

中国联通边缘计算技术白皮书

CHINA UNICOM EDGE COMPUTING TECHNOLOGY
WHITE PAPER

2017-06

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 1 概述..... | 1 |
| 1.1 白皮书愿景及目标..... | 1 |
| 1.2 白皮书状态 | 2 |
| 2 MEC 驱动力及挑战分析 | 3 |
| 2.1 行业及市场发展需求..... | 3 |
| 2.1.1 业务及技术驱动 | 3 |
| 2.1.2 商业及产业驱动 | 5 |
| 2.2 电信运营商网络挑战分析..... | 6 |
| 2.2.1 竖井式网络架构难以满足业务发展需求..... | 6 |
| 2.2.2 ICT 融合驱动运营商改变“哑管道运营”格局 | 7 |
| 3 中国联通 MEC 平台能力和应用需求 | 8 |
| 3.1 MEC 平台能力需求 | 8 |
| 3.1.1 业务域 | 8 |
| 3.1.2 管理域 | 9 |
| 3.2 MEC 典型应用需求 | 10 |
| 4 中国联通 LTE 网络 MEC 部署策略..... | 14 |
| 4.1 LTE 网络 MEC 组网架构..... | 14 |
| 4.2 中国联通 LTE 网络 MEC 部署方案..... | 14 |
| 4.2.1 部署位置 | 14 |
| 4.2.2 计费方案 | 16 |
| 4.3 MEC 部署存在的问题分析 | 16 |
| 5 MEC 技术演进路线及规划 | 17 |
| 5.1 面向 5G 网络的 MEC 关键技术演进 | 17 |
| 5.1.1 流量疏导方案 | 17 |
| 5.1.2 业务连续性方案 | 18 |
| 5.1.3 智能感知与优化方案 | 18 |
| 5.2 中国联通 MEC 组网架构演进 | 19 |
| 5.3 中国联通 5G 网络 MEC 部署规划 | 21 |
| 6 总结和展望..... | 23 |

中国联通边缘计算技术白皮书

1 概述

1.1 白皮书愿景及目标

当前,信息通信技术向各行各业融合渗透,数字化信息已成为关键生产要素,经济社会各领域向数字化转型升级的趋势愈发明显。5G 网络与云计算、大数据、虚拟增强现实、人工智能等技术深度融合,将连接人和万物,成为各行业数字化转型的关键基础设施。5G 包括三大应用场景: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)。其中,eMBB 聚焦对带宽有极高需求的业务,例如高清视频、VR(虚拟现实)和 AR(增强现实)等,满足人们对于数字化生活的需求;mMTC 聚焦对连接密度要求较高的业务,例如智慧城市、智慧农业、智能家居等,满足人们对于数字化社会的需求;uRLLC 聚焦对时延极其敏感的业务,例如自动驾驶、工业控制、远程医疗等,满足人们对于数字化工业的需求。IDC 最新统计报告显示,到 2020 年将有超过 500 亿的终端与设备联网,而到 2018 年,就将有 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、处理与储存。

多接入边缘计算(Multi-Acess Edge Computing, MEC)是在靠近人、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,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。在 3GPP R15 中,基于服务化架构,5G 协议模块可以根据业务需求灵活调用,为构建边缘网络提供了技术标准,从而使得 MEC 可以按需、分场景灵活部署在无线接入云、边缘云或者汇聚云。MEC 可为移动运营商提供以下价值:

- 通过对 4K/8K、VR/AR 等高带宽业务的本地分流,降低对核心网络及骨干传输网络的占用,有效提升运营商网络的利用率;
- 通过内容与计算能力的下沉,运营商网络将有效支撑未来时延敏感型业务(车联网、远程控制等)以及大计算和高处理能力需求的业务(视频监控与分析等),助力运营商实现从连接管道向信息化服务使能平台的转型;
- MEC 作为边缘云计算环境和网络能力开放平台,将为运营商构建网络边缘生态奠定基础。

MEC 虽然是 5G 网络的使能技术，但由于架构及平台的开放性，MEC 亦可在现阶段部署于 LTE 网络，为移动运营商提供增值服务。2017 年 6 月，中国联通携手诺基亚、腾讯、INTEL 首次在上海“梅赛德斯-奔驰文化中心”成功搭建网络边缘云系统，。利用 LTE 现网验证了基于 MEC 的多角度视频直播和主播互动业务。测试数据表明，场馆内直播时延仅有 0.5 秒，相比时延大于 30 秒的传统互联网直播方式，大幅度改善了用户的实时观看体验，也为中国联通面向 5G 网络的智能场馆解决方案推广与建设打下坚实的基础。

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。我们期望与产业各界共同探讨 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。

1.2 白皮书状态

本白皮书为 1.0 版本，虽然还不够全面，并可能存在需要继续修订的地方，但仍希望这一版本的发布能对产业界有所帮助。随着 MEC 技术标准的冻结及 5G 试商用网络的部署，新的研究内容可能会被加入到后续版本中，欢迎各界同仁提出修改意见和建议。

2 MEC 驱动力及挑战分析

2.1 行业及市场发展需求

2.1.1 业务及技术驱动

(1) 业务驱动

LTE 网络的设计目标及用途十分单一，即以尽可能高的无线速率交付高速移动宽带服务，而伴随着移动互联网和物联网的快速发展，5G 业务将呈现出需求多样性的特点。如图 2.1 所示，3GPP 定义了 5G 的三大应用场景，即 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）。一方面，5G 将为用户提供超高清视频、下一代社交网络、VR 和 AR 等更加身临其境的业务体验，促进人类交互方式再次升级。另一方面，5G 将以智慧城市、智能家居为代表的典型应用场景与移动通信深度融合，预计千亿量级的设备将接入 5G 网络。此外，5G 还将以超低时延、超高可靠性等优势，与车联网、工业互联网、移动医疗、能源等垂直行业应用相结合。总体上看，5G 业务的多样性决定了 5G 网络有能力支持极速移动超大宽带、物联网海量连接、超可靠超低时延连接的需求，同时提供一个更灵活、更智能、可编程、可拓展的网络，以应对新业务和新应用。

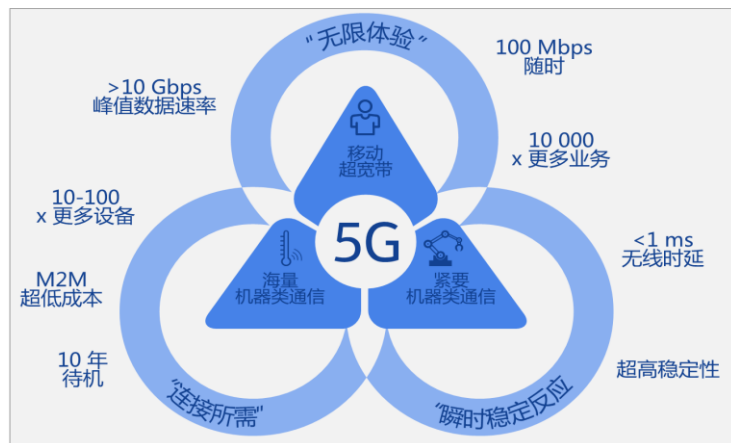


图 2.1 5G 三大应用场景

在 5G 网络高容量热点场景中，用户体验速率达 1Gbit/s，峰值速率达 10Gbit/s，流量密度达 10Tbit/s 每平方千米以上。例如，高清视频、智慧城市、B2B 业务等对宽带接入需求是几十到数百 Mbit/s，而 4K 视频、3D 视频、AR、VR 等对网络带宽的要求高达几十 Gbit/s，这将对无线回传网络造成巨大的压力。因此需要将业务向网络边缘尽可能下沉（例如，边缘云数据中心或更靠近基站侧），以实现

业务的本地分流。此外，在 5G uRLLC 低时延场景中，所期望的端到端时延在毫秒数量级上（目前 LTE 网络端到端传输时延和业务处理时延在 50ms 以上），这也将业务下沉至网络边缘，以减少网络传输和逐级业务转发带来的网络时延。MEC 作为 5G 演进的关键技术，可以在更靠近客户的移动网络边缘提供云计算能力和 IT 服务的环境，具备超低时延、超大带宽、本地化、高实时性分析处理等特点，从而降低对核心网络及骨干传输网络的占用，并降低端到端时延。

