

# 5G MEC 的本质是“联接+计算”

原创：华为周艳 边缘计算社区 4天前

本文针对边缘计算（multi-access edge computing，MEC）的多种概念，指出移动运营商立足的5G MEC 技术本质是“联接+计算”。针对具体场景和关键诉求，分析了边缘计算的关键技术。特别是对移动网络而言，给出多种联接和计算方面的增强技术，从而发挥通信网的优势，提升用户体验。

## 01 引言

相对于云计算而言，边缘计算是从云计算的“资源集中共享模式”走向各边缘节点的“分布式互助共享模式”。根据分布在“端、管、云”的计算点位置，可以大致分为以下 6 类，具体如图 1 所示。

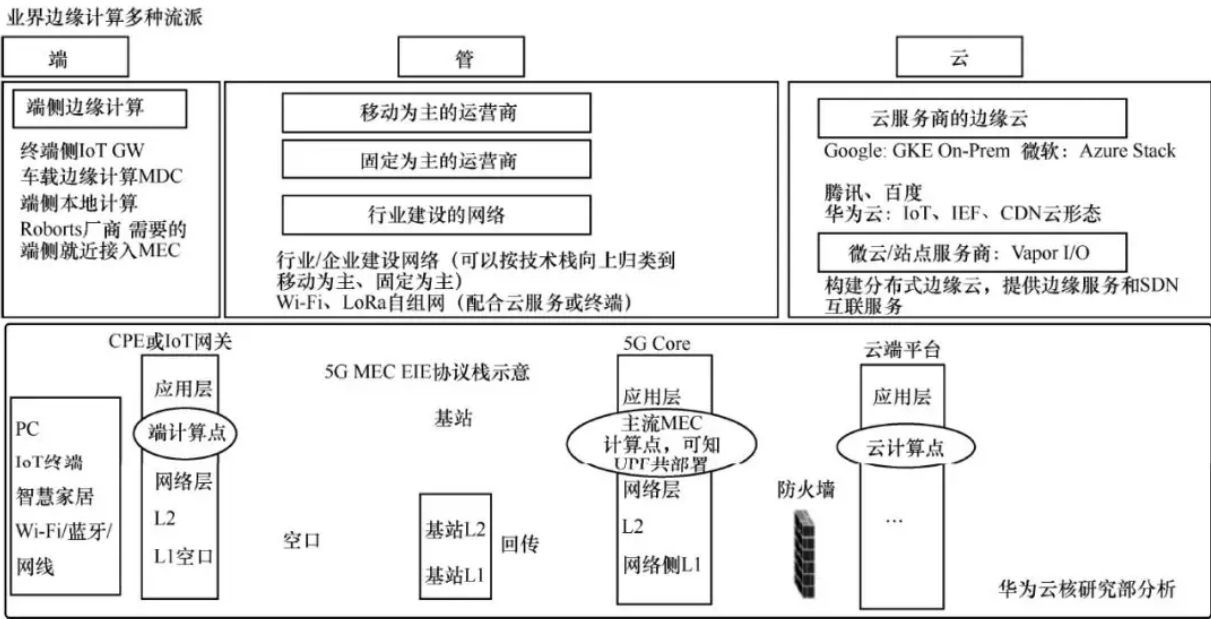


图1 按“端、管、云”的位置，对业界边缘计算概念的示意

### (1) 云服务商为主的边缘计算“云服务引流”

比如腾讯、百度、阿里的边缘云节点，Google GKE On-Prem，微软 Azure Stack 以及华为公有云的边缘计算，是以云生态的入口引流为目的，在边缘云形态上实现一个小边缘云，遇到更复杂的内容，将在云上提供。

## (2) 站点设施边缘联盟/站点服务商 “站点+ 计算服务”

以Vapor 为代表十几家公司联合建立了生态，类似中国铁塔公司提供众多中立站点的概念，通过机房、集装箱等多种机制，把边缘站点联成网。

## (3) 固定运营商为主的边缘计算 “固定联接+ 计算服务”

中国的边缘计算联盟（ECC）是华为固网很早发起的、与工业互联网广泛互动的固定网络边缘计算，以企业网的交换设备、固定接入边缘设备为主要场景。

## (4) 移动运营商为主的边缘计算（MEC） “移动联接+计算服务”

边缘计算在 2014 年被叫作 “mobile edge computing”，最早的场景是在移动基站本地做 cache（但当时未能推广商用，因为内容的分布和管理基站并不感知），后来演变为分组移动网关PGW 本地分流、内容缓存和加速、对接固网 IPTV 组播等多种形态，得以商用（例如华为在全球多个地区商用）。2017 年华为无线核心网等各方提议 ETSI 将MEC全称改为 “multi-access edge computing”，同时在 2018 年结合 5G 网络架构，在 3GPP 国际标准 SA2（网络架构组）明确 MEC是部署在 UPF 位置，并对UPF有多种增强，伴随着 5G，MEC 也走向固移融合和多种接入。

