



5G MEC承载网

白皮书

2020

5G时代，运营商
边缘计算的困局与破局



前言

全球已经掀起行业数字化转型的浪潮，数字化是基础，网络化是支撑，智能化是目标。智能技术已经率先在制造、电力、交通、医疗、农业等行业开始应用，行业智能时代已经来临。

边缘计算（MEC）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（架构），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。预测到 2022 年，超过 50% 的企业生成数据将在数据中心或云之外的边缘进行创建和处理。

5G 为边缘计算产业的落地和发展提供了良好的网络基础，主要体现在三大场景（eMBB，uRLLC 和 mMTC）的支持、核心网用户面功能的灵活部署以及 5G 网络能力开放等方面。

“5G + MEC + AI” 是 5G 在网络边缘更好使能各行各业的关键；是运营商助力垂直行业数字化和智能化的新模式；是运营商进入垂直行业的触点和重点场景；也是 5G 应用是否成功的一个重要标志。

5G MEC 将云计算和 5G 核心网带到网络边缘，带来了新的流量模型和部署模型。如果运营商还继续采用 4G 移动承载网的设计思路，在 5G 时代，运营商网络将面临边缘计算的困局。如何破局，建设一个“5G MEC Ready”的网络？是运营商网络规划必须解决的一个问题。

本文深入分析了 5G MEC 给网络带来的四大新挑战，提出了 5G MEC 网络规划的六大关键点和建议，以及网络参考模型。

目 录

前言.....	ii
1 边缘计算助力垂直行业数字化和智能化	1
1.1 行业智能时代的边缘计算	1
1.2 边缘计算的设备形态和价值	1
1.2.1 边缘计算的设备形态	1
1.2.2 边缘计算的 CROSS 价值和特性	2
1.3 MEC 是运营商进入垂直行业的新触点和重点场景	3
2 运营商网络的边缘计算困局	6
2.1 5G MEC 网络不是 4G 网络的简单升级	6
2.2 5G MEC 网络的四大新挑战	7
2.2.1 现场 MEC 新场景	7
2.2.2 5G 核心网下移	8
2.2.3 云边协同通信	9
2.2.4 MEC 的无缝 FMC 业务	10
3 运营商网络的边缘计算破局关键点	12
3.1 ECNI 的边缘计算网络模型	12
3.2 运营商网络的边缘计算破局关键点	13
3.2.1 ECA：最短路径	13
3.2.2 ECA 和 ECI：低延迟切片	14
3.2.3 ECI：灵活多点通信	15
3.2.4 ECN：集成网络架构	16
3.2.5 运营商网和企业网：MEC 安全和互通	17
3.2.6 网络支持云边协同	18
3.3 5G MEC 网络规划建议和网络架构参考模型	19
4 结束语.....	22
A 缩略语表	23
B 参考文献.....	26

插图目录

图 1-1 边缘计算的三种落地形态.....	2
图 1-2 5G 核心网架构：CUPS 和层次化 UPF.....	3
图 1-3 现场 MEC：5G 应用的新场景	5
图 2-1 4G 核心网集中式部署和 5G MEC 的 UPF 分布式部署	7
图 2-2 大型企业的现场 MEC 场景	8
图 2-3 5G MEC 的核心网网元间接口	9
图 2-4 5G MEC 的边云协同和边边协同通信	10
图 2-5 MEC 的 FMC 业务	11
图 3-1 ECNI 的边缘计算网络抽象模型	13
图 3-2 MEC 需要无绕行，低延迟接入网	14
图 3-3 ECA 和 ECI 的低延迟切片	14
图 3-4 ECI 的多点通信网络	15
图 3-5 ECN 参考模型	16
图 3-6 运营商和企业网在 MEC 上的安全互通	18
图 3-7 网络支持业务自动部署和云边协同的参考模型	19
图 3-8 MEC 视角的运营商网络架构参考模型	20
图 4-1 5G MEC 对运营商网络的四大挑战和六大关键	22

1 边缘计算助力垂直行业数字化和智能化

1.1 行业智能时代的边缘计算

全球已经掀起行业数字化转型的浪潮，数字化是基础，网络化是支撑，智能化是目标。通过对人、物、环境、过程等对象进行数字化产生数据，通过网络化实现数据的价值流动，以数据为生产要素，通过智能化为各行业创造经济和社会价值。智能化是以数据的智能分析为基础，从而实现智能决策和智能操作，并通过闭环实现业务流程的持续智能优化。

以大数据、机器学习、深度学习为代表的智能技术已经在语音识别、图像识别、用户画像等方面得到应用，在算法、模型、架构等方面取得了较大的进展。智能技术已经率先在制造、电力、交通、医疗、农业等行业开始应用，行业智能时代已经来临。

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（架构），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。

边缘计算被认为是 5G 与工业互联网、物联网等系统的重要结合点，有望带来更多的颠覆性业务模式。预计到 2022 年，超过 50% 的企业生成数据将在数据中心或云之外进行创建和处理，20% 的新工业控制系统将拥有分析和 AI 边缘推理能力，至少 50% 的高端工业物联网网关将提供可选的 5G 模块。欧洲电信标准研究所（ETSI）在 2014 年成立 MEC 工业专业组，关注运营商边缘计算的标准和工业使能，并且在 2016 年，将 MEC 的定义从移动边缘计算（Mobile Edge Computing）改为外延更广的多接入边缘计算（Multi-Access Edge Computing）；在运营商领域，MEC 一般被用来指代边缘计算系统。在 5G 时代，MEC 是运营商助力垂直行业数字化和智能化的新应用模式。

1.2 边缘计算的设备形态和价值

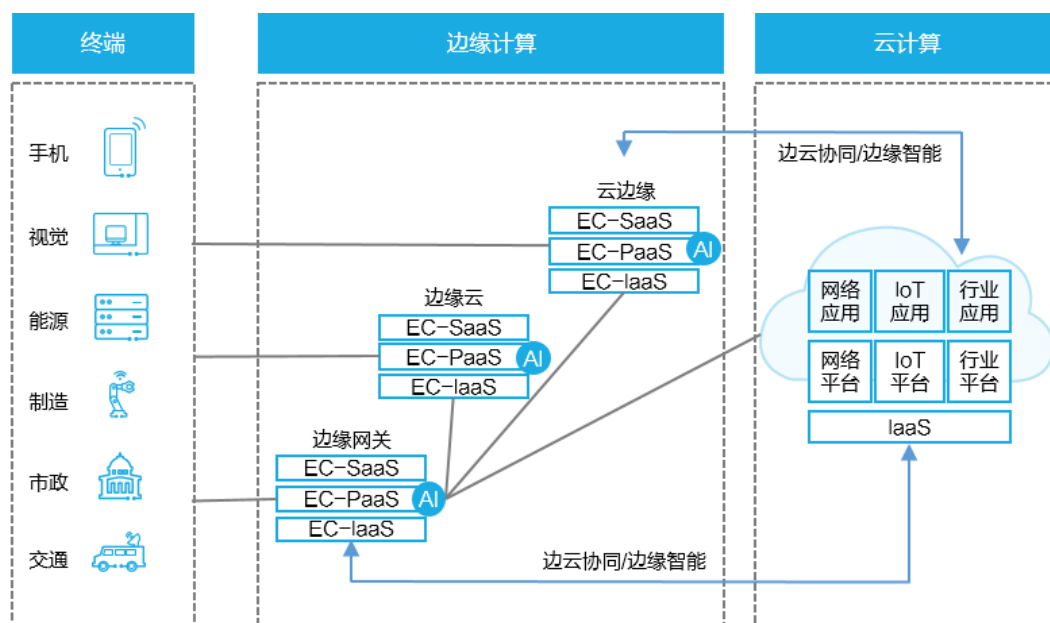
1.2.1 边缘计算的设备形态

边缘计算的本质是云计算在数据中心之外边缘节点的延伸和演进，以“边云协同”和“边缘智能”为核心能力发展方向；软件平台需要考虑导入云理念、云架构、云技术，提供端到端实时和协同式智能、可信赖、可动态重置等能力；硬件平台需要考虑异构计算能力，如鲲鹏、昇腾、ARM、X86、GPU、NPU、FPGA 等。

边缘计算产业联盟（ECC）^[1]将边缘计算系统的落地形态归纳为以下三种：云边缘，边缘云，边缘网关（见图 1-1）：

- 云边缘：云边缘形态的边缘计算，是云服务在边缘侧的延伸，逻辑上仍是云服务，主要的能力提供依赖于云服务或需要与云服务紧密协同。主要应用在公有云场景，如华为云提供的 IEF 解决方案、AWS 提供的 Greengrass 解决方案等均属于此类。
- 边缘云：边缘云形态的边缘计算，是在边缘侧构建中小规模云服务能力，边缘服务能力主要由边缘云提供；边缘云的管理调度能力由部署在中心云的系统完成。如运营商 MEC、CDN 等均属于此类。
- 边缘网关：边缘网关形态的边缘计算，以云化技术与能力重构原有嵌入式网关系统，边缘网关在边缘侧提供协议/接口转换、边缘计算等能力，部署在云侧的控制器提供边缘节点的资源调度、应用管理与业务编排等能力。边缘网关主要应用在工业联网和车联网等场景中。

