



中国联通 CUBE-NET 2.0+： 边缘网络演进白皮书

中国联通
2019年6月



目 录

1 概述.....	1
2 边缘业务场景.....	3
3 边缘网络特征.....	4
3.1 泛在大规模复杂连接.....	4
3.2 确定性高精度网络.....	5
3.3 高通量接入与交换.....	6
3.4 网络与算力融合.....	7
4 边缘网络面临的挑战.....	7
4.1 服务质量.....	7
4.2 极简运维.....	8
4.3 成本压力.....	8
4.4 安全风险.....	9
5 边缘网络架构.....	9
6 边缘网络新技术与方向.....	11
6.1 固移融合.....	11
6.2 驻地网络与 TSN.....	12
6.3 切片.....	13



6.4 云原生	13
6.5 IP 技术演进.....	14
6.6 5G 向 6G 演进.....	15
6.7 网络智能化.....	16
6.8 能力开放.....	16
7 边缘网络生态商业模式.....	17
8 总结和展望	18
缩略语	20
白皮书联合编写单位.....	23

中国联通 CUBE-NET 2.0+：边缘网络演进白皮书

1 概述

随着边缘计算、5G、IOT、工业互联等新兴业务的开展，传统的“接入-汇聚-核心”网络架构（如图 1）存在如下制约：

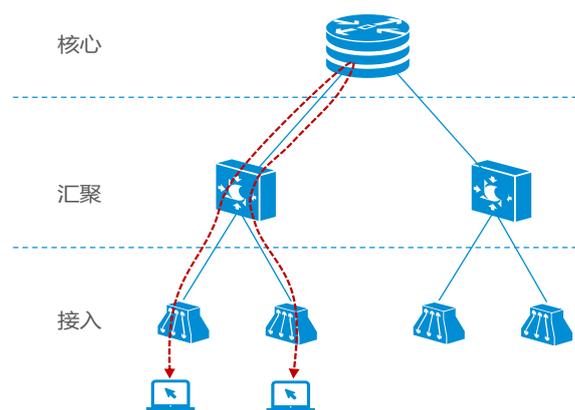


图 1：传统网络架构

1. 端到端的业务流量必须经过核心层处理（如红色线），增大了网络开销和业务时延；
2. 无法支撑算力在端侧、网络侧和云侧按需分配和部署；
3. 无法满足高精度网络以及确定性网络的要求；

另一方面，随着 SDN、NFV、云原生、网络自动化等新技术的不断演进和落地实践，业界对 DC、边缘云、Fabric 架构都开展了充分研究并积累了较多经验。但对于在新兴场景下网络往边缘延伸需要面对哪些问题、具备哪些技术和能力以及整体网络架构如何变革等方面的研究，在深度和广度上都不足以应对即将到来的挑战。

以此为契机，中国联通秉承“新网络，新服务，新生态”的理念，不断推进 CUBE-NET 2.0+ 新一代智能网络架构的研究与实践，基于对新兴业务场景、网络技术发展趋势、网络体系构架等方面的分析与探索，深入诠释边缘网络，分析边缘网络的特征与挑战，提出发展边缘网络的构想。

边缘网络的位置及不同业务流程示意如图 2：

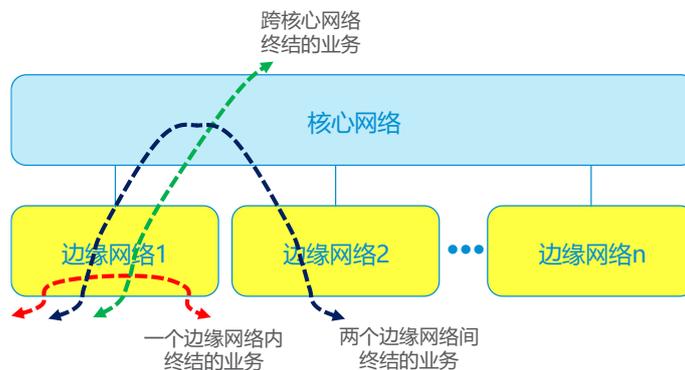


图 2：边缘网络示意图

边缘网络涵盖的范围包括：

- 云化/非云化的综合业务接入点
- 云化/非云化的汇聚节点
- 边缘数据中心
- 用于特定场景的现场部署节点（如应急车、场馆机房等）
- 将上述通信节点与端侧通信节点（或端侧网络）连接起来的网络

可以看出，边缘网络包含云化的综合业务接入点、云化的汇聚节点以及边缘数据中心，涵盖了边缘云。

边缘网络对于核心网络而言，具有一定的独立性，两者的协作关系根据业务流程的不同，可以分为以下三类：

1. 传统纵向业务：如图 2 中绿色线所示，端侧、边缘网络、核心网络相互配合，完成业务流程；
2. 单个边缘网络独立提供的业务：如图 2 中红色线所示，单个边缘网络就可以完成端侧设备的终结业务或交换业务，该场景下边缘网络相对独立，业务流程不需要核心网络参与；
3. 多个边缘网络间的业务：如图 2 中蓝色线所示，该业务流程需要端侧、边缘网络、核心网络相互配合完成业务流程。

边缘网络的发展与演进，可以应对新兴业务场景所提出的各类新需求，促进网络架构的优化演进，由此运营商可以进一步挖掘和经营网络价值，引领数

数字化转型。另一方面，边缘网络面向千行百业，互联万物，网络的参与者、建设者、使用者和维护者所构成的生态空间远超传统网络，边缘网络使得 NaaS 真正成为可能，并为网络生态参与者提供广阔的技术创新空间和商业模式创新空间。

