



5G 边缘计算技术及应用展望

马洪源, 肖子玉, 卜忠贵, 赵远

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 边缘计算是一种在物理上靠近数据生成位置的处理数据的方法, 是 5G 的关键技术之一。网络技术的发展 and 业务应用的需求共同推动了 5G 边缘计算的发展。从边缘基础设施、边缘计算网络和边缘平台角度阐述了 5G 边缘计算技术体系, 并对 5G 边缘计算应用进行了展望。

关键词: 5G; 边缘计算; 网络; 平台; 边缘计算应用

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019168

5G edge computing technology and application prospects

MA Hongyuan, XIAO Ziyu, BU Zhonggui, ZHAO Yuan

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: Edge computing is a method of processing data physically close to where data is generated, and it is one of the key technologies of 5G. The development of network technology and the demand of business applications have jointly promoted the maturity of 5G edge computing. The 5G edge computing technology system was elaborated through the perspective of edge infrastructure, edge computing network and edge platform, and the 5G edge computing application was prospected.

Key words: 5G, edge computing, network, platform, edge computing application

1 引言

1.1 边缘计算驱动力

根据 IDC 统计数据, 到 2020 年将有超过 500 亿的终端与设备联入网络, 2018 年有 50% 的物联网网络将面临网络带宽的限制, 40% 的数据需要在网络边缘侧分析、处理与存储, 这一比例到 2025 年预计增长到 50%。

近年来视频类业务蓬勃发展, 全球视频流

量从 2012 年的每月 13 483 PB 增长至 2017 年的 46 237 PB, 增长接近 2.5 倍。5G 商用后, 网络速率的提升将进一步刺激视频流量增长。根据思科的预测^[1], 从 2016 年到 2021 年, 移动视频将增长 8.7 倍, 在移动应用类别中享有最高的增长率, 到 2021 年, 移动视频将占总移动流量的 78%。

5G 网络除了满足人与人之间的连接需求外, 还需要解决人与物、物与物之间的通信需要。4G

网络近 100 ms 的网络时延已无法满足车联网、工业控制、AR/VR 等业务场景需求；5G 网络需要更低的处理时延和更高的处理能力。

随着物联网、视频业务、垂直行业应用的快速发展，集中式的数据存储、处理模式将面临难解的瓶颈和压力，现有网络架构将对回传带宽造成巨大压力，同时恶化网络指标，影响用户体验；此时需要在靠近数据产生的网络边缘提供数据处理的能力和服务。

尽管边缘计算的概念已经提出多年，对边缘计算的需求也一直存在。但边缘计算直到近两年才开始成为热点，很大一部分原因在于 5G 网络技术的提升，业务需求和网络升级共同驱动了边缘计算的发展。

1.2 边缘计算定义及参考架构

边缘计算源于 ETSI，它的定义是在距离用户移动终端最近的 RAN（无线接入网）内提供 IT 服务环境以及云计算能力，旨在进一步减小延迟/时延、提高网络运营效率、提高业务分发/传送能力、优化/改善终端用户体验^[2]。随着业务的发展和研究的推进，边缘计算的定义得到了进一步扩

充，接入范围也囊括了诸如蓝牙、Wi-Fi 等非 3GPP 场景。边缘计算的参考架构^[3]如图 1 所示，边缘计算宏观上分为网络、边缘计算业务平台、边缘网管系统三层。

除了基本定义及标准架构外，边缘计算规范组还完成了一系列标准的制定，包括边缘计算应用的编排与管理^[4-5]、业务使能 API^[6]以及用户底层网络信息和网络能力开放的服务应用程序可编程接口（API）^[7-8]。

采用通用硬件平台的边缘计算参考架构可以满足多个第三方应用及功能共平台部署，将软件功能按照不同能力属性分层解耦地部署，在有限资源下实现可靠、灵活和高性能。边缘计算平台通过中间件为边缘应用提供服务，主要的中间件有：通信服务、注册服务、无线网络信息服务、流量卸载功能^[9]。