图1-1 边缘计算的三种落地形态



1.2.2 边缘计算的 CROSS 价值和特性

- 联接的海量(Connection)
网络是系统互联与数据采集传输的基石。伴随联接设备数量的剧增，网络灵活扩展、低成本运维和可靠性保障面临巨大挑战。
- 业务的实时性 (Real-time)
工业系统检测、控制、执行，新兴的 VR/AR 等应用的实时性高，部分场景实时性要求在 10ms 以内甚至更低，如果数据分析和处理全部在云端实现，难以满足业务的实时性要求，严重影响终端客户的业务体验。
- 数据的优化 (Optimization)

当前工业现场与物联网末端存在大量的多样化异构数据，需要通过数据优化实现数据的聚合、数据的统一呈现与开放，以灵活高效地服务于边缘应用的智能。

- 应用的智能性 (Smart)

业务流程优化、运维自动化与业务创新驱动应用走向智能，边缘侧智能能够带来显著的效率与成本优势。

- 安全与隐私保护 (Security)

安全跨越云计算和边缘计算之间的纵深，需要实施端到端防护。网络边缘侧由于更贴近万物互联的设备，访问控制与威胁防护的广度和难度因此大幅提升。边缘侧安全主要包含设备安全、网络安全、数据安全与应用安全。此外，关键数据的完整性、保密性，大量生产或人身隐私数据的保护也是安全领域需要重点关注的内容。

1.3 MEC 是运营商进入垂直行业的新触点和重点场景

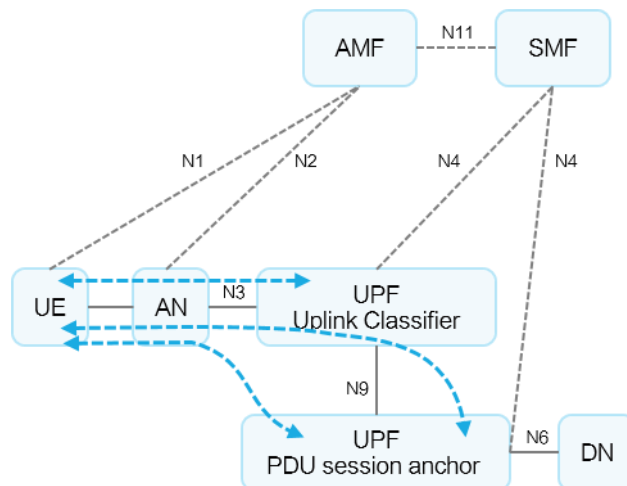
MEC 使能运营商在网络边缘分流业务，通过端到端整体方案为客户提供更低时延、更高带宽、更低成本的业务体验，快速响应用户请求并提升服务质量。MEC 使运营商更加贴近用户提供高质量的服务，甚至深入到企业园区里面，进一步促进运营商通信网络和企业业务的深度融合，提升网络的价值。

5G 为边缘计算产业的落地和发展提供了良好的网络基础，主要体现在三大场景的支持、用户面功能的灵活部署以及网络能力开放等方面。

5G 三大典型场景都与边缘计算密切相关。uRLLC 超高可靠低时延、eMBB（特别是超级上行技术）增强移动带宽以及 mMTC 海量机器类通信，可以分别支持不同需求的边缘计算场景。例如，对于时延要求极高的工业控制，对于带宽要求较高的 AR/VR、直播，对于海量连接需求高的 IoT 设备接入等新兴业务。此外，对于移动业务的连续性要求，5G 网络引入了三种业务与会话连续性模式来保证用户的体验，例如车联网等。

5G 用户面 UPF (User Plane Function) 的下沉和灵活部署实现了数据流量本地卸载。可以将边缘计算节点灵活部署在不同的网络位置来满足对时延、带宽有不同需求的边缘计算业务。5G 核心网采用控制面 (SMF: Session Management Function) 和用户面 UPF 分离的 CUPS (Control and User Plane Separation) 架构^[2]；即 5G 控制面集中部署，一个控制面 (SMF) 可以同时管理很多个 UPF 而不影响 5G 核心网的性能；5G 用户面分散部署，UPF 可以按需灵活分布部署，部署到网络边缘支持边缘计算。另外，不同于 4G 核心网，5G 核心网的用户面 UPF 可以分层部署，UPF 节点具备基于流的分层路由能力；在用户面可以按需动态地插入 UL CL (Uplink Classifier) 进行业务分流处理，业务流量被本地分流或被导送到锚点 UPF，UE 并不感知业务分流。部署在边缘的 UPF 可以是一个轻型和专业的 UPF。如图 1-2 所示，CUPS 和 UPF 分层架构为 5G 支持边缘计算带来了灵活性和强大的通信能力支持，UE 的不同业务，可以引导到本地 UPF (比如企业应用)，或直接引导到锚点 UPF (普通的上网业务)，中间可以动态插入 UL CL 进行按需动态分流。因此，在企业园区里面的基站，是可以同时支持本地企业应用和个人普通上网应用。

图1-2 5G 核心网架构：CUPS 和层次化 UPF



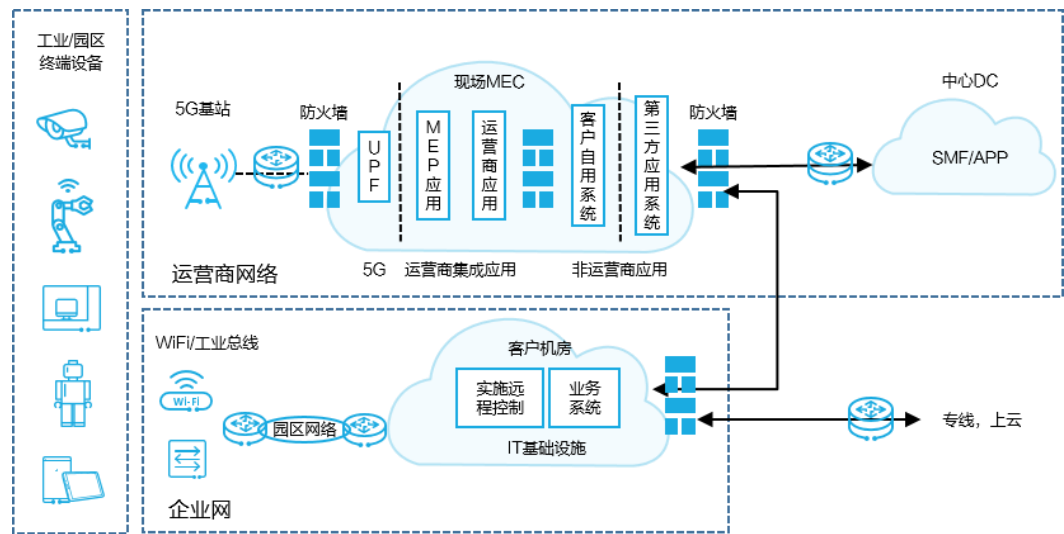
5G 支持将网络能力开放给边缘应用。无线网络信息服务、位置服务、QoS 服务等网络能力，可以封装成边缘计算 PaaS 平台的 API，开放给应用。

5G 与边缘计算结合，是运营商使能边缘计算的新核心竞争力和最大独特优势。同时，边缘计算也成为 5G 服务垂直行业，充分发挥 5G 新网络特性的重要利器之一。

具体而言，5G 新架构功能特性结合边缘计算，给运营商使能企业数字化和智能化应用带来了以下新优势：

1. 核心网 UPF 下移到企业园区（现场 MEC 场景，一般是面向大型企业，图 1-3），可以保证关键业务数据不出园区，更易提供低延迟承载方案；运营商可以为每个用户配置单独的 UPF，给企业用户定制 5G 服务。
2. 运营商以 API 模式开放的 5G 通信服务可编程能力（如定位，无线通信能力，带宽管理等），可以集成到企业生产业务系统中，企业可以定制自己的 5G 创新应用。
3. 下沉的 5G MEC 系统和企业网直接互联互通，使分布在企业和运营商两个网络系统上的业务系统可以实时地集成拉通，加上 5G 新的面向行业应用的通信功能（低延迟 uRLLC、物联网 mMTC、无线超级上行和业务连续性等），各行业可以做出很多创新应用。

图1-3 现场 MEC：5G 应用的新场景



5G MEC 给运营商进入垂直行业带来了新的业务场景和商业模式。运营商一般是用代建代维方式，将 5G MEC 部署到企业园区，提供边缘云计算服务，包括 IaaS， PaaS（即 MEP 平台），以及 SaaS（结合运营商的云计算服务）等更多的增值服务，收益从管道转向软件和服务。这样，运营商能深入垂直行业的 ICT 系统及应用领域，更好地为企业数字化、网络化和智能化提供全套的 ICT 服务和云计算应用，提供的业务比传统的企业专线业务，更深入全面和有客户粘性。这就是为什么运营商都在积极拓展 5G MEC 企业业务的原因，得 5G MEC 服务者得企业客户。

