

# 面向5G MEC边缘云的CDN下沉方案

2019-01-30 11:14

## 面向5G MEC边缘云的CDN下沉方案

吕华章, 王友祥, 唐雄燕

(中国联合网络通信有限公司网络技术研究院, 北京100048)

**【摘要】**边缘云和边缘计算技术目前已经成为产业界和学术界的研究热点, 目前, 中国联通与中兴通讯、英特尔、腾讯合作, 在天津宝坻大学城搭建了基于虚拟化的边缘云测试床, 开展了面向OTT业务的验证工作。重点介绍了基于边缘云的vCDN的系统架构实现方案, 设计了相关的业务流程, 开展了验证试验, 最后给出了建设部署方案。测试结果表明, 将应用程序部署到网络边缘不仅能够降低回传带宽压力和延迟, 而且优化了用户体验, 同时帮助业务提供方降低了成本。

**【关键词】**vCDN; 边缘云; 边缘计算; NAPT

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2019.01.004

文章编号: 1006-1010(2019)01-0020-09

引用格式: 吕华章, 王友祥, 唐雄燕. 面向5G MEC边缘云的CDN下沉方案[J]. 移动通信, 2019,43(1): 20-28.

## 1 引言

边缘云技术 (EC, Edge-Cloud) 或多接入边缘计算 (MEC, Multi-Access Edge Computing) 提供了全新的生态系统和价值链[1]。边缘云其实就是将计算能力下沉到距离终端用户更近的网络边缘, 构建面向业务的边缘数据中心。边缘云技术的兴起对业务提供方和产业链的新企业是一次宝贵的机会, 边缘云平台可以为业务提供丰富的平台能力, 快速地进行业务部署。预计到2021年, 边缘云的市场规模将达到800亿美元[2]。依托边缘云平台, 电信运营商可以面向第三方应用开发者, 快速推出以用户为导向的创新服务, 缩短新业务上市时间[3]。

2014年，ETSI率先启动MEC标准项目，旨在移动网络边缘为应用开发商与内容提供商搭建一个云化计算与IT环境的服务平台，并通过该平台开放无线侧网络信息，实现高带宽、低时延业务支撑与本地管理。联盟成员包括沃达丰、中兴、Intel、华为、诺基亚、惠普等各大厂商，已完成了Phase I阶段基于传统4G网络架构设计，定义边缘计算系统应用场景、参考架构、边缘计算平台应用支撑API、应用生命周期管理与运维框架、以及无线侧能力服务API（RNIS/定位/带宽管理）等[4-10]，目前正在进行Phase II阶段的研究，主要聚焦在包括5G/Wi-Fi/固网在内的多接入边缘计算系统，重点覆盖MEC in NFV参考架构、端到端边缘应用移动性、网络切片支撑、合法监听、基于容器的应用部署、V2X支撑、Wi-Fi与固网能力开放等研究项目，从而更好地支撑MEC商业化部署与固移融合需求。

随着ETSI MEC标准化组织影响力的与日俱增，3GPP也开始把网络架构使能MEC列为重点研究课题。在4G CUPS[11]架构和5G新核心网架构里[12]，都重点强调了控制面和业务面的分离。在SA2 5G系统架构中，未来将完成支持边缘云和边缘计算的诸多业务，包括本地分流、会话和服务连续性、网络能力开放、QoS保证与策略控制等[13-14]。除此以外，SA5下一代网络管理架构和特性与SA6公共北向API接口两个研究组也将边缘云的各类需求考虑在内[15]。3GPP正在加速边缘计算标准化的研究工作，助力5G业务的商用部署。

本文将重点构建一个面向CDN业务的解决方案，以满足当前OTT的需求，并演示构建边缘云同OTT服务相结合的可行性，即基于边缘云架构的vCDN方案。在此解决方案中，主要考虑以下几点：

首先是非定制化的整体架构设计。vCDN部署在运营商的边缘云平台上，该平台主要面向OTT业务的需求，不希望采用定制化的产品。运营商有边缘数据中心和整体网络，同时构建边缘云业务平台，能够支持各种业务。天津的边缘云测试床主要验证缓存类的CDN业务，其覆盖了宝坻大学城所有的相关用户，实现了覆盖区域的用户直接从本地获得业务而不是从OTT公网服务器加载业务，实现了业务RTT时延的大幅度降低，并提升了下载速率。

其次，基于边缘云的CDN试验必须考虑OTT的业务需求。OTT业务是目前最具活力而且盈利创收最多的行业，其拥有先进的业务部署技术和经验，同时商业模式也非常成熟。传统的运营商正面临转型，原来靠管道盈利的方式日渐疲软。同时，设备商也不能只依靠卖设备来维持利润的持续增长，需要打造支持端到端的业务部署及规模化商用的产品。此次面向边缘云技术的CDN测试验证，是一次绝佳的机会，能够将各方资源都聚合起来，共同探讨5G时代业务部署方式以及未来的商业模式。