2 边缘业务场景

互联网作为信息时代的基础设施，主要通过采用云计算，以集约化的方式实现业务部署。云计算的快速发展促使网络技术的演进以从边缘向云资源中心汇聚流量为主，兼顾骨干层云互联。而随着 5G，人工智能，工业互联网、物联网、AR/VR 等技术的发展，业务对带宽、时延、安全性等方面的需求越来越苛刻，集约化部署方案已经无法满足业务需求。泛在计算逐渐成为热点技术，边缘业务将大量涌现，一些典型的新业务场景如下：



图 3：边缘业务场景

新媒体类：以 4K/8K 视频、云游戏等消费型业务为代表的大视频类业务逐渐开始向边缘下沉，以 VR/AR 为代表的新应用在边缘兴起，以全息图为代表的未来新媒体业务正在扑面而来。在网络大信息传送条件成熟时，这些新的业务将会迅速爆发。

工业互联网：随着中国制造 2025 和工业 4.0 进程推进，在全世界有数百万种机器设备，从简单的电动摩托到高尖端的 MRI（核磁共振成像）机器，有数千万种复杂机械的集群，将依靠网络实现协同作业。制造业将依托边缘网络将产业链拉长，形成跨设备、跨系统、跨厂区、跨地区的互联互通，从而提高效率，推动整个制造服务体系智能化。

车联网：车联网的目标是实现“人—车—路—云”高度协同，对社会发展有深刻的意义，因此车联网成为近年来的热点研究领域。各大汽车制造商、互联网巨头、电子制造商纷纷入局车联网。车联网系统需要透彻的感知能力，除了感知道路状况，如周围车辆情况、道路周边潜在危险情况等，还要感知各种各样的要素，如污染指数、紫外线强度、天气状况、附近加油站，未来这一切将在边缘网络支持下得以实现。

更多业务如电力、医疗、工业控制、农业生产等领域的应用也普遍在网络边缘发生，这些业务需要新的基础设施支撑。随着边缘业务发展，泛在计算需求促使资源和算力的分布发生流动效应。运营商在完成端到端的网络连接能力构建的同时，需要逐渐地构建自带算力的分布式边缘网络。在新兴业务驱动下，网络流量模型将继续向去中心化方向发展，泛在的网络和计算将深度融合。网络边缘的业务场景将趋向繁杂，边缘网络成为支撑这种繁杂场景的关键基础设施。

3 边缘网络特征

3.1 泛在大规模复杂连接

边缘网络需要在接入技术、接入终端和差异化连接三个方面为泛在计算带来的大规模泛在连接需求提供技术保障。

接入技术趋向多样化：传统的宽带接入技术、OTN 接入技术和无线接入技术满足了当前消费互联网和企业专线的接入需求。未来面向行业，需要支持 5G、NB-IoT、卫星接入、PLC 载波通信以及 6G 等不同的接入技术，以实现泛在连接覆盖，满足产业链上不同接入场景和产业生态发展的需求。

接入终端类型趋向丰富：一方面接入技术的多样化驱动了接入终端多样化，另一方面，千差万别的行业对接入终端的要求不一样。丰富的终端类型和

多样化的接入技术结合是泛在连接覆盖的基础。边缘网络需要为行业终端提供尽可能方便和低成本接入支持，同时支持一定的管理功能，比如大量的物联网设备需要一直在线，运营商需要具备对设备位置、在线状态等进行监控和管理的能力。

连接趋向复杂：多样化的应用带来的网络连接需求对网络要求千差万别：对于工业控制场景，业务中断会造成财产损失。因此，网络需要提供 1ms 的延时和高可靠的保障，同时也要有较高的网络连接隔离要求；车联网中自动驾驶防碰撞的需求涉及人身安全，需要极低延时以及 99.999%可靠性的网络支撑；智能工厂、远程医疗、智能电网等业务也都对网络提出了十分苛刻的需求。未来连接的数量将爆发式增长，连接的服务质量要求差异化，连接去向由单纯集中式的云计算中心节点转向泛在的边缘节点与集中式云计算中心节点并存，连接整体趋向复杂。

3.2 确定性高精度网络

为了支持工业控制与工业互联网、远程医疗、触觉网络等对时延和抖动有严格要求的业务，边缘网络需要提供确定性和高精度服务。

在当前工业现场驻地网络中，工业以太网协议一定程度上已经可以满足现场的确定性和高精度服务需求。但是现场技术都不具备大规模可扩展性，难以在三层网络中大规模应用。未来网络需要以边缘网络为起点，通过支持以下网络特性提供更大规模的确定性和高精度服务：

时钟同步：边缘网络设备和终端设备使用 IEEE 1588 精确时间协议将其内部时钟同步到 1 μ s-10 ns 的精度。

零拥塞：拥塞丢失是网络节点缓冲区已满时导致的报文溢出丢弃，是尽力而为机制下网络丢包的主要原因。零拥塞丢失通过调整数据包的传送并为临界流（critical flow）分配足够的缓冲区空间，以消除针对特定业务服务的流可能遇到的拥塞。

超可靠：网络节点故障是丢包的另外一个重要原因。支持确定性和高精度业务的网络可以通过多个路径发送序列数据流的多个副本，并消除目的地或附近的副本。这样每个数据包都被复制并被带到或接近其目的地，不存在故障

检测和恢复周期，因此单个随机事件或单个设备故障不会导致丢失任何一个数据包。

与尽力而为机制兼容：除非确定性和高精度业务流的需求消耗了过多的特定资源（例如特定链路的带宽），否则可以与尽力而为流量一起调度。尽力而为的服务质量实践，例如优先级调度、分层 QoS、加权公平队列等仍然按照其惯常的方式运行，但确定性和高精度业务流降低了尽力而为流量的可用带宽。