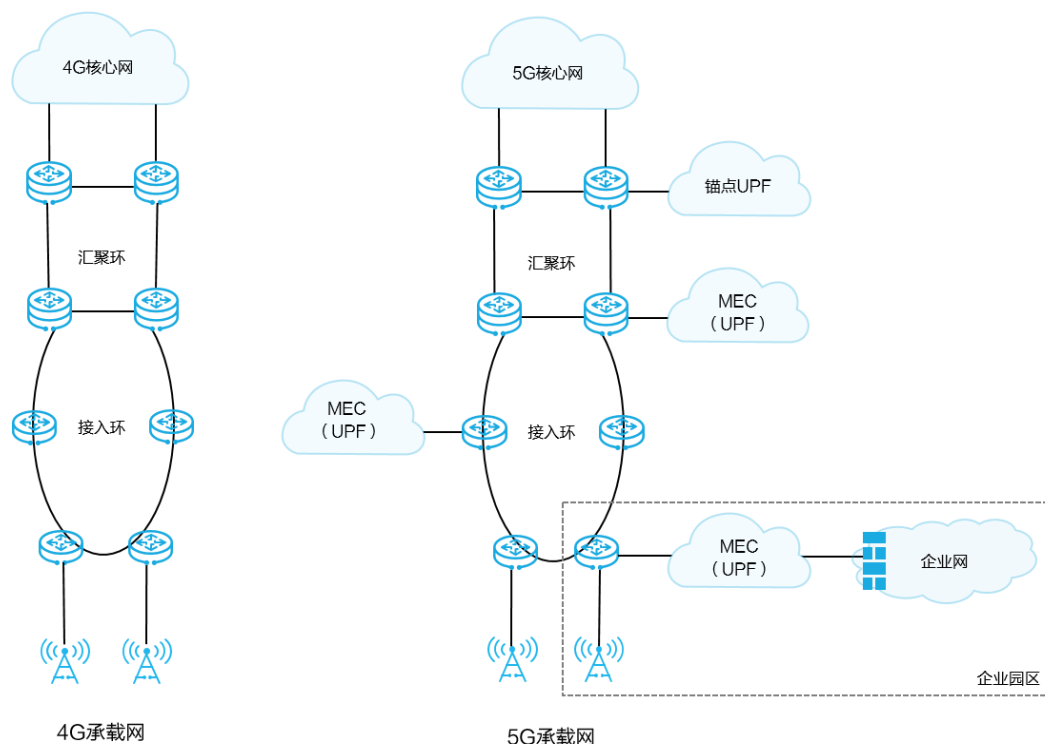
2 运营商网络的边缘计算困局

2.1 5G MEC 网络不是 4G 网络的简单升级

4G 核心网是集中部署模式，一般是一个省（或大区）部署一个 4G 核心网，所以 4G 承载网的流量模型是南北向为主，运营商倾向于采用比较简单的接入网设计，如很多运营商采用 L2（VPN）+L3（VPN）组网模式，即接入网采用相对简单的 L2 VPN 网络。

5G 核心网是 CUPS 架构，控制面集中部署，一般是一个省或一个大区部署一个，而 UPF 是分布式部署的，一般一个城市会部署一个锚点 UPF（Anchor UPF）和很多 MEC UPF。5G MEC 可以部署在运营商的边缘机房或企业园区的企业机房中（参见图 2-1）。5G UPF 在移动承载网上的分布式部署，改变了 4G 时代承载网的数据模型和承载方式：在 4G 时代，这些无线核心网流量是在 IP 骨干网上而不是在移动承载网上来承载的。而且 5G MEC 经常连接到接入网（如现场 MEC），增加了对 5G 移动承载网接入网的功能要求，具体的 UPF 业务流需求分析详见 2.2.2 5G 核心网下移。5G MEC 网络需要一个功能更强大、支持企业业务的网络架构和方案，不能是 4G 现有移动承载网架构的简单带宽升级。

图2-1 4G 核心网集中式部署和 5G MEC 的 UPF 分布式部署



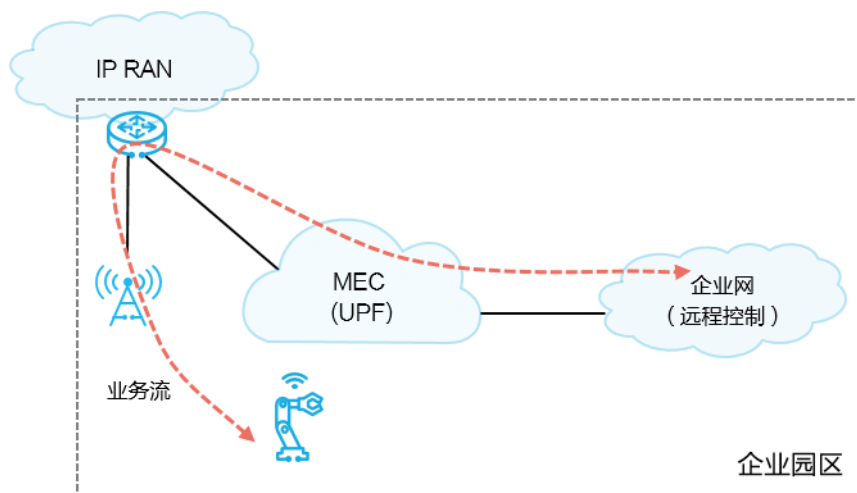
2.2 5G MEC 网络的四大新挑战

5G MEC 带来了新的应用场景和通信需求。5G 时代，运营商网络的边缘计算困局主要来自以下四大新挑战。

2.2.1 现场 MEC 新场景

现场 MEC（部署在企业园区）是 5G MEC 带来的一个新应用场景，如图 2-2 所示，5G MEC 位于企业园区机房里面，一般为运营商代建和代维。企业借助 5G MEC 系统进行生产控制、远程监控、物流管理和智慧安防等生产活动。很多生产业务对延迟有严格要求，如远程塔吊控制信息流的端到端延迟要小于 18ms，即生产设备（塔吊等）通过无线基站，IP RAN 网络，5G MEC 系统到企业应用系统（远程控制）的端到端通信要保证低延迟。对运营商网络的要求是，企业园区内的 5G 基站和 5G MEC 系统之间的网络，以及 5G MEC 到企业网的连接都要保证低时延。

图2-2 大型企业的现场 MEC 场景



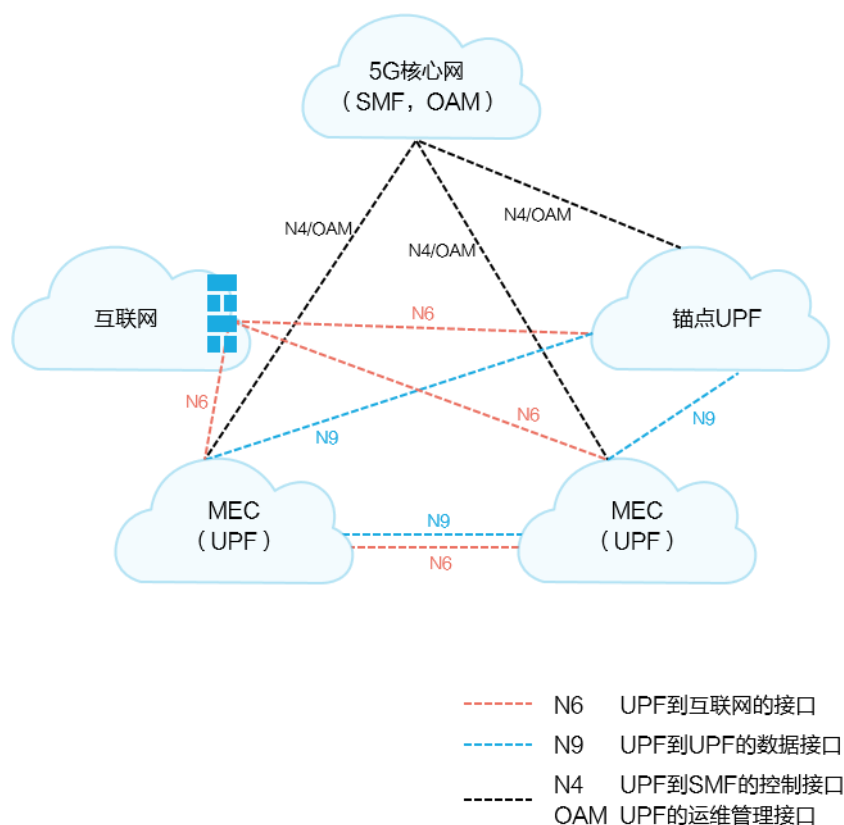
另外，由于数据安全原因，企业重要业务数据要求不能出园区，在 MEC 项目试点中，绝大多数企业都对运营商提出了这个要求。

