

## 基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方案及测试分析\*

刘云毅<sup>1</sup>, 张 蕾<sup>1</sup>, 张建敏<sup>1</sup>, 彭 宁<sup>2</sup>, 杨峰义<sup>1</sup>

(1. 中国电信股份有限公司研究院 5G 研发中心, 北京 102209; 2. 世纪龙信息网络有限责任公司, 广东 广州 510630)

**摘要:** 多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC)通过将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移, 使应用、服务和内容可以实现本地化部署, 可以解决传统内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)中边缘节点无法下沉到移动网络中的痛点问题。但是, CDN 节点下沉到网络边缘后, CDN 需要网络和终端辅助业务识别用户位置, 实现边缘业务分流。提出了一种基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方案, 测试结果表明, 所提方案可以极大地降低首包时延并提高下载速率, 明显改善用户的业务体验。

**关键词:** 多接入边缘计算; 内容分发网络; 业务调度; 测试分析

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200380

中文引用格式: 刘云毅, 张蕾, 张建敏, 等. 基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方案及测试分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 12-15.

英文引用格式: Liu Yunyi, Zhang Lei, Zhang Jianmin, et al. MEC-based edge CDN service scheduling scheme and test analysis[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 12-15.

## MEC-based edge CDN service scheduling scheme and test analysis

Liu Yunyi<sup>1</sup>, Zhang Lei<sup>1</sup>, Zhang Jianmin<sup>1</sup>, Peng Ning<sup>2</sup>, Yang Fengyi<sup>1</sup>

(1. 5G R&amp;D Center, China Telecom Corporation Limited Research Institute, Beijing 102209, China;

2. 21CN Corporation Limited, Guangzhou 510630, China)

**Abstract:** Multi-access edge computing(MEC) enables applications, services and content to be deployed locally by migrating computing storage and business service capabilities to the edge of network. MEC can solve the problem that traditional content delivery network(CDN) nodes cannot sink into mobile network. However, after the CDN node sinks to the edge of the network, the CDN needs the network and terminal to assist the service to identify the user's location and realize the traffic offload. This paper proposes an edge CDN service scheduling scheme based on MEC. Test results show that the proposed scheme can greatly reduce the first packet delay and increase the download rate, and significantly improve the user's business experience.

**Key words:** multi-access edge computing; content delivery network; service scheduling; test analysis

## 0 引言

多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC)是一种新型的网络架构理念,能够在蜂窝网络边缘提供云计算能力和 IT 服务环境,其基本思想是把云计算平台从移动网络内部迁移到移动接入网边缘,实现计算及存储资源的弹性利用,成为 5G 网络的关键技术之一<sup>[1]</sup>。MEC 技术使得传统无线接入网具备了业务本地化、近距离部署的条件,无线接入网由此而具备了低时延、高带宽的传输能力,有效缓解了未来移动网络对于传输带宽以及时延的要求,从而可以有效提升用户的业务体验,促进网络和业务的深度融合。这一概念将传统电信蜂窝网络与互联网业务进行了深度融合,给电信运营商的运作模式带来全新变革,并建立新型的产业链及网络

生态圈<sup>[2]</sup>。

内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)依靠部署在各地的边缘服务器,通过中心平台的负载均衡、内容分发、调度等功能模块,使用户就近获取所需内容,降低网络拥塞和内容提供商服务器压力,提高用户访问响应速度和命中率。CDN 的核心价值是将数字内容智能分发到离用户更近的节点,从而提高整体分发效率,减少网络延迟,节省带宽资源。CDN 固有的边缘节点属性,使其在边缘计算市场中具有先发优势<sup>[3]</sup>。

CDN 的调度中心 GSLB(Global Server Load Balance, 全局负载均衡)一般根据终端 IP 地址识别用户所在区域,然后分配本地 CDN 节点给用户。但在 5G 网络中,负责 IP 地址分配的网元会话管理功能(Session Management Function, SMF)网络位置高于边缘 UPF(User Plane Function, 用户面功能单元),给用户分配的 IP 地址不具备地域特

\* 基金项目: 国家科技重大专项课题(2017ZX03001019)

## 5G 边缘计算技术与应用 5G MEC and Its Applications

特约主编 朱雪田

征,GSLB无法通过IP段定位到用户的边缘位置信息。而且,因为本地域名解析(Domain Name System,LDNS)的存在,GSLB无法感知终端用户的IP,只能感知LDNS地址,所以CDN业务调度只能精确到省。