自带高精度增值业务：未来边缘网络自身将带有一些高精度业务功能，比如拥有一个包含广域覆盖网、超密集组网(UDN)、专有无无线系统、WLAN 系统等多种定位网络形态的异构定位系统。高精度定位技术是移动互联网和物联网业务的关键技术。室内环境采取 Wi-Fi 融合带内信号、行人航位推算系统(PDR)等方式，存在超宽带(UWB)的环境优先采用 UWB 方式，在室外环境下可以结合多种卫星定位系统提升定位精度。

3.3 高通量接入与交换

随着 VR/AR 技术的发展，视觉感受类业务对网络的要求越来越高，即将到来的全息通信对网络带宽的要求是现在 4K 高清视频的数百倍。当前 VR/AR 技术已经部分应用，但是因为传输速率不够，经常出现卡顿、模糊的现象甚至让人晕眩,导致体验不佳。只有网络速率提高，360° 的画面都能够清晰而稳定地呈现，“远隔万里却身临其境”的体验才能变成现实。为满足此类以大信息量为基础的新型业务对网络的要求，将来边缘网络接入侧速率将突破 10Gbps，向着 1Tbps 发展。同时为避免骨干网络压力过大，边缘网络需提供大容量的交换能力，终结可以在边缘完成的业务流量。

高速有线接入：边缘有线接入的 PON 网络技术已经经历了从 EPON 和 GPON 到 10G-PON 的发展历程。当前全球宽带接入市场逐步进入千兆时代，10G-PON 入户在国内已经开始建设。下一步 10G-PON 技术也难以满足未来的驻地接入、移动前传和回传的带宽需求，宽带接入需要支持 25G/100G 等更高速率的 PON 技术。

高速无线接入：无线接入网络 MIMO 技术将进一步升级。同时，使用更高频率如太赫兹、更先进的天线技术如纳米天线，将接入速率从 1G 向 1T 级别推进。并且支持点到点（P2P）无线通信，提升边缘业务通信质量，缓解骨干网压力。

大容量边缘交换：随着边缘接入高通量业务，网络流量会汹涌增长，骨干网络将无法承受流量汇聚压力，同时流量向上绕行也会影响业务体验。边缘网络提供交换通道，使边缘业务可以在边缘网络本地完成交换，这无疑从源头控制了网络数据流量，减轻整个网络的压力。在边缘提供基于低成本大容量交换设备，以及在基站等设备上支持横向通信能力将是边缘网络的发展趋势。

3.4 网络与算力融合

传统网络采用集中化的云-端架构，端侧进行采集和简单处理，云侧进行最终业务处理。这样的架构在 5G 场景下无法满足业务大带宽，多连接，低时延的要求，端侧无法处理如此大量的数据，而全部传递到云侧处理则对传输带宽带来了极大的压力，时延也无法保障，影响了业务的发展和用户的体验。

因此边缘网络需要提供本地计算能力，使得业务能够快速就近处理，对于可在本地处理的业务就在边缘网络进行终结，边缘无法处理的业务才进行上送，这样既可以提高用户体验减少传输的压力，又能满足 5G 新兴业务的需求。

边缘网络的计算能力具有多样化特性，从部署设备来看，既可部署在独立的新增设备上，例如服务器，也可以利旧，在已有设备上增加，例如在网络设备上新增硬件计算模块；从能力形态来看，既可以提供裸设备计算能力，也可以提供云化计算能力。这些多样化的边缘网络的计算能力，和云侧算力，端侧算力一起，构成完整的分布式计算网络，使得业务所需算力在整个计算网络上按需分配，满足业务需求。

4 边缘网络面临的挑战

4.1 服务质量

边缘业务面对的多样化场景，对边缘网络的服务质量提出了更高的要求，具体表现在以下方面：

单业务场景服务质量要求提高：自动驾驶、金融证券、AR/VR、远程医疗、DC 间数据实时同步等业务场景对网络的带宽、时延、抖动、丢包率等指

标提出了更高的要求：确定性业务要求固定的网络时延，时延过长或过短都不符合要求。

同一张物理网络支撑多种服务质量：基于成本及节能减排的因素，不同服务质量的要求不可能全部通过专网专用的方式满足，这就要求在一张物理网络上能够支持差异化的服务水平承诺（SLA）。

广义的服务质量：边缘网络向用户开放了网络规划与设计、业务部署、算力部署、意图驱动等能力，这些能力交互界面是否友好、响应是否准确及时、意图识别及执行的准确率都需要纳入服务质量的范畴。

边缘网络通过端边协同、云边协同、边边协同为各类业务提供服务，上述服务质量要求，在边缘网络的架构设计、网络规划、交互设计等方面都提出了挑战。

4.2 极简运维

边缘网络相对于传统网络的特殊性，导致了运维的复杂度增加，具体包括：

场景复杂多变：与传统网络相比，边缘网络面对的场景大幅增加，覆盖 5G 场景、IoT 场景、工业控制场景、AR/VR/游戏/直播场景等，维护对象除了传统的电信设备类别，还需要覆盖海量的多类别端侧节点（或端侧网络）；

技术范围扩大：边缘网络需要引入新的技术，包括新架构、新协议等，另外边缘网络融合了算力，使得运维人员所需掌握的技术范围相应地扩大，包括 SDN、云计算、虚拟化、NFV 等技术领域；