2 5G 边缘计算技术

随着 3GPP 对 5G 网络架构的不断拓展和 ETSI 对边缘计算平台功能的逐步完善，5G 边缘计算逐步形成了一套完整的技术体系，运营商边

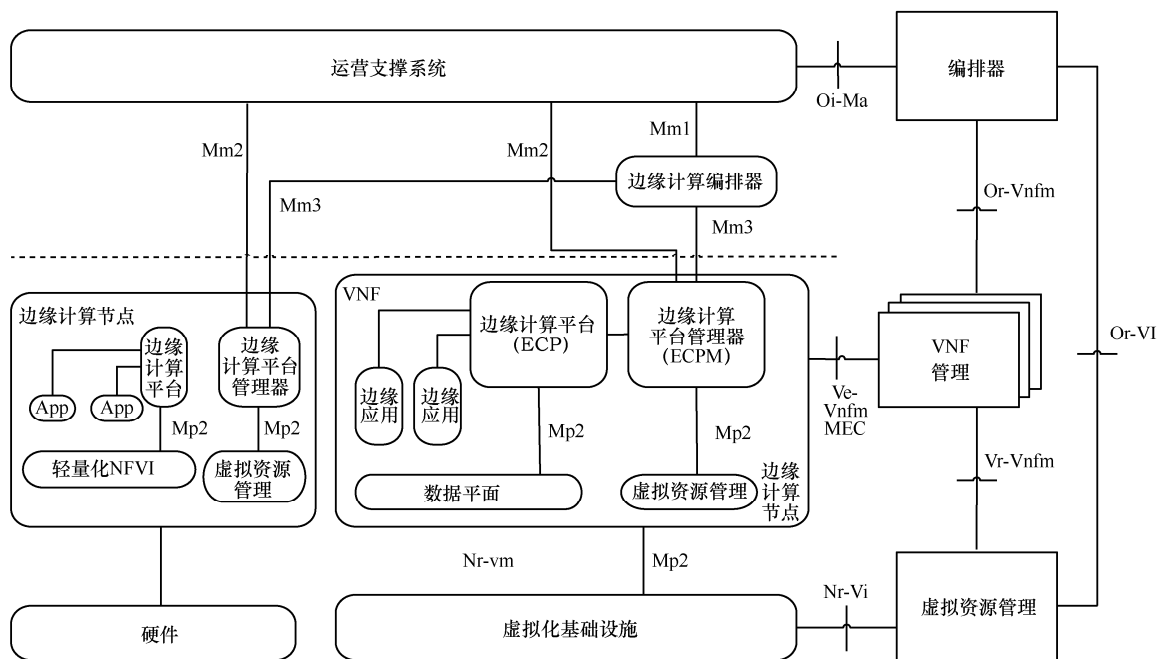


图 1 ETSI 边缘计算参考架构



缘计算技术体系参考视图如图 2 所示，5G 边缘计算是边缘基础设施、边缘网络、边缘计算平台以及边缘应用的组合。

边缘基础设施是边缘计算部署的重要载体，需要提前储备边缘机房并建设配套网络。基于业务选择，5G 边缘计算可以采用通用服务器、定制化边缘服务器以及便携式一体机等不同硬件设备满足多样化硬件加速要求。例如对并行计算、大块数据处理场景较多的图像处理、音/