（2）技术驱动

5G 网络通过大数据、云计算技术使能移动网络能力的对外开放，实现业务面向平台化的运营。图 2.2 从四个维度构建了 5G 电信云架构，分别为虚拟化的网络功能（NFV）、软件定义的网络（SDN）、无线网络的云化（Cloud-RAN），以及自动管理与协同系统。NFV 通过硬件和软件的解耦合，实现了网络功能和网管的虚拟化。SDN 通过控制和业务的分离，实现了在数据中心和传输节点传输和控制资源的按需重分配，使网络具备可编程能力。Cloud RAN 基于通用的 IT 硬件架构，通过集中化管理以及虚拟化的软件功能，提供面向移动业务的前传和回传网络。自动管理和协同系统通过业务和网络的全局协同，管理云网络业务的生命周期、优先级和服务品质。



图 2.2 5G 电信云架构逻辑图

云计算、NFV、SDN 和 ICT 等技术催生了 MEC 的发展。MEC 系统的核心设备是基于 IT 通用硬件平台构建的 MEC 服务器，通过部署于无线基站内部或者无线接入网边缘的云计算设施（即边缘云）提供本地化的公有云服务，并可连接其他网络（如企业网）内部的私有云实现混合云服务。RAN 的云化（Cloud-RAN）及虚拟化（V-RAN）为 MEC 的部署提供了一个合适的切入点。例如，部署在一个零售中心的小型 Cloud-RAN 可以同时部署 MEC 功能来管理本地化的应用，使得应用、服务和内容在位置上更贴近终端用户。5G 网络架构本身就是面向业务和用户的网络，通过网络切片可以根据业务的需求对网络资源进行灵活编排和弹

性化资源管理，如 uRLLC 业务可以通过边缘网络切片来实现。

2.1.2 商业及产业驱动

移动业务的快速增长和运营成本的压力倍增促使整个电信业寄希望于新技术和新产品的引入，以提升用户体验、增加利润、优化网络运营和提升资源利用效率。面对 eMBB 的高流量和 mMTC 的海量连接，网络运营商不得不考虑网络拥塞的可能，并思考如何通过本地分析和处理的方式来减缓其对网络安全和业务回传的影响。企业客户也希望能够提供给他们的客户更加有效、更加安全和更低时延的网络连接。内容与服务供应商也面临网络延时过大对用户体验的挑战，而这些挑战在某些应用中是至关重要且必须解决的。

另外，越来越多的智能手机应用和内容被移到云端，终端客户接入云端服务器的时延和带宽必须被优化，以保证消费者丰富多彩的应用和内容体验，而这需要网络运营商和应用服务提供商的更紧密合作。这种合作很自然地导致应用/内容在更贴近客户的网络边缘进行部署。为此，MEC 产业参与者正在积极进行新技术和新产品的验证、测试和部署，着眼于降低网络时延、提高网络安全，同时提供更加敏捷的新功能开发和部署平台等，这些通力合作对提高终端用户体验和网络效率起到了很大的帮助。

为了吸引更多参与者的加入以推动整个 MEC 产业发展，MEC 产业化也在稳步推进中。从 2014 年 10 月 MEC 产业化标准组成立至今，已经有超过 70 家的标准化成员单位，涵盖了主流运营商、通信和网络设备供应商、IT/中间件厂商、软件厂商和 OTT 应用厂商等，几乎包括了完整的移动互联网产业。成员单位共同提出并设计了丰富的应用场景，充分发掘了移动网络边缘计算的独特价值潜力。2016 年 4 月 3GPP SA2 已经正式接受 MEC 为 5G 架构之关键技术。MEC 商业和产业的发展将得益于商业转型、技术演进和产业协作，最终这些努力将体现在越来越广泛的创新市场，比如智慧医疗、车联网、工业自动化、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、游戏和 IoT 服务等领域。

MEC 通过部署在 RAN 边缘的 IT 服务环境提供了基于位置的云计算能力和实时的内容信息。这种开放的 IT 服务环境将使移动运营商和内容服务提供商提供的应用和服务集成到更多的供应商的 MEC 平台上，这种通用架构将促使更多创新的应用在更广领域进行快速部署，并给相关参与者提供更多的价值。终端用户通过 MEC 实时的网络连接和内容获取，可获得极速的个性化用户体验；移动运营商通过将 MEC 平台计算能力开放给第三方 OTT 提供商或者应用开发者，并提供服务给移动用户、企业和垂直行业，从而可以重新定义其在整个产业链中

的角色，带来新的收入和提供更多高附加值的服务，并开拓新的市场机会；OTT 提供商和独立的应用开发商通过 MEC 开放标准的平台可以快速开发新的应用、缩短开发周期，为终端用户提供近乎零延时的极速体验。所有 MEC 价值链中的参与者最终将得益于 MEC 创造的市场环境，并通过覆盖众多行业的应用促使经济的持续发展。

2.2 电信运营商网络挑战分析

2.2.1 竖井式网络架构难以满足业务发展需求

伴随着移动互联网、物联网及行业应用的爆发式增长，未来移动通信网络将面临千倍数据流量增长和千亿设备互联需求，传统的 4G 竖井化架构已不能满足业务的发展需求，正在向扁平化的端管云架构下演进。5G 网络采用 NFV 和 SDN 技术，进行网元功能的分解、抽象和重构，5G 网络将形成由接入平面、控制平面和转发平面构成的 IT 化的新型扁平化平台，网络向控制功能集中化和转发功能分布化的趋势演进。转发面将专注于业务数据的路由转发、具有简单、稳定和高性能等特点，以满足未来海量移动流量的转发需求；控制面采用逻辑集中的方式实现统一的策略控制，保证灵活的移动流量调度和连接管理，集中部署的控制面通过移动流控制接口实现对转发面的可编程控制。

5G 网络控制面和转发面的分离，使网络架构更加扁平化，转发面网关设备可以采用分布式按需的部署方式，通过多元化、多级的业务流向从根本上解决 4G 网络竖井化单一业务流向造成的传输和核心网负担过重的问题。在控制平面的集中调度下，转发平面通过灵活的网关锚点、边缘内容与计算等技术实现端到端海量业务数据流的低时延、高带宽、均负载的传输，从而提升网内分组数据的承载效率与用户业务体验。

ETSI、3GPP、NGMN 等 5G 组织已经将边缘计算作为 5G 架构的一部分，并开展了研究和标准化工作。边缘计算可驱动电信网络架构分布化，实现运营商业务本地化处理，提升网络数据处理效率，满足终端用户的极致体验，并满足垂直行业网络低时延、大流量、高安全性等诉求。例如，低时延的自动驾驶业务要求核心网的网络功能和业务处理功能下沉到靠近接入网的边缘，以减少中间层级，实现低时延的业务处理；在需要大带宽的 AR/VR 视频播放场景中，需要把视频缓存在靠近接入侧边缘的节点，以节省大量的传输带宽，提升网络处理效率；在需要通过视频加速提升用户体验，或者通过 Toobar 植入推送信息的应用场景中，可以通过 MEC 的开放平台快速集成第三方应用。

2.2.2 ICT 融合驱动运营商改变“哑管道运营”格局

移动互联网打破电信运营商原有的围墙花园模式，OTT 多种多样服务类型的快速出现以及相应业务量的急剧增长，促使移动通信网络逐渐管道化，运营商对用户的掌控力度将逐步减弱，沦为数据“哑管道”的趋势加剧，成为移动互联网中产值较低的环节。运营商当前以计数据流量为主的资费模式，相对于 OTT 灵活的商业模式显得较为单一。在流量指数增长的 MBB 时代，运营商设备投资增长（正比于流量增长）与收入增长之间的“剪刀差”日益明显。