这些特点使得边缘网络的运维技术门槛变高。另一方面，由于边缘网络的生态参与者范围扩大，这些参与者的运维技术能力低于传统网络的运维人员。这两方面的反差对边缘网络的运维提出了极大的挑战，催生边缘网络必须支持极简运维。

4.3 成本压力

边缘网络的成本，体现以下几个方面：

网络建设成本：边缘网络提供大范围的覆盖，导致边缘网络的节点连接成本增加；另外由于边缘网络需要接入海量节点，形成规模效应，单节点成本的少量增加也会导致总体成本大幅增加。

算力部署成本：由于边缘网络融合了算力，其建设成本不仅包含网络设备和连接线缆，还需要增加计算资源成本以及由此带来的机房面积、供电等的成本。

运维成本：边缘网络节点的地理位置分散，无值守人员，人工下站维护成本增加。

边缘网络的规划、设计、算力部署等多个环节都需要考虑建设成本和运维成本，成本竞争力是建设边缘网络的重要指标。

4.4 安全风险

边缘网络和原有网络相比，具有本地计算、开放、ICT 融合的优势。但是伴随着这些优势，带来的安全性风险也大大提升：

网络边界安全：边缘网络处于端侧和核心网络之间，和原有网络相比，边缘网络拥有计算能力，有大量的业务可在边缘网络内进行处理，这样需要将以往在核心网络的业务处理单元下沉至边缘网络，由此带来业务处理单元和核心网络及端侧对接的网络安全问题。

开放安全：边缘网络会提供资源以及 API 用于部署第三方应用，进行本地业务处理，由此边缘网络内部存在被非授权访问造成敏感数据泄露风险，也存在带毒的 APP 攻击其他 APP 和边缘网络基础设施的风险。

物理安全：大量贴近用户的边缘网络节点都是无人值守站点，物理设备安全性大大降低，物理设备的端口存在被攻击、被监听的风险。

5 边缘网络架构

通过分析边缘业务场景，识别边缘网络特征和挑战，中国联通提出边缘网络的架构构想，如下图所示：

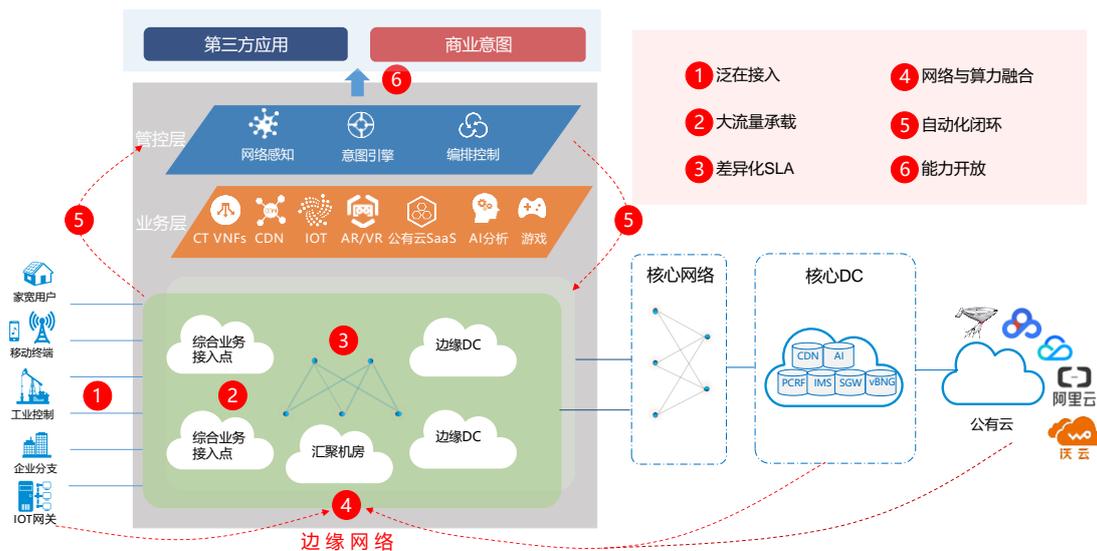


图 4： 边缘网络架构

在该架构中横向是业务接入方向，边缘网络汇接端侧节点（或端侧网络），并完成与核心网络的连接。纵向为边缘网络的三层架构：管控层、业务层和网络层。

边缘网络架构具备如下能力：

泛在接入：边缘网络支持多样化的接入方式，支持多种类型端侧节点（或端侧网络）的接入，提供随时随地的接入能力。

大流量承载：边缘网络承载用户的大带宽流量，满足用户高通量信息交换的需求。

差异化 SLA：不同的业务类型需要不同的服务质量，边缘网络具备在同一张物理网络上为不同业务提供差异化 SLA 的能力。

网络与算力融合：数字化和智能化的算力迅速增加，导致终端成本快速上升，成本因素推动算力向云端移动，而在云端网络延时不可控，算力不能服务实时性的数字化智能业务；边缘网络兼有低延时、低成本和云计算特征，端侧算力需求向其汇聚，云侧算力服务向其下沉，边缘网络成为网络与算力的融合体。

自动化闭环：边缘网络的三层架构相互协同，通过网络感知、大数据分析、AI 训练、编排控制等环节，构建自动化闭环，为边缘网络注入智能，使得边缘网络具备自我调节和自适应能力。

能力开放：边缘网络通过管控层提供北向 API 接口，向第三方开放网络能力、APP 部署能力、切片能力等；进一步地，意图驱动网络技术、自然语言识别技术的发展使得用户交互体验更为友好，仅需输入商业意图，由意图引擎、编排控制自动化完成网络和业务的部署。

