

运营商边缘计算网络 技术白皮书

边缘计算产业联盟 (ECC) 与网络 5.0 产业和技术创新联盟 (N5A) 联合发布
2019 年 11 月

PREFACE

前言

随着 5G 时代的到来，边缘计算成为新的业务增长点，受到了学术界、产业界以及政府部门的极大关注，在电力、交通、制造、智慧城市等多个价值行业有了规模应用。产业界在实践中逐步认识到边缘计算的本质与核心能力。

伴随行业数字化进程的不断深入，持续涌现的新业务对边缘计算提出了新需求。而这些新的需求必然导致网络架构的变迁。边缘计算网络技术的研究已经成为边缘计算发展的重要前提。

为理清边缘计算与网络基础设施的关系，边缘计算产业联盟（Edge Computing Consortium，缩写为 ECC）与网络 5.0 产业与技术创新联盟（Network 5.0 Industry and Technology Innovation Alliance，缩写为 N5A）共同研究编写《运营商边缘计算网络技术白皮书》。

本白皮书目的是识别、解释和定位与边缘计算相关的网络技术体系。首先，从边缘计算对网络需求的三大典型场景出发，详细分析了每个场景中边缘计算与网络基础设施之间的关系，得到了七大关键需求；其次，从边缘计算的角度重新划分和定义了网络基础设施，提出将边缘计算相关的网络基础设施分为边缘计算接入网络（ECA）、边缘计算内部网络（ECN）、边缘计算互联网络（ECI）等三部分，并针对每一部分给出了相应的解决方案和关键技术；最后，对边缘计算网络技术发展趋势和未来可能涉及的技术进行了详尽的阐述。

本文档的目标读者包括但不限于边缘计算产业联盟的所有成员，联盟成员的供应商，电信运营商，网络设备供应商，系统集成商以及其他关心边缘计算网络基础设施相关的机构和个人。

参与编写单位：

中国电信股份有限公司北京研究院
华为技术有限公司
中国移动研究院
中国联通网络技术研究院
中国联通研究院
中国信息通信研究院
重庆大学
北京邮电大学
和利时科技集团
思博伦通信科技有限公司
北京易华录信息技术股份有限公司
赛特斯科技股份有限公司
烽火通信科技股份有限公司

编写组成员：

雷 波	翁志强	黄还青	宋 军
赵倩颖	刘 鹏	李 勤	秦凤伟
曹 畅	何 涛	蔡岳平	徐 雷
于 城	张恒升	时晓光	朱毅明
李天辉	张少伟	张 兴	王 凌
祝 亮	兰光华		

CONTENTS

目录

前言

01. 引言	01
1.1 边缘计算 2.0	01
1.2 边缘计算网络	02
02. 边缘计算对网络的需求	03
2.1 固移融合场景	03
2.2 园区网与运营商网络融合场景	06
2.3 现场边缘计算场景	08
2.4 小结	11
03. 边缘计算网络基础设施	12
3.1 边缘计算接入网络 ECA	12
3.2 边缘计算内部网络 ECN	17
3.3 边缘计算互联网络 ECI	18
3.4 运营商 5G MEC 网络的架构模型和网建六大关键点	20
04. 边缘计算网络相关技术发展展望	24
4.1 边缘计算网络技术未来发展方向	24
4.2 无损网络	25
4.3 DetNet	26
4.4 算力网络	28
4.5 内容寻址网络	29
4.6 主动防御网络	31
4.7 B5G/6G	31
附录 1：术语表	34
附录 2：缩略语表	36
附录 3：参考文献	39



01 引言

1.1 边缘计算 2.0

随着全球数字化浪潮的到来，5G、AI、大数据等新技术不断涌现。边缘计算正在兴起，成为新时代改变通信信息服务模式的关键创新之一。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。

边缘计算产业联盟（ECC）2017 年发布的《边缘计算参考架构 1.0》中给出了边缘计算 1.0 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，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。它从边缘计算的位置、能力与价值等维度给出定义，在边缘计算产业发展的初期有效牵引产业共识，推动边缘计算产业的发展。

随着边缘计算产业的发展逐步从产业共识走向落地实践，边缘计算的主要落地形态、技术能力发展方向、软硬件平台的关键能力等问题逐渐成为产业界的关注焦点，边缘计算 2.0 应运而生。