视频解码业务使用 GPU；对业务频繁变动，需要具备可编程能力的场景部署 FPGA；对智能摄像头、图像识别等采用典型 AI 算法的边缘应用部署 AI 芯片。

针对不具备边缘计算部署条件的场景，还可以考虑采用一站式集装箱边缘基础设施解决方案。

2.1 5G 边缘计算网络架构及关键技术

4G 边缘计算与 5G 边缘计算方案对比见表 1，

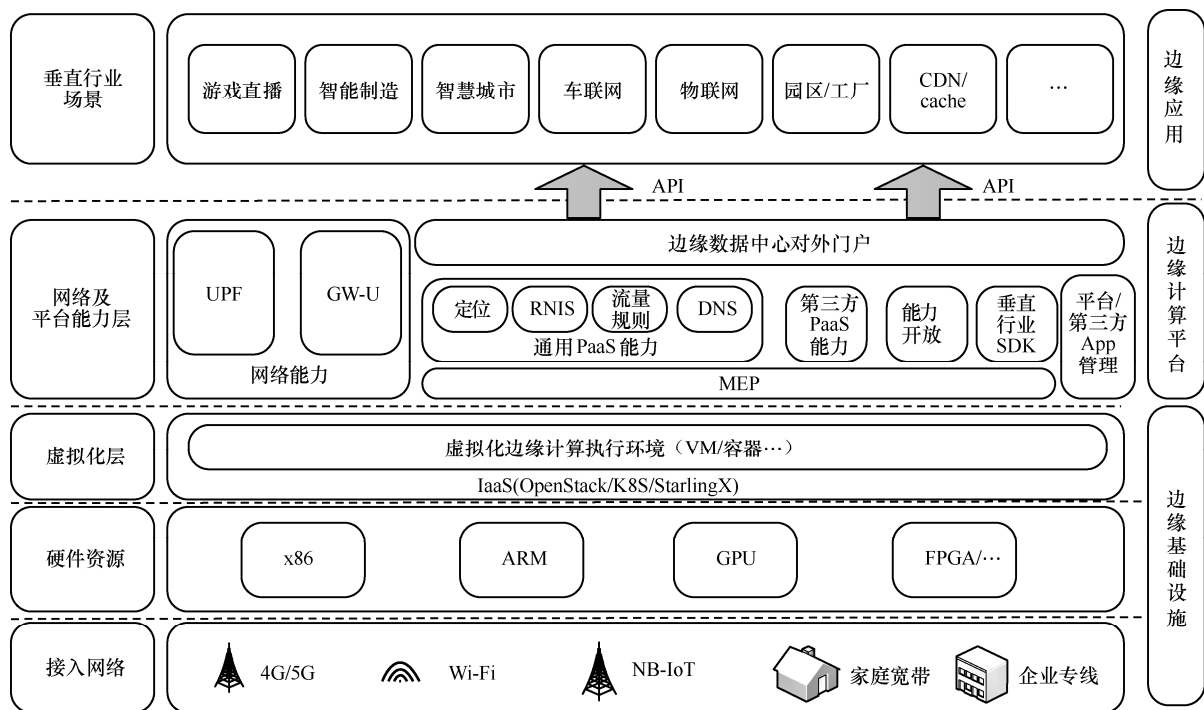


图 2 运营商边缘计算技术体系参考视图

表 1 4G 边缘计算与 5G 边缘计算方案对比

	4G 边缘计算方案	5G 边缘计算方案
标准化	基于 ETSI 的非标方案	3GPP
实现方式	在无线侧部署 MEC 服务器，不经过核心网直接实施 DPI、缓存、视频优化等功能；或串接在接入网和核心网之间，通过 IP 五元组/APN 等信息实现本地分流	核心网功能，在 UPF/GW-U 实施 DPI 和本地流量卸载功能
对无线的影响	无线接入网与边缘计算服务器互相开放 API，无线接入网的信息直接暴露给边缘计算服务器	不暴露无线接入网的信息，维持无线接入网与核心网之间的标准接口
位置信息获取	从无线接入网获取	从核心网获取
安全与计费方案	私有方案	标准方案

4G 网络边缘计算均为厂商私有方案,具有局限性;而 5G 边缘计算是提供业务能力、满足运维需求和保障网络安全的系统解决方案。5G 边缘计算网络架构示意图如图 3 所示,3GPP 定义网络架构,SBA 架构支持数据路由与能力开放;ETSI 定义平台架构,边缘计算平台实现 DN 和 AF 的功能;UPF 作为衔接锚点和 5G 核心网、边缘计算平台和终端协同,满足边缘场景下的移动性管理、合法监听、计费、QoS 保障等功能^[10-11]。

5G 边缘计算分流和策略功能使用了 5G 架构中的 SMF、UPF 和 PCF;通过 UPF 和 SMF 实现业务计费;基于边缘 UPF 支持合法监听功能;基于网络能力感知、北向标准接口及 NEF 支持能力开放,NEF 作为统一的能力开放节点负责外部边缘应用与 5G 网络的交互;通过逻辑隔离及部署安全设备实现网络安全,通过配置防火墙、IP 地址攻击防护、ACL、HTTPS 协议等手段提供安全防护。边缘计算平台作为 5G 网络中的一个 AF,通过 NEF/PCF-SMF-UPF 路径管理 PDU 会话、控制策略设置,部署在边缘计算平台上的边缘应用可以属于一个或多个网络切片。

5G 网络设计之初便考虑了对边缘计算的支持,包括用户面的灵活部署、按需的业务连续性

和多种本地分流技术^[11]。

5G 核心网 C/U 分离,用户面可灵活部署;同时通过应用与网络动态交互机制,支持 UPF 在本地按需增加和删除。

为满足按需的业务连续性,5G 网络定义了 3 种会话与业务连续性 (SSC) 模式:SSC 模式 1 场景 UE 始终只接入一个用户面网关,不更换 IP 锚点,例如现有 VoLTE 业务;SSC 模式 2 场景 UE 在一定范围内接入一个用户面网关,超出范围后,重新接入其他用户面网关,例如浏览网页等业务;SSC 模式 3 场景 UE 在断开一个用户面网关连接之前,建立一个新用户面网关的连接,终端可以将原有连接中的应用绑定到新的连接中,也可以等原有连接中的应用结束后再删除原有连接,例如车联网、直播业务等。

5G 网络提出了 3 种支持边缘计算的会话管理架构支持本地分流:UL-CL(uplink classifier)、IPv6 多归属和本地数据网。

(1) UL-CL 架构采用 1 个连接,通过 SMF 选择靠近本地网络的分流节点 (UL-CL UPF),基于数据分组目的 IP 地址识别、分流上行数据分组;将本地业务导向本地网络,实现本地分流,非本地业务导向锚定 UPF。该方案中一个 PDU 会话仅一个 IP 地址,终端地址可以不变,