此外，由于边缘网络引入了新的安全风险，建设边缘网络需要同步建设安全机制：按需建立加密通道，保证边缘网络的传输通道安全；在第三方应用和边缘网络之间增加防火墙隔离，保障边缘网络安全；通过边缘网络端口安全控制和链路加密控制，提供完善的物理安全方案。

6 边缘网络新技术与方向

6.1 固移融合

移动宽带在互联网接入、数据服务等方面替代了部分固定网络功能，如智能手机逐渐取代电脑等固定终端，成为接入互联网的首选方式。但同时，由传统蜂窝、Cloud-RAN 组成的异构网络需要大量的移动回程网络，尤其是在接入段，移动网络和固网同样需要大量的光纤基础设施。

固定网络与移动网络的融合是通过两者之间的融通、合作，从而实现全业务及融合业务的经营，为用户提供多样的高质量通信、信息和娱乐等业务，并与其终端、网络、应用和位置无关。

在 4G、5G、WiFi 以及固定接入等多个网络融合的架构中，有如下融合方式：

回传网络的融合：针对不同运营商在移动网络或者固定宽带网络的优势，通过边缘网络中计算节点灵活路由的特性，可采用移动回传链路承载固定宽带业务，或采用固定宽带链路分担边缘网络高吞吐量要求对于移动网络回传带来的压力，这即是固定网络与移动网络融合的重要方面。

业务部署的融合：基于边缘网络的应用部署，不同网络下的用户均能够得到服务，并且可保证同一用户在不同网络制式下的一致性体验。举例来说，在

边缘网络中部署的 MEC、5G 用户面功能，以及固网 vBRAS，可以更进一步提升宽带用户的业务体验，固网 CDN 的资源也可以部署在边缘 DC 中，从而实现固定网络和移动网络的业务融合。

6.2 驻地网络与 TSN

驻地网络主要完成用户终端到运营商网络的汇聚接入功能。在驻地网络中，既包括传统基于 IEEE802.3 技术的以太网设备，也包括了工业场景中常使用的 POWERLINK、Profinet、EtherNet/IP 和 SERCOSIII 等各种工业以太网技术设备。由于各种以太网协议之间不兼容，使得用户在引入设备时，需要分别规划相应的驻地网络。

为了统一工业以太网，IEEE TSN 任务组专注于具有有界低延迟、低抖动、超低损耗保证的数据传输网络技术研发。TSN 采用宽松裤子模型，基于 MAC 层实现了控制面和数据面分离，原有 IP 应用在 TSN 网络中可以保留原有实现方式。目前 TSN 任务组在时间同步、有界低时延、超高可靠性和专用资源/API 这些技术方向上，已经立项和发布了一系列的 802.1 标准。

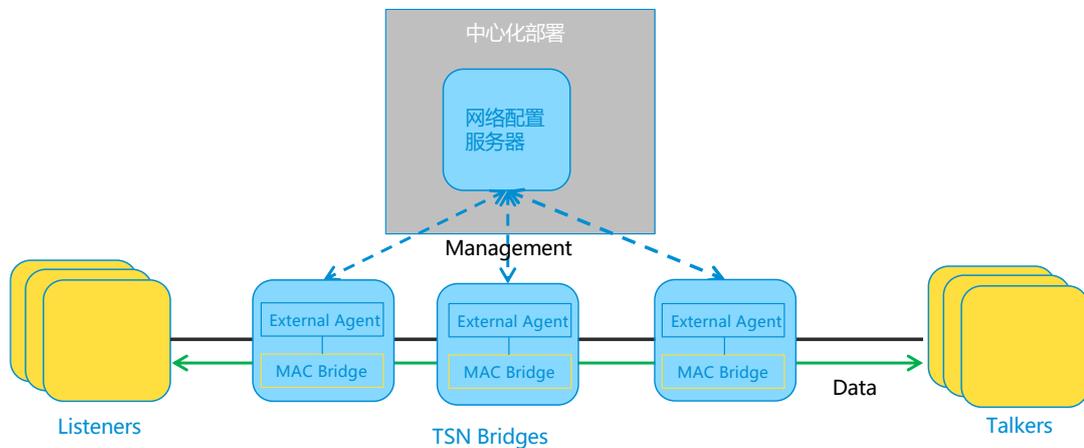


图 5：TSN 网络配置管理

用户驻地网在接入到边缘网络时，边缘网络中的 SDN 控制器和用户驻地网的中心化 TSN 网络配置服务器间可进行统一的网络配置规划，结合切片/VLAN 等技术，可以针对不同工业应用场景提供 E2E 的 QoS 服务。用户驻地网络的一

些工业设备进行 5G 移动改造后，可以通过 5G 接入到边缘网络，经过边缘网络与驻地网络的协同，完成与驻地网络中其他工业设备的互联互通。

6.3 切片

网络切片具备在线签约、能力开放，不同业务安全隔离等特性，能够很好地支撑和满足边缘网络灵活组网等各类演进需求。根据不同行业应用的不同覆盖范围和安全隔离需求，网络可以提供封闭场景、半封闭场景和开放场景等切片部署方案。

切片支撑行业应用新业务的开展：在智能制造等行业中，存在大量的图像识别、视频分析、VR 渲染等海量存储和高性能计算业务。其特点是数据量大，而且不出园区。MEC 提供边缘计算，靠近用户侧，同时具有软件加速和硬件加速(如 GPU、FPGA)技术。边缘网络使用切片技术可以为运行在 MEC 上的高性能计算业务提供低时延保障，助力许多行业应用在网络边缘的发展和数字化转型。