由上述描述可知,由于CDN GSLB无法根据用户携带的IP地址判断用户当前所处的地址位置,从而无法将业务调度到离用户距离较近的边缘CDN节点,从而无法使用户享受到更优质的业务应用体验。由此可见,CDN节点下沉到网络边缘后,如何识别用户位置以及将业务调度到本地边缘CDN节点是个关键问题。因此,实现边缘CDN业务调度是非常重要的。

## 1 5G MEC系统架构

5G MEC系统架构如图1所示。5G网络架构在设计之初就从5G网络业务需求以及网络架构演进趋势的角度出发,将支持边缘计算作为5G网络架构的主要目标,重点从5G网络架构角度支持用户面分布式下沉部署、灵活路由等方面出发进行研究及标准化<sup>[4]</sup>。

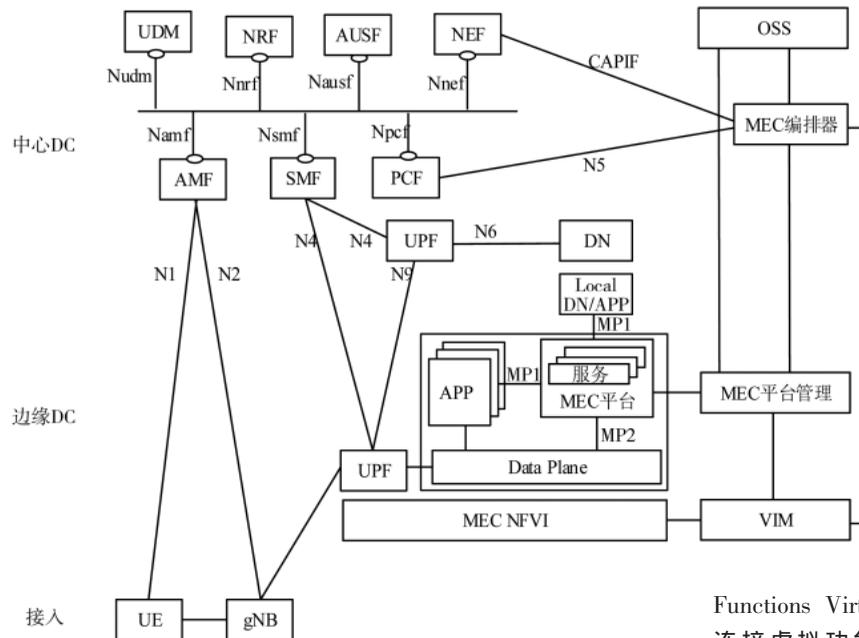


图1 5G MEC系统架构

随着软件定义网络(Software Defined Network,SDN)和网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization,NFV)等IT新技术的发展,未来5G网络主要选择由基于通用硬件架构的数据中心构成的5G基础设施平台。5G核心网控制与转发分离的架构使UPF能够根据业务需求灵活下沉。在5G核心网中,5G控制面(CP)功能将主要部署在省级中心DC,策略控制功能(Policy Control Function,PCF)实现分流策略的控制;SMF主要负责会话管理、UPF选择、IP地址分配等功能。5G用户面功能(UPF)可根据需求下沉至地市级边缘DC、汇聚机房或综合接入机房等边缘DC,负责执行路由转发、数据包检查等功能,并支持计费、合法监听,提供了UL CL(Uplink Classifier,上行

分类器)、IPv6 multi-homing、LADN(Local Area Data Network,本地数据网络)等分流机制<sup>[5]</sup>。

MEC则根据业务场景需求可部署在边缘DC(地市级、汇聚机房、综合接入机房),甚至直接部署5G接入集中单元(CU)与分布式单元(DU)一体化的基站上,与5G接入单元(CU)合设。

MEC可以作为应用功能(Application Function,AF)与5GC进行交互,直接通过PCF或间接通过NEF影响用户面路由,通过N6接口与UPF相连,利用UPF的分布式部署、灵活下沉以及本地分流功能为MEC提供数据面灵活路由的功能需求。

MEC系统主要为业务应用提供部署运营环境,支持网络能力和业务能力的合作引入和统一开放。其中,MEC编排器负责MEC业务和底层虚拟化资源的编排管理,边缘分布式部署的MEC平台(MEC Platform,MEP)接收来自MEC业务管理平台的管理调度,并执行和实现相应策略,支持移动网、固网等多种网络接入模式。MEP