## (5) 行业/企业/交通路政组建的网络或自组织网络形态的边缘计算

“行业自建联接+计算服务”可以展开来分解，一部分按技术协议栈等同于第四类移动运营商为主或者第三类固定运营商为主的网络（频谱可以改变为 unlicensed），还有一部分例如 LoRa或者 Wi-Fi 自由组网，配合云服务商、站点服务商、物联网整网以及终端形态的实现，协议栈近似于第一类/第二类/第六类。

## (6) 终端/CPE 形态、IoT GW 形态、车载形态的边缘计算

“近端计算服务”是先在本地及时做计算处理，随后才连接宏网络，和上一级节点或者周边节点做互助。

根据提供方，又可分为不同类型的发展路线，主要有以下 5 种。

### (1) 基于电信设备商发展

从移动运营商、固定运营商的电信网络发展，延展更多的 App 业务和生态，从移动网面向消费者（2C）的基本普遍网服务，扩展到面向家庭场景（2H）、行业场景（2B）的更广泛服务，和 5G 整体业务目标保持一致。

### (2) 基于IT/云设备商发展

无论是云服务商、IT 站点服务商，还是 IT 硬件和软件厂商，都希望在边缘计算不断扩展的各层级市场中占有一部分。

(3) 基于OT设备发展

例如柔性制造的提供方或者工业操作系统的提供方。

(4) 基于芯片等发展

基于芯片和开源、自组织站点、白牌等发展。

(5) 基于终端形态的边缘计算发展

目前这种路线因为算力不足，需要和其他方式配合，例如与 IT/云方式或者电信网配合。

以上分类有助于从众多的边缘计算概念、白皮书、厂商中找到本质的归类。移动运营商拥有庞大的用户群，最大价值地发挥 4G 和之前通信网的优势，为原有移动终端用户以及新增的 5G固定无线接入/5G 行业用户服务，是移动运营商的最佳发展路径。华为拥有 ICT 的综合特性，可根据客户的选择来提供方案，发挥最强的通信网能力，同时结合多种先进技术向未来演进。