边缘计算 2.0：边缘计算的本质是云计算在数据中心之外汇聚节点的延伸和演进，主要包括云边缘、边缘云和

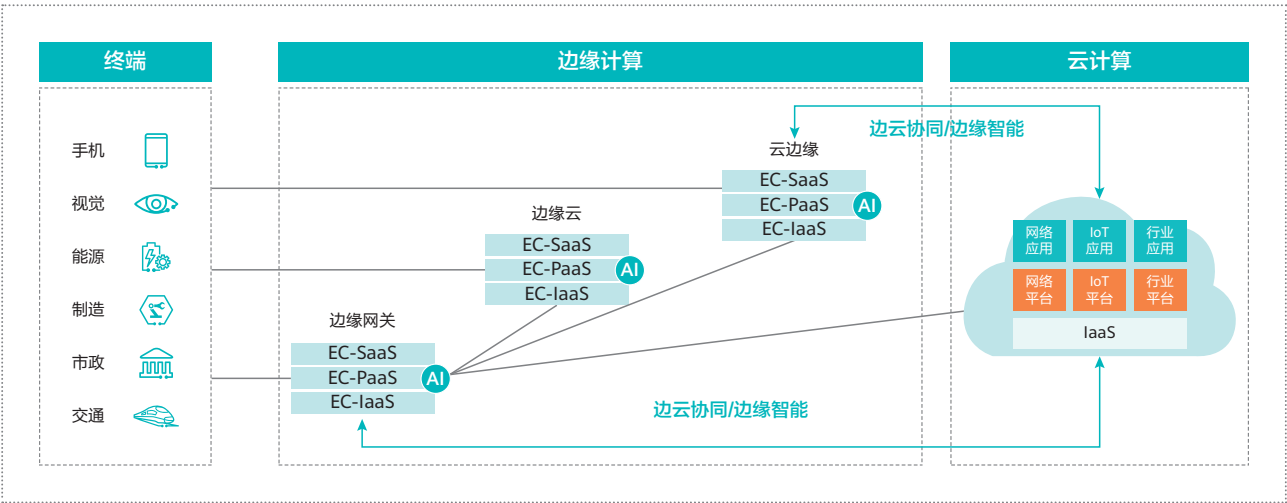


图 1 边缘计算 2.0

云化网关三类落地形态；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、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、ARM、X86、GPU、NPU、FPGA 等。

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。如华为云提供的 IEF 解决方案、阿里云提供的 Link Edge 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；集中式 DC 侧的云服务主要提供边缘云的管理调度能力。如多接入边缘计算（MEC）、CDN、华为云提供的 IEC 解决方案等均属于此类。

云化网关：云化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，云化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、业务编排等能力。

1.2 边缘计算网络

边缘计算在网络边缘融合网络、计算、存储、应用等能力，网络是边缘计算的核心能力之一，边缘计算系统的部署也会对相关网络的能力与架构产生重要影响。

为了更好地描述边缘计算网络基础设施，本白皮书定义如下三个名词（ECA、ECN、ECI），来分别描述边缘计算网络的三个部分：

» **ECA (Edge Computing Access, 边缘计算接入网络)：**

从用户系统到边缘计算系统所经过的网络基础设施；

» **ECN (Edge Computing Network, 边缘计算内部网络)：**边缘计算系统内部网络基础设施；

» **ECI (Edge Computing Interconnect, 边缘计算互联网络)：**从边缘计算系统到云计算系统（如公有云、私有云、通信云、用户自建云等）、其它边缘计算系统、各类数据中心所经过的网络基础设施；