本文将重点介绍边缘云平台的系统架构，介绍整体基于MEC边缘云的CDN下沉方案，包括组网架构、部署方案、业务流程三个方面，最后分析基于网络地址转换（NAPT, Network Address Port Translation）方案的优势，并给出实际的业务测试结果。

2 边缘云平台简介

Edge-Cloud边缘云能够将高带宽、低时延的业务下沉到网络边缘，成为网络重构和数字化转型的关键。数以万计的边缘节点是运营商的绝佳优势资源，这既是开启与OTT及垂直行业合作的新窗口，也是优化5G体验的“最后一英里”。构建边缘业务平台，与合作伙伴共同孵化创新业务是运营商进行5G业务赋能的主要抓手。

中国联通的边缘业务平台包括以下四层：硬件资源层、虚拟化层、应用使能层及业务编排管理层，其能够为应用开发者提供丰富的平台能力和统一的API接口，如图1所示。

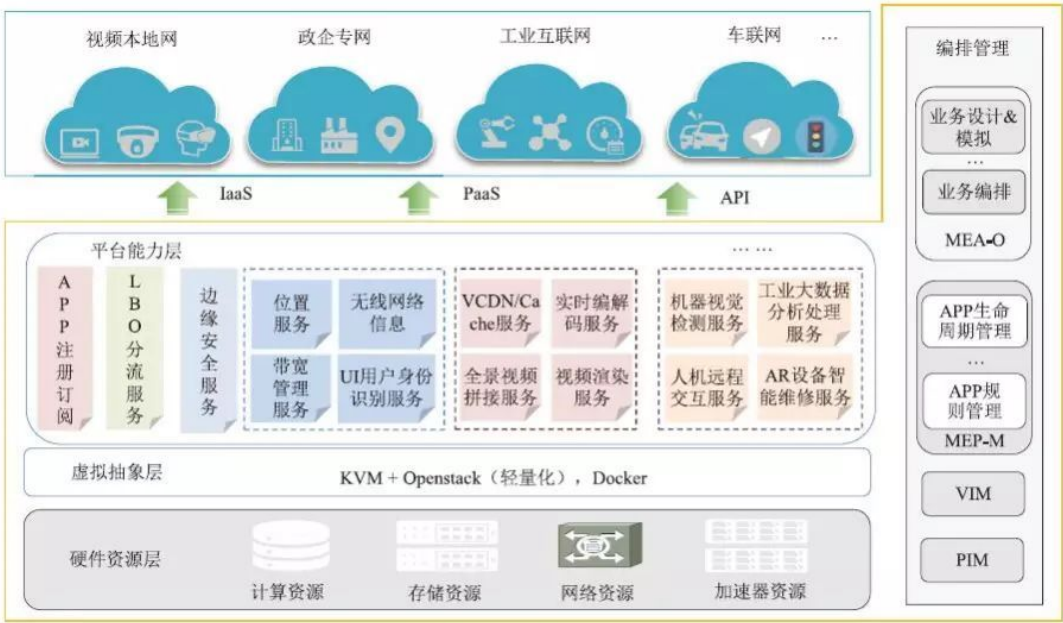


图1 边缘云业务平台架构

其中，硬件基础设施层（COTS）包括计算资源、存储资源、网络资源以及加速器资源。计算资源、存储资源、网络资源是传统的云计算资源，但是受限于边缘机房的空间，可用机架不足以及机房制冷能力等因素，无法满足线性增长的需求，预计服务器规模在30台以内。对于南方部分省份，边缘机房的空间更为有限。对于加速器资源，由于边缘侧比较适合部署视频类和缓存类业务，故存在边缘编解码业务的需求，需要部署加速器相关的资源。

虚拟化层（Cloud OS）将各类硬件资源进行虚拟化映射，目前主要基于轻量化Open Stack，以支持虚机部署方式为主，并逐渐向容器方式演进。目前，虚拟机部署方式比较成熟，所以当前业务暂不考虑容器化部署。容器化部署的优势在于快速、便捷，但是安全性较差，因此容器部署需要同边缘安全的策略一同考虑。Linux Foundation和Open Stack社区也分别成立Akraino和StarlingX项目，专门研究面向边缘计算的轻量化Open Stack架构演进。

业务使能（Service Enable）层可以安全高效地将基础网络服务能力提供给第三方应用，还可在第三方应用之间实现服务能力的可靠共享，满足多样化的业务需求。该层是整个边缘云平台的核心，未来第三方业务部署在平台上，其重要原因就是边缘云平台可以提供丰富的业务平台能力给第三方应用。目前的平台能力可以分为以下两类，包括：基础性平台能力（APP注册订阅、LBO分流等）、无线类平台能力（定位、RNIS、用户身份识别等）以及增值型平台能力（包括面向视频、V2X、工业互联网等各类能力）。增值型平台能力未来将按照业务属性和业务类别按需部署。

管理编排（MANO）层主要包括了边缘云平台管理MEP-M、边缘业务编排器MEA-O、虚拟化资源管理VIM以及物理资源管理PIM。管理编排层可以下沉到边缘同业务平台共部署，也可以上移至汇聚或核心机房对区域内的多个边缘业务平台进行管理和控制。所有的MANO都由集团的MANO统一管控，制定统一策略。