02 5G MEC的本质——联接+计算

当前主流的5G MEC 部署位置以及从省级网络进入地市级、甚至园区级网络，如图 2 所示。

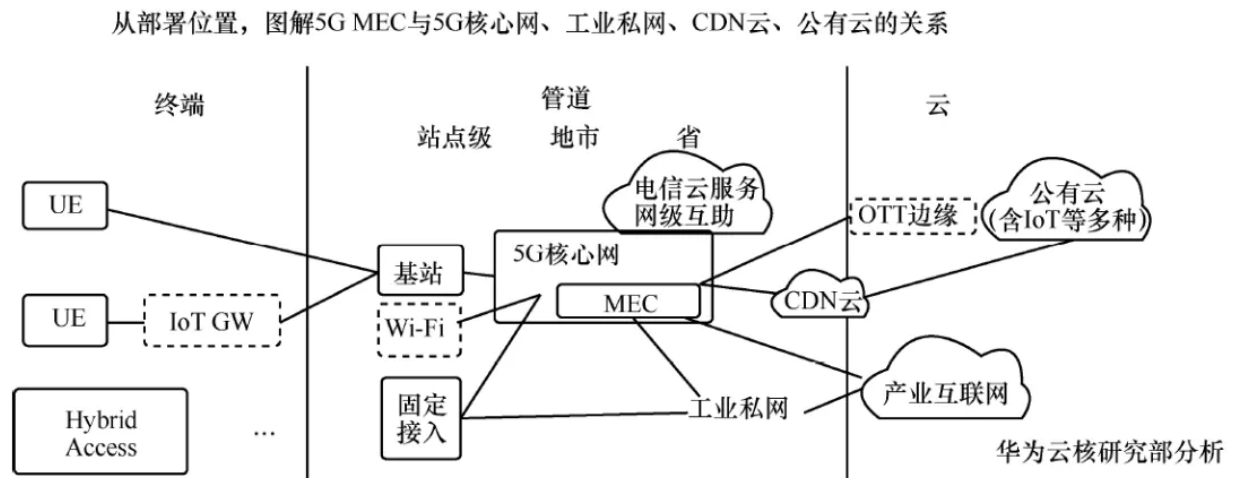


图 2 5G MEC 网络部署位置

MEC是从移动网络发展起来的，走向多接入之后，其优势仍然是宝贵的“联接”入口（从“几十亿人口联接”到“一千亿物联设备联接”）以及“第一跳的计算”内容处理机会。通信运营商坐拥“联接感知”“业务第一入口”以及“整网可控”等独特优势，可以面向业务打通端到端的整体体验，具体有以下几点。

### (1) 联接感知能力

无线空口的宝贵性，要求发展价值业务以及根据空口状态使用最佳联接调度方式。当前定义的基本类型有 3 类：NB-IoT 到物联网 eMTC 要考虑终端省电（可以用 10 年），eMBB 要考虑高速移动连续性，uRLLC 要考虑在有变化的空口通信基础上提供超低时延超高可靠性。

联接增强的演进方案会有多种，比如在 4G+5G 跨基站协同的连续性，根据业务来分解是多链路多发/选发，根据空口来反向调整业务层速率。

OTT 和云计算的方式，只有计算能力，不感知联接的控制与管理，不能做到对移动管道能力的最佳管理和调度。MEC 需要更懂得App 的需求，在内容和联接层之间做好跨层感知和调节优化。5G 确定性网络和差异化能力将使场景进一步扩展。

### (2) 终端业务第一跳业务处理入口

从网络部署位置和协议栈方面的第一跳入口：终端选择接入网络进行业务，必然可以选择是否经过通信网内部的 MEC，之后才会考虑是否经过防火墙以及 NAT 地址转换到通信网外部的云计算。通信网内部的 MEC 因为“数据本地化、流量卸载本地分流快速闭环”等驱动力，可以有机会通过时延的减少、与移动网关合并减少转发设备跳数/性能和成本、功耗和体积最优等方式发挥独到优势。

“分布式以网为主的交互业务”也会占据一定的市场份额。对终端而言，并非所有业务都是云和 server 方式，分布式的网络直接业务交互、局部的群组内容互动通信、本地化的实时交互体验，未来都具有发展的可能。

未来 MEC对内容深度感知，将会在内容分流和处理方面发挥更大价值。通信网从“联接交换网”走向“内容交换网”，需要 MEC 等节点发挥识别、判断的作用。

### (3) 网的能力

MEC 之间是可以分布式协同组网的，并且可以协同做业务的按需部署以及移动时连续性接力保障。

随着计算机网络的发展，节点将向“转发+ 计算+存储”的方向演进，各个 MEC 之间的能力将进行共享和调用。未来的 10 年，云计算和边缘计算是循环促进的，边缘计算将会占据 50%的市场空间，而 5G MEC是其中主流的一个方向。

通信运营商的“根据地”是“联接和网”。MEC 中的数据面要把这些优势用起来。UPF 和 MEC 虽然逻辑上可分可合，但 MEC 的数据面和 UPF 合而为一将拥有最佳转发性能和性价比（减少一半消耗）。反之，没有“联接感知优化和第一跳及时处理”和“分布式成网”的优势，通信网的边缘计算和云计算就会趋同，但云计算将更多地发挥内容优势。

如果仅依靠之前的基础设施，变成物理机房和网络部署拓扑争夺战，则站点联盟和行业等都会挖掘自己在各个区域的站址，通信网的边缘计算站点只是众多站点的可能性之一。

### 03 5G MEC 中的关键技术

5G 业务的到来带来了以下四大挑战。

- 超低时延。促使节点下沉/应用本地化，减少网络拓扑。
- 高速移动连续性。促使 MEC 之间的多联接连续性考虑。
- 大带宽。促使转发分流的进一步优化。
- 企业数据本地化处理。大量视频等数据本地处理，必要时再分流到宏网处理。

边缘计算的价值场景从移动网加速、园区、电力、VR/AR、工业互联网、车联网等展开。本文重点聚焦关键技术，而不再展开场景组合应用，具体关键技术如下。

#### （1）极致联接中感知内容分类进行转发、分流、加速

从 2014 年起，4G 开始不断对 MEC 的按内容分类进行转发/分流/加速的能力进行商用。由于 5G 的大带宽，转发/分流/加速进一步提升了 10X 以上的高通量需求。从 4G FPGA 卸载，走向 5G 高速转发芯片，形态和规格因应用不同而系列化，流量从 10 Gbit/s 到 600 Gbit/s。