现场 MEC 场景对运营商的接入网提出了新的挑战，需要接入网提供低延迟 SLA 保证和数据不出园区。

2.2.2 5G 核心网下移

UPF 随 MEC 下移，带动 UPF 相关业务端口下移（如 N4，N6，N9，5GC OAM 等接口）到 5G 移动承载网。如图 2-3 所示，MEC 中的 UPF，需要通过 N4 控制接口从 5GC 的 SMF 接受控制信息，通过 OAM 接口接受管理信息；N9 是 UPF 和 UPF 间的数据接口，可以是 MEC UPF 到锚点 UPF 的数据接口，也可以是 MEC UPF 间的数据接口；N6 是 UPF 的 Internet 数据出口，UPF 到企业网或 MEC 内应用的数据都是从 N6 出来的，UPF 到 Internet 的数据一般都是汇聚到一个统一出口，经过防火墙，传输到 Internet 网；MEC 间业务数据流，可以通过 N6 或 N9 接口互通，通过 N6 接口意味着是本地 MEC 的 UPF 和对方 MEC 的应用层互通，通过 N9 接口意味着是本地 MEC 的 UPF 和对方 MEC 的 UPF 互通。

图2-3 5G MEC 的核心网网元间接口



4G 核心网是集中部署在省或国家骨干网上，4G 核心网网元间接口是由骨干网提供 VPN 来互通的，和 4G 移动承载网（IP RAN）没有关系。5G UPF 业务接口对外可靠通信是 5G MEC 对移动承载网（IP RAN）的新要求。有些运营商采用 5GC 控制面集中到大区域的部署方案，这导致一些业务接口（如 N4 和 5GC OAM 接口）通信需要跨越移动承载网和骨干网两个网段。

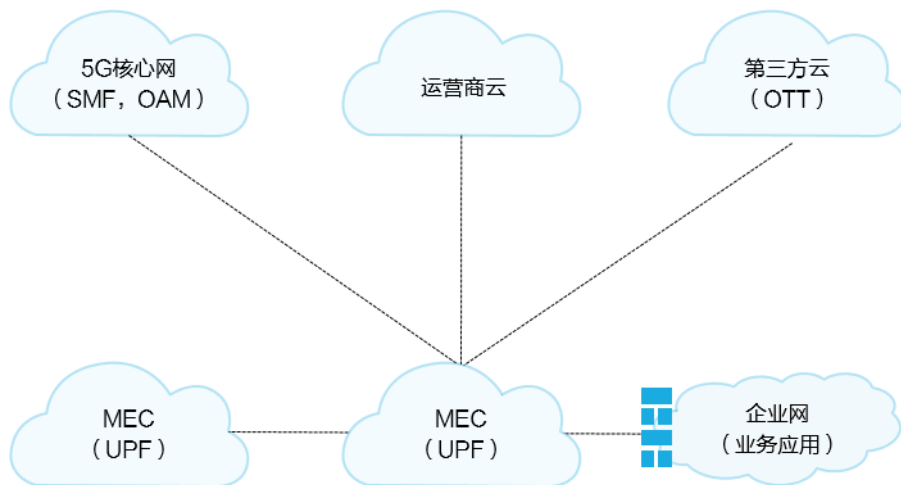
由于 UPF 的大量分布式部署，以及 UPF 业务接口互通关系的复杂性，增加了 5G 移动承载网的业务流量模型复杂度和多点通信的网络覆盖范围（基本上是全网范围），在 4G 时代的 L2+L3 网络设计是在汇聚层以上提供多点通信能力的。同时，一些业务接口有传输延迟要求，如 N6，N9 这样的数据接口，这需要承载网提供 SLA 保证。

5G 核心网下移使无线核心网承载从骨干网延伸到移动承载网，对运营商 5G MEC 移动承载网络提出了支持复杂多点通信和 SLA 保证的新挑战。

2.2.3 云边协同通信

5G MEC 包括下沉的 5G 核心网网元 UPF，和（云）计算应用。5G MEC 的 UPF 需要和中心云里 5G 核心网的控制面和管理应用系统通信，如上节所述。部署在 5G MEC 中的应用，有的可能是中心云应用（运营商中心云，OTT 中心云等）的一部分，有的可能需要和企业应用系统（云）或其它 MEC 应用系统（云）协作，来完成一个完整的业务应用。这些通信连接有可能是按需实时建立，有些有 SLA 保证要求。（参见图 2-4）

图2-4 5G MEC 的边云协同和边边协同通信

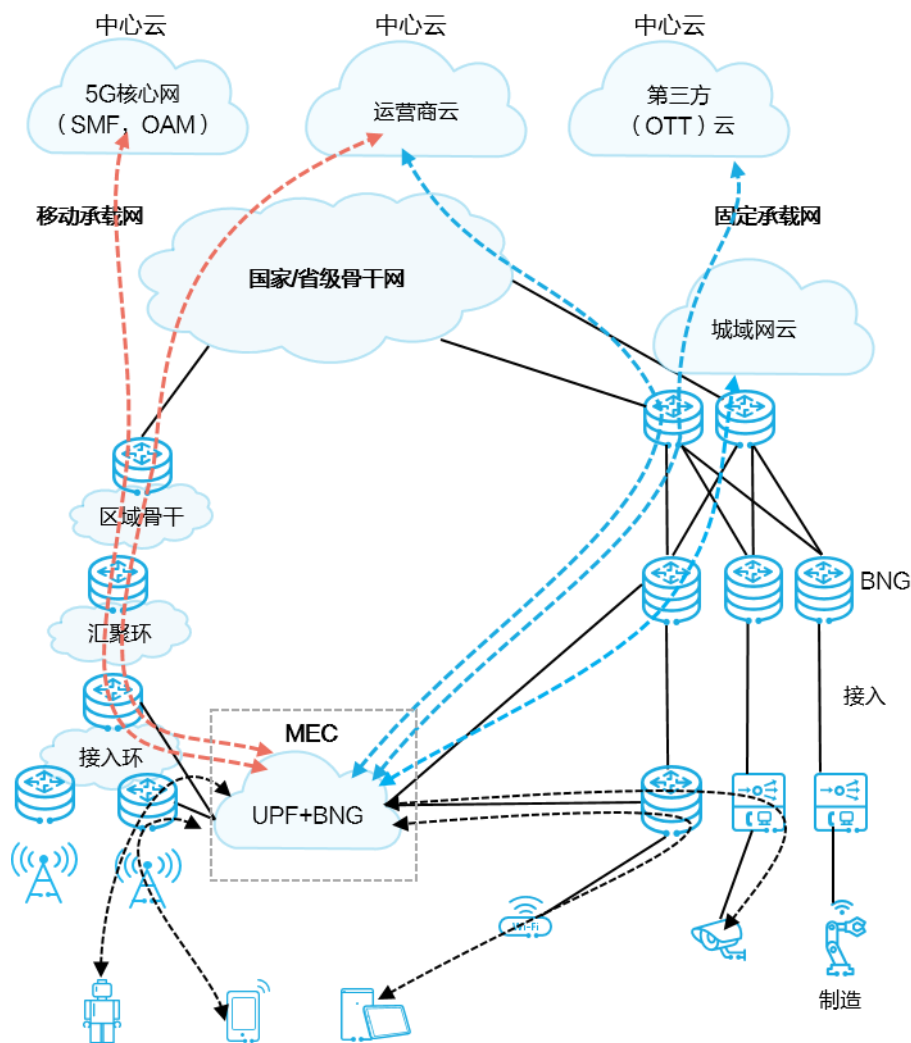


这些通信需求是 5G MEC 下移带来的新需求，这对运营商网络提出支持边云协同和边边协同通信的新挑战。

2.2.4 MEC 的无缝 FMC 业务

MEC 连接设备和应用系统的接入方式是多样的，可以是 5G 接入，也可以是固网接入（包括 xPON，专线，WiFi 等），通信目标是连接所有相关应用部件，共同提供一个完整的 MEC 应用，即提供无缝的 FMC（固移融合）业务应用。（见图 2-5）

图2-5 MEC 的 FMC 业务



这样，MEC 的接入网就可能包括移动承载网和固定承载网，需要连接两个城域网网络平面。同时，MEC 和中心云（5GC，运营商云，第三方云）及相关业务云（可能部署在固网 MAN 上）间的通信，有些会通过移动承载网，有些会通过固定承载网。MEC 网络不局限于移动承载网，MEC 网络连接可能会涉及移动承载和固网承载两个城域网平面，以及 IP 骨干网。

MEC 对网络提出了 FMC 通信新挑战，特别对于拥有移动承载城域网和固定承载城域网双平面的运营商，在网络架构和网络互通方面都提出了新挑战。中国三大运营商都有两个城域网平面。

