

---

## 目录

第一部分 MEC 概述 .....	2
1 简介 .....	2
2 相似解决方案 .....	3
2.1 边缘计算 .....	3
2.2 微云 .....	4
2.3 雾计算 .....	4
2.4 对比分析 .....	5
3 MEC 与 5G .....	6
3.1 5G 简介 .....	7
3.2 MEC 在 5G 中的位置 .....	7
3.3 3GPP 对 MEC 的支持 .....	8
3.4 MEC 对 5G 的促进作用 .....	9
4 相关标准组织 .....	10
4.1 ETSI .....	10
4.2 3GPP .....	11
4.3 OpenFog .....	11
4.4 OEC .....	12
4.5 ECC .....	12
4.6 CCSA .....	12
5 相关白皮书 .....	12
6 主要研究范畴 .....	13
7 问题划分 .....	14
8 参考资料 .....	17

## 第一部分 MEC 概述

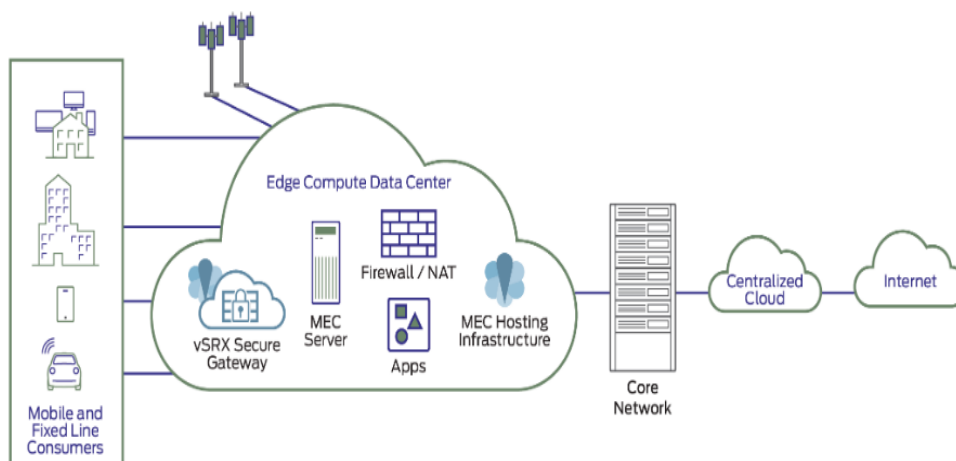
为什么需要多接入边缘计算？多接入边缘计算是什么？与多接入边缘计算相似的技术有哪些？5G 和多接入边缘计算的关系又如何？本章节先对多接入边缘计算进行简单介绍，引出相似的边缘计算解决方案，及相关的技术标准组织；边缘计算的价值引起许多行业关注，并发布了许多与边缘计算相关白皮书。最后，针对边缘计算目前的研究进展，总结了相关的技术问题和主要挑战。

### 1 简介

物联网和大数据时代的快速发展，带来了指数式增长的终端连接种类和移动数据流量以及更加多样化的服务场景，超低时延、超高能效、超高可靠性和超高密度连接成为了未来移动通信系统的必备要求。传统的云计算模式中数据回传链路带来的较高时延、较高损耗，已不能满足海量设备、海量数据、超低延时、超高带宽等处理需求，需要新的计算模式对云计算所暴露出的问题进行解决，于是出现了微云、雾计算和移动边缘计算、边缘计算等技术。

ETSI 对于 MEC (multi-access edge computing: 多接入边缘计算) 的标准定义是：在移动网边缘提供 IT 服务环境和云计算能力<sup>[1]</sup>。移动边缘计算(MEC)技术的概念，最早提出于 2009 MEC 年卡内基梅隆大学所研发的 cloudlet 计算平台<sup>[2]</sup>。2014 年，欧洲电信标准协会(ETSI)正式定义了 MEC 的基本概念并成立了 MEC 规范工作组，开始启动相关标准化工作<sup>[3]</sup>。2016 年，ETSI 将此概念扩展为多接入边缘计算(MEC)，并将移动蜂窝网络中的边缘计算应用推广至其他无线接入网络（如 Wi-Fi）。移动、无线和有线网络所有的边缘设备网络接入场景，并为这些场景提供边缘计算服务。

所谓边缘，既包括移动终端、移动通信基站及无线网络控制器，也包括无线网络内的其他特定设备，例如基站汇聚节点。对于运营商而言，网络可分为：无线接入网、移动核心网、应用网络。其中，无线接入网由基站组成，负责移动终端的接入；移动核心网由一堆高性能的路由器和服务器组成，负责将无线基站连接到外部网络；应用网络就是各种应用服务器工作的地方，实际上就是各种数据中心、服务器甚至 PC。运营商基本上只掌管无线接入网和移动核心网两部分，应用网络通常在 OTT 手里，这三种网络在用户终端和应用服务器之间交替传递数据，完成用户的各种上网需求。利用部署于网络边缘的服务器，移动运营商可面向各种上层应用提供生产运行环境，实现移动业务的下沉，提高其业务分发、传送能力，进一步减少时延，并有效抑制核心网络内的拥塞产生。另外，还可以把 MEC 与传统的数据中心做一比较，传统的数据中心可以简单理解为集中式的大数据处理平台，而 MEC 可以简单理解为边缘式的大数据处理平台，即把传统的数据中心切割成各种小型数据中心后放置到网络的边缘，以期更靠近用户，为用户提供更快的服务和达到更好的网络性能。



MEC 中网络边缘可能包括如下接入点：

- ✓ 基站，包括移动基站，基站，中心局点基站、宏站
- ✓ 适用于 LTE / 5G 的 RAN

✓WiFi 的无线网络控制器

✓电缆调制解调器终端系统（CMTS）用于电缆

✓PON OLT 光纤；其他网络接入点，如 Zigbee, CBRS, LoRA, DSL, MuLTEfire, 私有 LTE。

✓Small cells（小型蜂窝基站）

✓数据中心（或微型数据中心）

✓路由器

✓交换

✓WiFi 接入点

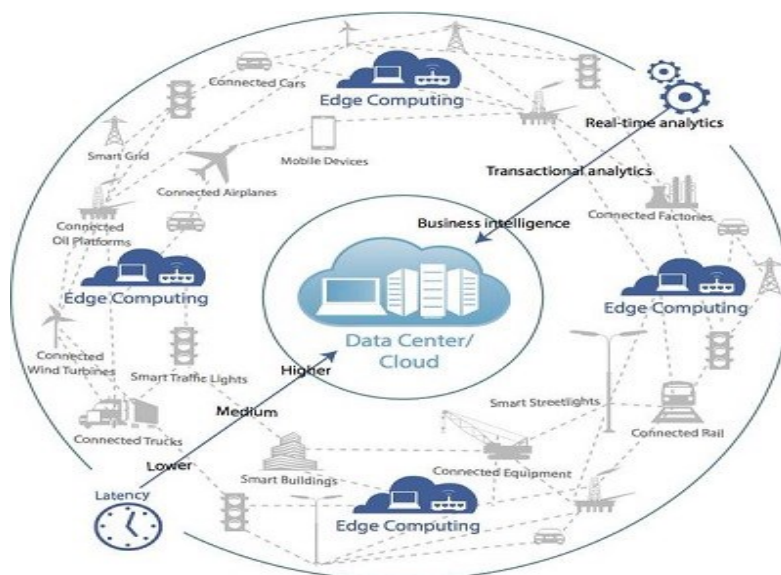
总之，MEC 技术是 OT（Operation Technology）与 ICT（Information and Communication Technology）技术的深度融合与协作，是 5G 移动通信系统的重要技术之一。可应用于具有低时延、高带宽传输、位置感知、网络状态上下文信息感知等需求的移动互联网和物联网业务，有效缓解业务应用快速发展给移动网络带来的高网络负荷、高带宽以及低时延等要求。

## 2 相似解决方案

### 2.1 边缘计算

边缘计算是一种通过将计算应用、数据和服务的控制从某些中心节点(“核心”)带到另一个连接物理世界的互联网末端(“边缘”)的云计算系统优化方法。换句话说，是一种分散式运算的架构，将应用程序、数据资料与服务的运算，由网络中心节点，移往网络逻辑上的边缘节点来处理。将原本完全由中心节点处理大型服务加以分解，切割成更小与更容易管理的部分，分散到边缘节点去处理<sup>[4]</sup>。边缘节点更接近于用户终端装置，可以加快资料的处理与传送速度，减少延迟。

边缘计算的一个特点是应用与边缘的位置紧密相关。对于运营商来说，边缘指一个位置靠近用户但是却由供应商控制，潜在地在用户的设备上运行着不同种类的计算任务。对于大型企业来说，边缘指一个应用程序、服务和工作任务正在运行的位置（如，零售商店或者工厂）。对于这个定义而言，边缘不是指那些支持能够支持最小化云架构并资源有限的终端设备，如 IoT 或者传感设备<sup>[5]</sup>。边缘计算的概念必须包括边缘站点（如计算、网络和存储基础设施），和运行着的应用程序（计算任务）。边缘计算环境中的应用程序还是能够享有云计算中的各种资源，如计算、块存储、对象存储、虚拟网络、裸机或者容器。