边缘计算网络基础设施示意图如下所示：

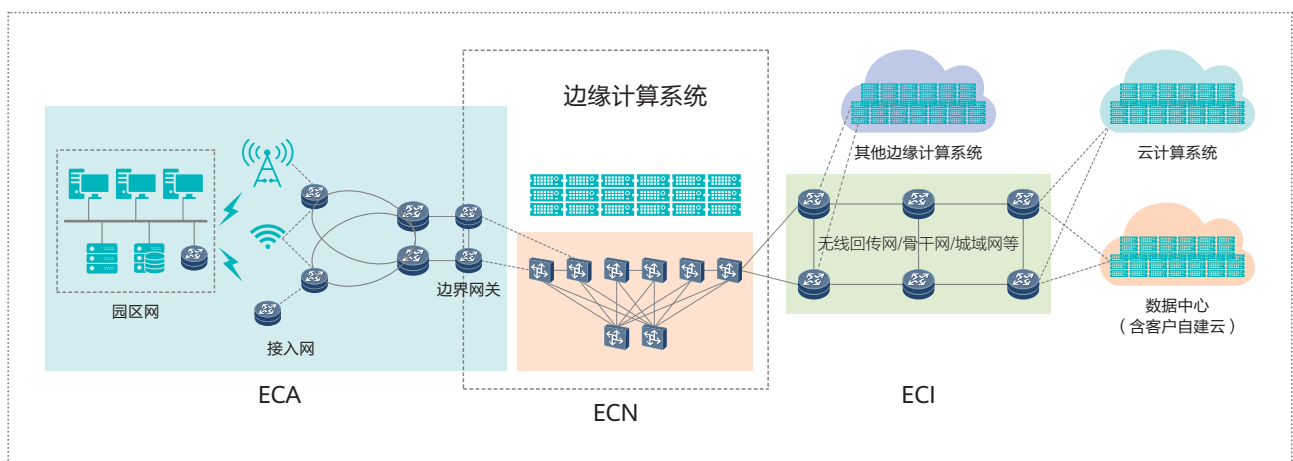


图2 边缘计算网络基础设施



02

边缘计算对网络的需求

边缘计算的部署位置可以从地市延伸到客户现场，涉及了运营商网络、边缘数据中心网络以及客户现场网络等，会对多域的网络提出新的需求和挑战，例如时延、带宽、高

并发等。总体来讲，边缘计算的部署对网络的影响主要包括三大场景：固移融合场景、园区网与运营商网络融合场景、现场边缘计算网络 OT 与 ICT 融合场景。

2.1 固移融合场景

2.1.1 范围

运营商边缘计算应支持移动网和固定网同时接入，多种接入方式可以为垂直行业提供灵活的网络接入以及高带宽、低时延的无缝连接承载网络。

移动网接入的边缘计算在距离用户最近的位置提供了业务本地化和边缘业务移动性能力，进一步减小业务时延，提高网络运营效率、提高业务分发以及改善终端用户体验等。其采用灵活的分布式网络体系结构，把服务能力和应用推进到网络边缘，极大地缩减了等待时间。智慧城市、远程手术、自动驾驶等为其主要应用场景。