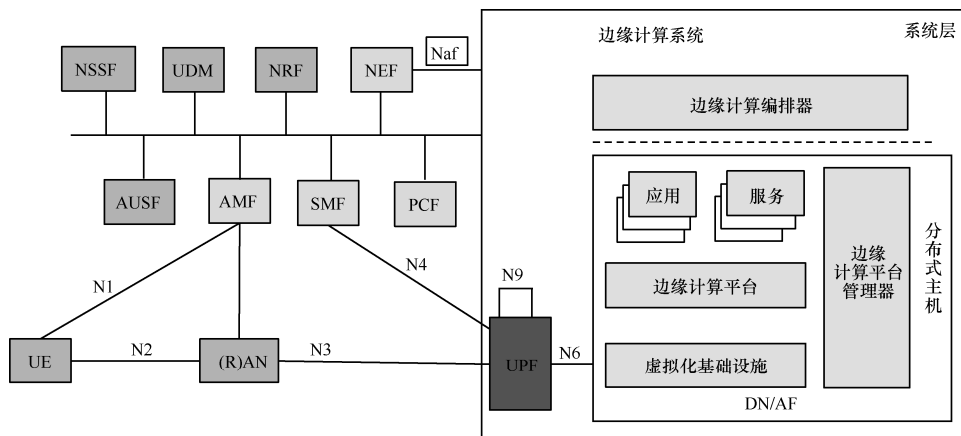


图 3 5G 边缘计算网络架构示意图^[12]



减少应用层的交互，从 UE 的角度，当 UE 从 UL-CL1 迁移到 UL-CL2 时，集中的 UPF 作为 IP 锚点，一方面可以通过应用层通知 UE 保持与 AF 的连接，另一方面通过采用不同的业务与会话连续性模式，网络层面会话连续性得到保持，本地数据网按需改变。该架构适用于访问本地业务场景，如本地内容访问企业网、eMBB 场景本地业务分流、车联网等。

(2) IPv6 多归属架构采用两个或多个连接，SMF 负责对目标 UPF 插入分支点功能，网络分别建立到“本地”及到“中心”业务网络的连接，终端存储网络分配的多个 IPv6 地址；该分流模式为识别数据分组源 IP 地址前缀，同一 PDU 会话有两个或多个在不同锚定 UPF 的 IPv6 地址前缀，分支 UPF 负责上行流量分离和下行流量聚合。该方案中终端对不同连接使用不同前缀，可以一个 IP 地址做远端业务，一个 IP 地址做本地业务，应用层负责业务连续性；适用于物联网、高可靠性专网等场景。

(3) 本地数据网终端判断自身所处位置，如终端处在 LADN 服务范围，则发起携带 LADN DNN 的会话建立请求。该方案中 AMF 需配置 LADN 服务范围，并且在终端移入移出 LADN 范围时通知 SMF，同时要求终端具有识别所在 LADN 覆盖范围的能力。

2.2 5G 边缘计算安全

5G 边缘计算安全需要覆盖边缘计算的各个阶层，包括逻辑安全和物理安全。

逻辑安全是指把所有影响 3GPP 安全、操作安全策略和本地监管规则的应用隔离开。除了 ETSI 提出的安全运维体系^[3]外，基于 5G 的边缘计算大量使用了虚拟化技术，虚拟化网元在部署之初就应嵌入具备可操作性的安全技术、策略和流程，以应对保密性、完整性和可用性等安全风险。从边缘基础设施角度，通过部署安全设备以及一些传输协议的安全功能重用（例如 REST 协

议的安全功能），也可以控制非信任域内的应用对网络的访问；OpenStack 组件之间应该相互认证、授权，保护边缘主机机器软件的可信度。同时面向 5G 的边缘计算还要考虑物理安全，部署在非核心机房的 5G 边缘计算还需考虑抗震加固、安全防护等物理安全。

2.3 5G 边缘计算的管理

5G 边缘计算可以为运营商自有业务提供电信云服务，并能连接位于公有云的第三方业务服务器从而形成混合云；5G 边缘及计算部署示意图如图 4 所示，电信云和公有云可共用物理设施，但业务和管理隔离。边缘计算系统仅对边缘云 IT 设施进行管理，对公有云仅提供路由连接及平台中间件调用能力^[13]。边缘云管理基于部署位置选择管理平台，从电信网络角度出发，中心侧集中部署 NFVO，VNFM 可集中/下沉；平台侧部署边缘管理平台（ECPM）与 VNFM，可以合设也可以分设。