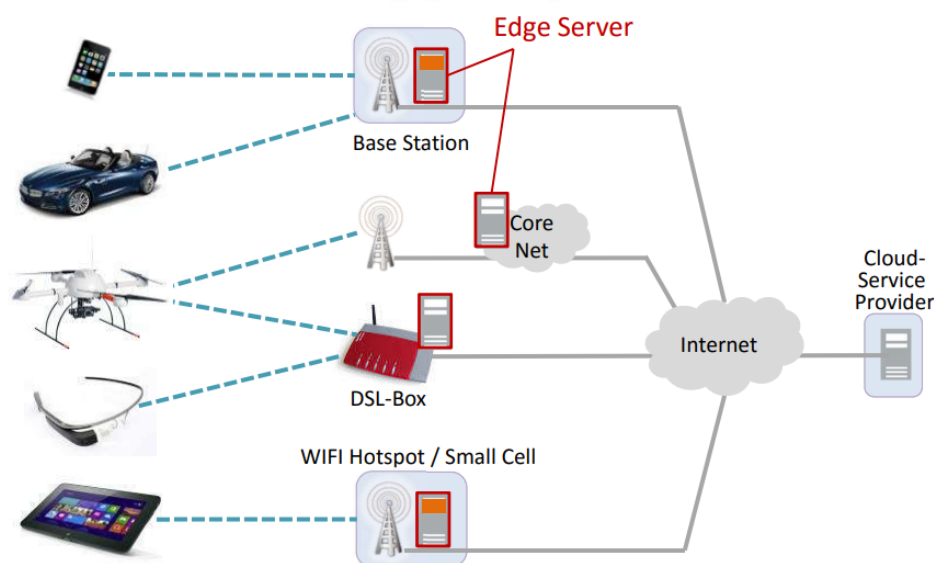
2015 年，卡内基梅隆大学、华为、英特尔等发起成立的 OpenEdgeComputing.org(开放边缘计算联盟)，对边缘计算架构的定义如下：边缘计算提供了与用户非常接近的小型数据中心（边缘节点）。它通过与计算和存储资源的低延迟交互，仅距离用户一跳即可显著改善客户体验。2016 年，华为、英特尔、ARM、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院和软通动力发起成立的边缘计算产业联盟(Edge Computing Consortium，简称 ECC)，对边缘计算的定义如下：边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。它可以作为联接物理和数字世界的桥梁，使能智能资产、智能网关、智能系统和智能服务<sup>[6]</sup>。

所有边缘设备包括网关、WiFi 接入点，基站，车辆，工业计算设备，通过开放和标准的机制，将计算能力提供给任意应用，设备，或者传感器等。MEC 创建了一个新的生态系统和价值链，运营商可以向授权的第三方开放其无线接入网络（RAN）边缘，使他们能够灵活快速地向移动用户，企业和垂直网段部署创新的应用和服务。

MEC 几乎囊括了端到端、端到数据中心、端到设备的所有厂商、开发商、服务商、开发者个人等，如移动运营商，应用程序开发商，Over the Top（OTT）参与者，独立软件供应商（ISV），电信设备供应商，IT 平台供应商，系统集成商和技术提供商等。

## 2.2 微云

微云是由移动计算和云计算融合而来的新型网络架构元素，它代表移动终端、微云和云三层架构的中间层，可以被视作“盒子”里的数据中心<sup>[7]</sup>。微云是 Open Edge Computing(OEC)的研究成果，该项目最初由卡内基梅隆大学发起，而后受到了包括英特尔、华为、沃达丰在内的多家公司的广泛支持，主要致力于对边缘计算应用场景、关键技术和统一 API 的研究。微云的设计灵感来自于触觉互联网（Tactile Network），致力于实现信息的超低时延传输。相比于 MEC 和雾计算来说，微云主要用于移动增强，能够为移动设备提供丰富的计算资源，尤其关注边缘的视频分析应用，能够提取边缘数据的标签和元数据并传输到云，以实现高效的全局搜索。此外，微云还可以直接运行在终端上，比如车辆、飞机等<sup>[8]</sup>。

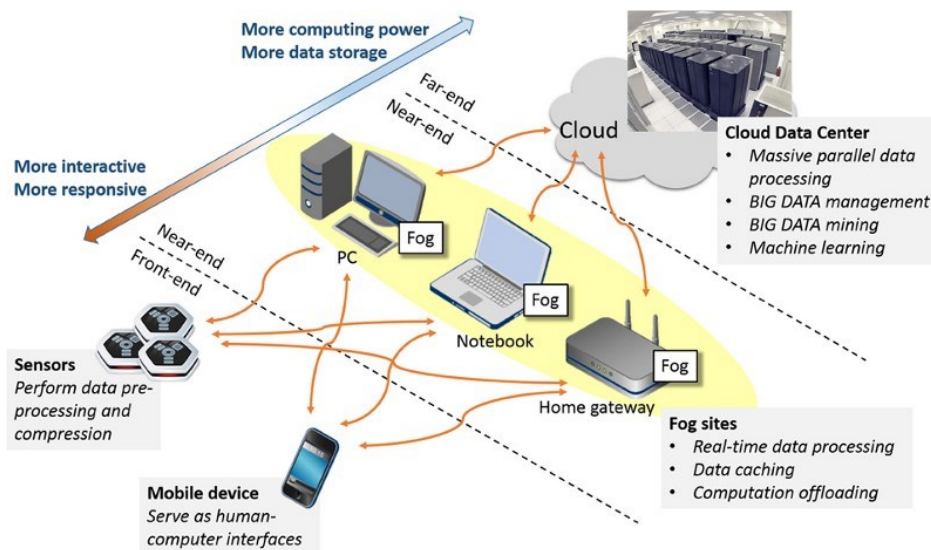


## 2.3 雾计算

雾计算是指将计算、通信、控制和存储资源与服务分布给用户或靠近用户的设备与系统，从而将云计算模式扩展到网络边缘。雾计算最初是由思科提出来的，更侧重于在物联网上的应用，其目标是将基本分析服务引入网络边缘，通过将计算资源定位在更接近需要的位置来提高性能，从而减少数据在网络上传输距离，提高整体网络效率和性能。

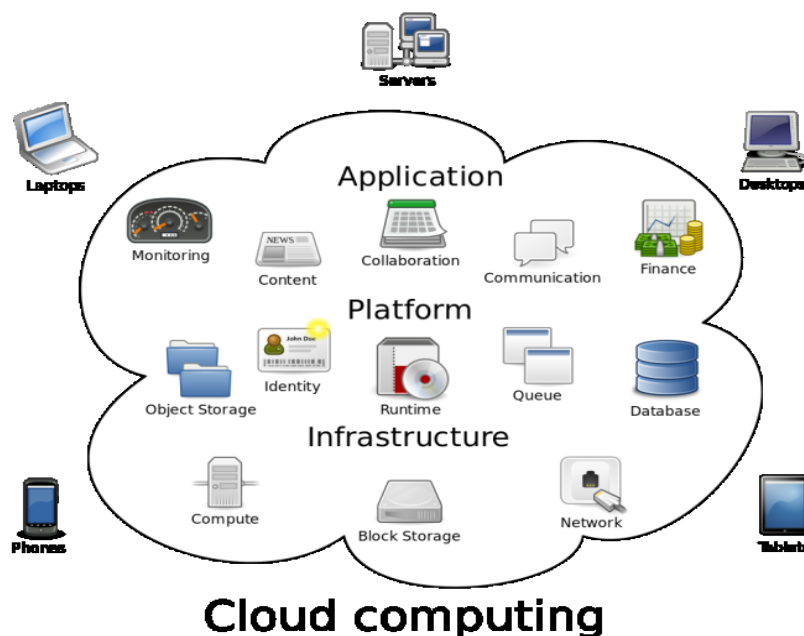
2015 年 11 月，ARM、思科、戴尔、英特尔、微软和美国普林斯顿大学联合成立了开放雾联盟（Open Fog Consortium），该联盟旨在通过开发开放式架构、分布式计算、联网和存储等核心技术以及实现物联网全部潜力所需的领导力，加快雾计算的部署。OpenFog 架构利用开放的标准方法，将云端的无缝智能与物联网终端联合在一起<sup>[9]</sup>。

雾计算是一种分布式的计算模型，作为云数据中心和物联网（IoT）设备/传感器之间的中间层，提供计算、网络 and 存储设备，让基于云的服务可以离物联网设备和传感器更近。雾计算环境由传统的网络组件，例如路由器、开关、机顶盒、代理服务器、基站等构成，可以安装在离物联网终端设备和传感器较近的地方。



## 2.4 对比分析

“边缘”是个相对概念，其中一层意思是离数据中心较远更接近数据的源头。网络边缘通常是指网络的接入层，靠近用户端，用于汇聚用户网络（LAN）的网络层面。网络边缘的资源主要包括手机，个人电脑，PAD 等用户终端设备，WiFi 接入、无线网络基站、路由器、网关等基础设施，摄像头、机顶盒，智能家居设备、车联网设备、物联网终端设备等嵌入式设备，Cloudlet 等小型计算中心等<sup>[10]</sup>。网络边缘设备产生的数据、储存、计算、网络等应用场景需求，从而孕育出各种边缘解决方案。



我们熟知的云计算，一种利用网络实现随时随地、按需、便捷地使用共享计算设施、存储设备、应用程序等资源的计算模式。在云计算架构中，所有数据都在集中位置（通常在数据中心）收集和存储。需要访问此数据或使用与之关联的应用程序的