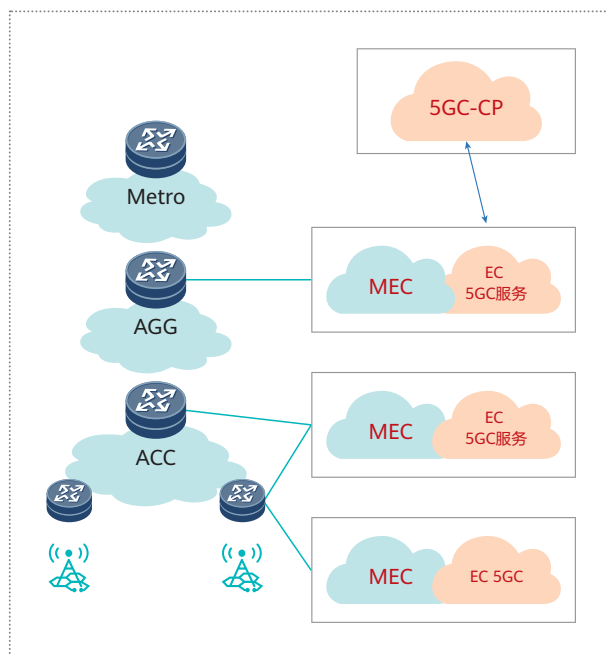


图 3 移动网接入

固网接入的边缘计算是将业务节点和固网专用设备部署在一起，它帮助计算遍布在从端到边到云的各个环境，赋能

万千行业，使业务在本地能进行闭环，大幅降低响应时延，缩减 IDC 带宽成本的消耗。

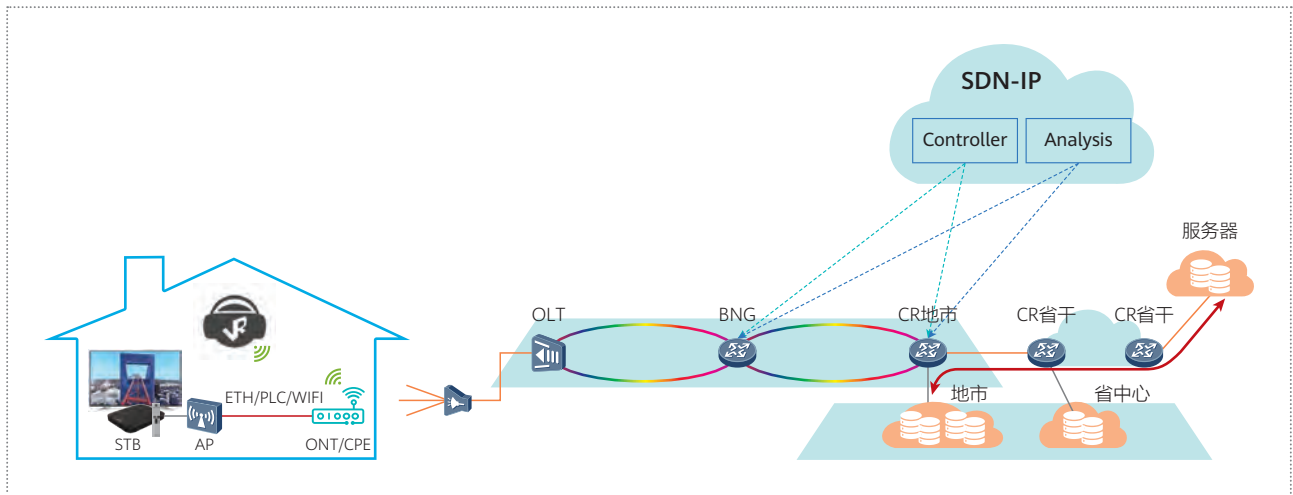


图 4 固网接入

运营商通过边缘计算提供 FMC 服务，需要边缘计算同时连接 MBB 和 FBB 网络，和两张网络上的云业务交互，其中 5G 核心网实现用户面 UPF 下沉，主要解决分流、计费、