5G 边缘计算是网络和应用的下沉，涉及资源管理和业务管理。从运维管理角度，建议 5G 边缘计算管理系统采用统一架构、分类部署，统一运维、分层操作。针对不同规模的边缘计算，可以采用标准的管理解决方案、轻量化解决方案和拉远解决方案。考虑到边缘计算节点分散、位置偏远、数量众多等特点，通过部署 SDN 有利于提高网络配置效率和保障网元的 QoS 等网络策略按需动态下发。

以虚拟资源管理为例，采用轻量化 OpenStack，只保留必要组件（如 nova、neutron、glance、keystone、ceilometer 等），OpenStack 管理组件与计算组件共节点部署；减少最大连接数，减少 DB 访问频率；精简 OpenStack 组件的进程数量，减少并发量；减少 KPI 信息，降低组件刷新频率和周期等。这些措施都可以将资源管理从服务器级别资源消耗降低至 CPU 核级。

容器技术以其高效、精细、轻量化的特点与边

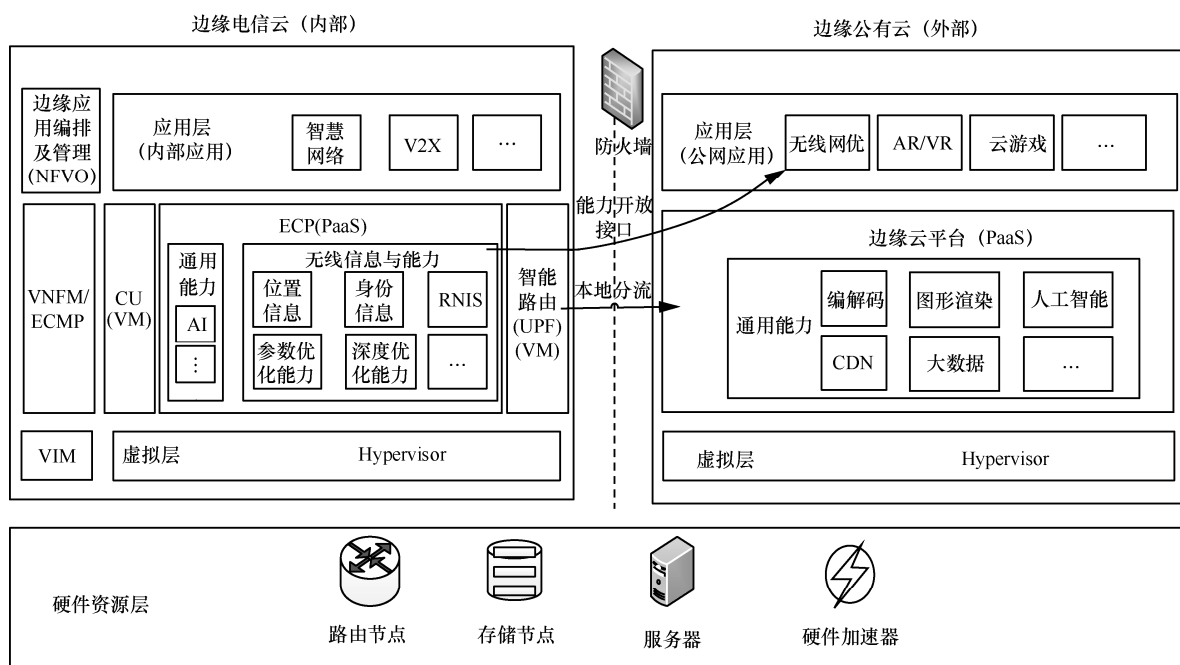


图4 5G 边缘及计算部署示意图

缘计算对资源的需求高度吻合，近几年各大云计算厂商布局边缘计算平台，多个 OTT 边缘解决方案不同程度地借鉴和使用了容器技术。容器对底层物理资源的消耗非常小，同时容器管理十分便捷，这有助于提升边缘计算管理效率。对于基于容器技术实现的第三方应用，边缘节点还需引入容器管理平台。但当前通信设备厂商的 5G 网元内部均采用虚拟机容器的方式实现，未来容器是否对外可见，还取决于运营商是否有明确的管理需求。

对于无人值守的中小型边缘节点（一般小于 20 节点），若采用拉远方案，可以将每个节点作为 AZ（availability zone）接入集中部署的 VIM，AZ 内计算节点与控制节点需三层网络互通，两个节点之间的传输网络对可靠性有较高要求（如带宽不小于 1 GHz，时延低于 50 ms，分组丢失率较低、不存在经常性闪断等）。该方案中接入站点无需部署管理模块，但需要安装基本的管理代理模块，从而确保与管理节点失联后，本地具备基本的自愈能力。

2.4 边缘计算平台

边缘计算 PaaS 平台作为 5G 边缘计算系统的

重要组成部分，连接边缘网络与边缘应用。除通用基础能力外，作为边缘生态繁荣的重要保障，5G 边缘计算平台还提供了更为全面的功能^[14]，主要体现在以下 3 个方面。