同时，边缘云业务平台也是开发的平台，主要体现在其云的开放、平台管理的开放以及网络能力的开放。整个边缘业务平台的资源可以按需申请，由ICT统一编排管理。同时，该平台实现了电信级的虚拟化部署，消除了单点故障，确保了整体的流畅运转、业务不中断。

### 3 基于MEC边缘云计算的CDN下沉方案

#### 3.1 流媒体业务端到端流程

端到端Edge-Video边缘流媒体业务（包括CDN、AR/VR等）解决方案如图2所示，在该方案中，终端通过gNB/5G NR接入，访问MEC边缘业务平台上的本地应用内容，VR视频的转码处理以及对云游戏的图形计算、渲染均在边缘侧完成。MEC边缘业务平台在本地的部署，使得其覆盖范围内的相关云计算处理均可以在本地直接完成，无需将业务流上传至汇聚层、绕经核心网在Internet集中云端完成。因此可以大幅度降低大视频业务流对核心网和城域网的冲击，同时降低业务处理时延，提升用户的视频业务体验。

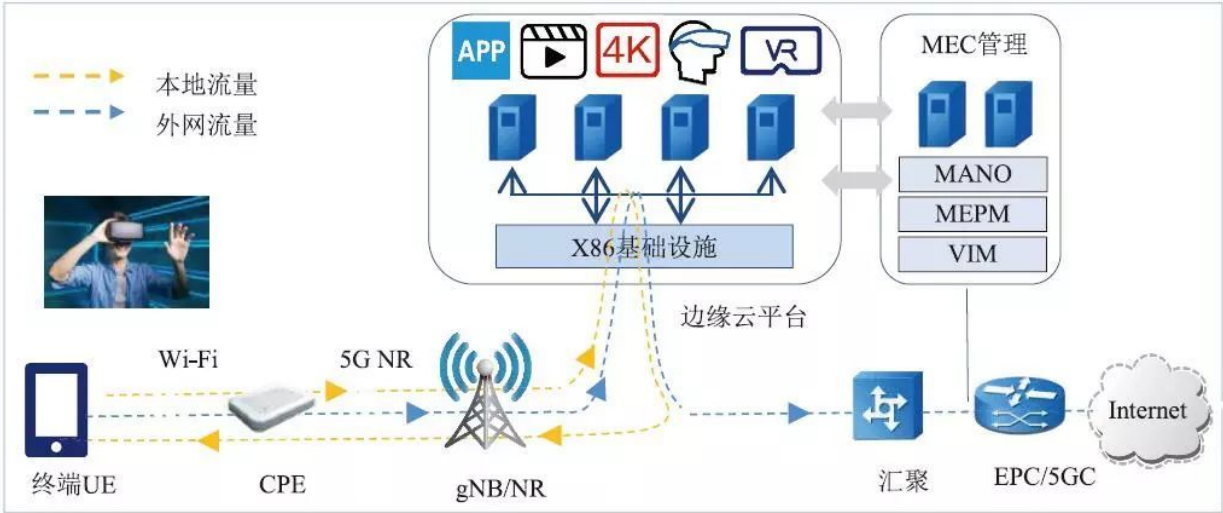


图2 流媒体业务端到端流程

同时，边缘业务平台对各类流媒体业务APP的部署非常友好，无需定制开发APP，非常适合应用的快速部署和迭代。另外，边缘云管理平台部署在本地或区域DC，可以对更大范围内的业务平台进行编排和部署，实现资源和业务的有效协同。