所有设备必须首先连接到云。由于所有内容都是集中式的，因此云通常易于安全和控制，同时仍允许可靠的远程访问。边缘计算、雾计算、微云、移动边缘计算（多接入移动边缘计算）等作为云计算技术补充，用于解决海量数据计算、大量设备接入、安全性、延时性、传输能力、移动性、可靠性等各种场景应用需求问题。

与云解决方案不同，云解决方案意味着将内容（数据、应用程序等）存储在数据中心中，雾中的接触点将转移到网络的边缘（因此它是称为边缘计算（edge computing），或者换句话说，它们像雾一样在他们的用户中传播。雾计算不仅包括边缘计算，还包括将处理过的数据送到最终目的地所需的网络。边缘计算有时也称为“雾”计算。如果天空中存在云，并且雾靠近地面，那么雾就是实际上坐落在地面上的。因此，雾的概念是将雾扩展到可能的最远点，直接进入物联网端点设备本身。

	Cloud Computing	Fog Computing	Edge Computing	Mist Computing
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>Central processing based model</li> <li>Fulfills the need for large amounts of data to be accessed more quickly, this demand is ever-growing due to cloud agility</li> <li>Accessed through internet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coined by CISCO</li> <li>Extending cloud to the edge of the network</li> <li>Decentralized computing</li> <li>Any device with computing, storage, and network connectivity can be a fog node, can be put on railway track or oil rig.</li> <li>Fog computing shoves intelligence down to the local area network level of network architecture, processing data in a fog node or IoT gateway</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fog computing usually work with cloud and Edge can work without cloud or fog.</li> <li>Edge is limited to smaller number of peripheral layers</li> <li>Edge computing pushes the intelligence, processing power and communication of an edge gateway or appliance directly into devices like programmable automation controllers (PACs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Middle ground between cloud and edge/fog</li> <li>Lightweight computing residing in the network fabric using micro-controllers and microchips</li> <li>Not a mandatory layer of fog computing</li> </ul>
Pros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Easy to scale</li> <li>Low cost storage</li> <li>Based on Internet driven global network on robust TCP/IP protocol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Real time data analysis</li> <li>Take quick actions</li> <li>Sensitive data remains inside the network</li> <li>Cost saving on storage and network</li> <li>More scalable than edge computing</li> <li>Operations can be managed by IT/OT team</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Edge computing simplifies internal communication by means of physically wiring physical assets to intelligent PAC to collect, analysis and process data.</li> <li>PACs then use edge computing capabilities to determine what data should be stored locally or sent to the cloud for further analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Local decision making data</li> <li>Works with fog computing and cloud platform</li> </ul>
Cons	<ul style="list-style-type: none"> <li>Latency/Response time</li> <li>Bandwidth cost</li> <li>Security</li> <li>Power consumption</li> <li>No offline-mode</li> <li>Sending raw data over internet to the cloud could have privacy, security and legal issues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fog computing relies on many links to move data from physical asset chain to digital layer and this is a potential point of failure.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Less scalable than fog computing</li> <li>Interconnected through proprietary networks with custom security and little interoperability.</li> <li>No cloud-aware</li> <li>Cannot do resource pooling</li> <li>Operations cannot be extended to IT/OT team</li> </ul>	
Misc.		<ul style="list-style-type: none"> <li>Less sensitive and non-real-time data is sent to the cloud for further processing</li> <li>Fog node can be deployed in private, community, public or hybrid mode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PACs ( programmable automation controllers ) then use edge computing capabilities to determine what data should be stored locally or sent to the cloud for further analysis</li> <li>Intelligence is literally pushed to the network edge, where our physical assets are first connected together and where IoT data originates</li> <li>The current Edge Computing domain is a sub-set of Fog Computing domain.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Architecture may not require Cloud</li> </ul>

边缘计算是位于网络边缘的基于云的 IT 服务环境的总称。多接入边缘计算（Multi-Access Edge Computing）是由欧洲电信标准协会（ETSI）创建的边缘计算标准体系结构。边缘计算（Edge Computing）和多接入边缘计算（Multi-Access Edge Computing）目的都是为分布在网络边缘的设备提供实时、高带宽、低延迟、安全可靠的访问。目标是通过执行更接近最终用户的相关任务处理来减少网络拥塞并提高应用程序性能，从而改进向这些用户提供内容和应用程序。

MEC 指移动边缘计算或多接入边缘计算，前者更多以蜂窝网络为中心（LTE 和 5G），后者在前者的基础上引入了 WiFi 和其他无线、有线接入技术。边缘计算更多的是考虑边缘服务的计算能力，而多类型网络的接入能力、通信能力、设备功耗等考虑比较弱。而 MEC 是边缘计算的一种延伸扩展，引入边缘计算能力的同时，考虑的了无线网络接入能力、通信能力，同时还综合考虑了其他无线（如 WiFi）、有线网络的接入和计算能力，特别是针对未来 5G 无线移动网络场景下各类设备和用户的需求问题。因此，MEC 更加有助于优化第五代网络资源，包括最需要的聚焦通信和计算能力。

### 3 MEC 与 5G

MEC 起初的设计思路是希望能够在移动基站上引入业务平台功能，使得业务应用能够部署在移动网络的边缘。随着 ETSI MEC 标准的发展和成熟，MEC 技术也从 3GPP 移动网络为目标，扩展到了非 3GPP 网络（WiFi、有线网络等），以及发展到目前的 3GPP 5G 网络中，并与 5G 网络充分融合相互促进。本章节先简单介绍 5G 的主要场景和关键性能，然后描述了 MEC 与 5G 融合部署，3GPP 标准对 MEC 的支持，最后介绍了 MEC 对 5G 的促进作用。

### 3.1 5G 简介

ITU 将 5G 时代的主要移动网络业务划分为三类：eMBB（Enhanced Mobile Broadband），uRLLC（Ultra-reliable and Low-latency Communications）以及 mMTC（Massive Machine Type Communications）。eMBB 聚焦对带宽有极高需求的业务，例如高清视频，虚拟现实/增强现实等等，满足人们对于数字化生活的需求；uRLLC 聚焦对时延极其敏感的业务，例如自动驾驶/辅助驾驶，远程控制等，满足人们对于数字化工业的需求；mMTC 则覆盖对于联接密度要求较高的场景，例如智慧城市，智能农业，满足人们对于数字化社会的需求。

5G 主要场景与关键性能挑战<sup>[11]</sup>

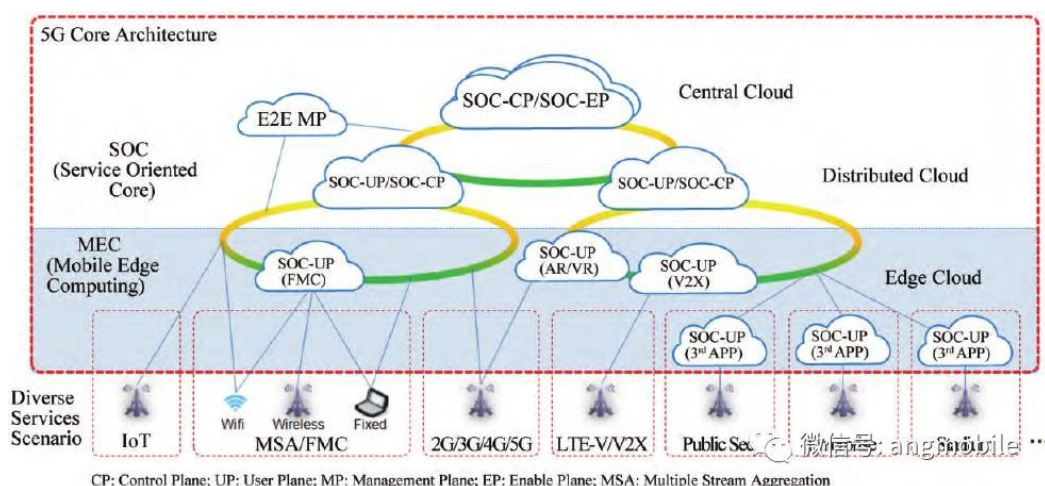
场景	关键挑战
连续广域覆盖	• 100Mbps 用户体验速率
热点高容量	• 用户体验速率: 1Gbps • 峰值速率: 数十 Gbps • 流量密度: 数十 Tbps/km <sup>2</sup>
低功耗大连接	• 连接数密度: 10 <sup>6</sup> /km <sup>2</sup> • 超低功耗, 超低成本
低时延高可靠	• 空口时延: 1ms • 端到端时延: ms 量级 • 可靠性: 接近 100%

### 3.2 MEC 在 5G 中的位置

5G 架构的三个主要组件：5G 新无线电（空中接口），NG-RAN（下一代无线接入网络）和 5GC（5G 核心）。MEC 被认为是满足 5G 要求的关键性能指标的关键技术之一，特别是在低延迟和带宽效率方面。电信网络中的 MEC 不仅是要求严格的 KPI 的技术推动者，它还在电信业务的转型中发挥着重要作用，电信业务正在转变为工业和其他特定客户群的多功能服务平台。对此，5G 标准化组织提出了基站演进目标：基于 SDN/NFV 进行虚拟化；进行扁平化扩展与增强，网络存储和内容分发向用户端下沉到接入网；核心网用户面功能下沉到基站。5G 技术中，移动互联网开始向速度、时延和联接方面发展，5G 中对新型数据中心原则的定义是：