3 运营商网络的边缘计算破局关键点

3.1 ECNI 的边缘计算网络模型

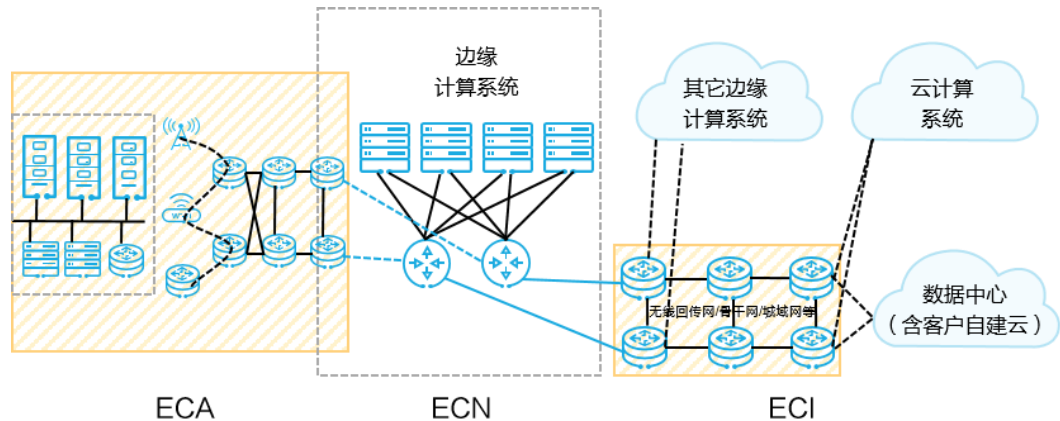
为了推动边缘计算网络以及边缘计算产业发展，边缘计算产业联盟 ECC 在 2019 年和网络 5.0^[3]联合成立了边缘计算网络基础设施联合工作组（ECNI），是业界第一个聚焦边缘计算网络的产业组织。2019 年 11 月，ECNI 发布了“运营商边缘计算网络技术白皮书”^[4]，是业界首个有关运营商边缘计算网络的白皮书。

此白皮书提出了一个新的边缘计算网络抽象模型，将边缘计算网络分为三个逻辑网段来描述（3.1 ECNI 的边缘计算网络模型）：

1. ECA（Edge Computing Access，边缘计算接入网络）：从用户系统到 MEC 所经过的网络基础设施；
2. ECN（Edge Computing Network，边缘计算内部网络）：MEC 内部网络基础设施；
3. ECI（Edge Computing Interconnect，边缘计算互连网络）：从 MEC 到云计算系统（如公有云、私有云、通信云、用户自建云等）、其它 MEC、各类数据中心所经过的网络基础设施；

MEC 在物理网络中的位置不同，ECA 和 ECI 在物理网络中的映射也不一样；ECI 可能跨运营商多个网段。因此，ECA/ECN/ECI 网络模式能更好地描述复杂的 MEC 网络和多样性物理网络间的关系，本文后续都会采用该抽象模型来表述 MEC 网络问题。

图3-1 ECNI 的边缘计算网络抽象模型



3.2 运营商网络的边缘计算破局关键点

5G MEC 带来的新需求和新挑战，采用现有 4G 移动承载网的数据传输模型和设计方案已不再适应。5G 时代，运营商网络要破除边缘计算困局，建设“5G MEC Ready”网络，需要在网络规划设计时重点关注和落实以下六大关键点。

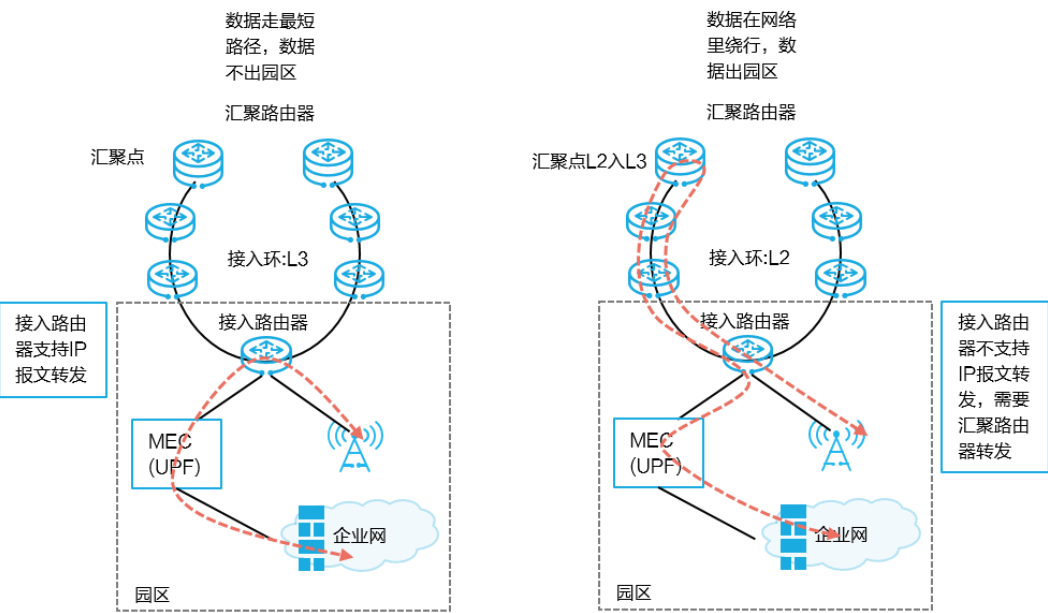
3.2.1 ECA：最短路径

运营商应该为从基站到 MEC UPF 的 N3 业务流提供最短传输路径，特别是在现场 MEC 场景，N3 业务流应该通过在园区里的移动承载网路由器直接把业务流转发给 MEC UPF，而不应该让 N3 业务流在运营商的网络中绕行。

N3 业务流无绕行最短传输的需求，一方面是为了低延迟和节约运营商网络带宽，符合 MEC 下移的初衷；另一方面是为了保证企业关键业务数据不出园区。如图 3-2 所示，左子图中的接入路由器可以直接做 IP（L3）转发，从基站来的 N3 数据流就可以就近转发给 MEC，业务流经过的网元最少，数据不出园区；右子图中的接入路由器则需要将基站来的 N3 业务流转发到汇聚路由器来进行 IP 转发，业务流在网络上绕行而且出了企业园区。

实现 ECA 最短路径的关键点是网络功能架构的设计，IP 转发能力跟随 MEC 下移到边缘（即 L3 到边缘），接入点路由器能就近 L3 转发数据报文。4G 移动承载网的 L2 接入环设计方案，已经不适合 5G MEC 承载网的要求。

图3-2 MEC 需要无绕行，低延迟接入网



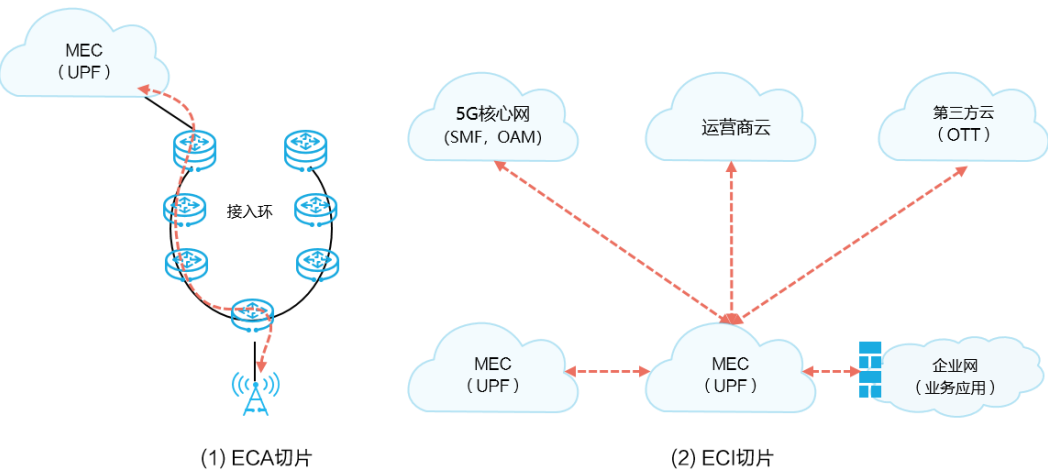
3.2.2 ECA 和 ECI：低延迟切片

为满足 MEC 应用的低延迟和安全可靠需求，一些企业业务需要运营商网络提供低延迟切片网络服务，如图 3-3 所示。

ECA 切片：完整的接入网切片系统包括无线基站、移动承载网（基站到 EC 间）和 UPF 系统，即企业业务流到 MEC 所经过的所有网元，涉及 5G 无线网、网络 and 5G 核心网。ECA 切片是基站到 MEC 间的 IP 网络切片。