是在虚拟化基础设施上运行第三方应用所需的基本功能集合,为第三方应用提供计算、存储、网络资源,并集成了应用管理、业务分流、无线网络信息服务(Radio Network Information Service,RNIS)、位置服务(Location Based Service,LBS)、带宽管理、服务质量(Quality of Service,QoS)管理等基础服务能力,对外提供通用的能力开放框架,并为第三方应用程序提供服务并对其进行管理。MEP可以安全有效地向第三方应用提供基本网络服务功能,并可以在第三方应用程序之间可靠地共享服务功能,推广丰富的边缘应用程序生态系统,以满足各种边缘应用程序。

网络功能虚拟化基础设施(Network Functions Virtualization Infrastructure,NFVI)是用来托管和连接虚拟功能的一组资源,虚拟化基础设施管理(Virtualization Infrastructure Management,VIM)用于管理虚拟资源,包括计算、存储和网络资源的分配和释放。从MEC系统的角度来看,运营商操作系统(Operator Support System,OSS)是支持系统运行的管理实体,OSS接收来自终端开始或终止边缘应用的请求,并将经过认证授权的请求数据分组转发到MEC编排器进一步处理。

综上所述,5G MEC是IT和CT技术的深度融合,不仅在学术领域有着广阔的研究空间,而且在产业化方面也有着巨大的市场前景。因此,通过在无线网络侧增加计算、存储和处理等功能,构建边缘云,提供IT服务环境和云计算能力,使移动网络具备本地分流、业务应用本地化部署的能力,可以有效提升移动网络的智能化水平。

## 5G 边缘计算技术与应用 5G MEC and Its Applications

特约主编 朱雪田

## 2 基于 MEC 的 CDN 系统架构

未来 80% 的数据和计算将在网络边缘产生和分发, CDN 固有的边缘节点属性, 使其在边缘计算市场中具有先发优势, CDN 节点在网络边缘分布式部署已是未来 CDN 发展的趋势。MEC 可以解决传统 CDN 网络中边缘节点无法下沉到移动网络中的痛点, 并在网络边缘提供强大的计算能力, 为 CDN 业务及相关应用的发展注入新的活力。

基于 5G MEC 的 CDN 网络架构如图 2 所示, 主要包括 GSLB、中心 CDN 节点、MEC 业务管理平台、MEP、边缘 CDN 节点。GSLB 负责将整个网络范围内用户的请求定向到最近的节点; 中心 CDN 节点主要负责中心内容存储及推送; 集中部署的 MEC 业务管理平台负责 MEC 业务(例如 CDN)的管理和控制; 边缘分布式部署的 MEP 接受来自 MEC 业务管理平台的管理调度, 并执行和实现相应策略; 边缘 CDN 节点作为第三方应用在 MEP 上部署, 并利用 MEP 提供网络服务能力, 将 CDN 资源直接下沉至本地网络边缘(例如区县或基站侧), 形成本地边缘 CDN 网络。

用户发送的内容请求可通过 UPF 分流至本地边缘 CDN 节点进行处理。访问 CDN 服务器的用户请求和响应无需经过长距离的回传链路、核心网以及骨干网进行迂回, 从而节省回传带宽和业务时延, 减少网络拥塞, 提升用户的应用服务体验。此外, 基于边缘计算的 CDN 系统可以将视频直播、VR 业务的渲染、转码、后期处理等计算环节从云端下沉至边缘, 具备实时高频处理海量数据的能力, 满足这类低时延、高交互类的业务需求。

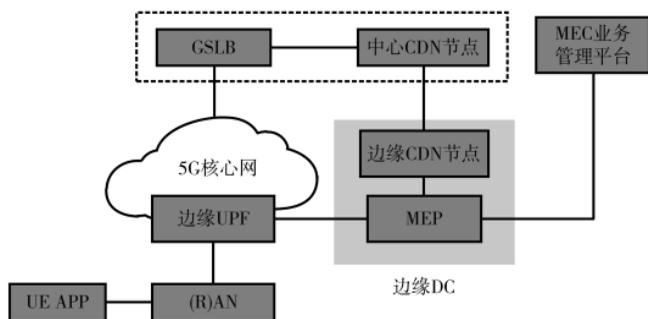


图 2 基于 5G MEC 的 CDN 系统架构

## 3 基于 MEC 位置服务的边缘 CDN 业务调度方法

CDN 节点下沉到网络边缘后, GSLB 无法根据用户 IP 地址识别地域调度到边缘服务器。CDN 需要网络和终端辅助业务识别用户位置, 根据用户业务请求及用户当前地理位置, 动态实现本地业务分流, 将用户的内容