切片能力开放：未来许多边缘网络中的终端、接入设备均会支持网络切片，进而实现从接入终端开始到业务处理节点之间端到端的网络切片。将切片能力对外开放，可以使边缘网络的连接保障能力作为一种服务展现给用户，使行业客户对边缘网络切片可视可控，按需订购，获取切片的状态，检测切片实际运行的时延、带宽等信息；也可以获取切片终端（如机器人、传感器等）的状态、终端位置等信息，实现用户终端管理、QoS 控制以及其它新业务、新功能的开发，提升用户的业务体验。

切片助力边缘网络的发展：切片是 5G 时代的关键技术，融合了云化/虚拟化、边缘计算、安全隔离、自动化、人工智能、软硬件加速等。随着 5G 向 6G 的演进，切片将逐步的应用于各行各业，促进智能制造、智能电网、车联网的发展，以及智慧城市、智慧园区、智慧校园、智慧医疗等的建设，助力边缘网络的建设，全面推动行业应用的发展。

6.4 云原生

云原生（Cloud Native）是一种在网络重构的深入发展阶段，“网络云化”的基础上进一步追求敏捷业务部署、高效资源利用、低成本运营和能力开放的

重要技术。未来边缘网络上将部署大量运营商以及第三方的 VNF/APP，采用云原生技术将成为边缘网络发展趋势。

云原生具有如下重要特性：

微服务架构：采用无状态的微服务作为基本粒度来构建整个应用。微服务采用“高内聚，低耦合”的思路进行设计，彼此之间通过 API 或统一的消息总线进行通信。用户的动态信息统一存放在共享数据库中，部署在不同位置的各个微服务实例可以通过该共享数据库获取用户的最新状态。对时延要特别敏感的服务可以就近部署在边缘网络中。

自动化：围绕云原生应用，从蓝图设计、资源调度编排和生命周期管理、应用状态监控、控制策略更新等多个环节都应该实现高度自动化，各个环节之间有效衔接形成闭环反馈机制，实现业务的一键部署安装、全面自治和高效管理。通过高效自动化平台，可以实现特色业务网元和业务网络的敏捷设计和快速高效部署，并降低用户使用边缘网络的技术门槛，更有利于边缘网络 NaaS 服务的推广。

轻量级虚拟化：相对传统虚拟机，容器技术具备快速弹缩、部署高密度、性能强等优势。在边缘网络云原生应用的系统架构设计中，由于边缘网络的计算资源相对紧张，应用组件需要能够基于容器虚拟化技术进行部署，实现资源利用率的提升。

DevOps：基于边缘网络能力的可编程性是业务创新和丰富生态圈的基础。部署在边缘网络中的各个应用能力可以通过微服务的 API/SDK 开放给第三方，使其能够进行二次开发并实现业务创新。虚拟化运营平台也要能够提供友好的持续开发和持续交付环境和工具，以协助开发者基于 DevOps 模式进行业务开发和发布、升级。

6.5 IP 技术演进

随着网络连接数从十亿级跨越到万亿级，网络的能力也需要进行跨越式的变革。IP 网络技术将持续演进，相比 IPv4，IPv6 将移动性、安全可信、服务质量作为原生机制嵌入到通信协议中，并允许用户交互式的向网络表达差异化的需求，使网络更有生命力。IPv6 支持以下新特性：

确定性 IP：IP 协议最初的尽力而为机制已经满足不了越来越多应用场景中差异化的服务需求。IETF DetNet 工作组提出了确定性服务的概念，旨在 IP 层为数据流提供确定性的低时延和低抖动的转发。DetNet 实质上是一个支持确定性的报文调度，以实现 IP 层端到端时延确定性和大规模可扩展性的网络架构，使得 IP 网络可以为高优先级别的流提供确定性的转发服务。IPv6 包头新增 Flow Label 字段，为基于流的差异化服务提供更方便的网络层识别方式，使路由器对流的识别不再依赖传统的五元组，可以在不解析 TCP/UDP 的四层传输层包头的条件下实现对流的精准识别，并匹配相应的流转发策略，满足不同应用的流对网络转发的不同质量和资源要求。IPv6 将通过这种新的精准流识别方式支持 DetNet 网络架构。

可编程 IP：IP 协议最初是为网络互连互通而设计，未来网络上大量的业务需求在现有 IP 协议架构上将无法完全满足，而且繁杂的业务导致了网络协议复杂，运维困难。结合 SDN 理念，在 IPv6 基础上引入全局语义、与路由无关的功能码和元数据，采用结构化封装方式（携带元数据索引）实现报文的高效解析和最优转发，简化网络设备实现，提供网络可编程能力以适配更多业务场景，满足未来更加复杂灵活的业务对网络的需求。

IPv6 新特性将有助于边缘网络支持边缘业务，确定性 IP 技术解决边缘网络无法满足工业互联网、远程医疗等对时延有精确要求的业务接入问题，可编程 IP 可以在边缘网络为业务在网络中传送预先设置必要的转发参数和约束条件。

6.6 5G 向 6G 演进

随着 5G 标准的逐渐完善成熟，6G 已经进入预研。未来 6G 网络会在 5G 网络上延伸，除具备速度更快、连接更多、延迟更低的特性，还将打通天地空一体，实现从太空到地面以及水下全覆盖，更好的满足全息通信、智能制造、固定无线接入、恶劣作业环境等更复杂更具挑战的边缘场景接入。6G 网络可能有以下技术创新：

“无线光纤”技术：6G 将以“无线光纤”技术实现超宽带，最高速率将达到 1Tbps。广域网采用细的 MMIMO 技术、毫米波 MMIMO、密集 DMIMO、disaggregated RAN 等技术。室内网络采用 Flexfoil MMIMO、射频感知、密集 DMIMO 等技术。