ECI 切片：MEC 系统和企业网、中心云和其它 MEC 系统间，由于业务需要保证 SLA 和安全可靠，需要切片网络来进行互连，有可能跨多网段。

图3-3 ECA 和 ECI 的低延迟切片



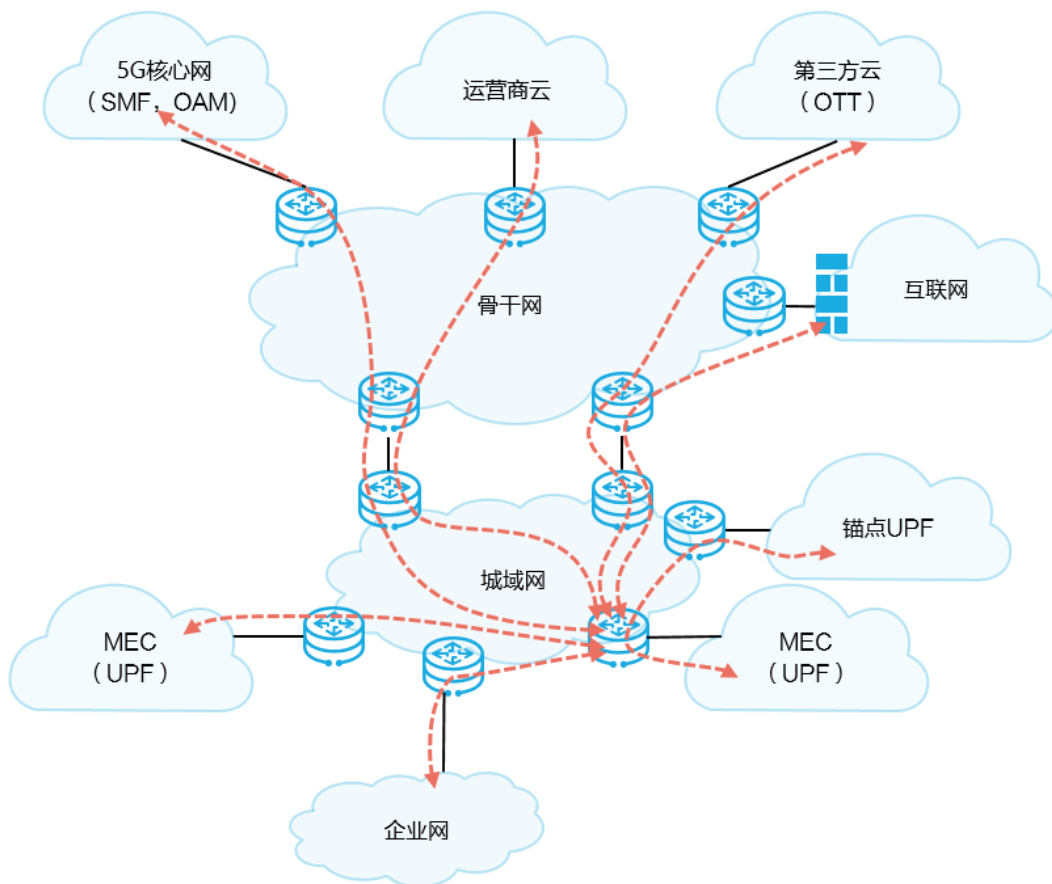
低延迟网络切片网络设计的一个要点是切片网络尽可能小，特别是低延迟要求高的 ECA，包含的网元越少，切片网络的复杂度就越低，越有利于保证传输的低延迟，这个网络设计要求和上节的 ECA 最短路径要求是一致的。ECI 网络的连接复杂性和跨多网段会带来切片网络的复杂度大。ECA 切片和 ECI 切片可以采用不同的切片解决方案。

3.2.3 ECI：灵活多点通信

ECI 网络需要支持 5G MEC 和 5G 核心网（N4, OAM）、其它 MEC 系统（N6, N9）、互联网出口（N6）、锚点 UPF（N9）、运营商云、企业网、第三方云（OTT）等进行业务通信，如图 3-4 所示。ECI 的业务流模型复杂，整体呈现多点到多点通信模型；同时，ECI 是一个以 MEC 为视角的逻辑网络概念，映射到物理网络上，可能会跨越城域网和骨干网等多个网段；各 MEC 的 ECI 会因 MEC 位置和 MEC 里面的应用不同而包括不同的网络连接。为了支持应用在 MEC 里面的动态部署，网络需要能尽快地部署 ECI 网络连接，比如按需实时建立从 MEC 到某个第三方云的 VPN 通道。

ECI 网络设计建议以 L3 VPN 为主，L3+L2 VPN 按需组合的模式。由于 MEC 的分布式灵活部署，5G MEC 网络需要规划全网提供 L3 VPN 能力，包括接入网络在内，即 L3 VPN 能力延伸到边缘；而且 VPN 需要跨越城域网和骨干网等多网段。为了能快速支持 MEC 业务的部署，规划一个统一管理的逻辑 ECI 网络（Overlay 网络），是一个比较好的选择。这样也便于网络切片在 ECI 上的部署。

图3-4 ECI 的多点通信网络



EVPN (Ethernet Virtual Private Network, 以太网虚拟专用网络) 集成了 L2 和 L3 VPN 服务, 控制平面采用 MP-BGP 通告 EVPN 路由信息, 数据平面可以采用 VxLAN、MPLS、SRv6 等多种封装方式转发报文。ECI 中 EVPN 的引入能够满足边缘计算系统的可扩展性、可靠性、运维简化等需求, 达到降低边缘计算系统管理成本, 灵活扩充 MEC 业务的目的。

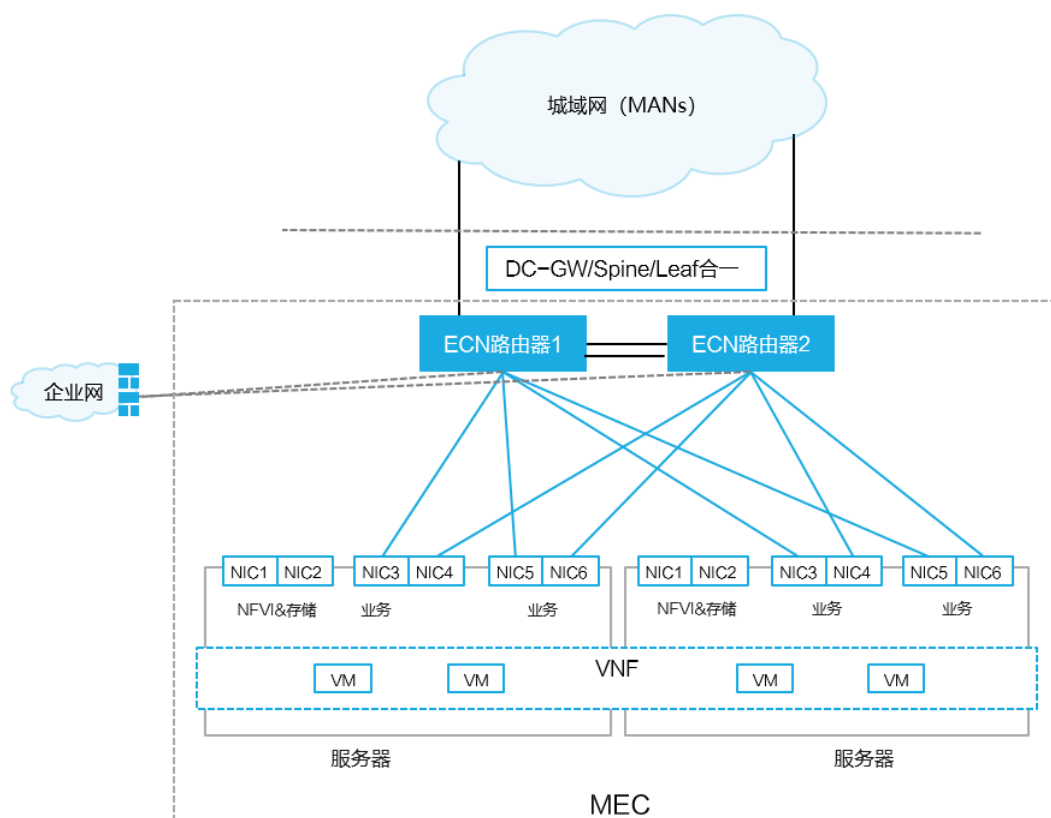
SRv6 是一种 Segment Routing 技术与 IPv6 完美结合的网络转发技术。SRv6 是面向 SDN 架构设计的协议, 因此它具有强大的可编程能力, 可以与控制器配合, 基于业务需求直接调动网络转发资源, 满足不同业务的 SLA 诉求, 减少路由协议数量。ECI 中 SRv6 的应用能够带来业务快速开通, 跨网段快速建立 VPN 连接, 协议栈简化, 系统集成复杂度降低等诸多好处。

由于 ECI 的复杂性, ECI 网络的设计是运营商 5G MEC 网络规划的最关键部分, 各运营商的 ECI 会因为各自网络架构的不同而有所不同。

3.2.4 ECN: 集成网络架构

小微型 MEC 是当前 5G MEC 的主流模式, 因为建设成本低和服务器规模小, 不会采用大型 DC 复杂的多层网络架构 (CE/DC-GW/Spine/Leaf)。ECN 比较多的是一层集成网络模型, 如图 3-5 所示。但 ECN 仍要提供 DC 多层网络的大部分通信功能。

图3-5 ECN 参考模型



ECN 功能可以分为 LAN 侧 (内部互连) 功能和 WAN 侧 (外部互连) 功能两个部分。

ECN 的 LAN 侧主要是完成内部服务器（转发型、计算型和存储型服务器）及相关设备的互联互通，需要完成服务器中 VM 间的 L2 和 L3 可靠连接。一个 UPF VNF 实例可以同时运行多个 VM 来提高性能和可靠性，ECN 路由器要提供针对 UPF VM 的等价多路负载均衡（ECMP）通信能力，即将 UPF 业务均匀地分配到各 UPF VM 上，在某个 UPF VM 出现故障时，重新均匀分配 UPF 业务。

UPF 是路由型 VNF，部署在电信云上（区别于 IT 云中的 VM 都是主机型）；路由型 VNF 需要和 ECN、承载网络交换用户路由信息。因此，ECN 内路由包括 UPF 移动用户路由 + VM 路由两个部分。ECN 内部路由数量是由终端用户数和 VM 数量决定的；如果路由数量大，对 ECN 网络设备的路由能力要求就高。