请求调度到靠近用户的边缘 CDN 节点。

本文提出了一种基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方法。首先, UE 向 MEP 发送 MEC 位置查询请求, 边缘 UPF 识别该信息并转发到 MEP, MEP 返回对应的 MEC ID, UE 向 CDN 调度中心 GSLB 发起 CDN 访问请求同时携带 MEC ID 信息, GSLB 根据 MEC ID 信息判断用户位置并提供边缘 CDN 节点的 IP 地址, 从而实现边缘 CDN 精准、迅速调度。

基于 MEC 位置服务的边缘 CDN 业务调度流程如图 3 所示。

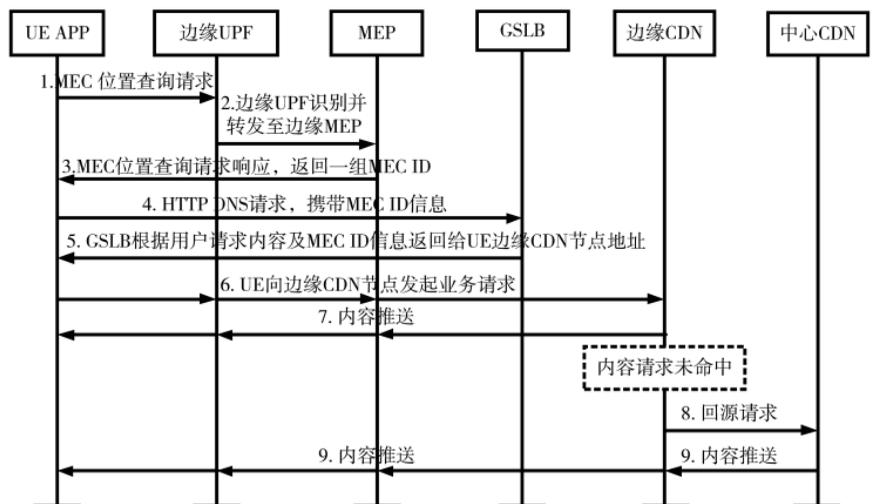


图 3 基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度流程

具体流程如下:

- (1) UE 在发起 CDN 业务访问请求时, 首先发起 MEC 位置查询请求;
- (2) 边缘 UPF 识别 UE 发起的 MEC 位置查询请求信息, 将该信息转发到 MEP;
- (3) MEP 根据接收到的用户 MEC 位置查询请求, 向 UE 返回用户所处区域的一组 MEC ID 信息;
- (4) UE APP 向 CDN GSLB 发起内容请求, 请求消息中携带 MEC ID 信息;
- (5) GSLB 维护 MEC ID 与边缘 CDN 节点的拓扑关系, 根据 UE 请求信息中携带的 MEC ID 信息以及用户请求内容, 向 UE 提供保存有用户所请求内容的边缘 CDN 节点的 IP 地址;
- (6) UE APP 根据收到的边缘 CDN 节点信息, 向边缘 CDN 节点发起 CDN 业务请求。通过边缘 UPF 的本地分流功能, 将用户请求发送至本地 MEP 的边缘 CDN 节点;
- (7) 边缘 CDN 节点向 UE 推送内容;
- (8) 若用户请求的内容并未存储在边缘 CDN 节点中, 则边缘 CDN 节点向中心节点发起回源请求;
- (9) 中心 CDN 节点根据边缘 CDN 节点的内容请求, 将内容推流到边缘 CDN 节点, 之后再由边缘 CDN 节点为用户提供服务。

本文提出的基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方法由用户主动发起 MEC 位置查询请求,本地 MEP 根据用户请求可以便捷快速地响应用户请求,从而实现边缘 CDN 精准、迅速调度。与业界其他 EDNS 调度及 HTTP 头增强调度方案相比<sup>[6]</sup>,本文提出的方案可适用于 HTTP 调度和 DNS 调度,且不影响 HTTP 转发性能。同时,对网络改动较小,无需 DNS 修改配合,方案具备通用性。

本文提出方案需应用提供商在客户端 APP 进行相应开发配合。同时,本方案中,用户首先发起位置查询服务请求,此位置服务 IP 需提前在 UPF 中进行分流配置,并且在全国范围进行推广时,需考虑不同省份、地市的位置服务 IP 有可能不同,由此可能会产生不同地区用户端 APP 需进行不同配置。未来需考虑全国设置统一域名或 IP 提供位置查询服务以解决此问题。