电信运营商需把握 ICT 融合商机，从业务创新、平台整合、生态系统构建和商业模式摸索等多方面进行转型，实现从“流量红利”向“数字红利”进而向“信息红利”的转变。一方面，通过构建智能管道来实现网络资源的可视、可管、可经营。运营商需对移动互联网流量数据进行检测分析，汇聚用户行为特征，采用控制策略，使管道产生附加值。此外，还需提炼高价值业务应用或开展针对性的业务推送和推广，提升用户体验，引导用户行为，实现流量的精细化管理。另一方面，通过统一 API 接口打造业务使能平台，与 OTT 及第三方应用开发商密切合作，为用户提供端到端应用解决方案，增强用户粘性。

在 ICT 融合的浪潮中，构建统一的云计算基础设施，提供以计算、存储、网络和安全为主要功能特征的服务能力，是电信运营商改变“哑管道运营”格局的必然选择。作为 IT 和 CT 融合的产物，MEC 是运营商数字化转型的利器，可助力运营商快速搭建起与 OTT 或应用开发商合作的桥梁。电信运营商不仅可以将 MEC 平台的存储、计算能力开放给应用开发商和内容提供商，为他们提供全新的业务开发环境及用户体验；也可以将无线侧 eNB 信息封装成各种服务（例如，RNIS、位置服务、带宽管理服务），运行在 MEC 平台之上，开放给企业和垂直行业使用，从而提供更多的增值服务，实现网络价值的最大化。

3 中国联通 MEC 平台能力和应用需求

3.1 MEC 平台能力需求

MEC 虚拟化平台位于无线接入网与移动核心网之间，可利用无线基站内部或无线接入网边缘的云计算设施（边缘云）提供本地化的公有云服务，并能连接位于其它网络（如企业网）内部的私有云从而形成混合云。MEC 平台基于特定的云计算系统（例如，OpenStack）提供虚拟化软件环境用以规划管理边缘云内的 IT 资源。第三方应用以虚拟机（VM）的形式部署于边缘云，能够通过统一的 API，获取开放的无线网络能力。MEC 平台由业务域及管理域构成。业务域用于支持第三方应用的运行。管理域负责对 MEC 平台的业务域进行管理。

3.1.1 业务域

MEC 平台的业务域包括数据平面（Data Plane，DP）和 API 使能。

1) **数据平面：**DP 在无线接入网及核心网之间提供数据转发通路，实现数据流量的本地卸载，并为第三方业务主机提供网络虚拟化支持以及提供 MEC 平台内部各功能组件之间的数据转发。DP 必须具备对 GTP-U 数据流的解析处理能力：在上行数据方向，DP 应首先对来自基站的 GTP 分组进行解析，并根据业务需求进行转发。在下行数据方向，DP 应将来自第三方业务的数据封装至正确的 GTP 隧道，以便移动终端能够通过基站进行接收。此外，DP 还需包括以下功能：

- 无线接入网可能引入 IPsec，对回传线路上的业务数据进行加密，因此 DP 需要支持 IPsec 加解密功能；
- 移动终端的运动可能导致其网络接入点位置的变化，从而引起业务会话中断，因此 DP 必须支持特定的转发能力以实现业务数据的连续传输；
- DP 必须能够提供备份链路。当部分功能失效时，用户的业务数据仍可通过备份链路进行传输，从而避免网络中断。

2) **API 使能：**API 使能实现了无线网络能力向第三方应用的开放。不同的网络能力通过特定的 API 对外开放，对 API 的调用既可来自外部的第三方应用，也可来自 MEC 平台的内部功能。特定的网络能力被抽象为特定的 API，其访问调用必须得到监控及管理，确保只有经过授权的第三方才能获得可信的能力调用服务。从调用对象角度来看，API 使能主要分为五类：面向无线接入设备（如 eNB）的 API；面向移动核心网设备（如 S/P-GW）的 API；面向运营商业务及运营支

撑系统（如 BSS 及 OSS）的 API；面向 MEC 平台内部组件（如 DP）的 API；面向用户业务数据流（如 DNS 查询请求）的 API。

API 使能必须实现面向第三方应用的友好化及智能化，提升第三方的开发体验，使得网络能力能够得到快速便捷的调用，并保证网络可对外部调用请求进行高效智能的响应。如图 3.1 所示，中国联通致力于打造 MEC 统一 API 业务平台，标准化 MP1、MM9 等接口，为第三方应用提供统一的 API，引领各设备厂商的 MEC 平台具备相同的平台开放能力，使得第三方应用商可以提供兼容部署的应用软件版本。

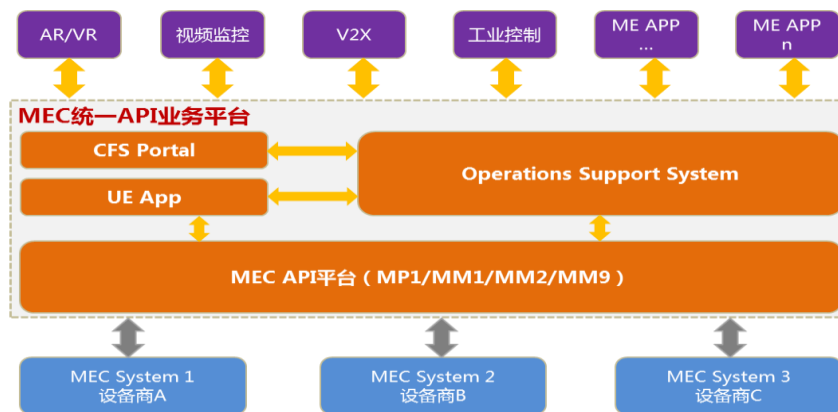


图 3.1 中国联通 MEC 统一 API 业务平台

此外，API 使能还应在支持网络能力开放方面保持足够的灵活性，随着网络功能的进一步丰富，可实现持续开放，而不必对第三方应用平台及网络系统自身进行复杂的改动。考虑到目前主流的在线应用主要基于 Web 框架实现。为便于第三方调用，API 使能可被拆分为基于 HTTP 操作的逻辑资源，并嵌入特定的 HTTP 会话内随业务数据一起交付。第三方应用平台（如 OTT）可基于已有的生产环境进行调用，无需修改自身平台架构及业务逻辑。

3.1.2 管理域

管理域负责对 MEC 平台进行管理，包括数据平面控制，API 使能控制，资源使用统计及第三方业务部署管理。一方面，管理域应支持运营商及第三方用户通过基于 Web 的控制面板手动选择和配置资源，或者提供 API 支持基于编程方式的选择和配置服务。另一方面，管理域可根据 MEC 平台的实际运行状况，基于预先设定的规则，对业务域进行动态实时控制。

1) **数据平面控制**：管理域需要对数据平面进行监控管理，从而保证 MEC 平台在路由转发行为上的可控可管。

2) **API 使能控制**：对 API 的调用必须经过管理域的授权才可进行。一方面，

第三方应用必须事先向管理域进行相关的 API 使能注册，才能调用该 API。另一方面，管理域需要对特定 API 的安装进行许可，并监控其运行状态。

3) **资源使用统计**：包括 IT 资源使用统计，API 调用统计及数据流量统计。

- IT 资源使用统计指对第三方租用的虚拟主机进行 IT 资源用量（例如，CPU，内存）统计。
- API 调用统计指对第三方调用 API 的情况进行统计，根据 API 类型的不同以及发起 API 调用的来源（即 MEC 平台内调用、MEC 平台外调用）不同，按照不同规则（调用次数、订阅时间）进行统计。
- 数据流量统计指对数据平面在本地导出的数据流量进行统计，具体形式包括离线统计，内容统计及实时统计。本白皮书 4.2.2 章节会对流量实时统计方案进行阐述。

4) **IT 基础资源管理**：管理域通过虚拟机监控器对边缘云内的物理和虚拟 IT 基础结构进行集中管理，实现资源规划部署，动态优化及业务编排，包括对边缘云的 IT 资源池（如计算能力，存储及网络等）进行管理，以及对虚拟化技术提供支持。