ECN 的 WAN 侧功能和 ECI 的组网模式相关，完成 MEC 和外部 IP 网络（IP RAN）的路由互通和可靠通信，以及边云协同通信。

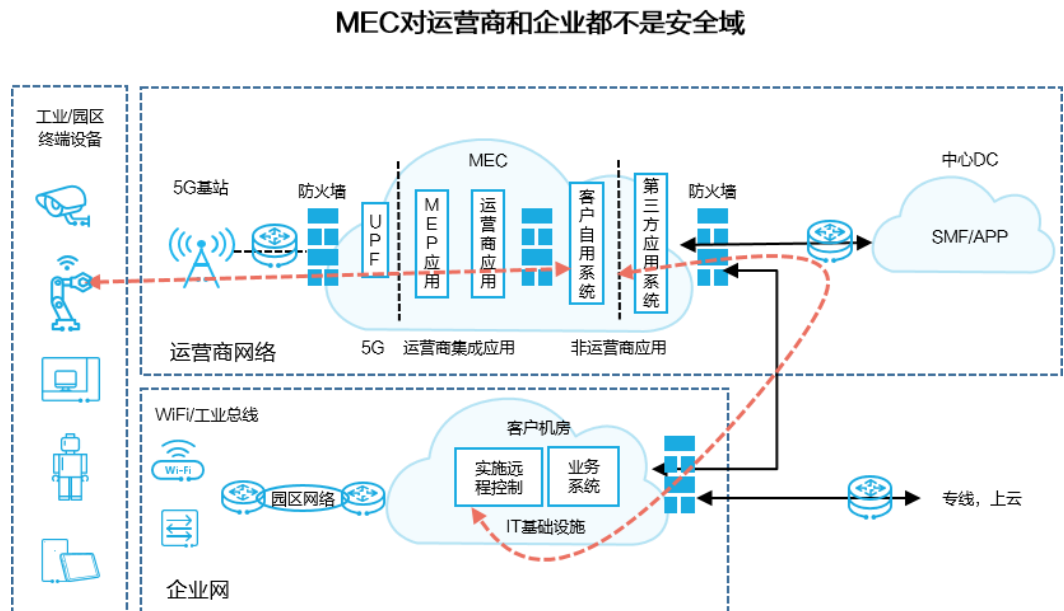
ECN 的设计要点是提供高性价比的集成网络方案，一般是采用一层路由器来做 MEC 网关，集成 CE/DC-GW/Spine/Leaf 功能，同时满足 ECN 的 LAN 侧和 WAN 侧功能需求。各运营商的 ECI 设计不同，有运营商设计 ECN 路由器承担部分业务 PE 的功能，降低 MEC 业务对外部 IP 网络（IP RAN）的影响和增加 ECI 网络连接建立的灵活性（如从 ECN 网关起 SRv6 跨越多网段上中心云），这又增加了对 ECN 路由器的功能需求。

3.2.5 运营商网和企业网：MEC 安全和互通

5G MEC 系统对运营商和企业来讲都不是安全域，带来了新的网络安全隐患，如图 3-6 所示。

运营商角度，5G MEC 里面有非运营商的应用和网络连接，如 MEC 直接和企业网互通，不是电信安全域；同时 MEC 改变了原来移动承载网 IP RAN 的业务承载封闭性。企业角度，业务数据和业务应用经过外网和外部 IT 系统，即经过了企业非安全区，并且企业网增加了和运营商网络的互通点。

图3-6 运营商和企业网在 MEC 上的安全互通



现在 MEC 项目中都采用以防火墙为主的网络安全方案，运营商和企业都部署防火墙在两网互通的通道上，来保证网络安全。

由于 5G MEC 里面可能会有非运营商的应用，在 ECN 中，一般会用防火墙来划分不同的安全域来做内部网络隔离，比如 UPF，运营商 MEC 应用，第三方应用会分别划到不同安全等级的安全域，重点要保护运营商的电信系统和网元。由于 5G MEC 数量会比较多而且地理分散，因此运营商需要规划一个基于防火墙的整体网络安全方案来进行网络安全部署和安全策略管理。

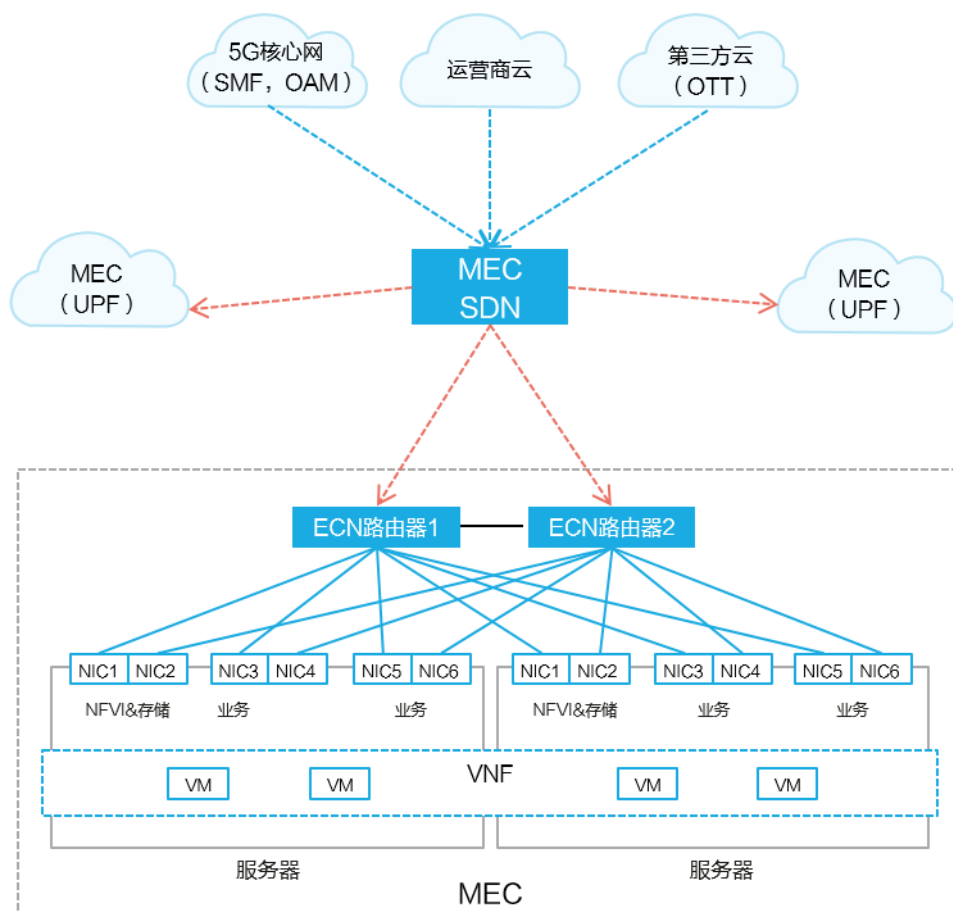
企业除了用防火墙来进行安全防护，也可以采用信息安全加密等方案来保护关键业务流的安全，即端到端的信息加密，通过运营商网络和 MEC 的都是加密流量。但加密和穿越防火墙带来的延迟，对低延迟应用是一个要考虑的问题。

两网安全互通是企业 and 运营商都非常关注的问题。

3.2.6 网络支持云边协同

5G MEC 网络需要支持 5G UPF 的自动部署和在线扩缩容，比如 UPF VNF 增加 VM 数量来提高性能，MEC 网络能动态接受业务需求，自动下发网络配置，保证 UPF 的快速在线扩容，即网络支持云边协同。在 MEP 平台上部署的边缘计算应用，如果和中心云相关，也需要边云协同通信。另外，按业务要求快速打通云边间 VPN 通道是支持云边协同的基本通信需求。

图3-7 网络支持业务自动部署和云边协同的参考模型



5G MEC 网络支持云边协同，可以通过设计统一 SDN 控制器来支持电信云和中心云计算的云边协同自动化部署。如图 3-7 所示的参考模型，由一个 MEC SDN 控制器来统一控制 MEC 承载网设备（图 3-7 中红线），和 5G 核心网、运营商云以及第三方应用的管理编排系统对接（图中蓝线），接受动态业务需求，统一配置相关网络设备，支持云边业务的自动部署和运维，云边间 VPN 通道的动态建立。

