、熔断、限流、灰度等服务治理规则以及将规则下发给服务代理;安全中心负责微服务间身份认证、加密通信的策略、密钥和证书的管理;平台适配器用于适配

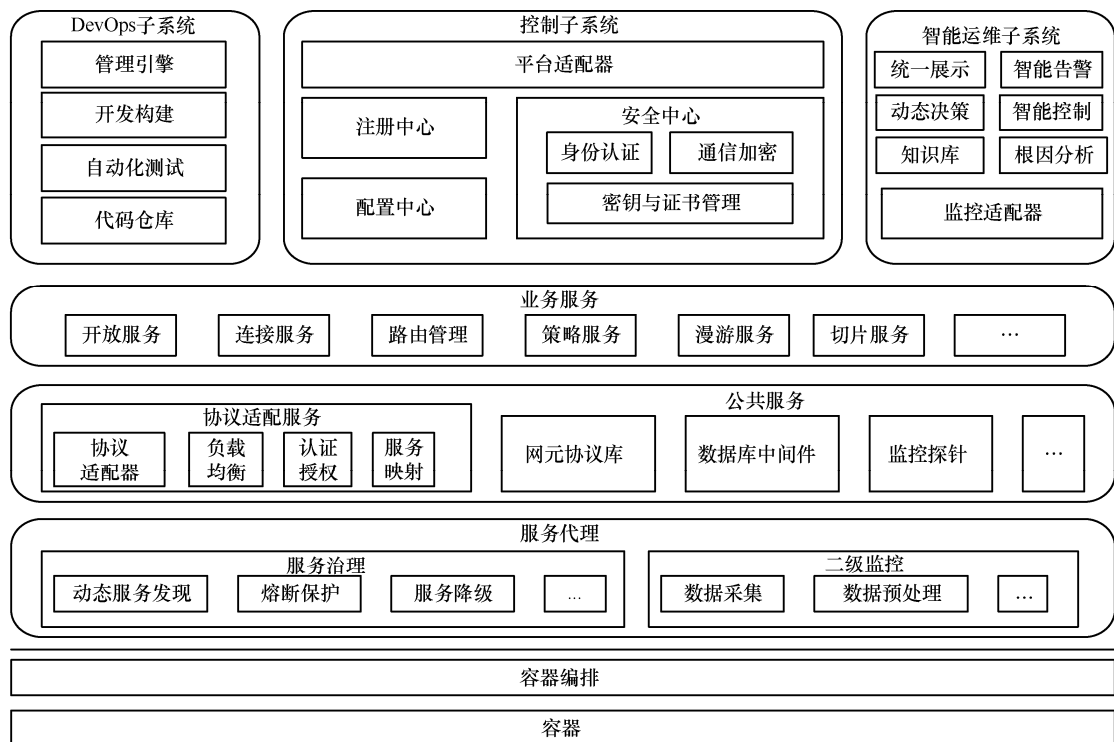


图 2 ICNP (智能云原生平台) 功能架构

Kubernetes 等编排平台, 实现容器集群管理, 为微服务提供资源调度、部署运行、服务发现动态伸/缩等功能。

控制子系统支持将人工智能算法引入到熔断、限流和降级等服务治理的判断, 比如在熔断里面引入自适应算法, 通过访问量、系统性能、超时恢复时间等参数不断学习, 逐步形成最优的熔断阈值。

(2) 智能运维子系统

智能运维子系统, 用来收集服务代理上报的监控数据, 根据配置, 使用监控适配器(adapter)将监控数据分发给后端的监控服务。主要功能包括: 提供基础设施(物理机、虚拟机、容器、网络)、平台(日志、访问量、异常)和微服务(状态、异常、调用链)的监控服务; 提供根因分析、故障预测、性能优化等核心运维服务; 提供统一的运维信息展示界面以及智能告警能力。

智能运维子系统支持对运行日志、变更日志、运行指标和服务调用链等数据, 进行“大数据+AI”分析, 实现网络态势感知、根因分析、故障预测、性能优化、智能告警和容量预测等, 为应用提供通用的智能运维服务。

(3) DevOps 子系统

DevOps 子系统基于 JenKins、JMeter、Git 等开源工具, 提供代码管理、自动化测试、持续集成、持续交付能力, 支持微服务一键式部署到 Kubernetes 等平台, 支持服务自动化部署、升级以及应用的更新、升级、扩容、伸/缩、卸载等。