3.2 MEC 典型应用需求

(1) 移动视频 QoS 优化

目前 LTE 蜂窝网络所承载的视频内容和管道之间缺乏交互，用户体验很难达到最佳。一方面，由于无线侧信道和空口资源变化较快，难以动态调整应用层（HTTP/DASH）参数以适配无线信道的变化。同样，传统的 TCP 拥塞控制策略是针对有线环境设计的，也不能准确适应无线信道的变化。另一方面，eNB 对应用层内容不可知，无法为不同类型的业务动态进行无线资源的调度，也不能为同一类型业务的不同用户提供差异化的 QoS，例如，eNB 为每个在线视频用户分配相同的 QCI、MBR 和 GBR。

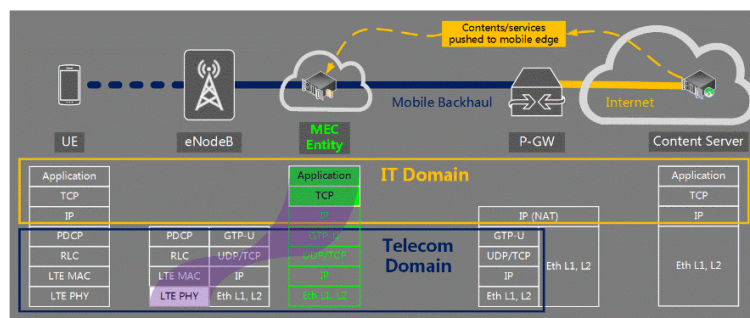


图 3.2 基于 MEC 平台实现视频跨层优化

MEC 平台可以通过北向接口获取 OTT 视频业务的应用层及 TCP 层信息，也可以通过南向接口获取 RAN 侧无线信道等信息 (RNIS、Location Service 等)，进一步通过双向跨层优化来提升用户的感知体验，从而实现运营商管道的智能化，如图 3.2 所示。

(2) 移动 CDN 下沉

当前移动网的 CDN 系统一般部署在省级 IDC 机房，并非运行于移动网络内部，离移动用户较远，仍然需要占用大量的移动回传带宽，服务的“就近”程度尚不足以满足对时延和带宽更敏感的移动业务场景。如图 3.3 所示，运营商可以 MEC 平台内部部署边缘 CDN 系统，OTT 以 IaaS 的方式租用边缘服务器节点存在自身的业务内容，并在自有的全局 DNS 系统将服务指向边缘 CDN 节点。

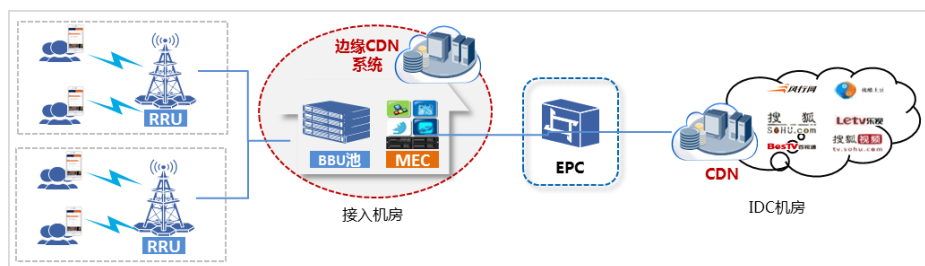


图 3.3 基于 MEC 实现移动 CDN 下沉

(3) VR 直播

在大型的电竞、球赛、F1 赛车、演唱会等直播场景，用户对时延及沉浸式体验有较高的要求。如图 3.4 所示，MEC 平台可实现 VR 视频源的本地映射和分发，为观众提供高品质的 VR 视频体验。并可通过多角度全景摄像头为观众带来独特的视角体验。例如，距离球场较远位置的球迷可以通过实时 VR 体验坐在 VIP 位置的观看感觉。另外，MEC 的低时延、高带宽优势可避免在观看 VR 时因带宽和时延受限带来的眩晕感，并且可减少回传资源的消耗。

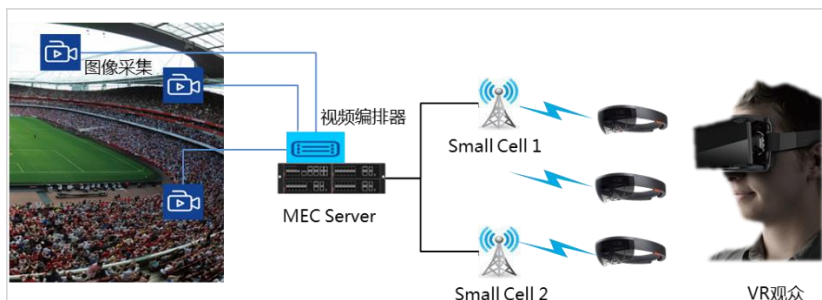


图 3.4 基于 MEC 平台实现 VR 直播

(4) 增强现实 (AR)

现有的 AR 解决方案中,用户需先下载安装巨大的 APP 来进行 AR 的体验,但手机的内存、电量和存储容量局限了 AR 的发展。如图 3.5 所示,MEC 平台通过网络数据(如 RAN 侧反馈的 Location 信息)确定用户位置,利用本地 AR 服务器提供实时的 AR 内容匹配计算和推送,实现本地实景和 AR 内容频道实时聚合,带给客户全新的独特用户体验。此外,通过本地位置相关的 AR 内容的快速灵活部署和发现,可构成 MEC 全新的就近内容提供和广告商业模式。

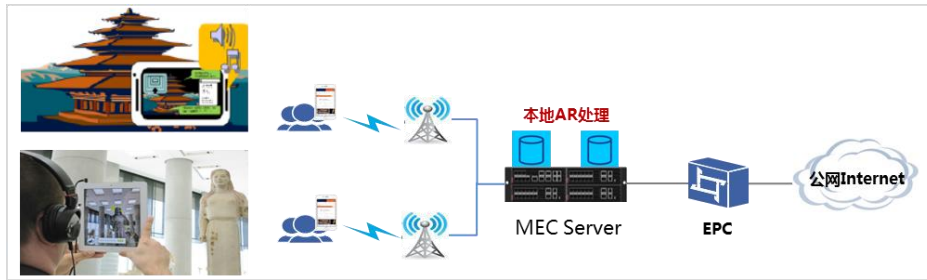


图 3.5 基于 MEC 平台实现增强现实

(5) 视频监控与智能分析

监控视频的回传流量通常比较大,但是大部分画面又都是静止不动或没有价值的。如图 3.6 所示,通过 MEC 平台对视频内容进行分析和处理,把监控画面有变化的事件和视频片段进行回传,并且把大量的价值不高的监控内容就地保存在 MEC 服务器上,从而节省传输资源,可有效地应用于车牌检测、防盗监控、机场安保等场景。

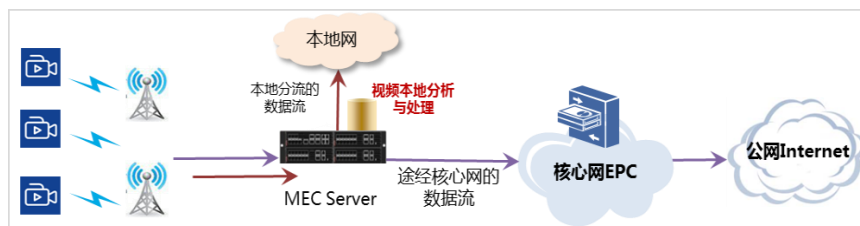


图 3.6 基于 MEC 平台实现视频监控与智能分析

(6) V2X 应用

5G 网络对 uRLLC 场景下 V2X 的远程车检与控制时延要求为 20ms,对自动驾驶时延要求为 5ms,边缘计算是 5G 网络中降低时延的使能技术。如图 3.7 所示,通过 LTE 蜂窝网络和 MEC 车联平台的本地计算,在紧急情况时下发告警等辅助驾驶信息给车载单元 OBU,相比现有网络延时,车到车时延可降低至 20ms 以内大幅度减少车主反应时间,对挽救生命和减少财产损失具有重要的现实意义。此外,通过 MEC 车联平台还可实现路径优化分析、行车与停车引导、安全辅助