QoS、移动性管理等问题，5G 接入网实现控制面和数据面分离，实现灵活的扩展能力，固网则通过宽带接入设备 BRAS/BRAS—UP 进行分流。

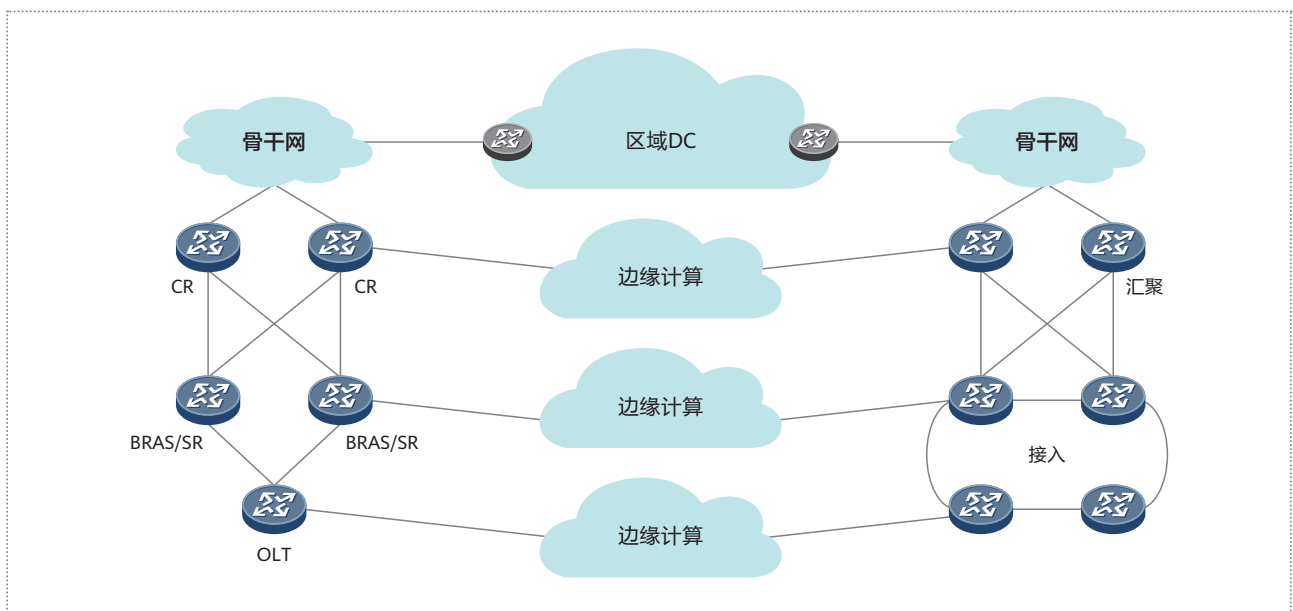


图 5 固移融合边缘计算

2.1.2 城市监控固移融合场景

城市监控是智慧城市的主要应用之一。传统的监控绝大多数是固定监控方式。通过在交通指示灯、路灯等设施安装摄像头实现对固定目标或一个有限监控区域的视频监控。因其部署位置固定，目前多采用固网接入的方式，可以有效保障其带宽以及视频流传输的稳定性。不过固定点监控不可避免地存在盲点。这就需要配合执法人员进行动态的全方位监控。一般通过为执法人员配备便携式摄像头等方式，实现执法的全过程监控以及追踪等功能。

虽然通过 4G 接入的监控解决方案具有双向通话、轨迹记录及回传、认证核验、视频实时回传等优点，但是它的视角窄、不能实时对比，虽然视频可以实时回传，但流量费用高，一般只传轨迹。依托 5G 网络的高带宽、低时延和

多接入能力，摄像头可通过 5G 网络接入到边缘计算节点中，减少目标出现在摄像头到执法者终端收到信息的时延，达到实时执法的目的。

通过固网和移动网的多接入承载，固定点监控和移动监控相互配合，可以对采集到的人像信息进行实时的处理，有效提高执法的时效性，降低大量视频数据对网络的冲击，降低上行网络带宽占用率，解决目前事后处理和搜索的诸多缺陷。

由于执法设备的不断升级，可以将真实的三维全景实时呈现，最大限度保留场景的真实性，对网络的带宽提出了更高的要求；另外，由于固定点监控和移动监控需要相互同步配合，对多种网络都提出了实时性的需求；最后，由于移动监控设备的位置不断变化，如何保证灵活的业务分流也是另一个需要研究的问题。