- 控制面集中：控制功能集中，形成核心云，实现更灵活的网络调度。
- 媒体面下沉：流量快速卸载，形成边缘云，优化流量和用户体验，提高网络效率。

国际标准组织 ETSI 提出的 MEC（Mobile Edge Computing，移动边缘计算）是基于 5G 演进架构，将基站与互联网业务深度融合的一种技术，移动边缘计算在 5G 网络架构中的位置如下图所示<sup>[12]</sup>。它将计算能力下沉到分布式基站，在无线网络侧增加计算、存储、处理等功能，将传统的无线基站升级为智能化基站。MEC 把计算和存储功能放到网络边缘，靠近终端用户，从而改善了应用的响应时间（减少时延），减少了穿过核心网和边缘计算服务器之间传输网的数据量。MEC 技术旨在提高移动通信网络的效率，为运营商和设备提供商在网络转型中提供一个平台，并为用户提供更好的体验。MEC 因需而生，效率是 MEC 的核心生命力。



### 3.3 3GPP 对 MEC 的支持

5G 是为满足未来网络的容量和性能要求而强制要求一些颠覆性技术。新兴的应用程序（如 AI，IoT，AR / VR）需要大量的带宽需求和极低的延迟要求，需要通过其他新兴技术（如 SDN / NFV 和多接入边缘计算（MEC））来促进 5G。标准化机构，如 3GPP（用于 5G）和 ETSI（用于 MEC），一直致力于简化 5G 核心和 MEC 系统互通的程序<sup>[13]</sup>。目前，3GPP 已经在 5G 系统中引入了大量的使能技术，如果由服务提供商部署，则可以直接支持 MEC 应用。在网络层面，5G 核心网支持多种灵活的本地分流机制、支持移动性、支持计费 and QoS 以及合法监听。在能力开放层面，5G 核心网支持 APP 路由引导、支持对未网络及用户的信息获取和控制<sup>[14]</sup>。



支持 5G 中的 MEC

- 1) UPF 重选，在与 PDU 会话建立期间，SMF（会话管理功能，Session Management Function）将选择适当 UPF。在 PDU 会话的生命周期期间，UPF 可以基于订阅者的位置而改变。因此，如果靠近用户的本地数据网络提供 MEC 服务，则可以重新选择 UPF，用户平面流量选择最佳路由路径。
- 2) 本地路由和流量控制，基于 UL CL（上行链路分类器，Uplink Classifier）和 IPv6 多归属（IPv6 Multi-homing）等技术，可以操纵设备的用户平面流量；一些流量可以被过滤转移到本地 MEC 资源（称为“本地访问数据网络”），而其余流量可以遵循到数据网络的常规路径。
- 3) 会话和服务连续性，当 PDU 会话建立时，它将与三种潜在的 SSC 模式之一相关联。这些定义了移动方案的 IP 地址连续性，并对 MEC 应用的移动性方面产生了潜在的重大影响。
- 4) AF 对流量路由的影响，与 PCF（策略控制功能，Policy Control Function）通信或直接通过 NEF（网络功能开放，Network Exposure Function），MEC 应用功能可以影响流量通过网络的路由，例如 MEC AF 可以通知 5G 网络订阅用户刚刚推出了游戏应用程序，其中包含 5G 网络的指令，可将游戏流量发送到本地 MEC 资源。



- 
- 5) 网络能力开放, PCF 可以直接通过 NEF 与 AF (应用功能) 交换网络能力信息, 例如网络事件, 供应, 策略控制, 计费, 分析。然后, 该能力信息可以影响 MEC 操作。
- 6) QoS 和计费, PCF 可以为与 MEC 相关的 PDU 会话提供 QoS 和计费规则。这确保了 MEC 相关的用户平面流量接收到正确的 QoS 处理, 并且因此被适当地计费。
- 7) LADN (本地区域数据网, Local Area Data Network), 5G 支持 LADN 连接, 适用于特定的地理区域。因此, 该设备必须位于由 LADN 服务的跟踪区域集合之一, 以接收可以容纳在 LADN 内的基于 MEC 的服务。

### 3.4 MEC 对 5G 的促进作用

几个不同的角度, 包括 MEC 的关键技术如业务和用户感知、跨层优化等, 以及诸如网络能力开放、C/U 分离等 5G 趋势技术, 来分析 MEC 对 5G 发展的促进作用<sup>[15]</sup>。

(1) 5G 网络智能化发展趋势的重要特征之一就是内容感知, 通过对网络流量的内容分析, 可以增加网络的业务黏性、用户黏性和数据黏性。业务和用户感知是 MEC 的关键技术之一, 通过在移动边缘对业务和用户进行识别, 可以优化利用本地网络资源, 提高网络服务质量, 并且可以对用户提供差异化的服务, 带来更好的用户体验。与核心网的内容感知相比, MEC 的无线侧感知更加分布化和本地化, 服务更靠近用户, 时延更低, 同时业务和用户感知更有本地针对性。但是, 与核心网设备相比, MEC 服务器能力更受限。MEC 对业务和用户的感知, 将促进运营商传统的哑管道向 5G 智能化管道发展。

(2) MEC 有效推动跨层优化。MEC 由于可以获取高层信息, 同时由于靠近无线侧而容易获取无线物理层信息, 十分适合做跨层优化。跨层优化是提升网络性能和优化资源利用率的重要手段, 在现网以及 5G 网络中都能起到重要作用。目前 MEC 跨层优化的研究主要包括视频优化、TCP 优化等。移动网中视频数据的带宽占比越来越高, 这一趋势在未来 5G 网络中将更加明显。当前对视频数据流的处理是将其当做 Internet 一般数据流处理, 有可能造成视频播放出现过多的卡顿和延迟。而通过靠近无线侧的 MEC 服务器估计无线信道带宽, 选择适合的分辨率和视频质量来做吞吐率引导, 可大大提高视频播放的用户体验。另一类重要的跨层优化是 TCP 优化。TCP 类型的数据目前占据 Internet 流量的 95%至 97%。但是, 目前常用的 TCP 拥塞控制策略并不适用于无线网络中快速变化的无线信道, 造成丢包或链路资源浪费, 难以准确跟踪无线信道状况变化。通过 MEC 提供无线低层信息, 可帮助 TCP 降低拥塞率, 提高链路资源利用率。其他的跨层优化还包括例如对用户请求的 RAN 调度优化 (比如允许用户临时快速申请更多的无线资源), 以及对应用加速的 RAN 调度优化 (比如允许速率遇到瓶颈的应用程序申请更多的无线资源) 等。

(3) 网络能力开放旨在实现面向第三方的网络友好化, 充分利用网络能力, 互惠合作, 是 5G 智能化网络的重要特征之一。除了 4G 网络定义的网络内部信息、QoS 控制、网络监控能力、网络基础服务能力等方面能力的对外开放外, 5G 网络能力开放将具有更加丰富的内涵, 网络虚拟化、SDN 技术以及大数据分析能力的引入, 也为 5G 网络提供了更为丰富的可以开放的网络能力。由于当前各厂商设备各异, 缺乏统一的开放平台, 导致网络能力开放需要对不同厂商的设备分别开发, 加大了开发工作量。ETSI 对 MEC 的标准化工作中很重要的一块就是网络能力开放接口的标准化, 包括对设备的南向接口和对应用的北向接口。MEC 将对 5G 网络的能力开放起到重要支撑作用, 成为能力开放平台的重要组成部分, 从而促进能力可开放的 5G 网络的发展。

MEC 由于将服务下移, 流量在移动边缘就进行本地化卸载, 计费功能不易实现, 也存在安全问题。而 C/U 分离技术通过控制面和用户面的分离, 用户面网关可独立下沉至移动边缘, 自然就能解决 MEC 计费和安全问题。所以, 作为 5G 趋势技术之一的 C/U 分离同时也是 MEC 的关键技术, 可为 MEC 计费和安全提供解决方案。MEC 相关应用需求的按流量计费功能和安全性保障需求, 将促使 5G 网络的 C/U 分离技术的发展。

(4) 网络切片作为 5G 的网络关键技术之一, 目的是区分出不同业务类型的流量, 在物理网络基础设施上建立起更适应于各类型业务的端到端逻辑子网络。MEC 的业务感知与网络切片的流量区分在一定程度上具有相似性, 但在流量区分的目的、

---

<sup>1</sup> 乐红文撰写 2019-7-1

区分精细度、区分方式上都有所区别，如表 1 所示。MEC 与网络切片的联系还在于，MEC 可以支持对时延要求最为苛刻的业务类型，从而成为超低时延切片中的关键技术。MEC 对超低时延切片的支持，丰富了实现网络切片技术的内涵，有助于驱使 5G 网络切片技术加大研究力度、加快发展。