(4) 服务代理

服务代理是微服务的云原生网络代理, 劫持访问微服务的流量, 为微服务提供公共的服务治理能力。主要功能包括动态服务发现、服务间的熔断保护、负载均衡、限流、降级、灰度发布、故障注入和调用链分析等。服务代理支持 HTTP(S)、HTTP/2、GRPC (Google remote procedure call protocol, Google 远程过程调用协议)、GTP(GPRS

tunneling protocol, GPRS 隧道协议)、QUIC (quick UDP internet connection, 基于 UDP 的低时延的互联网传输层协议) 等通信协议, 并提供二级监控能力, 采集监控数据, 并对所采集的监控数据进行缓存、清洗、过滤和再加工。

(5) 公共服务

公共服务为微服务提供多业务、多网元公用的基础软件服务。主要功能包括: 协议适配服务通过协议适配器, 支持 HTTP(S)、HTTP/2、GRPC、GTP、QUIC 等通信协议, 提供多协议融合通信能力, 为网元提供 Diameter、SMGP (short message gateway protocol, 短消息网关协议)、CAP (CAMEL application part, CAMEL 应用部分) 等协议解析服务; 为外部访问提供负载均衡、认证授权、协议定制、配置访问端口以及与内部服务间的映射关系; 网元协议库提供 Diameter、SMGP、CAP 等协议解析服务, 被协议适配服务的协议适配器调用; 数据库中间件, 支持访问 SQL 数据库(MySQL、Sqlite 等)、NoSQL 数据库(Redis、Etcd、MongoDB) 以及其他类型数据库; 内部服务可以通过数据中间件快速访问数据库或数据库集群; 监控探针支持采集各类监控数据, 包括系统、网络、调用链等信息。

(6) 业务服务

业务服务通过对 5G、工业互联网、物联网等应用场景分析, 可以将网元通用业务软件功能抽象出来, 为网元提供业务软件服务, 包括开放、连接、路由、策略、漫游和切片等和业务密切相关的服务。在实际开发部署中, 可以通过业务服务、公共服务和定制服务组合形成网元服务。

3.2 演进设计

运营商已经基于虚拟化技术构建了云网运营系统, 底层采用多云或者裸金属软硬件资源, 采用虚拟网络功能对网元功能进行封装, 采用管理和编排系统进行资源部署, 并和现有支撑系统和网管系统进行融合对接, 现有云网融合系统示意图如图 3 所示。

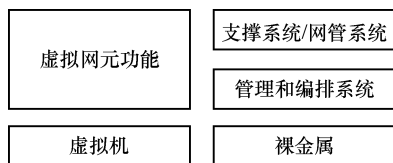


图3 现有云网融合系统示意图

采用云原生重构云网融合系统，可以在原有架构基础上，叠加在智能云原生平台，增加容器资源，升级管理和编排系统（融合部分智能云原生平台功能），同时对网元功能进行分层解耦，采用云原生功能单元对网元功能进行封装^[7]，云原生云网融合系统目标示意图如图4所示。

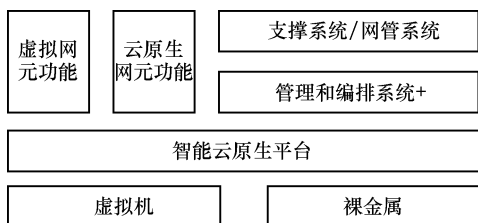


图4 云原生云网融合系统目标示意图

整个架构演进可以分为两条线同步推进，一方面对现有管理编排系统进行改造，纳入部分智能云原生平台功能，另一方面建议对新增网元和存量网元的增量部分采用微服务设计、容器化封装，从而演化形成既兼容原有系统又面向云原生的云网融合系统。

3.3 架构部署

智能云原生平台通常基于 Kubernetes、Docker 进行部署，支持多种形式部署网元、监控数据开放、多框架接入以及外部访问，智能云原生平台部署方案如图5所示。

平台基于连接服务、协议适配服务配置提供外部访问入口，支持解析 Diameter、SMGP、CAP 等协议的服务网关，配置服务代理启用二级监控，监控数据经过清洗、过滤、加工之后，根据按时、按量等规则上报智能运维子系统，配置智能运维子系统使用监控适配器将监控数据转发给能力更