3.2 组网架构图

为了减少对现网传输配置的影响，此次天津宝坻大学城CDN测试采用如图3所示的层二组网方式，不需要修改eNB和EPC上的配置。

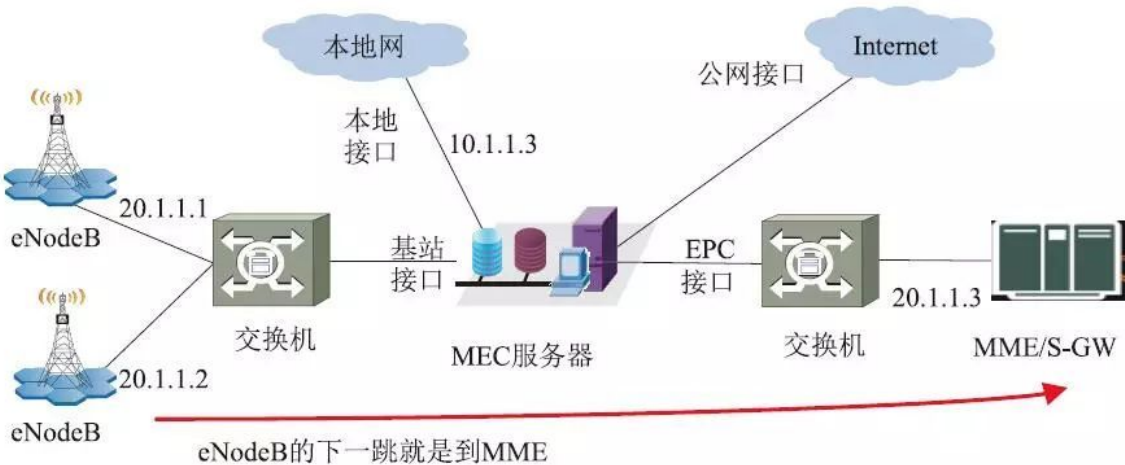


图3 CDN解决方案层2组网示意图

MEC Server串接在基站和核心网之间，对基站和核心网呈现为一个二层交换机。新增MEC Server功能后，并不希望改变现有网络的传输配置，即希望MEC Server在现网中就是一个

透明传输通道。MEC Server不仅要截获LTE信令和用户面报文进行处理，还要对外呈现2层交换机的特性。在MEC Server接多个eNB或eNB有多个接口时，MEC Server还需要具备路由学习功能，用于将本地网络下发的报文完成GTPU封装后转发到对应的eNB及接口。

3.3 基于NAPT的vCDN实现方案

在天津宝坻的试验中，主要开展了腾讯视频和沃视频vCDN下沉的验证，MEC通过按域名和NAPT功能来进行视频业务的分流。如图4所示，OTT厂家的CDN HTTP DNS服务器针对IP地址建立服务器选择映射，确保经MEC NAPT转换的请求能够根据负荷均衡策略映射到本地边缘服务器上（边缘vCDN）。

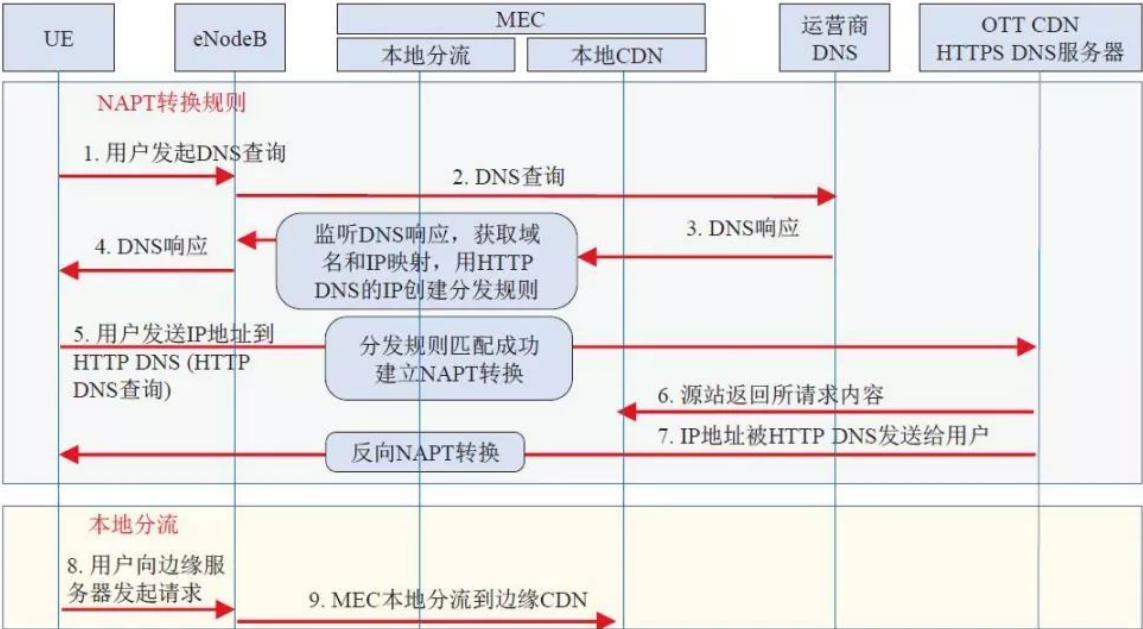


图4 基于NAPT的CDN下沉方案流程图

首先完成NAPT转换规则的建立，对应图4的步骤1到步骤7：

- (1) MEC配置特定域名，监听发往UE的DNS响应，从DNS响应里获取到域名对应的IP地址，针对该IP动态生成分发规则；
- (2) MEC匹配分发规则，对发往HTTP DNS的报文进行NAPT（源IP替换为特定IP）；
- (3) 对HTTP DNS返回给UE的报文，MEC反向NAPT转换后发给UE；
- (4) MEC服务器建立分流机制，对目的地址指向边缘服务器的数据包进行本地分流。