用户面感知内容分类，进行卸载和分流，并根据内容分类，进行 cache、视频/游戏加速、起播加速、TCP/UDP 加速。

WTTX 固定无线接入场景，用 5G 大带宽接入替代固网接入成为可能，组播转单播是 MEC 与 IPTV 网络对接所需的能力之一。Wi-Fi 场景冲突和干扰较多，5G 接入替代 Wi-Fi 也需要 MEC 在园区/场馆等场景提供一些便捷功能。

围绕“感知联接”做移动网加速，提供高带宽、高体验、接入可移动的边缘计算节点。关键技术难点在于能够体现厂商高水平的是 200 Gbit/s 以上的实时高带宽加速、结合业务体验的综合加速方案等。

学术进展和挑战包括：在内容感知分类有方面的方法（准确性待提升）、加速的方法（实时高带宽有挑战、各场景综合有效性有不稳定）。

2014–2019 年的试验数据证明：游戏时延可加速 40%、视频下载速率提升 5%~47.41%、视频往返时延降低 19%~32%、视频拖动等待时延降低 12%~61%；商用网络要控制各场景的可增益性。

## （2）极致联接中的移动连续性

由于 5G 会使用部分高频率频段，基站覆盖范围有可能缩小，建网初期热点孤岛需要和 4G 整网互助，连续性更加重要。跨越基站的连续性需要核心网配合。

极致联接中的 4G+5G 双联接、多链路聚合（如宏网络+Wi-Fi、固移融合多接入）和可靠性协议层 HRP（high reliability protocol）是其中的关键技术。App 的跨节点互动也很重要。发挥业务层和链路层的互动，才能控制好多链路传输的效果。MEC 是衔接业务层与管道层的节点，需要做好跨层互动。本地节点跨层优化，多个节点统一切换调度/保证连续性以及动态触发与 5G 核心网的流策略、控制面管理互动调配最优路径和资源都是 MEC 可用的手段。

车联网是其中一种典型应用，不仅多接入联接连续，车厂 App 在途径 MEC 中的按需动态部署和迁移也非常关键。3GPP 定义了车联网四大场景和相应的需求。

无人机快速移动也会有此类要求。

关键技术难点在于：最优路径调度、切换和预接续提前预判。

学术进展和挑战包括：定位/轨迹预测算法等准确度和精度通常在若干米的范围，需要更精准。

## （3）极致联接中的确定性网络

行业数字化与实时流媒体场景对网络的确定性提出更高要求，包括时延与抖动。MEC 需要帮助做业务感知和差异化队列调度、缓存。

海量联接情况下，MEC 要保证有品质的性能。

关键技术难点在于：空口环境多变、TSN（time sensitive network）的可控性、实时对网络各种状况的处理。

学术进展和挑战包括：低时延调度算法、预测和调度等系列算法的调度精度与效果。

## （4）极致联接中的虚拟二层网络

IP 组网因为穿越宏网络，地址很难规划，因此推出 5GLAN。尽管 5G LAN 支持 L2、L3，但更多是 3GPP 为虚拟二层网络而定义的。可以跨地域形成虚拟 LAN 专网。将联接不同基站下面的

终端形成同一个虚拟本地网络。对工业应用、智慧家庭应用、企业办公应用、娱乐等群组应用都有好处。

在跨地域联接多个终端时，有时需要用私网地址与二层地址映射；或者在各终端移动和动态变更情况下，仍然体现在同一个局域网（LAN），可当作一个虚拟子网段来管理和使用。配置关系只经过移动网，而不需要再经过外挂的多个 LAN Switch 实现。

关键技术难点在于：全网在定义的虚拟专网区域行为一致。

学术进展和挑战包括：实时分布式协同数据库要考虑整网相应数据的一致性，学术上有方法、大网成功商用的也不算多。

#### （5）极致体验中的视频处理能力

由于 5G 的视频流量占比越来越高，将达到50%~80%。视频的极致体验尤为重要。MEC 可帮助 4K /8K 高清视频、VR 直播/点播、医疗、教育、交通等视频 5G 典型场景做所需内容的增强处理，包括修正误码、压缩码率、图像增强（根据场景）、多路径并行传输、拼接以及视频隐私保护（MEC 作为用户上传的第一入口，公众图像的隐私保护需要考虑人脸模糊化，这一点根据各个国家法律环境不同会有不同节奏要求）。