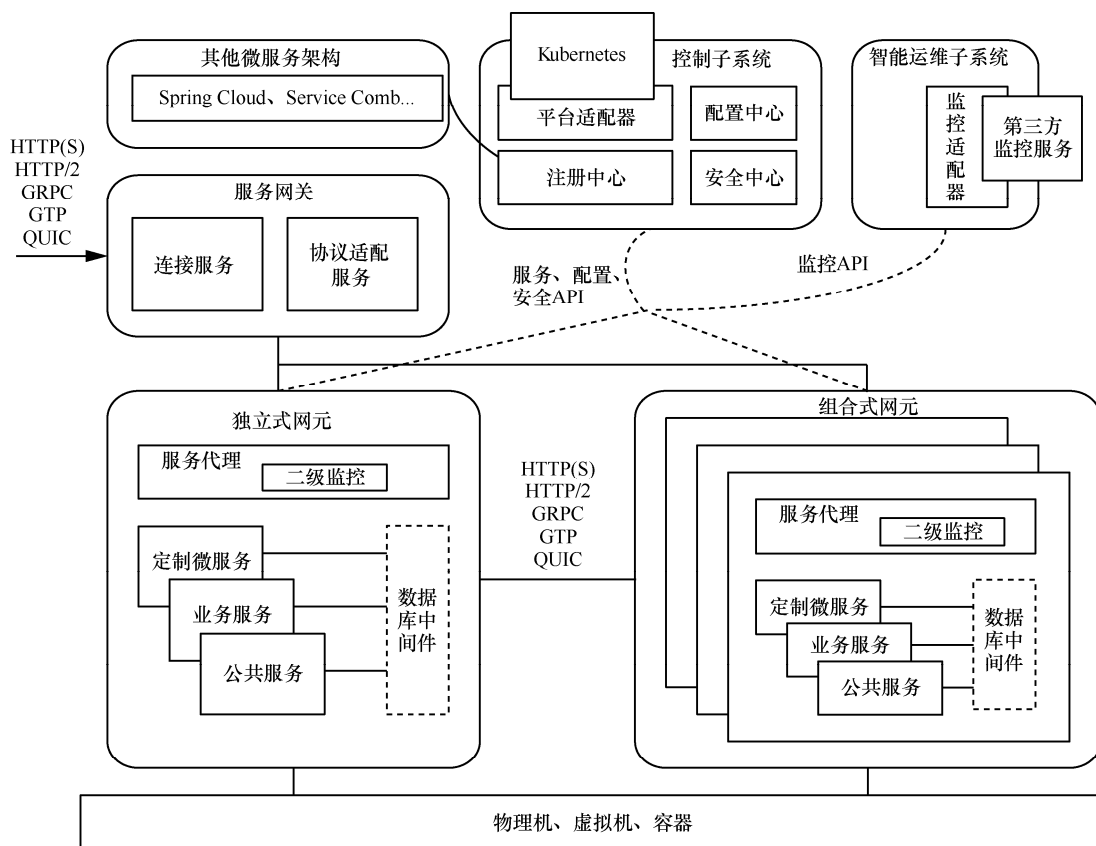


图5 智能云原生平台部署方案

加丰富的第三方监控服务。

平台支持独立式、组合式两种方式部署网元：独立式网元中，网元业务功能由一个的单独微服务独立提供；组合式网元，网元业务功能由若干个微服务组合提供。独立式网元和组合式网元中的每个微服务均由一个服务代理，外加若干个公共服务、业务服务和定制化服务（公共服务、业务服务之外的业务）组成，并且它们都可以使用数据库中间件访问各类数据库或数据库集群。

3.4 关键技术

对比在平台和应用领域采用的云原生技术，智能云原生平台承载电信网元需要支持高性能高可用、网元间多通信协议、多种微服务框架等特性，必须重点考虑平台的多协议接入、多架构多平台支持、高性能和灵活组合等关键技术。

（1）多协议支持

服务网关和服务代理均支持丰富的通信协议（HTTP（S）、HTTP2、GRPC、GTP、QUIC等），并且服务网关还支持 Diameter、SMGP、CAP 等传统核心网网元协议，实现外部访问的快速接入以及内部服务间的灵活访问。同时，服务网关和服务代理还支持协议适配，轻松扩展外部访问以及内部服务间的通信协议。

（2）多框架多平台接入

注册中心提供跨框架服务发现接口，支持与 Service Comb、Spring Cloud 等主流微服务框架的服务注册中心之间的数据同步，平台适配器通过服务抽象模型，自动发现部署在 Kubernetes、Consul 等平台上的微服务。

（3）高性能

智能云原生平台通过数据缓存、两级监控、动态调整 3 种方式，提高性能。具体来看：数据缓存，服务代理缓存服务治理规则、安全策略、密钥、证书、消息验证规则和路由等信息，减少服务代理与配置中心、安全中心的交互，

提高通信效率；两级监控通过对相同条件的路由结果做秒级缓存，降低固定链路的 RT 时长。两级监控，将监控中心的数据清洗、加工等预处理能力下沉到服务代理中的二级监控，大幅减少服务代理和监控中心间的交互次数和数据量，使用 web assembly 进行 adapter 扩展，提高监控数据转发能力；动态调整支持运行时动态降级、熔断阈值调整、限流阈值调整、静默周期调整、日志级别调整，自动调整配置，优化运行效率。