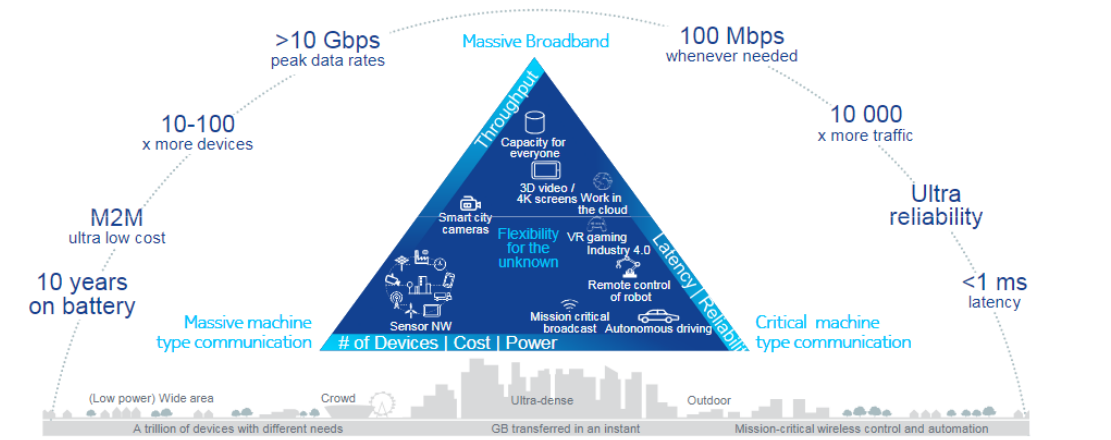


表 1 网络切片与 MEC 的流量区分比较

	网络切片	MEC
流量区分目的	逻辑上区分为网络的不同切片	仅决定是否进行流量卸载
流量区分精细度	按业务类型区分（如 eMBB 类型、uRLLC 类型、mMTC 类型等）	按业务、按服务提供商、按用户区分均可支持（精细度更高）
流量区分方式	一般认为按 PDN 连接类型（APN）进行流量区分	依赖于 L3/L4 信息（典型如 IP 五元组）以及应用层信息区分数据流

总之，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、近距离、分布式部署，从而一定程度解决了 5G 网络高容量、低功耗大连接以及低延时高可靠等技术场景的业务需求。

#### 4 相关标准组织

##### 4.1 ETSI

2014 年，欧洲电信标准协会（ETSI）成立了移动边缘计算规范工作组（ETSI Mobile Edge Computing Industry Specification Group），开始推动相关的标准化工作。2016 年，ETSI 把此概念扩展为多接入边缘计算（Multi-Access Edge Computing, MEC），并综合考虑 FMC（固网/移动融合）的场景需求。2016 年 4 月，3GPP SA2 也正式接受 MEC，将之列为了 5G 架构的关键技术。

ETSI 多接入边缘计算组（MEC ISG）已发布其第一套第 2 阶段规范，包括 ETSI GS MEC 002，其中包括第 2 阶段的新要求，ETSI GS MEC 003 处理架构和框架，以及 ETSI GS MEC 009 给出了服务 API 的一般原则。规范 ETSI GS MEC 002 定义了对多接入边缘计算的要求，旨在促进互操作性和部署。它专注于 NFV 对齐，因为多接入边缘计算使用虚拟化平台在移动网络边缘运行应用程序。该规范还描述了示例用例及其技术优势，以便获得需求。这些更新的规范包含了扩展的 ETSI MEC 范围，适用于任何接入技术，并考虑与网络功能虚拟化（NFV）的集成。在 ETSI GS MEC 003 地址 MEC 应用的实现作为一个虚拟化的基础设施，它位于或接近网络边缘上运行纯软件实体。该规范的第 2 阶段版本的一个关键新方面是增加了 MEC-in-NFV 参考架构，该架构定义了 MEC 兼容边缘部署如何成为整个 NFV 云架构的一部分。

此外，此发布包还包括 ETSI GR MEC 022，一份关于 MEC 支持车辆到基础设施和车辆到车辆使用案例的报告。该报告涵盖了 V2X 社区通常所知的四个用例组，即“安全”，“便利”，“高级驾驶辅助”和“弱势道路使用者”。第 2 阶段还包括 ETSI GS MEC 026，这是一种支持多接入边缘计算法规要求的规范<sup>[16]</sup>。标准规范路径：[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/MEC/001\\_099/](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/)

ETSI deliverable	title	PDF link ( <a href="https://www.etsi.org/deliver/">https://www.etsi.org/deliver/</a> )
ETSI GS MEC 001 V1.1.1 (2016-03)	Mobile Edge Computing (MEC): Terminology	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/01.01.01_60/gs_mec001v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/01.01.01_60/gs_mec001v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 001 V2.1.1 (2019-01)	Multi-access Edge Computing (MEC): Terminology	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/02.01.01_60/gs_mec001v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/02.01.01_60/gs_mec001v020101p.pdf</a>

ETSI GS MEC 002 V1.1.1 (2016-03)	Mobile Edge Computing (MEC); Technical Requirements	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/01.01.01_60/gs_mec002v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/01.01.01_60/gs_mec002v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 002 V2.1.1 (2018-10)	Multi-access Edge Computing (MEC); Phase 2: Use Cases and Requirements	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/02.01.01_60/gs_mec002v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/02.01.01_60/gs_mec002v020101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 003 V1.1.1 (2016-03)	Mobile Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/01.01.01_60/gs_mec003v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/01.01.01_60/gs_mec003v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 003 V2.1.1 (2019-01)	Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/02.01.01_60/gs_mec003v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/02.01.01_60/gs_mec003v020101p.pdf</a>
ETSI GS MEC-IEG 004 V1.1.1 (2015-11)	Mobile-Edge Computing (MEC); Service Scenarios	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/004/01.01.01_60/gs_mec-ieg004v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/004/01.01.01_60/gs_mec-ieg004v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC-IEG 005 V1.1.1 (2015-08)	Mobile-Edge Computing(MEC); Proof of Concept Framework	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/005/01.01.01_60/gs_mec-ieg005v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/005/01.01.01_60/gs_mec-ieg005v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC-IEG 006 V1.1.1 (2017-01)	Mobile Edge Computing; Market Acceleration; MEC Metrics Best Practice and Guidelines	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/006/01.01.01_60/gs_mec-ieg006v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC-IEG/001_099/006/01.01.01_60/gs_mec-ieg006v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 009 V1.1.1 (2017-07)	Mobile Edge Computing (MEC); General principles for Mobile Edge Service APIs	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/009/01.01.01_60/gs_mec009v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/009/01.01.01_60/gs_mec009v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 009 V2.1.1 (2019-01)	Multi-access Edge Computing (MEC); General principles for MEC Service APIs	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/009/02.01.01_60/gs_mec009v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/009/02.01.01_60/gs_mec009v020101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 010-1 V1.1.1 (2017-10)	Mobile Edge Computing (MEC); Mobile Edge Management; Part 1: System, host and platform management	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/01001/01.01.01_60/gs_mec01001v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/01001/01.01.01_60/gs_mec01001v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 010-2 V1.1.1 (2017-07)	Mobile Edge Computing (MEC); Mobile Edge Management; Part 2: Application lifecycle, rules and requirements management	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/01002/01.01.01_60/gs_mec01002v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/01002/01.01.01_60/gs_mec01002v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 011 V1.1.1 (2017-07)	Mobile Edge Computing (MEC); Mobile Edge Platform Application Enablement	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/011/01.01.01_60/gs_mec011v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/011/01.01.01_60/gs_mec011v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 012 V1.1.1 (2017-07)	Mobile Edge Computing (MEC); Radio Network Information API	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/012/01.01.01_60/gs_mec012v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/012/01.01.01_60/gs_mec012v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 013 V1.1.1 (2017-07)	Mobile Edge Computing (MEC); Location API	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/013/01.01.01_60/gs_mec013v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/013/01.01.01_60/gs_mec013v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 014 V1.1.1 (2018-02)	Mobile Edge Computing (MEC); UE Identity API	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/014/01.01.01_60/gs_mec014v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/014/01.01.01_60/gs_mec014v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 015 V1.1.1 (2017-10)	Mobile Edge Computing (MEC); Bandwidth Management API	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/015/01.01.01_60/gs_mec015v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/015/01.01.01_60/gs_mec015v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 016 V1.1.1 (2017-09)	Mobile Edge Computing (MEC); UE application interface	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/016/01.01.01_60/gs_mec016v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/016/01.01.01_60/gs_mec016v010101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 016 V2.1.1 (2019-04)	Multi-access Edge Computing (MEC); UE application interface	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/016/02.01.01_60/gs_mec016v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/016/02.01.01_60/gs_mec016v020101p.pdf</a>
ETSI GR MEC 017 V1.1.1 (2018-02)	Mobile Edge Computing (MEC); Deployment of Mobile Edge Computing in an NFV environment	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/017/01.01.01_60/gr_mec017v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/017/01.01.01_60/gr_mec017v010101p.pdf</a>
ETSI GR MEC 018 V1.1.1 (2017-10)	Mobile Edge Computing (MEC); End to End Mobility Aspects	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/018/01.01.01_60/gr_mec018v010101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/018/01.01.01_60/gr_mec018v010101p.pdf</a>
ETSI GR MEC 022 V2.1.1 (2018-09)	Multi-access Edge Computing (MEC); Study on MEC Support for V2X Use Cases	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/022/02.01.01_60/gr_mec022v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/022/02.01.01_60/gr_mec022v020101p.pdf</a>
ETSI GR MEC-DEC 025 V2.1.1 (2019-06)	Multi-access Edge Computing(MEC); MEC Testing Framework()	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC-DEC/001_099/025/02.01.01_60/gr_mec-dec025v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC-DEC/001_099/025/02.01.01_60/gr_mec-dec025v020101p.pdf</a>
ETSI GS MEC 026 V2.1.1 (2019-01)	Multi-access Edge Computing (MEC); Support for regulatory requirements	<a href="https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/026/02.01.01_60/gs_mec026v020101p.pdf">https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/026/02.01.01_60/gs_mec026v020101p.pdf</a>