然后，完成本地分流，对应图4的步骤8到步骤9：用户向边缘服务器请求资源，MEC直接从本地CDN中发送业务内容给用户，实现本地业务下发。

### 3.4 基于NAPT的vCDN实现方案优势分析

NAPT方案的提出是实现整个端到端vCDN方案打通的关键，其优势同传统的HTTP代理等方式有明显的不同，可以简单地归纳为以下三点：

首先，对于OTT厂商而言，其业务要在全中国范围铺开，需要避免对整体CDN架构的调整。因此，不能因为此次对接而影响腾讯现网业务，NAPT方式完全满足腾讯的需求。

其次，MEC服务器目前能够支持一定程度的流量处理和包解析功能，但是其只能处理数据域的IP包头解析，无法实现深度的DPI解析。深度解析需要MEC服务器进行深层次开发，短期内无法实现。而NAPT方案能够将整个业务局限在IP包头的解析，很大程度上降低了MEC业务处理的复杂度，能够实现业务的快速部署和运营。

最后，NAPT方案能够节约大量的公网IP，目前公网出口不足，NAPT方案能够将区域内的相关UE都转换为相同的IP地址，实现业务下沉判断的同时也节约了IP资源，适合运营商目前的部署策略。

## 4 业务实践部署与结果分析

### 4.1 实际部署

目前，天津的边缘云平台由10余台X86通用服务器构成计算、存储和网络资源池。平台的计算节点与存储节点采用融合部署方案，控制节点分离部署，可实现系统管理、告警管理和性能管理。同时，平台搭载了高性能转码集群与高性能存储集群，提升了边缘云平台整体的业务性能和业务流畅程度。本次vCDN业务的验证是该平台能够提供的业务，详细的部署架构如图5所示。

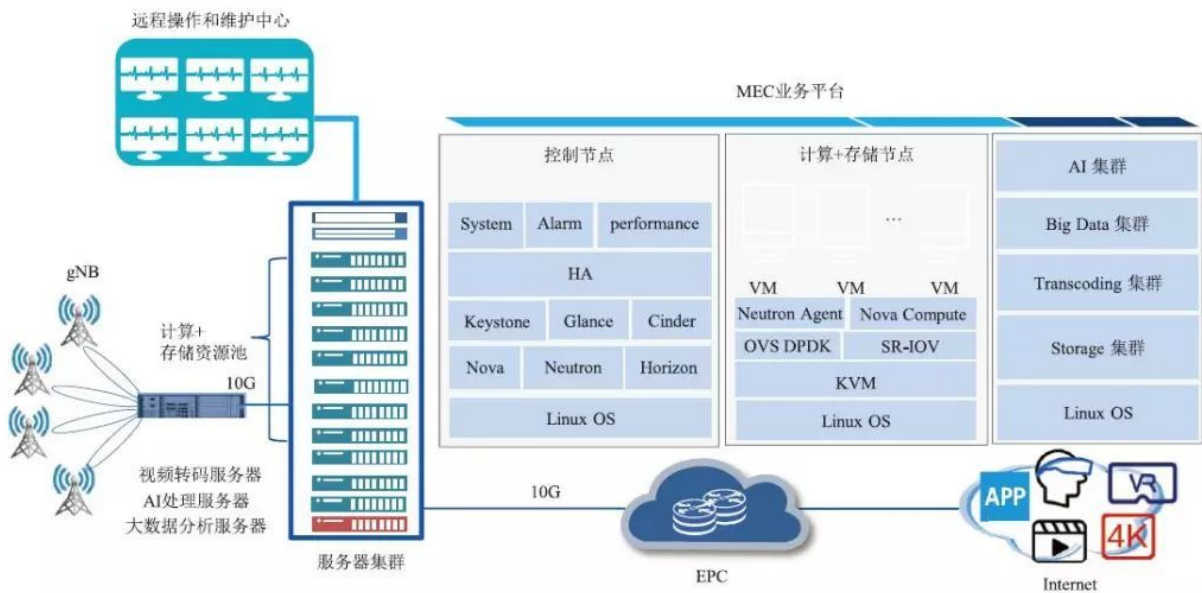


图5 边缘业务平台部署图

4.2 业务时延与下载速率测试

业务验证测试结果如表1所示，RTT循环时延得到降低，同时HTTP下载速率有所提升。RTT时延下降了近50%，而HTTP下载速率提升了43%，边缘云的效果显而易见。未来我们将验证更多的业务类型，包括AR/VR、定位服务、安防监控等。

表1 最终的CDN测试结果

| 测试项                                 | 省级节点<br>服务器 | vCDN本地<br>服务器 | 数据对比              |
|-------------------------------------|-------------|---------------|-------------------|
| 平均RTT/ms                            | 48.75       | 23.21         | RTT时延下降了50%       |
| 平均HTTP下载速<br>率/Mbit·s <sup>-1</sup> | 69.2        | 98.9          | HTTP下载速率<br>提升43% |

在ping测试试验中，移动终端连接到MEC，采用了Python脚本的形式。该脚本执行系统的ping数据包，同时将ping包的结果保存下来。天津部署有腾讯的省级CDN节点，同时山东部署有腾讯的公网服务器，广东部署有全国性质的GSLB负载均衡调度DNS服务器，如果不使用MEC边缘云，那么所有的CDN流程将在公共CDN和省级CDN节点上完成，试验发现业务在该流程的建立过程中，存在明显的丢包和高时延现象。