信息推送，和区域车辆服务指引等。

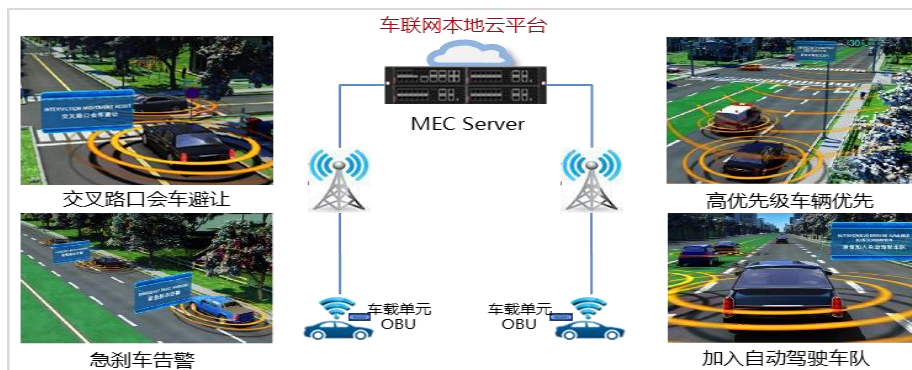


图 3.7 基于 MEC 平台实现 LTE-V2X 应用

（7）工业控制

移动互联网的迅猛发展促使工业园区对无线通信的要求越来越强烈，目前多数厂区/园区通过 WiFi 进行无线接入。然后，WiFi 在安全认证、抗干扰、信道利用率、QoS、业务连续性等方面无法进行保障，难以满足工业需求。如图 3.8 所示，结合蜂窝网络和 MEC 本地工业云平台，可在工业 4.0 时代实现机器和设备相关生产数据的实时分析处理和本地分流，实现生产自动化，提升生产效率。由于无需绕经传统核心网，MEC 平台可对采集到的数据进行本地实时处理和反馈，具有可靠性好、安全性高、时延短、带宽高等优势。

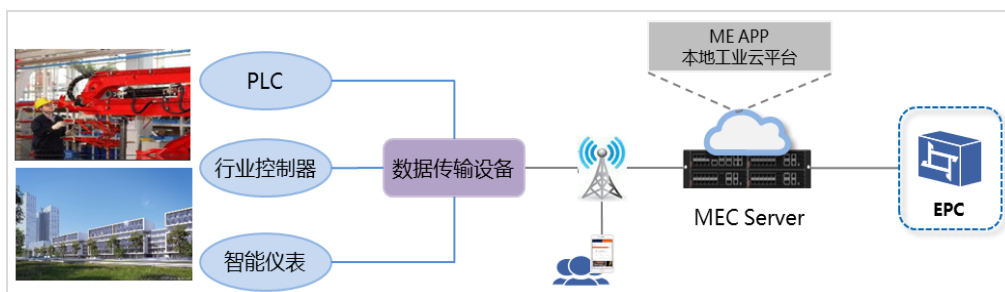


图 3.8 基于 MEC 平台实现工业控制

4 中国联通 LTE 网络 MEC 部署策略

4.1 LTE 网络 MEC 组网架构

在 LTE 网络中，MEC 服务器有两种形态：1) 作为基站的增强功能，通过软件升级或者新增版卡，与基站集成的内置方式；2) 作为独立设备，部署在基站后或网关后的外置方式。图 4.1 为中国联通 LTE 网络中典型的 MEC 端到端组网架构，MEC 服务器位于基站与核心网之间，通过解析 S1 消息实现业务的分流。基站和核心网之间通常经过多个传输环：接入环、汇聚环、和核心环。根据业务类型、处理能力，网络规划等需求，将 MEC 部署于网络中的合适位置。

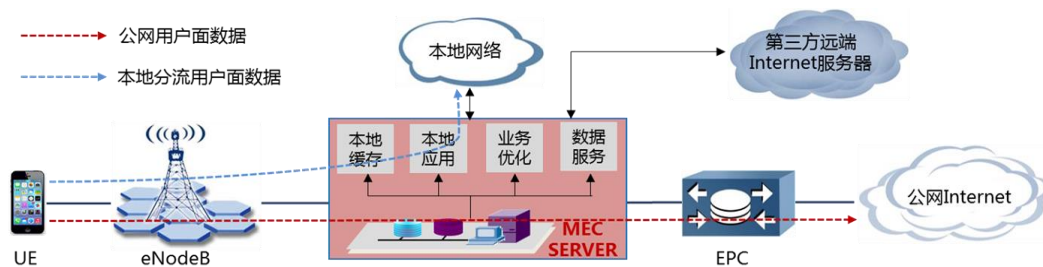


图 4.1 LTE 网络中 MEC 端到端组网架构图

MEC 可以运行于物理平台或者虚拟化平台，提供诸如本地缓存，本地数据服务，以及业务优化等功能，也可以承载本地应用，这些业务的分流规则预先配置给 MEC 的分流模块，当用户面有业务数据报文时，MEC 对报文的特征字段(例如 IP 五元组)进行解析，匹配预先配置的分流规则，如果能够匹配，则将业务流引导到对应的本地应用或者服务，如图 4.1 中的蓝色线条所示。此外，MEC 对 S1 信令的解析是透明的，不会影响基站与核心网之间信令过程，对于不属于 MEC 本地服务的业务流，MEC 将业务报文原封不动的透传给核心网。

4.2 中国联通 LTE 网络 MEC 部署方案

4.2.1 部署位置

LTE 的回传网络是相对封闭的，回传的业务流量通过隧道分级进行回传和汇聚，并由核心网统一处理后与 APN 网络内业务节点或者公网业务进行交互。LTE 网络回传的隧道使用有利于针对不同业务在回传过程中的 QOS 保障和安全策略机制。但是在日益凸显的本地化、区域化业务需求场景下，相对封闭的回传网络

为业务的端到端服务质量带来了负面影响，需要回传网络能够为此类业务进行流量卸载。与此同时，新业务的部署也需要安全可靠的通用化平台。基于此，作为独立的设备，MEC 服务器需要在不同场景下具备与现有回传网融合部署的能力，中国联通 LTE 网络中 MEC 典型的部署方式如图 4.2 所示。

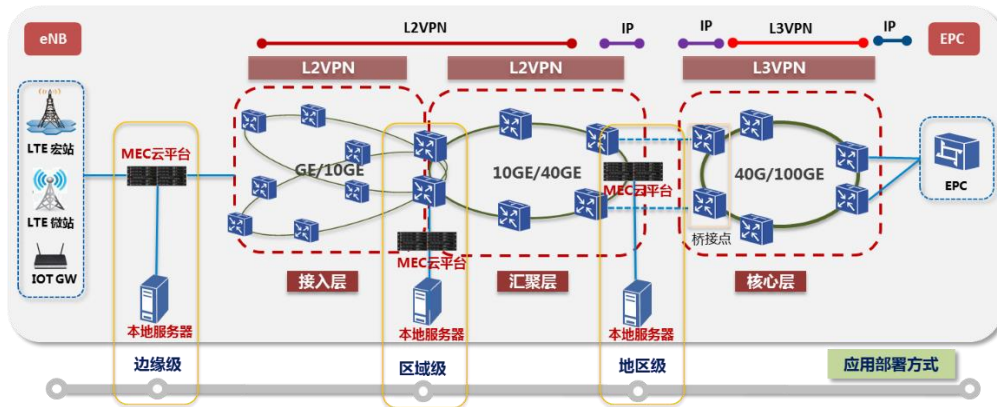


图 4.2 MEC 部署位置

1) **边缘级**：MEC 部署于基站与回传网络之间，这种部署贴近基站（宏站、室分站或 Small Cell 站），可以部署在站点机房，也可随 Cloud-BBU 池部署在无线接入机房。该部署方式下，MEC 覆盖基站个数较少，对传输的影响较小，回传链路时延最短，比较适合于本地 CASH 和 CDN 类业务。同时这种部署方式的覆盖性能与当前近端的传输相关性较大，需要综合评估覆盖需求与传输状况。此种场景下，MEC 服务器多为 L2 组网方式，需要具备 Bypass 能力以保证系统异常时不中断业务，保证高可靠性。