## 4.2 3GPP

基于 3GPP 规范的 ETSI ISG MEC 5G 网络是多接入边缘计算 (MEC) 部署的关键技术，作为 3GPP 系统（具有基于服务的架构 (SBA)）和 ETSI 行业规范组 (ISG) MEC 利用不同网络功能之间的交互，使系统操作与网络虚拟化和软件定义网络范例保持一致。3GPP 还在关于 5G 系统架构的技术规范 (TS) 23.501（第 5.13 条）中支持边缘计算，其中描述：由于用户或应用功能移动性，可能需要基于服务或 5G 网络的要求来提供服务或会话连续性。5G 核心网可以向边缘应用程序公开网络信息和功能<sup>[17]</sup>。同时，CCSA 也于 2017 年 8 月开始了“5G 边缘计算核心网关键技术研究”以及“5G 边缘计算平台能力开放技术研究”课题的立项研究。

5G 网络中的 MEC“白皮书”主要侧重于探索 3GPP 边缘计算使能以及 3GPP 生态系统如何从 MEC 系统及其 API 中受益<sup>[18]</sup>。未来集成的关键组成部分是 MEC 作为 5G 应用与 3GPP 5G 系统交互以影响边缘应用流量的路由以及接收相关事件（如移动性事件）通知的能力，提高效率和最终用户体验。

## 4.3 OpenFog

OpenFog Consortium 是一个致力于加速雾计算部署以应对伴随物联网(IoT)、5G 和人工智能(AI)应用而来的带宽、延迟和通信挑战的全球生态系统。联盟体现来自超过 55 家企业和大学成员的几百位行业领袖的集体智慧，其工作旨在基于开放技术标准创建一个框架，将有效的、可靠的网络和智能终端，与云、终端和服务之间的可识别的、安全的和隐私友好的信息流结合在一起。联盟是 ARM、思科、戴尔、英特尔、微软和普林斯顿大学于 2015 年 11 月建立的。OpenFog 联盟声称其与 MEC 不同，因为它涵盖了边缘和云之间的所有层，而 MEC 只覆盖了边缘，而不涉及云端。

OpenFog Consortium 的雾计算 OpenFog 参考架构已被 IEEE 标准协会 (IEEE-SA) 采纳为正式标准。被称为 IEEE 1934™ 的新标准将这个参考架构作为通用技术框架, 支持物联网 (IoT)、5G 和人工智能 (AI) 应用的数据密集型需求。2017 年 2 月发布的 OpenFog 参考架构基于八项被称为“支柱”的核心技术原则, 代表了系统需要包含的被定义为“OpenFog”的关键属性。这些支柱分别是安全性、可扩展性、开放性、自主性、RAS (可靠性、可用性和可维护性)、敏捷性、层次性和可编程性。参考架构现已成为 IEEE 标准—满足了用于云到物 (cloud-to-things) 统一体的可互操作端到端数据连接解决方案的需求<sup>[19]</sup>。

2017 年 9 月, Open Fog Consortium 宣布与 ETSI MEC ISG 合作, 共同推进边缘计算。OpenFog 也正在与 ETSI 合作开发具有雾计算功能的移动边缘计算应用和技术, 这两个组织已经签署了谅解备忘录 (MOU), 表示将分享关于全球标准开发的雾化 MEC 技术, 包括 5G、IoT 和其他数据密集型应用。相关技术论文请查看: <https://www.iiconsortium.org/white-papers.htm>。

#### 4.4 OEC

任何边缘节点都将通过开放的全球标准化机制为任何近距离的用户提供计算和存储资源。任何用户应用程序或系统都能够独立于通信承载, 边缘节点技术和边缘运营商来利用附近的边缘计算服务。开放边缘计算 (Open Edge Computing, OEC) 是多家公司的共同努力, 推动围绕边缘计算的商机和技术。边缘计算计划通过以下方式推动围绕边缘计算的生态系统的发展<sup>[20]</sup>:

- 1) 提供关键边缘功能的参考实现
- 2) 提供有吸引力的边缘应用的现场演示
- 3) 创建一个真实的边缘计算测试和试验中心 (称为 Living Edge Lab)
- 4) 推动应用程序提供商, 电信和云服务提供商采用开放边缘计算

#### 4.5 ECC

2016 年 11 月, 由华为技术有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、英特尔公司、ARM 和软通动力信息技术 (集团) 有限公司联合倡议发起的边缘计算产业联盟 (Edge Computing Consortium, 缩写为 ECC) 在北京正式成立。该联盟旨在搭建边缘计算产业合作平台, 推动 OT 和 ICT 产业开放协作, 孵化行业应用最佳实践, 促进边缘计算产业健康与可持续发展<sup>[21]</sup>。根据边缘计算产业联盟的定义, 边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧, 融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台, 就近提供边缘智能服务, 以满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

#### 4.6 CCSA

中国通信标准化协会 (CCSA), 针对 MEC 研究进行了许多项目立项。在无线通信技术工作委员会 TC5 的移动通信核心网 WG12 工作组下, 2017 年新立有关边缘计算的项目有 3 个: TC5-WG12-2017-006Q 边缘计算技术研究、TC5-WG12-2017-002Q 边缘计算关键技术研究、TC5-WG12-2017-003Q 边缘计算总体技术要求。ST8 为 CCSA 特设的工业互联网组, 负责研究制订工业互联网标准体系、规划, 开展工业互联网相关标准的制修订工作, 促进工业互联网标准与产业的协调发展。项目包括面向工业互联网的边缘计算技术需求及场景、工业互联网边缘计算技术研究<sup>[22]</sup>。

### 5 相关白皮书

2015 年欧洲电信标准协会 (ETSI) 在最先发布的边缘计算白皮书, 该白皮书的内容涉及到边缘计算的定义、场景应用、平台架构、使能技术以及部署方案等诸多内容<sup>[23]</sup>。

2017 年 11 月 AT&T 的《AT&T Edge Cloud(AEC) -White Paper》<sup>[24]</sup>;

2017 年 2 月华为携手 IDC 发布 MEC 移动边缘计算白皮书《Mobile Edge Computing –A Gateway to 5G Era》;

2017 年 11 月, 工业互联网产业联盟与边缘计算产业联盟 (ECC) 联合发布《边缘计算架构 2.0》白皮书<sup>[25]</sup>, 该书重点阐释了边缘计算的概念、特点、价值, 分别从概念视图、功能视图、部署视图三个维度全方位展现 ECC 边缘计算参考架构 2.0, 提出构建模型驱动的智能分布式开放架构, 实现架构极简, OICT 设施自动化和可视化, 以及资源服务与行业业务需求的智能协同, 通过全层次开放架构推动跨产业的生态协作, 产品的快速孵化, 为边缘计算技术研发、应用创新和产业发展提供方向指

引。2018 年 ECC 在《边缘计算参考架构 2.0》基础上完成了《边缘计算参考架构 3.0》<sup>[26]</sup>，3.0 版本继续以 ISO/IEC/IEEE 42010:2011 架构定义国际标准为指导，经过补充完善形成了商业视图、使用视图、功能视图、部署视图等内容。

2017 年 6 月中国联通发布《中国联通边缘计算技术白皮书》本白皮书为 1.0 版本，白皮书基于 5G 业务需求及 MEC 产业进展，定义了中国联通对 MEC 平台能力和应用场景的需求，给出了中国联通 4G 网络 MEC 部署策略建议，及面向 5G 网络的演进规划。旨在重点探讨 MEC 商业合作模式，共建网络边缘生态，全面推动 5G 业务的蓬勃发展<sup>[27]</sup>。

2018 年 4 月 11 日，OpenStack 基金会正式对外发布《Cloud Edge Computing: Beyond the Data Center》中文版白皮书，中文名：《边缘计算-跨越传统数据中心》，白皮书对“边缘计算”这一概念进行了清晰的阐述，边缘计算是为服务提供商在网络的边缘侧提供云服务和 IT 环境服务<sup>[28]</sup>。边缘计算的目标是在靠近数据输入或用户的地方提供计算、存储和网络带宽。一个边缘计算的环境一般有以下特点：多个站点之间的潜在高延迟、网络不可靠和慢速带宽，伴随着一般数据中心中心化资源池所不能应对的其他交付服务和应用功能。通过将部分或者全部处理程序迁移至靠近用户或数据收集点，边缘计算能够大大减少在大规模分布式站点下给应用程序所带来的影响。边缘计算的“边缘”指的是位于管理域的边缘，尽可能地靠近数据源或用户。这个概念同样适用于运营商网络、有众多分支机构的大企业，如零售，或者是与 IoT 相关的其他应用。边缘计算的概念必须包括边缘站点(如计算、网络和存储基础设施)，和运行着的应用程序(计算任务)。边缘计算环境中的应用程序能够享有云计算中的各种资源，如计算、块存储、对象存储、虚拟网络、裸机或者容器。

2018 年 12 月阿里云联合中国电子技术标准化研究院发布《边缘云计算技术及标准化白皮书》，在业界首次从标准的角度明确定义了“边缘云计算”的概念、技术特点、应用场景及标准化建议。就目前边缘云生态中技术、产品、服务、应用等关键环节，结合国内外边缘云技术发展现状以及标准化需求，发挥国家标准化机构和行业领先企业的联合优势，阿里云率先倡议并组织开展了边缘云计算标准化体系框架建设，标准建议包括：基础、技术要求、管理要求、安全要求、行业及应用等，这些标准主要结合现有云计算标准体系做了延续和扩展，以满足边缘云计算的新需求和新特性<sup>[29]</sup>。