#### 4 测试分析

为了验证基于 5G MEC 的边缘 CDN 业务调度方案,本文基于 5G SA 网络建设了一套 MEC 系统,通过和 5G 核心网交互并借助边缘 UPF 下沉,支持本地分流等灵活路由能力。同时,在 MEC 平台部署了 vCDN 应用进行边缘 CDN 业务的测试验证,通过专用测试工具对基于公有云和 MEC 的 CDN 调度业务进行测试。

通过专用测试工具,分别对公有云 CDN 节点和边缘 CDN 节点进行业务调度测试,记录首包时延、最高下载速率及平均下载速率等性能指标,测试数据如表 1、表 2 所示。

表 1 基于公有云的 CDN 业务测试结果

序号	首包时延/ms	最高下载速率/(Mb/s)	平均下载速率/(Mb/s)
1	99	106.25	90.12
2	71	106.25	75.51
3	95	105	80.5
平均	88.333 33	105.833 3	82.043 33

由表 1 和表 2 可知,与访问公有云 CDN 节点相比,基于 MEC 的边缘 CDN 业务访问平均首包时延由 88.3 ms 降低到 19.3 ms,降低 83%;平均下载速度由 82.04 Mb/s 提高到 169.07 Mb/s,提升一倍。因此,本文提出的基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度可以极大地降低首包时延,

表 2 基于 MEC 的 CDN 业务测试结果

序号	首包时延/ms	最高下载速率/(Mb/s)	平均下载速率/(Mb/s)
1	20	225	171.85
2	19	218.75	169.06
3	19	200	166.3
平均	19.333 33	214.583 3	169.07

提高下载速率,明显改善用户的业务体验。

#### 5 结论

本文提出了一种基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方案,由用户主动发起边缘 MEC 位置查询请求,本地 MEP 根据用户请求可以便捷快速地响应用户请求,从而实现边缘 CDN 精准、迅速调度。同时,基于 5G SA 试验网搭建相关测试环境进行实际测试。测试结果表明,本文提出的方案可以极大地降低 CDN 业务访问的首包时延并提高下载速率,明显改善用户的业务体验。

#### 参考文献

- [1] 张建敏,谢伟良,杨峰义,等.移动边缘计算技术及其本地分流方案[J].电信科学,2017,32(7):132-143.
- [2] 张建敏,谢伟良,杨峰义,等.基于 MEC 的 LTE 本地分流技术[J].电信科学,2017,33(6):154-163.
- [3] 刘云毅,张建敏,杨峰义.基于 MEC 的移动网络 CDN 增强及部署场景建议[J].电信科学,2019,35(S2):36-43.
- [4] 张建敏,谢伟良,杨峰义,等.5G MEC 融合架构及部署策略[J].电信科学,2018,34(4):109-117.
- [5] 张建敏,杨峰义,武洲云,等.多接入边缘计算(MEC)及关键技术[M].北京:人民邮电出版社,2019.
- [6] 果振波,彭加林.基于 MEC 的边缘 CDN 解决方案[J].电信科学,2019,35(S2):31-35.

(收稿日期:2020-05-12)

#### 作者简介:

刘云毅(1993-),男,硕士,主要研究方向:5G 边缘计算技术。

张蕾(1993-),女,硕士,主要研究方向:网络架构、边缘计算等 5G 关键技术。

张建敏(1983-),男,博士,高级工程师,主要研究方向:移动通信技术、5G 边缘计算技术。

docs.docker.com/registry/.

(收稿日期:2020-05-12)

#### 作者简介:

王旭亮(1986-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:SDN、NFV、云计算以及边缘计算。

武宇亭(1986-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向:云计算、边缘计算、分布式存储。

任宏丹(1995-),女,硕士研究生,工程师,主要研究方向:云计算、大数据、人工智能。

(上接第 11 页)

[4] 边缘计算产业联盟与工业互联网产业联盟.边缘计算与云计算协同白皮书[Z].2018.

[5] Cloud Native Computing.What is Kubernetes[EB/OL].(2020-03-31)[2020-05-12].https://kubernetes.io/.

[6] HashiCorp, Inc.Introduction to terraform[EB/OL].[2020-05-12].https://www.terraform.io/.

[7] Docker, Inc.About register[EB/OL].[2020-05-12].https://

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所