（1）网络能力开放

网络侧能力通过 RESTful 接口传给 PaaS 平台，平台通过标准 API 传送给上层应用。

（2）降低应用门槛，支持异构系统共平台部署

解决各类原生应用接口不友好问题，通过对接口 SDK 封装，降低相关应用移植到边缘计算 PaaS 平台的难度。

（3）第三方 PaaS 能力引入

针对行业痛点，引入在行业有较深积累的第三方服务供应商，能够快速切入行业应用。

3 5G 边缘计算应用展望

3.1 5G 边缘计算场景需求

ETSI 给出了边缘计算的 7 类应用场景^[15]：智能移动视频加速（开放无线网络信息，支持应用



层和网络层的跨层联合优化视频等数据传输)、监控视频流分析(对监控视频在边缘进行智能分析,降低大规模传输到中心云的网络带宽)、AR(开放网络定位能力,给AR处理提供实时辅助信息和缓存等)、密集计算辅助(将计算从终端卸载到边缘云端,并提供低时延支持网络游戏、环境传感器、某些安全应用)、企业专网应用(如将用户面流量分流到企业网络)、车联网(从车及道路传感器实时接收数据进行分析,并将结果以极低时延发送给相关车辆及设备)、IoT网关服务(工业物联网在边缘聚合、分析物联网设备,采集上报大量物联网数据,并及时产生本地决策)。结合5G网络的边缘计算能够满足更多的业务需求(见表2),智慧城市、工业互联网、企业园区、物联网和车联网等多个场景对5G边缘计算都提出了关键能力诉求。

3.2 5G 边缘应用时延因素分析

但现阶段边缘计算的应用依然存在诸多问题和挑战,其中网络时延是一个重要的限制因素。

5G标准^[16]中对相关业务提出了明确的网络时延要求,具体见表3。

通常而言,典型的移动通信网络时延包括无线空口时延、传输时延、网关处理时延、边缘计算平台时延以及承载网时延,5G网络时延参考如图5所示。其中,空口处理时延包括调度时延、传输时延(前传、中传)、空口传输时延和处理时延,但不考虑多次重传场景。传输时延包含回传光纤传输时延、传输设备时延,基于PTN非拥塞场景;若采用SPN,理论上单个传输设备处理时延将减少到10 μ s以内;传输网络按照接入环6跳、汇聚环3跳、核心环2跳考虑,汇聚与核心传输设备通过波分系统连通;接入及汇聚环主要采用小型传输设备,重要汇聚层及核心网主要采用大型传输设备。接入机房距离为1~10 km,普通汇聚机房为5~25 km,重要汇聚机房为20~50 km,核心机房为200~1 500 km。考虑到UPF需要进行内容计费、合法监听等,参照EPC网关,处理时延平均取定为2 ms。若边缘计算需要访问第三方服务器,则要通过防火墙接入CMNet;核心网访问内部业务平台也需要经过IP承载网;按照承载网规范要求,高端路由器转发时延最坏为<1 ms,按1 ms计入模型。理论上无需将边缘计算系统部

表2 5G 边缘计算应用场景及关键需求分析

业务类型	应用场景描述	关键需求
本地分流	博物馆、展馆AR直播;赛事VR视频直播	数据本地卸载及转发、离线计费
本地缓存/计算	大视频、流量密集场景的视频监控、远程医疗	业务识别、融合CDN/缓存、视频优化、计算卸载
物联网网关	智慧城市/农业、环境监测、智能物流	信息分析、协议转换、聚合/分类、位置服务
室内定位	GPS覆盖不完善的商业场馆、城市地下综合体	室内精准定位
车联网	路边单元、V2X通信;智能交通	V2X信息收集、eMBMS业务下沉
能力开放	第三方App集成、底层网络能力/业务能力开放	RESTful等标准接口,服务编排、管理
企业/园区应用	为企业/园区不同场景提供差异化服务	网络切片、移动性管理
工业互联网	工业控制、安全可靠的数据分析	网络切片、新型空口及网络、计算卸载