2) **区域级**：MEC 部署于汇聚环和接入环之间，此时需要将 MEC 部署于两环相接的传输设备的 UNI 接口，并将需要进行分流的基站流量疏导经过 MEC。在这种场景下 MEC 覆盖面积可以是 1 个或者多个接入环上的基站，并且可以针对环上不同的基站选择性进行分流。这种覆盖方式覆盖面积较大，时延也比较低。但是需要针对待分流基站在传输设备上配置或者更新 VRF 关系。这种场景比较适合区域面积相对较大的场馆，厂矿等场景。

3) **地区级**：当 MEC 部署于汇聚核心层时，这种覆盖方式主要针对大面积分流业务，或者待覆盖范围存在接入环孤岛的情况，这种部署方式时延相比较其他两种方式较大，但是能够解决跨地域传输覆盖的问题。这种方式主要部署的业务为行业性业务或者公众性业务，同时也有利于核心侧的网络能力的开放。此种场景下，MEC 服务器多为 L3 组网方式，需要修改对接网元的传输配置，确保消息能够发送到 MEC 服务器，当 MEC 服务器不可达时改选其他传输路径。

综上，不同位置的部署原则取决于业务部署的需求、覆盖面积的要求以及当

前网络的现状等综合因素。整体上需要在满足覆盖要求的前提下，尽可能的靠近无线近端部署。

4.2.2 计费方案

目前 3GPP 对于 MEC 计费相关接口尚没有明确的标准化建议。以本地分流为例，本白皮书仅给出 S/P-GW 与 MEC 联合计费方案，供中国联通在 LTE 网络中部署 MEC 时计费参考。

1) 终端与移动网络之间建立 IP-CAN 会话，S/P-GW 为 IP-CAN 承载分配 Charging ID，并指示 MEC 计费模块进行本地流量计费。其中，指示消息中包含 Charging ID、终端标识（包括 IMSI、IP 地址）、终端位置（如小区标识）等；

2) MEC 计费模块接收指示消息，建立 Charging ID 与终端标识的绑定关系；

3) MEC 计费模块周期性或由事件触发的对 Charging ID 绑定的终端按要求进行本地业务流量统计，并生成本地话单 Local-CDR。其中，Local-CDR 携带的信息包括本地区域标识、应用标识、流量信息（如使用时长、使用量）等；

4) MEC 计费模块与 CG 之间传送 Local-CDR。CG 根据 Charging ID 和 S/P-GW 地址，对于相同终端的话单进行合并处理。

在 CG 合并后的话单中，包括通过 S/P-GW 出局的远端业务流量和 MEC 本地流量。基于终端和边缘应用两个统计维度，BOSS 系统可以实现针对 MEC 本地流量的计费功能。

4.3 MEC 部署存在的问题分析

ETSI 制定 MEC 标准时重点定义了功能，具体实现方面的定义并不完善，没有和网络中的 3GPP 网元建立标准接口，商业化和产业化中还存在下述挑战：

- 计费：目前在现网应用中还未有完整的流量计费方案，需要进一步研究和评估通过 MEC 统计本地流量并上报，核心网侧新增节点（或者 P-GW 升级）负责生成话单并上报 BOSS 的方案；

- 安全：MEC 平台的安全是部署第三方应用的前提，包括物理端口隔离、逻辑端口隔离、防火墙安全控制以及接入控制等方面需要进一步研究；

- 合法监听：MEC 部署时需考虑具备针对用户级的侦听监控等功能；

- 移动性管理：尚未有经过充分验证的移动性方案，在切换场景下（MEC 服务器之间）业务连续性需要保证。

5 MEC 技术演进路线及规划

5.1 面向 5G 网络的 MEC 关键技术演进

5.1.1 流量疏导方案

5G 核心网可通过 SMF 灵活的会话管理机制，实现本地流量疏导。5G 网络可采用“上行分类”功能和 IPv6 Multi-Homing 实现本地流量卸载。

1) **上行分类 (UL CL) 方案**：如图 5.1 所示，UL CL 的增加、删除由 SMF 依据切换过程中的终端位置决定，当终端移入 MEC 覆盖区域时，SMF 通过 N4 接口对 UPF 增加 UL CL 功能和 PDU Session Anchor 完成本地流量通路的创建。SMF 可以在一个 PDU 会话的数据路径上引入多个支持 UL CL 功能的 UPF。PDU Session 可以是 IPv4 或 IPv6，UL CL 通过识别业务流的传输特征信息实现分流。

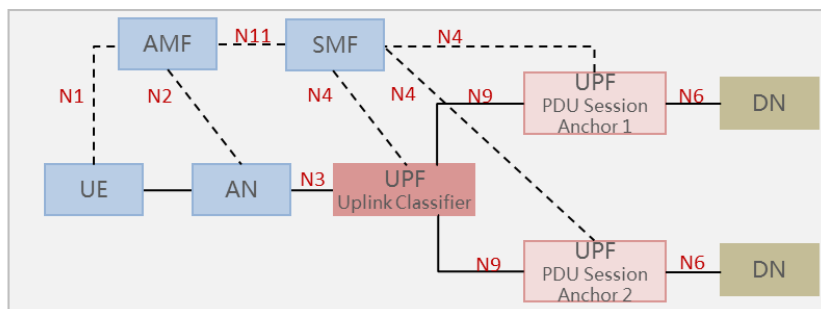


图 5.1 “上行分类”方案

2) **IPv6 Multi-Homing 方案**：如图 5.2 所示，Multi-Homing 场景下通过对 Branching Point 的增加、删除完成对本地业务 Anchor 的创建，并完成分流功能。SMF 通过 N4 接口对 UPF 功能进行控制。当会话为 IPv6 类型时通过 Branching Point 将需要分流的本地流量疏导到本地 Anchor 上。PDU session 可以与多个 IPv6 前缀关联，提供多个 IPv6 PDU 锚点接入数据网络 DN。

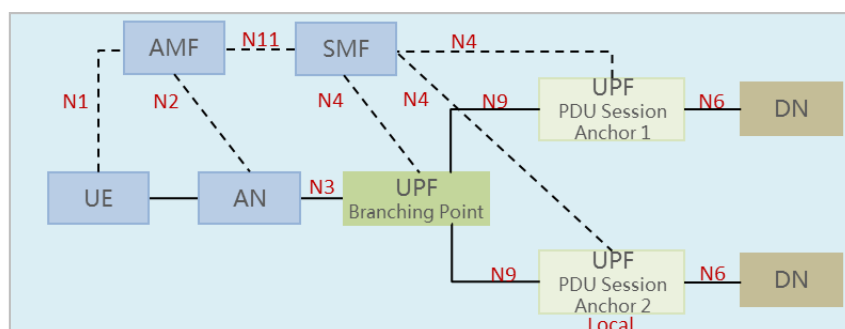


图 5.2 “IPv6 Multi-Homing”方案

5.1.2 业务连续性方案

为了支持移动性下会话与业务的连续性,5G 网络提供三种不同的 SSC 模式。

1) **SSC Mode1:** UE 移动过程中,无论 UE 所采用何种接入技术,PDU 会话建立时的 Anchor UPF 保持不变。这种模式类似于 LTE 网络中 PDN 锚点不变变更的方式。此时 UE IP 不会发生变化。

2) **SSC Mode2:** 当终端离开当前 UPF 的服务区域,网络会触发释放掉原有的 PDU Session,指示 UE 立即建立与同一数据网络的新的 PDU 会话。建立新会话时,可以选择一个新的 UPF 作为 PDU 会话 Anchor UPF,此时需要保证新建立的 Session 信息和原 Session 信息的 UE IP 相同。

3) **SSC Mode3:** 当终端离开 Anchor UPF 的服务区域,保持原有的 PDU Session 及 Anchor UPF,同时通过选择新的 Anchor UPF,并在该 Anchor UPF 上建立新的 PDU Session,此时 UE 同时拥有到 2 个 Anchor UPF 的 PDU Session,最后释放掉原有的 PDU Session,在这个过程中 UE IP 保持不变。