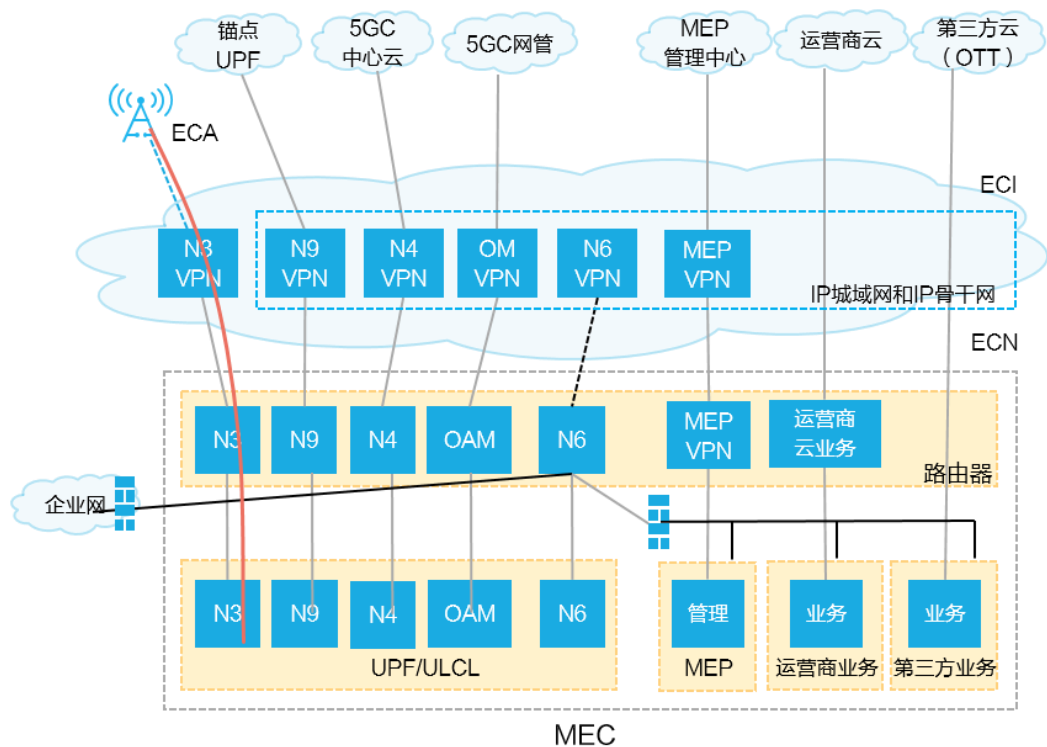
3.3 5G MEC 网络规划建议和网络架构参考模型

通过对 5G MEC 网络的四大新挑战和网络规划六大关键点的深入分析研究，结合当前运营商的 MEC 项目实际，本文提出以下五条 5G MEC 网络规划建议，供运营商网络设计时参考。

1. 建议采用 ECA、ECN 和 ECI 模型分段设计网络，ECA 和 ECI 可以部署在不同的物理网络上（如两个运营商共享共建 5G 承载网）。
2. MEC 业务和网络隔离：MEC 内部的业务变化（如部署新的 UPF）和网络连接变化（如增加服务器），尽量少或不影响外部网络，即 MEC 系统和外部网络隔离。

3. 网络方案规划要和运营商内部网络运维团队的界面分工相匹配，减少不同运维团队间的工作交叉，例如，如果 ECN 和 IP RAN 的运维是两个数通团队，网络功能设计就要尽量保持两个团队的专业运维界面清晰。
4. 网络设计要满足 5G MEC 按需建设的增量模式，即增量部署 5G MEC 系统，要尽量减少对网络的影响。
5. 建议 ECI 按逻辑网络来构建，统一控制管理，在跨越多个网络时也能保证快速建立网络连接和保证 SLA，支持 5G MEC 业务的迅速部署。

图3-8 MEC 视角的运营商网络架构参考模型



由于各运营商的网络架构存在比较大的差异，本文提供了一个 MEC 视角的网络架构参考模型（图 3-8）：

- **ECA**：5G MEC 的 ECA 是 5G 基站到 MEC 这段网络，主要是和 5G 移动承载网的 N3 VPN 对接。MEC B（运营商 B）的 ECA 可以采用其它运营商的网络，如用运营商 A 的 5G 移动承载网，即和运营商 A 的 N3 VPN 对接，并且由运营商 A 来保证 ECA 的 SLA。
- **ECN**：ECN 和 ECA 对接，把 5G 流量引导到 UPF；ECN 和 ECI 对接，把 UPF 各业务接口（N4,N6,N9, OAM）和各业务流（MEP，运营商云和第三方云）引导到 ECI 的相应 VPN 中。ECN 路由器在 ECI 里面的角色分工，对 ECI 的组网有比较大的影响，各运营商的网络设计会不一样。为了减少 MEC 内部设备和网络连接变化对外接网络的影响，MEC 采用独立 AS 是一个选择。
- **ECI**：ECI 是一个比较复杂的逻辑网络，通过跨域的 VPN 来构建联通边云和边边的 VPN 逻辑网络。ECI 上的业务流主要是两类：一类是 5G 核心网接口和 MEP 平台，这些连接关系比较稳定；另外一类是云应用，可能需要用 VPN 和运营商

云、OTT 和企业网互连，连接关系和具体应用相关，并且有动态变更的要求。建议运营商用自己的网络构建 ECI，即 ECN 和 ECI 最好属于同一个运营商，以保证业务的迅速部署和 SLA。

4 结束语

5G 移动通信系统在三大场景的支持、用户面功能的灵活部署以及网络能力开放等方面做出了突破和创新。“5G+ MEC+AI”成为运营商助力垂直行业数字化和智能化的新模式，也是 5G 应用是否成功的一个重要标志。

5G 时代，运营商网络的边缘计算困局主要是源于云计算应用和 5G 网关的下移，给业务模型和网络功能带来新需求，具体表现为四大新网络挑战（见图 4-1）。4G 移动承载网的设计原则和网络架构，已经不能满足 5G MEC 网络需求，5G MEC 承载网络建设不是 4G 网络的简单带宽升级。

如何建设一个“5G MEC Ready”的网络，是运营商网络破局必须要回答的问题。本文提出了 5G MEC 网络规划需要关注的六大关键（图 4-1），以及网络规划建议和网络参考模型，供运营商在网络建设实践中参考。

图4-1 5G MEC 对运营商网络的四大挑战和六大关键



5G MEC 承载涉及网络范围比较广，不局限于传统的移动承载网，业务流可能跨越城域网和骨干网多个网段，而且部署模式是按需增量部署模式，因此运营商应该现在就开始研究和制定 5G MEC 承载网的整体规划和部署策略。

A

缩略语表

缩略语	英文名称	中文名称
4G	4 th Generation	第四代（移动通信）
5G	5 th Generation	第五代（移动通信）
5GC	5G Core	5G 核心网
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AN	Access Network	接入网
AMF	Access and Mobility Management Function	访问和移动性管理功能
API	Application Programming Interface	应用编程接口
APP	Application	应用
AS	Autonomous System	自治系统
BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
BNG	Broadband Network Gateway	宽带网络网关
CE	Customer Equipment	客户设备
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
CUPS	Control and User Plane Separation	控制面和用户面分离
DC	Data Center	数据中心
DC-GW	Data Center GateWay	数据中心网关
DN	Data Network	数据网络
EC	Edge Computing	边缘计算
ECA	Edge Computing Access	边缘计算接入网
ECC	Edge Computing Consortium	边缘计算产业联盟

缩略语	英文名称	中文名称
ECI	Edge Computing Interconnect	边缘计算互联网
ECMP	Equal-cost multi-path	等价多路径
ECN	Edge Computing Network	边缘计算内部网络
ECNI	Edge Computing Network Infrastructure	边缘计算网络基础设施
EVPN	Ethernet VPN	以太虚拟专用网络
FW	Fire Wall	防火墙
FMC	Fixed Mobile Convergence	固定网络与移动网络融合
IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务
IEF	Intelligent Edge Fabric	(华为云) 智能边缘平台
L2	Layer 2	二层
L3	Layer 3	三层
LAN	Local Area Network	局域网
MAN	Metro Area Network	城域网
MEC	Multi-access Edge Computing	多接入边缘计算
MEP	MEC Platform	MEC 平台
MP-BGP	Multi-Protocol Extensions for BGP	BGP 多协议扩展
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	多协议标签交换
mMTC	massive Machine Type Communications	大物联业务
NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
OAM	Operation, Administration and Maintenance	操作管理维护
OTT	Over The Top	指互联网应用
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
PE	Provider Equipment	运营商设备
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PDU	Packet Data Unit	报文数据单元
SaaS	Software as a Service	软件即服务
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
SMF	Session Management Function	会话管理功能

缩略语	英文名称	中文名称
SRv6	Segment Routing IPv6	IPv6 分段路由
UL CL	Uplink Classifier	上行链路分类器
UPF	User Plane Function	用户平面功能
uRLLC	ultra-Reliable and Low Latency Communications	超高可靠性低时延业务
VM	Virtual Machine	虚拟机
VNF	Virtual Network Function	虚拟网络功能
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网
VxLAN	Virtual Extensible LAN	虚拟扩展局域网
WAN	Wide Area Network	广域网
xPON	x Passive Optical Network	被动光纤网络

B 参考文献

- [1] 边缘计算产业联盟. 边缘计算参考架构边缘计算产业联盟白皮书, 2018
<http://www.econsortium.org/Lists/show/id/334.html>
- [2] TS 23.501, System Architecture for the 5G System (Release 15). 3GPP. 2018
- [3] 网络, <http://www.network5.cn/>
- [4] 边缘计算网络基础架构组, 边缘计算产业联盟, “运营商边缘计算网络技术白皮书”, <http://www.econsortium.org/Lists/show/id/376.html>

联系人：

E-mail: song.jun@huawei.com

版权所有 © 华为技术有限公司 2020。 保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



HUAWEI 和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。