太赫兹与纳米天线：太赫兹 THz 用于通信可以获得 10GB/s 的无线传输速度，特别是对于卫星通信，由于在外太空近似真空的状态下不用考虑水分的影响，能够实现比当前的超宽带技术快几百至一千多倍。6G 为提高传输速率，将采用“纳米天线”支持太赫兹频段。这些纳米天线将广泛部署于各处，包括路边、村庄、商场、机场、医院等。

天地空一体化系统：6G 系统将由地面网络和卫星通信网络共同组成，卫星网络可以是电信卫星网络、地球遥感成像卫星网络、导航卫星网络。

6.7 网络智能化

网络自动化闭环：边缘网络基于三层架构，网络自动化包括网络感知+管控层大数据 AI 分析训练+管控层编排控制+网络层执行等环节构成闭环。通过智能化 Telemetry 实现毫秒级数据采样，Telemetry 一次订阅、持续推送的机制，提升数据上传效率保证及时性。此外，通过引入 AI 技术，主动学习，训练最佳采集模型和配置策略，降低大数据的存储压力和分析压力。

边缘网络提供 NaaS 服务，可通过以下机制降低对用户的技术门槛要求：

网络的按需可视化设计：根据不同行业用户需求，基于模板修改、拖拽式可视化设计，提供可视化的编排设计功能，在多个域、多业务、多租户、多厂家、或混合网络之间实现全局资源编排，完成定制化的网络设计，快速满足多种应用场景和多样化的客户需求。

自动化网络部署及激活：根据用户的业务和订购以及 SLA 要求，通过预置的部署策略，自动部署所需的 VNF，并自动进行网元的配置激活，通过自动测试工具，实现资源环境、业务功能、可靠性等全方位验证测试，实现用户业务的快速稳定交付。

网络智能化运维：采用自动化闭环保障、根因分析、ZSM（Zero touch Service and Management）、AI 等技术实现边缘网络运维的智能化和自动化。

6.8 能力开放

随着未来网络及边缘计算的发展，将 SDN/NFV 技术引入到移动和固定边缘网络，采用通用的服务器设备，构建融合的智能边缘服务网络，进而实现业

务控制和路由转发分离，软件功能与硬件的解耦，借助统一的云化网络服务平台实现边缘网络功能的按需部署。同时边缘网络具有分布式的算力和云计算的环境，具有设备、业务和网络一体化的能力，能够为用户提供统一的开放能力调用接口。

从边缘网络的能力开放架构来看，可提供如下的开放方式：

设备层开放：基于边缘网络设备软件平台自身提供的设备开放能力，对外提供第三方的云计算基础设施的环境，以及第三方业务的物理部署条件。

网络层开放：通过灵活的开放接口，对外提供诸如 RAN 侧无线信息能力、位置服务能力、QoS 服务能力以及切片的能力等。

业务层开放：基于协同器的业务编排和 SDN/NFV 提供的 API 能力集，提供客户快速的构建新业务的能力。

通过边缘网络的能力开放，可针对特定用户在特定网络中访问特定业务时，实现网络资源的按需配置和优先保障，并实现边缘网络中 DC 内部的业务链编排和业务应用配置能力的开放，从而加速网络创新，通过网络能力开放逐步构建数字化生态运营环境。

7 边缘网络生态商业模式

边缘网络作为未来网络发展中的关键一环，如何应用其赋能行业应用，是值得全行业考虑的问题，同时通过部署大量的边缘节点来构建边缘网络，也是运营商实现重要资产变现及打开与全行业合作新窗口的重要机会。

运营商通过打造具有大带宽、大规模复杂连接的边缘网络基础设施，同时辅以融合分布式计算，能够更快更好地支持新兴业务的发展，重塑边缘业务的价值，孵化边缘网络生态，使得运营商能够在全行业数字化转型的浪潮中创造更多的价值。

分析运营商在边缘网络中作为网络服务提供商的角色，我们可以解锁出如图 6 所示的几种商业模式：

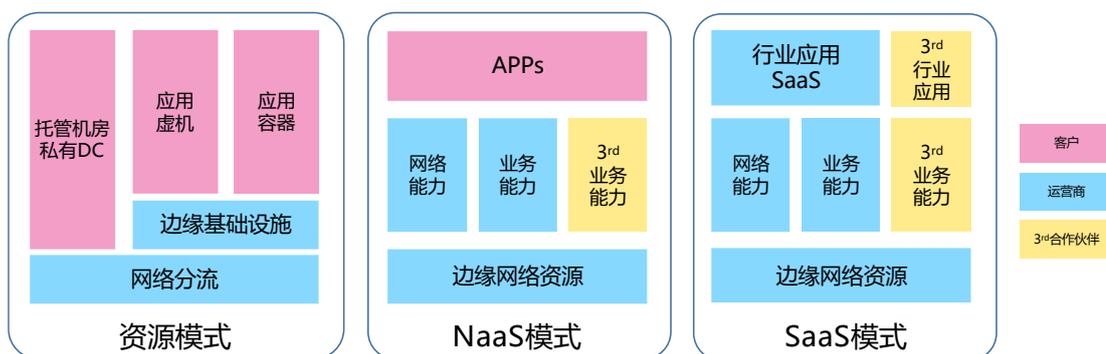


图 6：典型的商业模式

资源模式： 运营商提供边缘网络本地分流能力，另外，客户可租用运营商的边缘网络基础设施，获取虚拟机、容器等资源型的服务。

NaaS 模式： 运营商在提供边缘网络资源的基础上，通过能力开放接口，将边缘网络中的自有能力或者集成的第三方业务能力开放给客户使用，例如定位能力，切片能力，不同等级的 SLA 网络服务能力等。