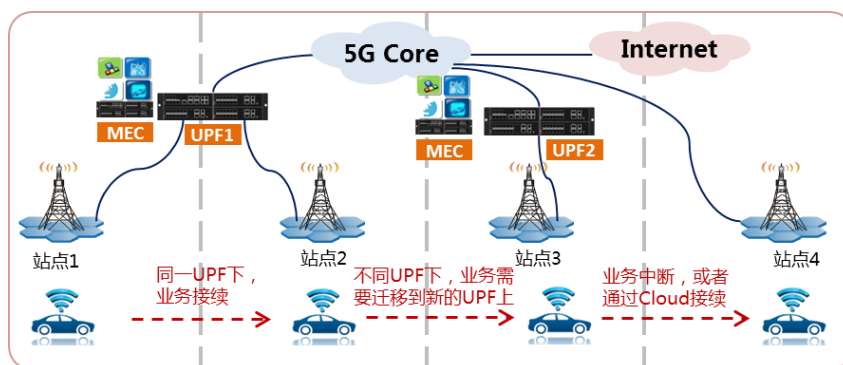


图 5.3 5G 网络会话与业务连续性示意图

根据运营商网络配置 SSC 模式选择策略,UE 可以为一个应用或者一组应用选择合适的 SSC 模式。在该策略中,可以为所有应用配置一个默认 SSC 模式。如果 UE 没有为应用选择 SSC 模式,网络可以根据签约信息、本地配置和应用请求等,为该应用选择一个合适的 SSC 模式,以支撑边缘计算业务连续性。例如如图 5.3 所示,UE 移动到 UPF1 覆盖的区域内,5G 核心网采用业务连续性 SSC Mode1,并通过上行分类或 IPV6 Multi-Homing 的方式,保持本地分流业务的连续性。当 UE 移动到 UPF2 覆盖的区域内,5G 核心网采用业务连续性 SSC Mode3,将业务迁移到新的 UPF2,业务不中断。当 UE 移动到 MEC 覆盖的区域之外,5G 核心网采用业务连续性 SSC Mode2,业务中断或者通过 Cloud 接续。

5.1.3 智能感知与优化方案

在 5G 网络中,MEC 将与 5G 网络架构深度融合,其业务分流、策略控制、

Qos 保证等功能，都将通过标准的 5G 网络功能实现。如图 5.4 所示，边缘计算应用（ME APP）通过 NEF（Network Exposure Function，网络能力开放）与 5G 网络进行实时交互。一方面，NEF 将感知的 UE 和业务流相关测量信息，比如 UE 实时位置、无线链路质量、漫游状态等传递给 MEC 服务器，MEC 服务器基于上述测量信息通过智能分析和抽象，对应用的业务性能进行优化（例如调整视频播放码率），进而提升服务质量；另一方面，NEF 将感知的应用服务相关信息，比如业务时长、业务周期、移动模式等传递给网络，网络感知分析应用提供的这些信息，进一步优化其 UE 资源配置（例如为 VIP 用户分配合适的带宽资源）与会话管理。

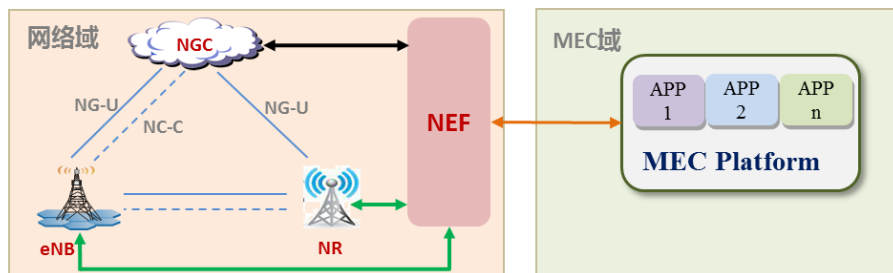


图 5.4 5G 智能感知与优化方案

针对 MEC 的各种应用，用户可经由 NEF 查询网络的各种状态，如计费策略、网络能力等，也可提交各种任务请求，如定位、带宽等。

5.2 中国联通 MEC 组网架构演进

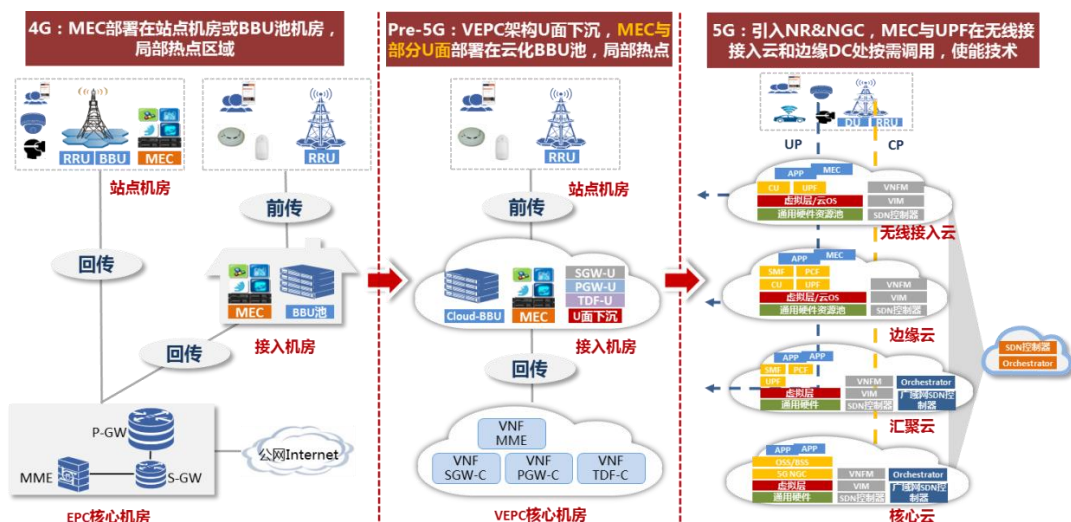


图 5.5 中国联通 MEC 组网架构演进愿景图

随着 AR/VR、高清视频、车联网等业务的兴起，用户对于时延和带宽要求越来越高，促使业务服务向网络边缘部署，MEC 为这些业务部署提供了一个边缘计

算环境。MEC 虽然一种 5G 原生技术，但由于架构的开放性，MEC 可以应用部署于 LTE 网络。中国联通 MEC 组网架构的演进愿景如图 5.5 所示。

1) **4G 阶段:** MEC 通过透明解析基站与核心网之间的 S1 接口消息，实现业务数据的分流。在热点地区，MEC 可以与基站部署于相同位置，位于基站接入侧，本地业务经过基站之后，由 MEC 分流到本地服务器，避免了在热点大流量情况下对于回传网络的冲击。另外，在基站 BBU 池化的场景下，MEC 可以和基站 BBU 池一起部署于无线接入机房，提升 MEC 的业务复用率，降低对 MEC 设备的资源需求。

2) **Pre-5G 阶段:** 随着 NFV 和 SDN 技术的成熟，接入机房实现虚拟化改造，为基站、核心网、以及业务提供运行所需的虚拟资源。基站 BBU 虚拟化之后，形成 Cloud-BBU，部署于接入机房的数据中心。核心网网元一方面完成虚拟化，另一方面完成控制转发的分离，网关节点分离成为控制面网元 SGW-C、PGW-C 和 TDF-C、转发面网元 SGW-U、PGW-U、TDF-U。根据需要将转发面网元 SGW-U、PGW-U、TDF-U 部署于接入机房数据中心，形成了 Pre-5G 网络架构。在该架构中，网络接口采用 4G 标准接口，网络架构体现了 5G 网络的特征，其控制面和转发面网元可以通过协议软件升级，演进到 5G 网络架构。在 Pre-5G 阶段，MEC 以 4G 形态为基础，支持虚拟化部署，和 Cloud-BBU 以及核心网转发面网元一起，联合部署于接入机房的数据中心。

3) **5G 阶段:** 5G 网络架构以数据中心为基础设施，以云计算作为基础平台，从接入层到核心层，形成了四个云中心：无线接入云、边缘云、汇聚云和核心云。核心网网元功能全面地虚拟化和服务化，根据需要部署于各个云中心。此外，无线侧采用 CU/DU 架构，CU 基于虚拟化技术，可以部署于无线接入云和边缘云。