每次测试的结果都有丢包的现象，有一定的丢包率。同时，最大的回环时延主要受到现网环境影响。从统计学的角度来看，可以对比公网CDN和本地CDN的结果，对比结果如图6和表2所示。根据测试结果分析，使用MEC分流以后，ping包的丢包率明显降低，同时时延降低将近一半。

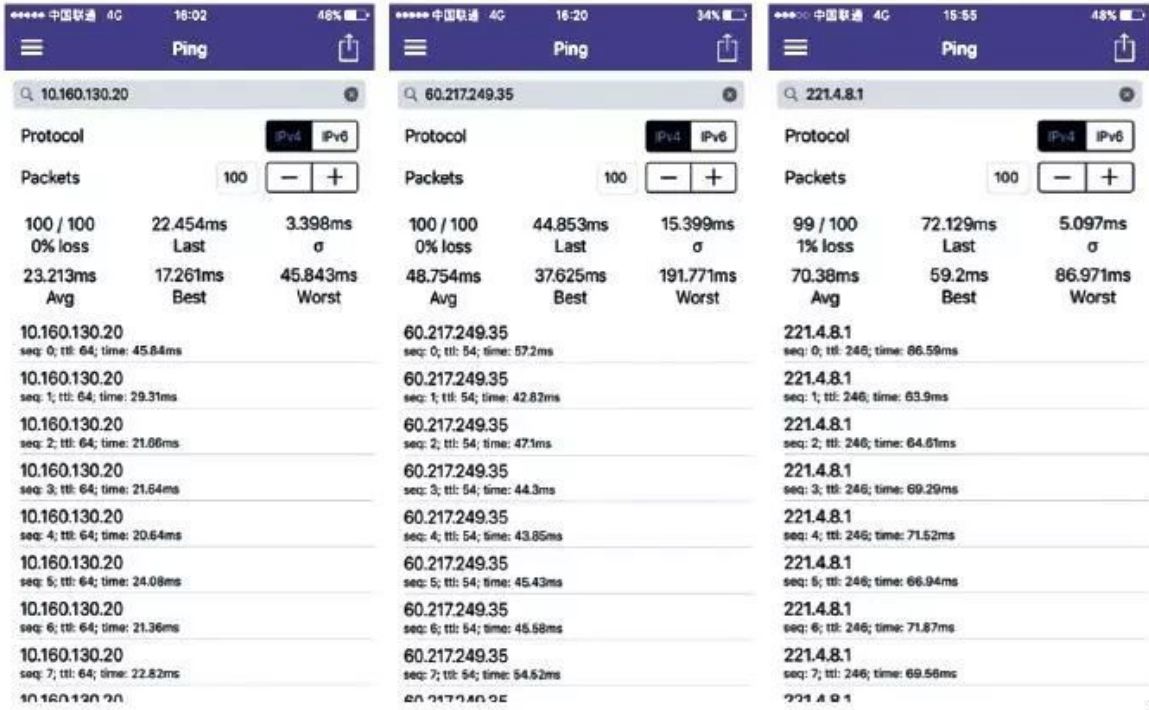


图6 Ping包测试结果：本地腾讯服务器（左）、省级腾讯服务器（中）以及公共DNS服务器（右）

表2 天津CDN项目ping包测试结果

| 测试项      | 本地腾讯<br>服务器（IP：<br>10.160.130.20/<br>天津） | 公网腾讯<br>服务器（IP：<br>60.217.249.35/<br>山东） | 公网DNS全局<br>调度（IP：<br>221.4.8.1/<br>广东） |
|----------|--|--|--|
| ping包的数目 | 100                                      | 100                                      | 100                                    |
| 丢包情况     | 0  | 0  | 1                                      |
| 最大RTT    | 45.843                                   | 191.771                                  | 86.971                                 |
| 最小RTT    | 17.261                                   | 37.625                                   | 59.2                                   |
| 平均RTT    | 23.213                                   | 48.754                                   | 70.38                                  |

下面是对HTTP下载速率的测试。使用如下的测试方法：腾讯视频给出HTTP下载URL，该地址可以直接被IP所访问。在移动终端建立一个脚本，该脚本用于在完成TCP数据传输之前的TCP建立URL接入、连接。记录下数据传输的首次时间和结束时间，同时记录下数据传输的速率，每次测试都执行固定数量的下载内容。

腾讯视频公网测试的网络环境是较好的，所以可以轻易地对比出本地CDN比公网CDN存在巨大的优势：本地网络的平均下载速率是94.5 Mbit·s<sup>-1</sup>，而公网的下载速率仅仅为68.71 Mbit·s<sup>-1</sup>。表3展示CDN测试中HTTP下载测试的结果，图7展示了本地CDN的抓包情况，而图8展示的是在公网CDN下的抓包情况。从图中还可以看出，公网CDN容易受到链路环境影响，下载速率波动较大，而本地CDN能够一定程度上保证用户体验速率较高而不出现波动。