（4）灵活组合

智能云原生平台的组件分核心和非核心两部分，核心包括控制子系统下的注册中心、配置中心、平台适配器以及服务代理，非核心包括安全中心、智能运维子系统、DevOps 子系统和公共服务组件。部署智能云原生平台时，可以根据实际需求，在核心组件的基础上，按需选择非核心组件，并配置是否启动二级监控。此外，智能云原生平台支持纯容器方式部署（即无须部署 Kubernetes、Consul 等平台），用来承载企业专网的核心网，以减少资源消耗。

（5）安全

智能云原生平台在容器承载上支持内核隔离微虚拟机（Kata）容器增强多租户容器运行时的隔离性和安全性；通过服务网关的认证鉴权实现外部服务接入访问控制确保访问合法性与安全性；通过服务代理的精细流量控制、链路加密实现服务流量拦截、身份验证和通信加密。

4 网络云原生化推进举措

随着云原生技术在越来越多的场景应用落地，网络云原生化场景成为业界研发的攻关突破点^[8]。运营商、通信和互联网企业正在推进云原生技术在云网融合领域的应用，网络云原生研发是运营商深化云网融合工作的重要抓手，需要着重推进以下工作。



- 推进云原生技术在通信行业云化各类场景应用，全面推动运营商新型平台和支撑系统云原生化，积极推动 5G 网络和工业互联网的云原生化，以云原生化特性推进 5G 网络在各行各业的应用，提炼运营商网络云化过程中的差异化需求，同时探索 6G 未来空天一体化系统的云原生化应用场景。
- 针对网络云化过程中对云原生提出的差异化需求，进行关键技术重点攻关，积极参与 CNCF、Linux 基金会下的开源社区和开源项目，推进运营商和设备商在云原生技术上的共研共用，探索采用开源软件协同的方式，引导运营商和设备商开发云原生相关项目，持续迭代打造满足运营商需求的云原生开源生态，并且在现网鼓励共研开源软件的应用落地实施，尽快推进在轻量级核心网、边缘云等企业网络场景下的试点应用，提升通信行业云网融合领域的云原生软件研发实力。
- 推动国产自研云原生软件的成熟和落地应用，目前 Kubernetes+Docker 已经成为云原生的代表性技术，在目前风云变幻的国际形势下，中国有必要掌握云原生核心技术，研究可替代性的容器及容器编排技术，推动国产开源软件进展，避免被部分关键技术的不可替代性限制，提升国家信息基础设施的核心掌控能力。

5 结束语

目前新型基础设施中的 5G、工业互联网等要采用云网融合的理念来建设，采用云原生技术来设计开发，通信运营商和企业应紧抓产业和技术发展的窗口期进一步推进与深化云网融合，掌握云网融合场景下的云原生核心技术，协同、积极、有序的开展网络试点工作，在数字化转型竞争中抢占先机。

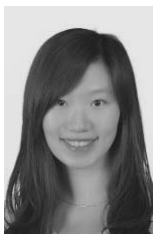
参考文献：

- [1] Migrating to cloud-native application architectures[Z]. 2015.
- [2] CNCF. Cloud native definition v1.0[EB]. 2018.
- [3] 张明星. 容器，网络云原生演进的助燃剂[J]. 中兴通讯技术, 2018(9): 11-13.
ZHANG M X. Container is combustion improver for the evolution of network cloud native[J]. ZTE Communication Technology, 2018(9): 11-13.
- [4] CNCF. Cloud native thinking for telecommunications[EB]. 2019
- [5] Open source communities demonstrate end-to-end 5G cloud native network[Z]. 2020.
- [6] The cloud i-Nfrastructure telco taskforce (CNTT) reference framework delivers an interoperable cloud infrastructure for telecom services[EB]. 2019.
- [7] CNF conformance, Dan Kohn, VP, strategic programs, slack to dan kohn at slack.cncf.io[EB]. 2020.
- [8] 苏坚. 基于云原生计算的 5G 网络演进策略[J]. 电信科学, 2018, 34(6): 147-152.
SU J. Evolution strategy of 5G network based on cloud-native computing[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(6): 147-152.

[作者简介]



陆钢（1978—），男，中国电信股份有限公司研究院企业运营支撑中心副主任、教授级高级工程师，主要从事云计算、5G 网络和平台研发工作。



陈长怡（1982—），女，中国电信股份有限公司研究院高级工程师，主要从事云网融合、5G 应用相关产品需求分析与策划工作。



黄泽龙（1985—），男，中国电信股份有限公司研究院产品技术架构师，主要研究方向为物联网、5G 和智慧城市行业技术。

黄泽源（1991—），男，中国电信股份有限公司研究院工程师，主要从事云原生、分布式架构等的研发工作。