表3 部分典型5G业务网络时延要求

业务类型	语音	实时游戏	V2X消息	AR/VR	5G编队行驶	无人驾驶	工业控制
时延要求/ms	100	50	50	10	5	3	1

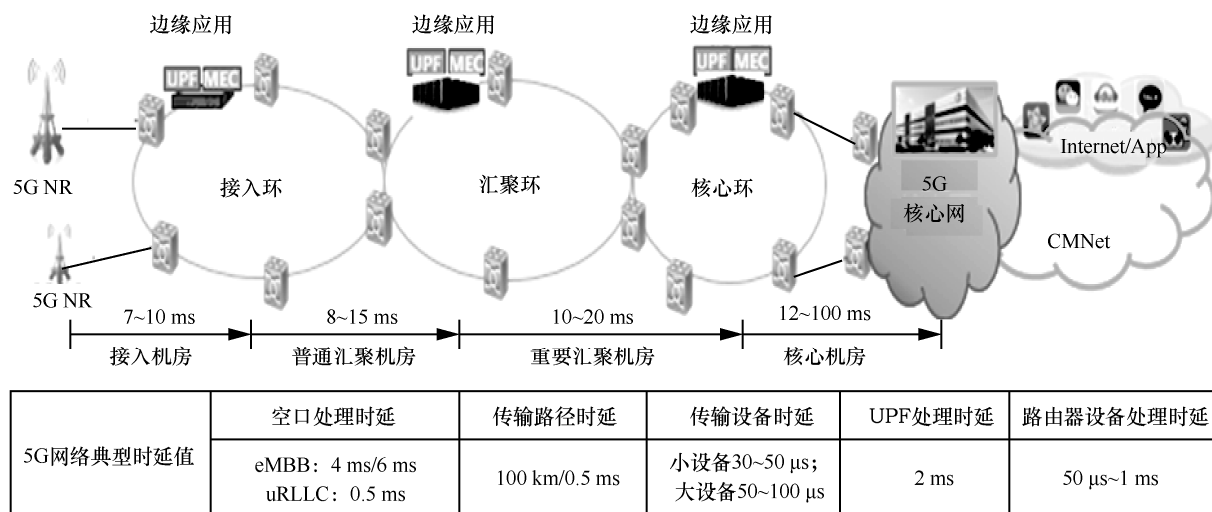


图5 网络时延模型分析示意图

署在站点接入机房可满足 eMBB 场景绝大部分业务的时延要求,但仍无法满足 uRLLC 场景大部分业务对时延的要求。

实际网络中的时延远超模型分析,5G 移动通信作为一个典型的分组传送网络,可以将上述时延分为 4 类:节点处理时延、排队时延、传输时延和传播延时延。节点处理时延主要是设备分析分组的头域、从分组中提取数据部分、进行差错或查找适当的路由等产生的时延,通过提高设备性能可以优化和控制;排队时延取决于流量强度,与网络负荷有关,具有较大不确定性和随机性;传输时延是路由设备发送一个分组所需时间,取决于分组长度和链路带宽,与分组长度成正比,与链路带宽成反比;传播时延主要与传输信号速率、传输介质和实际传播路径距离有关,相对比较固定。

综上,考虑空口环境的复杂性,不可预知的拥塞和抖动、数据重传及排队,实际网络场景中时延具有较大的不确定性。因此对于时延敏感业务,通过将网络功能下沉可以减少网络中间层级,简化网络架构,减少传播时延;通过采用新的空口和传输技术,并配以 TSN 可以减少节点处理时延,优化排队时延;通过

使用切片技术^[17],切分出不同要求时延下的虚拟端到端网络,能够更好地控制传输时延和排队时延。

3.3 5G 边缘应用部署策略

5G 边缘计算的应用呈现多样化和差异化的特点;基于网络技术和产业链发展,从运营商角度,笔者认为 5G 边缘计算的应用开展大致可以分为 3 个阶段。

(1) 阶段 1

eMBB 场景主要针对个人和家庭用户,商业模式清晰简单;边缘计算系统部署在地市核心或重要汇聚机房,边缘基础设施相对较为完善,可以基于通用平台云化部署,采用 leaf-spine 网络拓扑,通过硬件实现不同域流量隔离;该阶段内容和网络协同下沉,支持固移多种接入方式,沿用现有计费及管理模式;通过本地分流,减少回传带宽压力,提升用户体验,降低用户网络使用成本^[18]。

(2) 阶段 2

边缘计算系统下沉至汇聚机房,硬件的形态可能是专用设备或边缘一体机,UPF 和 MEP 可以共平台部署。该阶段,5G 边缘计算平台能力得到进一步的发展和完善,网络切片开始商用;5G 边



缘计算作为能力开放平台和边缘网关，一方面通过本地计算和任务卸载可以降低边缘设备复杂度和设备成本，另一方面通过完善的能力开放平台和标准 API 能够更好地实现边缘网络能力的增值和边缘数据的变现。