表3 天津CDN项目HTTP下载测试结果

| 测试项                           | 本地腾讯服务器   | 公网腾讯服务器  |
|-------------------------------|-----------|----------|
| 测试数据量                         | 100       | 100      |
| 可用数据                          | 99        | 99       |
| 文件长度                          | 25.0364   | 25.036 4 |
| 最大下载速率/Mbit·s <sup>-1</sup>   | 105.272 8 | 95.975 2 |
| 最小下载速率/Mbit·s <sup>-1</sup>   | 28.905 6  | 19.961 6 |
| 最小有效下载速率/Mbit·s <sup>-1</sup> | 49.149 6  | 46.739 2 |
| 平均下载速率/Mbit·s <sup>-1</sup>   | 94.5      | 68.71    |

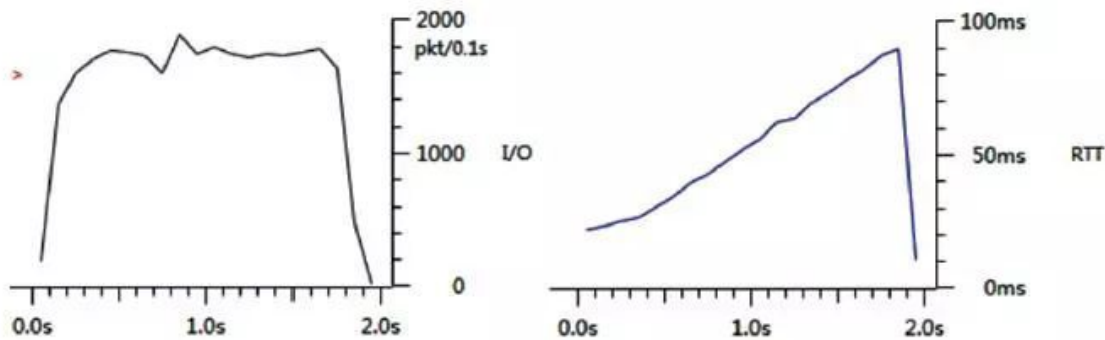


图7 腾讯本地CDN I/O和RTT抓包结果

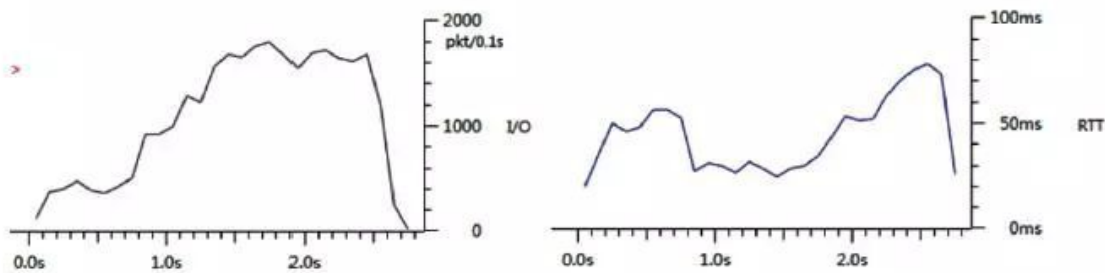


图8 腾讯公网服务器 I/O和RTT抓包结果

图7中，UE到腾讯本地服务器：10.20.97.120:38883到10.160.130.20:80。该地址是一个IP地址和端口号的结合表示方法。下载时间为1.932 s，文件长度为25.036 4 MB，最大下载速率为104.15 Mbit·s<sup>-1</sup>，而最低下载速率为13.02 Mbit·s<sup>-1</sup>。

图8中，UE到腾讯公网服务器：10.20.97.120: 55142到125.39.6.153:80。该地址是一个IP地址和端口号的结合表示方法。下载时间为2.71 s，文件长度为25.036 4 MB，最大下载速率为73.90 Mbit·s<sup>-1</sup>，而最低下载速率为9.24 Mbit·s<sup>-1</sup>。

可以明显地比较出，MEC可以降低RTT，同时提升下载速率。

#### 4.3 所提方案对ETSI参考架构的改进

ETSI MEC017协议于2018年2月最新发布，重点描述了MEC在NFV环境下的部署，突出了MEC平台架构的虚拟化部署的色彩。MEC作为与生俱来的带有NFV属性的一套生态，MEC017协议可以认为是MEC003协议的进一步的扩展，更加面向实际部署和落地。

MEC017中详细的参考架构如图9所示，整个架构遵循以下原则：已有的电信网NFV架构网元部分尽可能地重用，MEC模块可调用NFV部分功能，MEC内部功能模块之间的信令不受NFV管理编排器控制，MEC同NFV之间的接口要重新定义。