2019 世界移动大会（MWC 2019）首日，中国移动发布边缘计算“Pioneer 300”先锋行动，推进边缘计算技术发展和生态繁荣。与此同时，中国移动对外发布《中国移动边缘计算技术白皮书》，详细阐述了中国移动边缘计算的发展背景和对边缘计算 PaaS、IaaS 技术，以及硬件体系的解读。白皮书指出打造面向全连接算力平面，随着 5G 和工业互联网的快速发展，新兴业务对边缘计算的需求十分迫切，在众多垂直行业新兴业务中，对边缘计算的需求主要体现在时延、带宽和安全三个方面<sup>[30]</sup>。

## 6 主要研究范畴

MEC 旨是进一步减少延时、提高网络运营效率、提高业务分发/传送能力、有效降低核心网络负载、优化/改善终端用户体验等。MEC 一方面需要支撑 5G 网络新增的业务场景，如无人驾驶汽车、智能电网、工业通信等，对时延、能效、设备连接数和可靠性等指标，也需要兼容现有的 LTE 网络业务场景；另一方面需要应对移动互联网、物联网、AI 智能化、云大数据等高速发展；还需要解决行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

MEC 技术框架角度上，可以将 MEC 主要分为以下主要研究领域：底层支撑技术、平台组件关键技术、平台应用技术、平台部署策略。

a) 底层支撑技术：主要是针对 MEC 平台底层基础设施技术描述，包括基于硬件资源、系统软件、网络功能虚拟化技术。如 NFV、OpenStack 虚拟化操作系统、KVM、Docker 等虚拟化技术，还包括 D2D 通信技术、网络切片技术、SDN、虚拟交换、虚拟路由、微内核等基础技术。

b) 平台组件关键技术：主要是承载业务对外接口和能力开放的适配功能，如 MEC 系统和服务管理、迁移决策或资源分配管理、数据存储和内容缓存技术、异构资源协调和调度能力、服务编排和切换能力、网络路由能力、流量卸载、网络接入技术、无线网络信息服务等。



c)平台应用技术：为用户提供标准 API 或第三方应用服务，基于用户（包括终端有源设置）提供应用程序、API、内容服务等，如无线网络缓存、本地内容转发、增强现实、业务优化、车联网、IoT、移动网络切换、动态内容交付等应用程序或接口 API。

d) 平台部署策略：MEC 重要作用是靠近移动用户的网络边缘提供 IT 和云计算的能力，合理的 MEC 服务器部署位置和有利的 MEC 应用程序部署，对不同的场景业务或者相同场景的不同业务都存在不同的部署策略要求。

## 7 问题划分

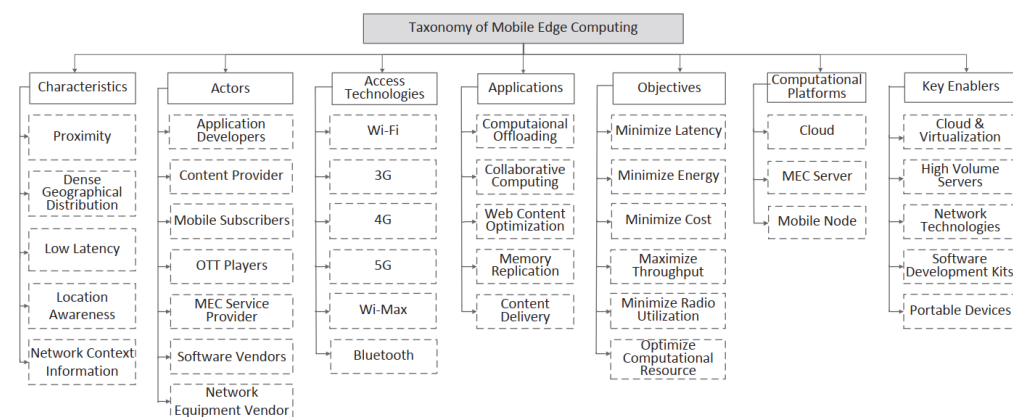
5G 三大应用场景：eMBB（增强移动宽带）、mMTC（海量机器类通信）和 uRLLC（超可靠低时延通信），每个业务场景都有其自身所面临的一些挑战。例如，eMBB 将对网络带宽产生数百 Gbps 的超高需求，从而对回传网络造成巨大传输压力；uRLLC 需要端到端 1ms 级超低时延支撑，仅仅依赖无线与固网物理层与传输层技术进步，无法满足苛刻的时延需求；mMTC 将产生海量数据，导致运营管理的巨大挑战，仅仅由云端集中统一监控无法支撑如此复杂的物联系统。MEC 恰好可以为这些问题带来解决方案，也是满足 5G 关键绩效指标（KPI）需求的一个主要支柱，同时能够推动 5G 技术发展。

从 ETSI 发布的 MEC 应用场景<sup>[31]</sup>我们可以初步的看看 MEC 需要解决的问题；

场景	场景特点	MEC 场景解决的问题
智能视频加速服务场景	不断变化带宽	最大限度利用无线网络资源，减少上下行网络拥塞，提升最终用户体验质量（QoE）
视频分流服务场景	高带宽	高效报文深度检测、压缩、数据分析，合理的数据分流，有效减少传输网络负载
增强现实场景	低延时和高带宽	本地化、高精度、实时网络数据分析和处理
密集计算辅助场景	密集连接	海量设备接入，内容感知计算卸载和协作计算能力
企业园区服务场景	企业网业务	多类型网络接入，企业网服务权限和资源有效隔离
车联网场景	低延时	分析与决策数据时效性、位置感知、网络上下文实时服务
物联网网关服务场景	海量数据	数据本地处理和储存、设备预置隔离性、部分设备的低延时性

除了 5G 网络对 MEC 技术需求外，MEC 平台还需要充分考虑 IoT 设备，如海量种类繁多的边缘设备接入边缘计算平台协议差异化，设备数据采集和使用的多样性、设备安全管理等。

从广义上可以将 MEC 研究问题分为 7 个方面，包括特点（Characteristics）、参与者（Actors）、接入技术（Access Technologies）、应用（Applications）、目标（Objectives）、计算平台（Computational Platforms）、关键使能技术（Key Enablers）<sup>[32][33]</sup>。



---

## 1) 特点

移动边缘计算可按以下属性进行分类：

- a) 临近性：在 MEC 中，移动设备通过无线网络（RAN）接入边缘网络。移动或便携式设备还可以通过设备到设备（D2D）通信连接到附近的设备，同时移动设备可以连接到位于移动基站的边缘服务器。由于，边缘服务器就在设备附近，它可以提取设备信息并分析用户行为，进而可以提高服务质量。
- b) 部署密集性：MEC 主机可以在多个地理位置上广泛部署，并提供信息（IT）和云计算服务。密集的地理上分散的基础设施对 MEC 有许多好处，可以基于用户移动性提供服务，而无需遍历整个广域网（WAN）。
- c) 低延迟性：移动边缘计算的目标之一是减少访问核心网的延迟。在 MEC，应用程序可以托管在位于边缘网络的边缘服务器或云计算中。与核心网相比，可以将大部分流量在边缘网络中有效利用少部分网络进入核心网络，这样可以减少核心网络负载并减少回传网络的时延。
- d) 位置感知性：当移动设备靠近边缘网络附近时，基站收集用户的移动模式并预测未来的网络状态。应用程序开发人员利用用户位置为用户提供上下文感知服务。
- e) 网络上下文信息：实时无线接入网络（RAN）信息（例如用户位置，无线网络状况，网络负载等）可以用来为移动用户提供上下文相关服务。应用程序开发人员和内容提供商利用网络上下文信息，可以有效提高用户满意度和体验质量（QoE）。

## 2) 参与者

MEC 系统生态环境由许多不同角色的个人和组织组成，MEC 平台在无线网络（RAN）范围内提供上下文感知、低延时、智能化云等服务。MEC 的总体目标是为所有参与者带来可持续发展的商业模式，并带动全球市场。这些参与者们包括应用开发商、内容提供商、移动用户、移动边缘服务提供商、软件供应商和 OTT 服务商等。

## 3) 接入技术

MEC 环境中，移动或便携式设备可以通过蜂窝网络（GPRS/CDMA/3G/4G/5G/Wi-MAX）或 Wi-Fi 等接入方式接入边缘网络，并与其他设备或边缘网络进行通信。由于网络部署密集性，用户可以切换到任何可用网络并与边缘网络建立连接。

## 4) 应用

MEC 提供一序具有潜力的应用程序，最近出现的应用可以分为计算卸载、协调计算、IoT 中的内存复制和内容分发。这些应用程序在边缘网络执行计算，充分利用网络带宽减少网络时延。上述应用程序还可以利用网络上下文信息，在用户处于移动状态是提供不同的服务，进而提供用户满意度。

- a) 计算卸载：许多应用程序是计算密集型的，如人脸识别、语音处理、移动游戏等。但是，在资源受限的设备上运行此类应用程序需要消耗大量的资源和电量。部分计算不是在移动主机中运行，而是传输到云数据中心，并在成功执行任务后返回结果。由于边缘设备和核心网之间的通信需要很长的延迟，因此在 MEC 中，密集型计算服务部署在网络边缘，相关计算任务被迁移下沉。