关键技术难点在于：实时视频的带宽、速率、编解码效率、交互体验以及上行带宽。

学术进展和挑战包括：超分辨率、结合 ROI 的编解码、FOV、FreeD 等都在不断迭代前进的阶段。

#### （6）极致体验中的 AI 处理能力

随着 5G 应用智能化、转发/计算/存储节点的合一化，MEC 上部署内容处理的 AI 能力将成为趋势。AI 智能分析有助于交通、安防以及智慧城市，结合 AI 的 AR/MR 有助于医疗、教育、工业信息辅助处理等。

华为 AI 芯片，提供单芯片 256 T 的最强算力，为边缘应用提供 2 倍以上的性价比和空间/能耗节省。

关键技术难点在于：AI 芯片的算力和高性价比。

学术进展和挑战包括：AI 芯片内置模型的准确性、实时性和可优化性。

#### （7）极简部署和自优化能力

边缘计算节点的量非常大，而且需要各边缘节点之间的协同，因此极简分层统一部署成为必要方案。单节点原有的配置量要大幅简化、多节点可批量部署。

移动网虚拟化之后，灵活调度、弹性伸缩、统一管理、统一控制能力也可作为对 MEC 用户面/资源层管控的一种机制，应用层 App 可以使用门户来更灵活入驻。

移动网络原来就可以网络级调度，MEC 可考虑除应用层 App 之外的部分沿用移动网云化管理机制。自优化能力包括基于访问热度、流量潮汐效应动态部署 App，实现 MEC 节点间的互备；基于用户、业务的动态切片。

华为作为 NFV 商用经验最丰富的设备商，在云的全栈系统构筑了丰富的运营和运维经验；相关经验将同步运用到 MEC 系统，实现统一管理、统一运维、云边协同和即插即用。

关键技术难点在于：不同类型设备高性价比。

学术进展和挑战包括：预测性维护、自优化能力等。

#### （8）可信安全

MEC 网络位置和功能要求必须感知应用内容，这在安全等级要求和风险上有所提升。MEC 上的 App 包含很多非电信类的强验证业务，在自我完备性上会有不足，这要求 MEC 提升防护能力和隔离能力。

关键技术难点在于：可信在虚拟机、容器环境的防护方式、多种威胁和安全设计。

学术进展和挑战包括：虚拟化情况下可信根算法该如何演进等。

#### （9）生态能力

MEC 生态可择优引入云生态的应用，容器化迁移云端应用，对应用尽可能平滑。应用对资源的灵活调研、弹性伸缩，应用本身的灵活部署、灰度升级，对 MEC 都有要求。

尽管 x86 有一定生态，但由于终端 99%以上采用 ARM，因此 MEC 在 ARM 上的生态会为设备 App 从 MEC 借助算力，有独到的性能提升好处。基于大数据和 AI 对边缘业务分析结果的开放 API，实现业务自愈和自优化。

#### （10）定位能力

越来越多的移动网络应用、互联网应用与位置相关，5G 的定位能力也随之提升。由于 MEC 的网络位置在应用与管道衔接点，多种定位能力的联合应用（包括移动预测）将成为重要能力之一。

关键技术难点在于：定位精度。

学术进展和挑战包括：定位算法、移动预测算法的实时性、准确性以及三维空间性。

#### （11）内容深度处理能力

进一步发展，MEC 可结合内容成为实时媒体处理节点，可以结合应用层的体验数据反馈从而对通信网进行调度优化。同时多节点互助协同，真正使通信网率先演进为内容网。

关键技术难点在于：内容深度理解能力。



学术进展和挑战包括：内容网尚处于早期研究。

## 04 结束语

本文从技术上分析了 5G MEC 的本质和关键技术。面向现在和未来，华为占有全球 1/3 以上的领先市场份额，具备先进的云化架构、极致转发能力、极致智能化、极简运维、生态构筑、可持续演进能力，其高性能、极简运维、即插即用、可信安全、可持续演进的 MEC 边缘解决方案已经为规模商用做好准备。

参考文献：

[1] 3GPP. System architecture for the 5G system; stage 2 (release 16): TS23.501 V16.0.2. [S]. 2019.

[2] ETSI. MEC ISG[R]. 2019.

[作者简介]

周艳（1974-），女，华为技术有限公司云核心网产品线研究部部长、高级研究专家，主要研究方向为 5G 核心网。本文首发于《电信科学》2019 年第22 期。