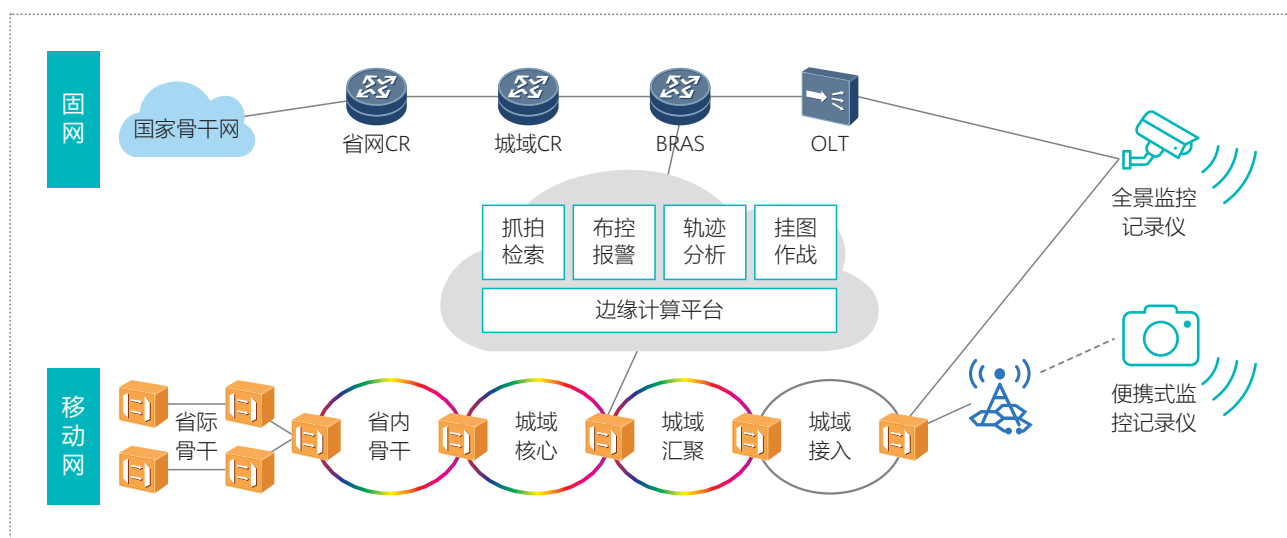


图 6 城市监控固移融合场景

2.1.3 对网络的需求

边缘计算固移融合对网络的诉求主要集中在移动网和固网共 MEC 节点和平台，使得同一业务通过不同网络接入进来的流量可以在同一节点处理，保障时延以及带宽要求，增强互动性的体验。具体包括业务接入、分流、调度、异常切换、网络能力开放以及协同等方面。

- » **固网和移动网络访问边缘计算业务的需求：**支持通过不同网络接入的同一个业务，对多路网络的实时性、稳定性提出了新的需求，需要满足业务同步。
- » **灵活的业务分流能力：**网络需要能够灵活的基于用户号码、目的 IP、业务 URL 等方式配置分流规则，将目标用户流量分流至边缘计算平台。
- » **精准的业务调度：**网络能够结合边缘计算分布、网络

带宽、资源负荷和传输路径等因素选择最优路径，将业务调度至最合适的边缘计算平台。

- » **可靠性：**网络能够在边缘计算节点业务发生故障时，不再往异常边缘计算节点做业务分发，能够快速切换至其他节点，降低故障影响面。

- » **网络能力开放：**网络能够提供统一的 API 接口将边缘计算节点负荷、链路拥塞、用户位置等信息传递给业务侧调用。

- » **网络边云协同：**网络能够提供中心云和边缘云之间的资源、安全、应用、业务以及不同地域之间等多方面的协同。

2.2 园区网与运营商网络融合场景

2.2.1 范围

园区网和运营商网络融合是边缘计算常见的网络融合场景之一。园区网为行业客户在园区范围内提供网络连接，运营商网络为行业客户提供互联网接入和分流管道。同时，运营商网络或园区网可部署边缘计算节点，为用户提供数据服务等业务。

目前涉及园区网络和运营商网络的结构如上图所示，运营商大网主要包括 4G/5G 无线网络、城域承载网、骨干承载网以及核心网。传统的云计算模式下，园区处理业务的能力有限，运营商网络只作为数据传输的管道，存在着如下问题：

- » **业务时延较高：**基于传统计算和网络模型下，将数据发送到云端，由云端的分析和处理系统对数据做处理，增加了系统处理的时延，无法满足一些园区业务的时延需求。

- » **网络带宽占用大：**传统的计算能力都放在云端，所有数据需要实时上传到云端，会造成网络负载过大，增加带宽压力。

- » **数据安全隐患风险高：**将数据上传到云端，网络线路过长，增加数据泄露和代码被劫持的风险。

- » **园区 WIFI 信号不稳定，难以承载关键业务：**园区网络一般部署 WIFI 系统，但 WIFI 无法满足实时控制的要求，而且 WIFI 在热点切换的过程中会导致丢包，容易受到建筑物墙体的阻碍，容易受到同频率电波的干扰和雷电天气等的影响，成为园区业务安全隐患。