---

b) 协同计算：协同计算使许多个人和组织在分布式系统中相互协作。协同计算的应用范围涵盖从简单的传感设备到远程机器人手术，此类应用场景中，设备的位置和通信时延在整个过程中至关重要。在 MEC 环境中，增强实时协同应用在网络边缘提供了一个强大的实时上下文感知协作系统。

c)内存复制：最近几年，LTE 正在成为设备的主要连接技术。IoT 设备的计算和存储能力较差，这些设备从周围搜集数据，并将其作为内存对象迁移至可扩展的云基础设施，以做进一步的计算。IoT 设备的数量不断增长和高延时复制内存对象容易造成网络瓶颈。MEC 边缘网络部署在 IoT 设备附近并为其提供计算能力，能够有效减少网络时延。

d) 内容分发：内容分发技术可以优化 Web 访问服务，提供高可用性、高性能 web 服务和降低网络时延。传统 Web 内容分发技术已不能满足当前用户需求。MEC 可以基于网络状态和可用网络负载动态优化 Web 内容。由于接近设备。边缘服务器可以利用用户移动性和服务体验来优化呈现 web 内容。

## 5) 目标

目标特点定义了 MEC 的主要目标。MEC 的各个组成部分，如移动节点或网络运营商，都有不同的目标。移动节点试图借助 MEC 基础设施的计算和存储能力来最小化移动设备的通信时延和能耗。网络提供商的目标是最小化基础设施的成本，并实现高吞吐量。

## 6) 计算平台

计算平台特点表示 MEC 平台中不同的主机的计算功能。在对等计算中，任务被迁移至邻近移动设备。任务也可以迁移至部署在边缘网络的边缘云。MEC 服务器可以部署在每个基站。

## 7) 关键使能技术

MEC 技术实现需要各种关键使能技术的支持。使能技术有助于在无线接入网络内给移动用户提供上文感知、低延时、高带宽服务的不同技术。

a)云与虚拟化：虚拟化允许在同一物理硬件上创建不同的逻辑基础设施。位于网络边缘的云计算平台利用虚拟化技术创建不同的虚拟机，用于提供不同的云计算服务，如软件即服务、平台即服务和基础设施即服务。

b) 大容量服务器：传统大容量服务器或移动边缘服务器部署在网络的每个基站。移动边缘服务器执行传统的网络流量转发和过滤，并且负责执行被边缘设施迁移的任务。

c)网络技术：多个小蜂窝被部署在移动边缘计算环境中。Wi-Fi 和蜂窝网络是用于连接移动设备和边缘服务器的主要网络技术。

d) 移动设备：位于边缘网络的便携式设备技术低强度的任务和硬件相关（不能被迁移到边缘网络）的任务。便携式设备也在边缘网络内通过机器与机器间的通信执行对等计算。

e) 软件开发包：拥有标准化应用程序接口的软件开发有助于适应现有的服务，并促进新的弹性边缘应用开发。这些标准的应用程序接口易于集成到应用程序开发过程中。

---

## 8 参考资料

- [1] "Mobile Edge Computing: a building block for 5G". Telecompaper (subscription)-Jul 14, 2015
- [2] PATEL M, NAUGHTON B, CHAN C, et al.Mobile-Edge Computing Introductory Technical White Paper[R]. White Paper,Mobile-edge Computing (MEC) Industry Initiative, 2014
- [3] SATYANARAYANAN M, BAHL P, CACERESR, et al. The Case for VM-Based Cloudlets inMobile Computing [J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(4):14-23. DOI: 10.1109/MPRV.2009.82
- [4] Garcia Lopez, Pedro; Montresor, Alberto; Epema, Dick; Datta, Anwitaman; Higashino, Teruo; Iamnitchi, Adriana; Barcellos, Marinho; Felber, Pascal; Riviere, Etienne. Edge-centric Computing: Vision and Challenges. SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 2015-09-01, 45 (5): 37-42. ISSN 0146-4833
- [5] <https://www.openstack.org/assets/edge/OpenStack-EdgeWhitepaper-v3-online.pdf>
- [6] 《边缘计算参考架构 3.0》 (2018 年)
- [7] M. Haseeb, A. Ahsan and A. W. Malik, "Cloud to Cloudlet - An Intelligent Recommendation System for Efficient Resources Management: Mobile Cache," 2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), Islamabad, 2016, pp. 40-45.
- [8] 谢人,超黄,稻杨帆,刘韵洁 . 边缘计算原理与实践[M] . 北京: 人民邮电出版社, 2019: 14-17.
- [9] 李子姝, 谢人超, 孙礼, 黄韬,移动边缘计算综述[J], 电信科学, 2018,7.
- [10] 施巍松, 刘芳, 孙辉, 裴庆祺, 边缘计算[J], 科学出版社, 2018:2.
- [11] IMT-2020(5G)推进组 - 5G 概念白皮书[EB/OL]. <http://www.imt-2020.org.cn/zh/documents/1?currentPage=2&content=>
- [12] 尹东明. MEC 构建面向 5G 网络构架的边缘云[J]. 电信网技术, 2016(11):42-46.
- [13] UE Application Initiation and Offloading on MEC Deployments in a Standalone 5G Network[EB/OL]. <https://dzone.com/articles/ue-application-initiation-amp-offloading-on-mec-de>
- [14] 聂衡,赵慧玲,毛聪杰. 5G 核心网关键技术研究[J].移动通信, 2019,43(1): 2-6.
- [15] 戴 晶, 陈 丹, 范 斌. 移动边缘计算促进 5G 发展的分析[J].邮电设计技术, 2016(7):4-8.
- [16] 多接入边缘计算法规要求的规范[EB/OL].<https://www.etsi.org/standards#Pre-defined%20Collections>
- [17] 3GPP. System architecture for the 5G system: 3GPP TS 23.501 V15.2.0[S]. 2018-6

- 
- [18] ETSIWhitePapers. MEC in 5G networks.[EB/OL].  
[https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi\\_wp28\\_mec\\_in\\_5G\\_FINAL.pdf](https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp28_mec_in_5G_FINAL.pdf)
- [19] IEEE 采用 OpenFog 参考架构作为雾计算的正式标准[OL]. June 26, 2018. <https://www.globenewswire.com/news-release/2018/06/26/1529943/0/zh-hans/IEEE-%E9%87%87%E7%94%A8-OpenFog-%E5%8F%82%E8%80%83%E6%9E%B6%E6%9E%84%E4%BD%9C%E4%B8%BA%E9%9B%BE%E8%AE%A1%E7%AE%97%E7%9A%84%E6%AD%A3%E5%BC%8F%E6%A0%87%E5%87%86.html>
- [20] 开放边缘计算计划[OL].<https://www.openedgecomputing.org/>.
- [21] 边缘计算产业联盟[OL].<http://www.econsortium.org/>
- [22] 中国通信标准化协会[OL]. <http://www.ccsa.org.cn/>
- [23] European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Mobile-edge computing introductory technical white paper[OL]. [2016-12-03]. [https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/MEC/Docs/Mobile-edge\\_Computing\\_-\\_Introductory\\_Technical\\_White\\_Paper\\_V1%2018-09-14.pdf](https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/MEC/Docs/Mobile-edge_Computing_-_Introductory_Technical_White_Paper_V1%2018-09-14.pdf)
- [24] AT&T Edge Cloud (AEC) - White Paper[EB/OL].  
[https://about.att.com/ecms/dam/innovationdocs/Edge\\_Compute\\_White\\_Paper%20FINAL2.pdf](https://about.att.com/ecms/dam/innovationdocs/Edge_Compute_White_Paper%20FINAL2.pdf)
- [25] 边缘计算参考架构 2.0[OL].2017.<http://www.econsortium.org/Uploads/file/20171128/1511871147942955.pdf>
- [26] 边缘计算参考架构 3.0[OL].2018.<http://www.econsortium.org/Uploads/file/20190225/1551059767474697.pdf>
- [27] 中国联通边缘计算技术白皮书[OL].2017.  
[http://microraindrop.cn/eng/documents/China\\_unicom\\_edge\\_computing\\_whitepaper.pdf](http://microraindrop.cn/eng/documents/China_unicom_edge_computing_whitepaper.pdf)
- [28] 边缘计算：跨越传统数据中心[OL]. 2018. <https://www.openstack.org/edge-computing/>
- [29] 边缘云计算技术及标准化白皮书[OL].2018.<http://www.cesi.ac.cn/images/editor/20181214/20181214115429307.pdf>
- [30] 中国移动边缘计算技术白皮书[OL].2019.  
[https://res.cloudinary.com/i131/image/upload/v1552055763/blog/China\\_Mobile\\_Edge\\_Computing\\_Technical\\_White\\_Paper.pdf](https://res.cloudinary.com/i131/image/upload/v1552055763/blog/China_Mobile_Edge_Computing_Technical_White_Paper.pdf)
- [31] ETSI GS MEC-IEG 004 V1.1.1 (2015-11)
- [32] 吕华章,陈 丹,范 斌,王友祥,乌云霄. 边缘计算标准化进展与案例分析[J]. 计算机研究与发展, 2017(10):3.
- [33] Arif Ahmed, Ejaz Ahmed."A Survey on Mobile Edge Computing".2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), IEEE, 2016: 1-8.
- [34] 王尚广, 周傲, 魏晓娟, 柳玉炯. 移动边缘计算[M]. 北京: 北京邮电大学出版社,2017:17-23.



---

乐红文