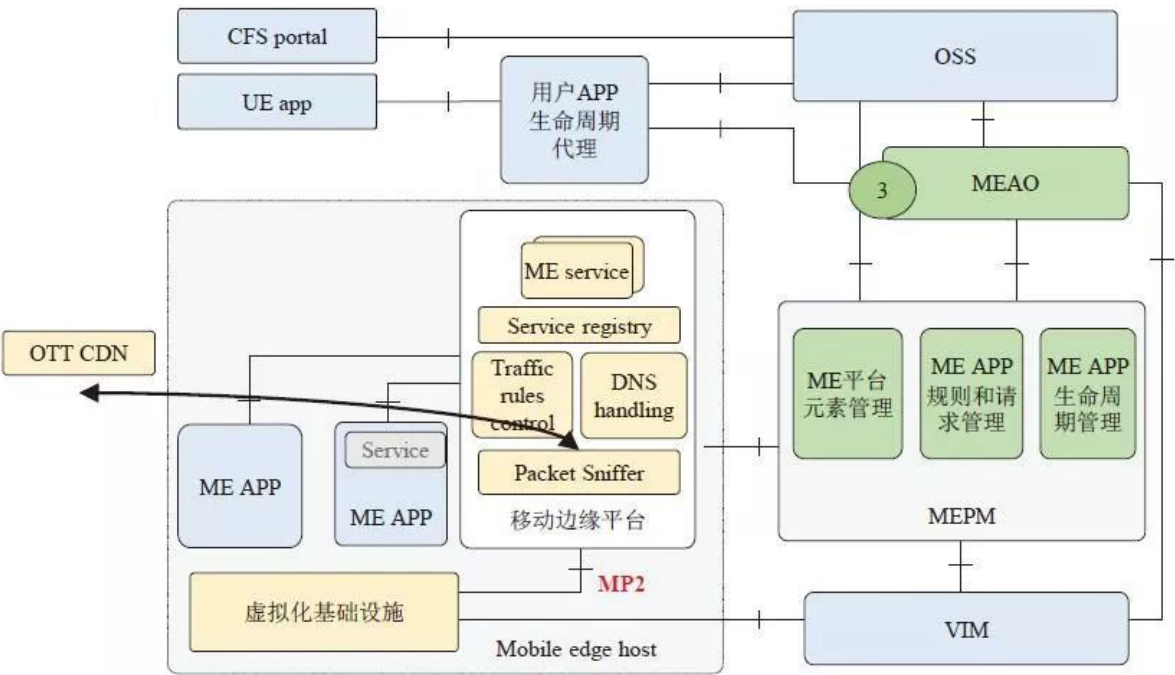


图9 vCDN方案对ETSI MEC标准化架构的映射和影响

此次CDN实验方案，如果映射到整个ETSI所提出的参考架构中，其改动就在于，在MEP边缘云平台内部增加了包检测（packet sniffer）这一模块，该模块的用途在于能够跟踪、发现、劫持DNS请求和响应。在NAPT流程中，步骤三就用到包检测这一功能，用于正确地建立NAPT规则。而与此同时，提供这一功能的可以是MEP平台自带的平台服务，也可以在data plane数据平面内建立NAPT规则。未来，包检测功能将用于流量分流、业务下沉、负载均衡等多个场景，这一改变将是对ETSI所定义的MEC平台架构的有利影响。

5 结论

作为一项新的ICT融合技术，边缘云可以整合电信运营商的各类资源，为5G时代业务的快速部署和运行提供丰富的平台能力。一种新兴技术和生态的诞生与兴起，需要背后商业模式的强有力支撑。面向未来，业界对边缘业务平台的各种应用场景有着无限的憧憬与期待。但美好的愿望要变成现实，需要整个产业链的共同努力。此次CDN业务的试验是中国联通整个Edge-Cloud规模试点及商用推进过程中的一部分，未来我们希望携手更多的行业合作伙伴，共同探讨边缘业务平台的合作模式，共建5G网络边缘生态系统，全面推动边缘业务的蓬勃发展。

doi:10.3969/j.issn.1006-1010.2019.01.004

文献标志码: A

文章编号: 1006-1010(2019)01-0020-09

引用格式: 吕华章, 王友祥, 唐雄燕. 面向5G MEC边缘云的CDN下沉方案[J]. 移动通信, 2019,43(1): 20-28.

## 作者简介

**吕华章:** 工程师, 现任职于中国联合网络通信有限公司网络技术研究院, 从事边缘云MEC标准化工作, 同时参与边缘云组网、规划、业务落地工作。

**王友祥:** 博士, 高级工程师, 现任职于中国联合网络通信有限公司网络技术研究院, 主要从事5G新技术研究及试验工作。

**唐雄燕:** 博士, 教授级高级工程师, 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院首席科学家, 中国联通智能网络中心总架构师, “新世纪百千万人才工程”国家级人选, 兼任北京邮电大学兼职教授、博士生导师, 工业和信息化部通信科学技术委员会委员, 中国通信学会信息通信网络技术委员会副主任, 中国通信标准化协会物联网技术委员会副主席, 中国光学工程学会光通信与信息网络专家委员会主任, 中国互联网协会标准工作委员会副主任, 主要研究方向为宽带通信、互联网/物联网、新一代网络等, 主持了企业许多重大技术工作, 还担任过多个国家级科研课题的负责人。