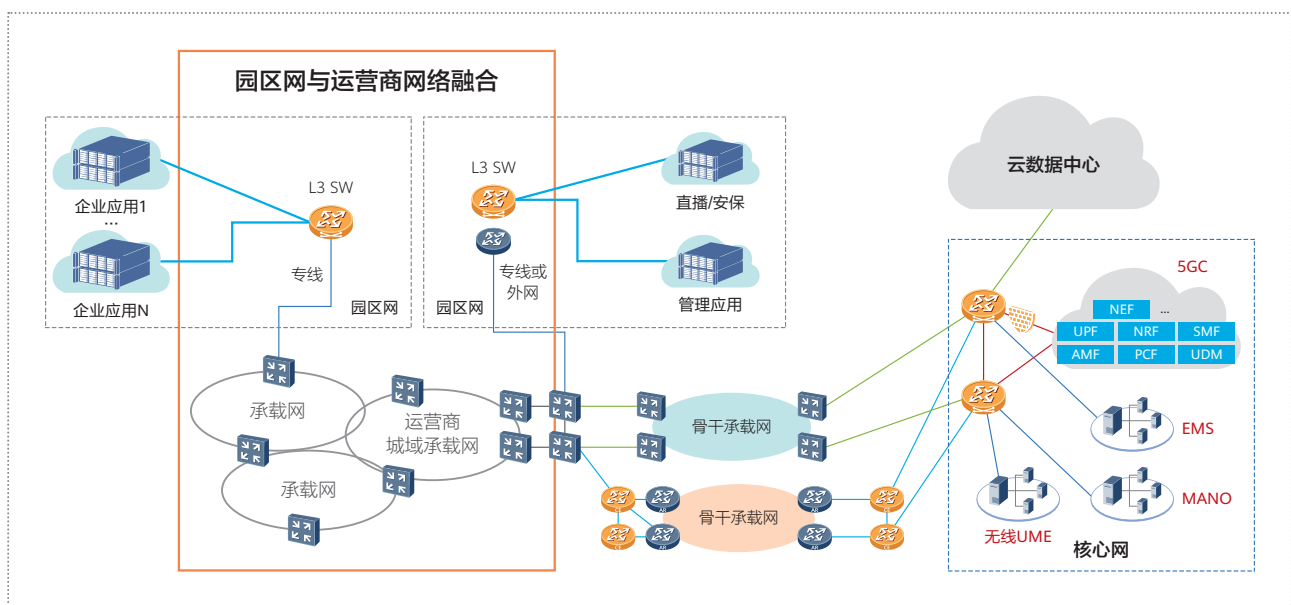


图 7 园区网与运营商网络融合

随着企业应用的飞速发展，特别是随着 5G 的部署，可以支持更多的大带宽、低时延、大容量业务，越来越多的园区需要部署运营商的 5G 网络来支撑办公 / 生产业务运行；另外一方面，运营商网络可以延伸到园区，为园区边缘计算业务提供优质的网络连接和最近的边缘节点服务，因此边缘计算节点可以放置在运营商网络，省去用户边缘数据中心的建设成本。这种场景涉及了园区网与运营商网络融合，适用于一些通用的办公 / 生产业务，如园区人脸识别及智能门禁、视频监控、视频直播、数据采集分析等。

2.2.2 园区智能门禁场景

门禁是进入园区的第一道入口。目前很多企业仍然使用传统的人工登记的方式，严重影响了园区通行的效率。同时，园区门禁、大楼门禁、会议室门禁等多道验证也影响了园区内用户以及到访园区的访客体验。

为解决上述问题，可以在运营商接入机房部署边缘计算节点以及相应的业务，通过园区网络与运营商网络的融合来联动多道门禁，节省用户及访客到达某个具体会议室或办公室的时间，提高用户体验。

该方案下边缘计算节点部署在运营商机房，通过 5G 定制化的网络或者固网方式与园区连接。运营商边缘计算节点实现人脸识别及车牌识别，并且结果联动来匹配客户，自动开关门以及接引至停车位。园区内部多道门禁在园区通过网络互联，并且可以互相通信，例如前台与电梯间同步

识别结果，为 VIP 客户自动安排电梯等待。

方案本身涉及多个网络领域的融合，如何保证业务准确的分流、保障网络的低时延和大带宽，如何满足不同网段的安全互信需求，以及如何实现跨域的网络管理和编排，都是需要考虑的关键问题。

2.2.3 对网络的需求

园区网和运营商大网融合为边缘计算请求者提供最近的边缘节点服务，涉及了多行业的网络能力融合，对网络的互联、互通、互操作提出了需求。

互联：运营商网络提供专线业务，为园区网提供出口连接，使能园区网接入互联网以及实现多园区连接。运营商网络主要提供管道能力，不涉及企业生产 / 办公业务。

互通：运营商网络和园区网络，能够根据园区用户的生产/办公业务的区别，为业务提供差异化网络承载服务，如不同 QoS 等。随着边缘计算下沉到企业园区网，促进加速企业业务进一步上云，企业生产/办公业务需要园区网和运营商网络结合为不同业务提供差异化服务。