SaaS 模式： 运营商不仅可提供边缘网络资源及能力，同时可在边缘网络中集成第三方合作伙伴的应用，直接提供给客户使用，这将大幅提升边缘网络的附加价值。

8 总结和展望

中国联通经过对下一代网络架构 CUBE-NET2.0+延伸及演进的分析 and 思考，提出了边缘网络的概念，总结了边缘业务的场景、边缘网络面临的挑战，提出边缘网络总体架构及相关新技术与新方向，并在边缘网络生态和商业模式上提出建设思路。

我们认为，随着各项新兴业务的开展，边缘网络最为靠近数据消费者，也是海量数据的生产者，其将在整体网络中扮演越来越重要的角色。同时随着边缘网络生态范围的扩大，更多的技术创新和模式创新将围绕边缘网络发生，具有广阔的想象空间。

同时，由于边缘网络概念是初次提出，在边缘网络相关的技术领域和商业模式领域的探索刚刚开始，我们认为在如下的技术方向上可以继续开展研究和探索：

区块链技术：虽然边缘网络融合了算力，但连接海量终端需要的业务集中处理（如终端认证）以及数据传递（如游戏渲染）对边缘网络仍是极大的压力；区块链技术的去中心化、共识机制、对等互联、数据开放性流动等特点，可以缓解边缘网络的压力。

去 IP 化（向上）：IP 技术设计是围绕着固定主机对固定主机的会话模式进行，以 IP 作为沙漏模型的腰，报文以 IP 头进行封装、识别和转发。随着用户接入网络的物理带宽的提高，互联网应用主体已经转向多媒体音视频内容的获取，信息内容服务已经成为网络服务的主体。命名数据网络（NDN）将沙漏模型的腰的定义更加一般化，以数据为报文封装的依据，根据所指定的名称来获取数据。

去 IP 化（向下）：IP 技术基于三层的路由寻址，在边缘网络的某些场景，可能不需要三层路由，基于二层寻路与交换即可满足需求。

边缘网络作为面向新兴场景的新架构网络，所涉及的技术范畴，远不限于上述技术方向，我们倡议边缘网络生态各方进行更为广泛的研究和积极的探索，挖掘边缘网络更多的潜力，适配更多的场景，为数字化转型提供助力。

缩略语

缩略语	英文名称	中文名称
AI	Artificial Intelligence	人工智能
API	Application Programming Interface	应用编程接口
APP	Application	应用
AR	Augmented Reality	增强现实
ASIC	Application Specific Integrated Circuits	专用集成电路
BNG	Broadband Network Gateway	宽带网络网关
CaaS	Container as a Service	容器即服务
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
CMP	Cloud Management Platforms	云管理平台
CPE	Customer Premise Equipment	客户终端设备
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CUPS	Control and User Plane Separation	控制面用户面分离
DC	Data Center	数据中心
DevOps	Development and Operations	开发运营
DU	Distributed Unit	分布处理单元
E2E	End to End	端到端
eMBB	enhance Mobile Broadband	增强带宽
EPON	Ethernet PON	以太 PON
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
GPON	Gigabit Ethernet PON	千兆以太 PON
GPU	Graphics Processing Unit	图像处理单元
ICT	Information and Communication Technology	信息与通信技术
IDC	Internet Data Center	互联网数据中心
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气和电子工程师协会
IETF	Internet Engineering Task Force	Internet 工程任务组



缩略语	英文名称	中文名称
IoT	Internet of Things	物联网
IT	Information Technology	信息技术
MEC	Multi-access Edge Computing	多接入边缘计算
MIMO	Multiple In Multiple Out	多进多出
MME	Mobility Management Entity	移动性管理实体
mMTC	massive Machine Type of Communication	海量机器类通信
MRI	Magnetic Resonance Imaging	核磁共振成像
NaaS	Network as a Service	网络即服务
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	窄带物联网
NDN	Named Data Network	命名数据网络
NFV	Network Function Virtualization	网络功能虚拟化
OTN	Optical Transport Network	光传送网
P2P	Point to Point	点到点
PDR	Pedestrian Dead Reckoning	行人航位推算系统
PLC	Power-Line Carrier	电力线载波
PON	Passive Optical Network	无源光网络
QoS	Quality of Service	服务质量
SaaS	Software as a Service	软件即服务
SDN	Software Defined Network	软件定义网络
SERCOSIII	Serial real time Communication Specification iii	第三代串行实时通信协议
SLA	Service Level Agreement	服务水平承诺
TSN	Time Sensitive Networking	时间敏感网络
UDN	Ultra-Dense Network	超密集组网
UPF	User Plane Function	用户面功能
uRLLC	ultra Reliable & Low Latency Communication	高可靠超低延时通信
UWB	Ultra-Wide Bandwidth	超宽带
vBRAS	virtual Broadband Remote Access Server	虚拟化宽带远程接入服务器



缩略语	英文名称	中文名称
VNF	Virtual Network Function	虚拟化网络功能
VR	Virtual Reality	虚拟现实
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
ZSM	Zero-touch Service and Management	零接触服务与管理



白皮书联合编写单位



ZTE中兴

中国联合网络通信有限公司网络技术研究院：

朱常波、唐雄燕、王友祥、黄蓉、刘珊、李先达、常瀚文

中兴通讯股份有限公司：

吉晓威、王林虎、刘晔波、王意军、金友兴、胡宪利、黎云华