(3) 阶段 3

5G 边缘计算技术体系基本成熟，网络能力进一步提升，5G 边缘计算部署在更靠近网络边缘的站点接入侧甚至用户侧。此时 5G 边缘计算作为边缘智能、网络智慧引擎，通过大数据采集分析，帮助运营商实现智慧化的网络或网络自动化。该阶段也是规模开拓 uRLLC 场景，如工业互联网、车联网的最佳时机，设备存在边缘一体机、边缘智能网关等多种形态。但该阶段存在行业差异较大、边缘生态碎片化严重的问题，如何通过边缘智能、边云协同突破行业壁垒，有效整合边缘资源成为拓展行业应用必须面对的问题。

以上 3 个阶段对网络 and 平台要求依次提高，市场空间和潜力也不断扩大；每个阶段的应用发展也伴随着边缘基础设施、5G 网络能力、边缘平台、边缘管理及运营模式等 5G 边缘计算技术体系各个环节的不断完善。

4 结束语

5G 边缘计算是一套完整的技术体系，5G 边缘计算的蓬勃发展需要技术与需求的共振。面向 5G 的边缘计算为运营商提供了一个系统化的解决方案，充分考虑了运营商的运营需求；为 5G 业务，尤其是垂直行业场景提供了一种可管、可控、可运维的网络解决方案。

从 eMBB 场景入手，在 mMTC 和 uRLLC 场景不断成熟和壮大是 5G 边缘计算发展的基本思路。基于开源技术所构建的生态系统有助于降低整个用户的系统经济性；采用开放的互联网技术，通过分布式计算组件和灵活的网络

部署，降低用户终端成本，为用户带来更好的体验；基于授权频段、简化组网，降低企业客户网络使用成本，提升企业信息化应变能力；通过能力开放、提升运营商管道价值，加速网络能力变现；这些都是 5G 边缘计算的应用发展方向。

参考文献：

- [1] Cisco. Visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2017–2022 white paper[R]. 2017.
- [2] ETSI. Mobile edge computing terminology[Z]. 2016.
- [3] ETSI. Mobile edge computing (MEC); framework and reference architecture: ETSI GS MEC 003 V1.1.1[S]. 2016.
- [4] ETSI. Mobile edge computing (MEC); mobile edge management; part 1: system host and platform management: ETSI GS MEC 010-1 V1.1.1[S]. 2017.
- [5] ETSI. Mobile edge computing (MEC); mobile edge management; part 2: application lifecycle, rules and requirements management: ETSI GS MEC 010-2 V1.1.1[S]. 2017.
- [6] ETSI. Mobile edge computing (MEC); mobile edge platform application enablement: ETSI GS MEC 011 V1.1.1[S]. 2017.
- [7] ETSI. Mobile edge computing (MEC); radio network information: ETSI GS MEC 012 V1.1.1[S]. 2017.
- [8] ETSI. Mobile edge computing (MEC); location API: ETSI GS MEC 013 V1.1.1[S]. 2017.
- [9] 边缘计算产业联盟与工业互联网产业联盟. 边缘计算架构 2.0[Z]. 2017.
Edge Computing Industry Alliance and Industrial Internet Industry Alliance. Edge computing architecture 2.0[Z]. 2017.
- [10] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; system architecture for the 5G system; stage 2(Release 15): 3GPP TS23.501 V15.1.0[S]. 2018.
- [11] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; procedures for the 5G system; stage 2(Release 15): 3GPP TS23.502 V15.1.0[S]. 2018.
- [12] MEC in 5G networks[Z]. 2019.
- [13] iGR white paper: mobile edge computing: the edge is the future[R]. 2018.
- [14] 中国移动边缘计算开放实验室. 中国移动边缘计算技术白皮书[R]. 2019.
China Mobile Edge Computing Open Lab. China mobile edge computing technology white paper[R]. 2019.

- [15] ETSI. Mobile edge computing (MEC) service scenarios[Z]. 2016.
- [16] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; service requirements for the 5G system, stage1(Relase 16): 3GPP TS22.261 V16.4.0[S]. 2018.
- [17] 项弘禹, 肖扬文, 张贤, 等. 5G 边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 54-63.
- XIANG H Y, XIAO Y W, ZHANG X, et al. Edge computing and network slicing technology in 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 54-63.
- [18] ETSI. White paper No.11 mobile edge computing a key technology towards 5G[R]. 2015

[作者简介]



马洪源(1984-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为移动通信核心网。



肖子玉(1969-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司网络所总工程师、教授级高级工程师, 中国通信学会信息网络专业委员会委员, 美国北卡罗来纳州立大学访问学者, 主持完成 IMS 核心网、国际通信网、NFV、5G 等多项重点工程研究、咨询和设计项目。



卜忠贵(1976-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师、咨询设计总监, 主要研究方向为移动通信核心网。



赵远(1986-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要从事通信工程方面的咨询、设计和研究工作, 主要研究方向为核心网 5G、NFV、CS/IMS、RCS、全业务、智能网、信令网等。