在 5G 网络架构中，UPF 可以提供分流功能，PCF 实现分流策略的控制。与 4G MEC 相比，5G MEC 与 5G 网络深度融合。MEC 服务需要的分流规则，通过接口告知 PCF，PCF 将分流策略配置给 SMF，再由 SMF 发送给基站和 UPF，最终由 UPF 实现分流的功能，如图 5.6 所示。在 5G 网络中，UPF 可按需部署于网络的各个位置，实现将业务分流到 MEC 服务器。比如对于时延要求较高的 AR/VR 业务，可以将 UPF 和 MEC 部署于接入云；对于高清视频业务，部署于边缘云或者更高一级的汇聚云，以便提高业务的命中率。

此外，由于 5G MEC 基于 5G 网络架构实现，其分流功能和策略功能使用了 5G 网络中标准的 UPF 和 PCF 网络功能，因此能够从根本上解决 4G MEC 中存在的计费问题以及策略问题，使 MEC 能够真正实现商用化。通过 5G MEC 提供的计算能力和平台架构，配合虚拟化灵活部署，构建开放的网络边缘生态环境，

从而为用户提供优质体验的移动通信服务。

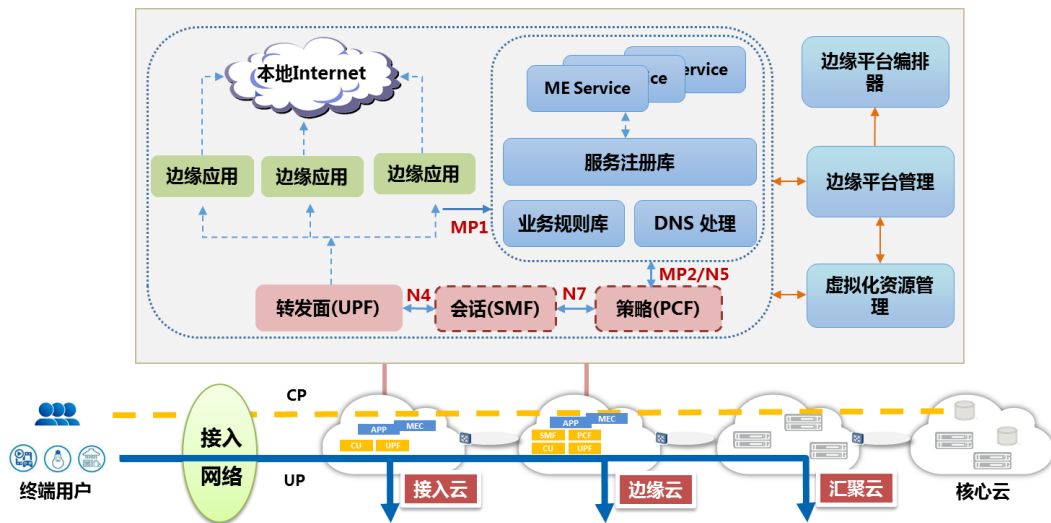


图 5.6 5G 网络与 MEC 融合架构图

5.3 中国联通 5G 网络 MEC 部署规划

在 5G 网络中，MEC 的部署位置与业务场景具有密切关系，可以按需将 MEC 部署于无线接入云、边缘云或者汇聚云。总体来说，对于 uRLLC 低时延场景，MEC 需要部署于靠近基站侧的无线接入云；对于 eMBB 场景的大流量热点地区，MEC 可以部署于边缘云；对于 mMTC 场景，MEC 部署于位置较高的汇聚云，能够覆盖更大区域的业务需求。

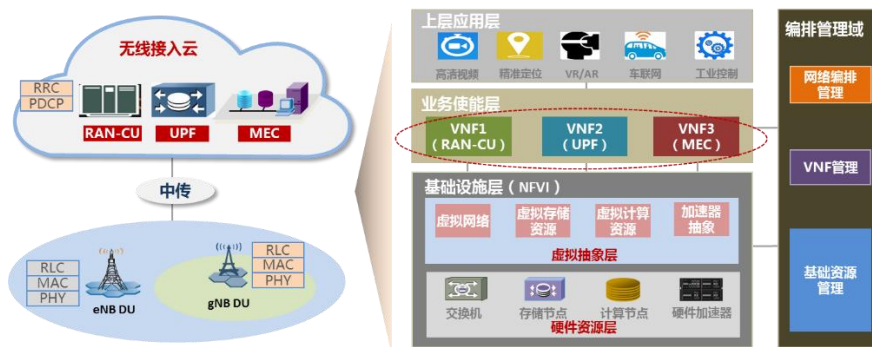


图 5.7 5G 网络 MEC 部署于无线接入云

● 方案一：无线接入云

无线接入云位于无线侧，MEC 与基站 CU 单元，核心网转发面 UPF 部署于无线接入云，如图 5.7 所示。通过在基站侧部署本地业务，为用户提供更短时延(<4ms)的服务。其中，CU 单元包括 RRC 和 PDCP 层，DU 单元包括 RLC、MAC 和 PHY 层，且 4G eNB 和 5G gNB 的 CU 单元可以合设。此方式下，MEC

业务覆盖范围较小,适用于移动速度低,甚至不移动但对时延敏感的业务,比如:AR/VR 业务,或者区域性业务(如赛场、场馆、景区相关的业务)。

● 方案二: 边缘云

MEC 和核心网转发面 UPF 一起部署于边缘云,与 5G gNB CU 单元经过传输接入环相连(CU 部署于无线接入云);或者 MEC、UPF 和 CU 单元共同部署于边缘云,与 DU 单元通过 Midhaul 网络相连。MEC 部署于边缘云相比部署于无线接入云时延略有增加,但此时 MEC 业务覆盖范围增加,因此对于移动速度快,且有时延要求的业务,比如车联网,部署于该场景比较合适。

● 方案三: 汇聚云

汇聚云通常位于地市级,覆盖范围大,业务种类多。MEC 与核心网转发面 UPF 部署于汇聚云,能够充分发挥 MEC 平台优势,为各种业务提供服务。适用于广覆盖、大流量和大连接的场景。

总之,MEC 的部署位置非常灵活,需要以 ITU 定义的三大典型场景为基础,综合考虑业务时延和业务带宽的需求,在管理编排系统的统一控制下完成部署。对于一些业务,比如 CDN,可以在不同层级上部署相同的业务,如果终端用户命中无线接入云的 MEC,则由无线接入云的 MEC 提供服务,如果命中边缘云或者汇聚云,则由边缘云或者汇聚云为用户提供服务。

6 总结和展望

纵观过去十多年历程，移动技术创新持续推动移动产业发展，5G 相比 4G 成为社会的基础生产力，可实现全行业数字化。5G 将在提升移动互联网用户业务体验的基础上，进一步满足 IoT 应用的海量需求，并与车联网、工业控制、远程医疗和能源等行业深度融合，实现真正的“万物互联”。

ETSI、3GPP、NGMN 等国际标准化组织已经将 MEC 作为 5G 架构的一部分，并开展相关的研究和标准化工作。在 5G 时代，MEC 的应用将延伸至交通运输系统、智能驾驶、实时触觉控制、增强现实等领域，成为运营商数字化转型的关键使能器，实现了网络从接入管道向信息化服务使能平台的跨越。MEC 行业标准的制定和虚拟化通用平台的部署将提供新型的网络生态系统和价值链。MEC 给运营商提供了一个第三方应用注册和管理的平台，可以迅速集成第三方应用，并实现网络能力开放，从而使垂直行业的业务定制和第三方应用灵活上线，方便运营商开辟新业务。

在 MEC 产业生态构建方面，中国联通一直在积极努力与产业伙伴共同进行新业务的探讨、测试和商用落地。我们诚挚邀请所有移动运营商、电信设备厂商、OTT、应用开发商，以及所有关注 MEC 发展的研究机构和企业，共同参与到 MEC 技术标准的研究、平台的开发和现网验证中，共同挖掘新业务场景，探讨商业合作模式，推动 MEC 产业的发展。