互操作：园区和运营商网络可以进行更深层次的互动，例如园区网络可以调用运营商网络开放的网络能力接口；运营商可以动态得根据园区网络的实时需求调配接入的网络参数，或者由园区客户根据自身需求自行配置所使用的园

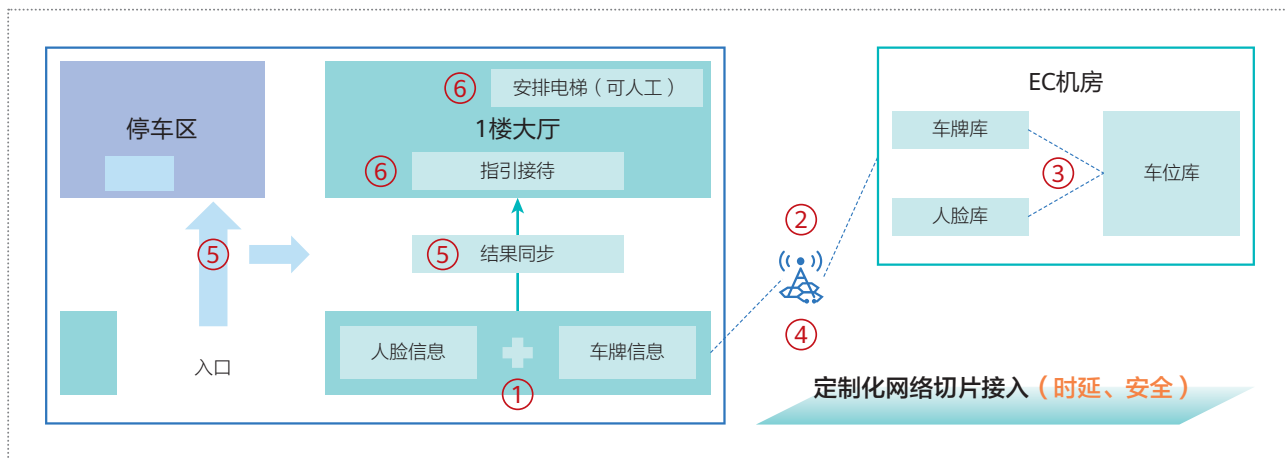


图 8 园区智能门禁场景

区及运营商网络。

为实现园区网和运营商大网融合的互联、互通、互操作，需满足以下需求：

- » **网络数据分流：**研究边缘大网和园区数据网实现数据对接，大网如何将数据卸载到园区网中，实现一部分安全性要求高的业务不出园区。
- » **实时连接性需求：**避免路径绕转带来的额外时延，采用最短业务处理路径。
- » **可靠性需求：**一方面需要建立网络的保护机制，提高

对网络故障的抵抗性。另一方面需要避免不稳定无线网络带来的风险。

- » **增强网络 API：**大网边缘计算平台需要承载大量行业用户业务，针对行业用户的通用诉求来增强 API 是大网能力的重要发展方向。
- » **跨域管理：**需要实现跨网络的协同管理，采用标准化的管理接口，通过对网元的抽象，做到园区网和运营商网络的资源统一调度，业务统一配置，故障统一定位。
- » **安全：**园区网和运营商大网需要通过防火墙做连接，以保证两端网络之间安全融合；在数据层面，需要通过边缘计算配置到园区网的路由，确保 5G 数据面与园区网畅通。

2.3 现场边缘计算场景

2.3.1 范围

现场边缘计算是在生产现场部署的边缘计算技术体系，可以为生产现场提供智能化的网络接入以及高带宽、低时延的网络承载，并依靠开放可靠的连接、计算与存储资源，支持多生态业务在生产现场侧的灵活承载。

生产现场边缘计算的特点是将时延敏感的数据采集和控制功能、高带宽内容的存储以及应用程序放在更接近现场的位置，作为分布式云计算架构的有机组成部分。业务、数据等都在车间、工厂或园区内部运行处理，传统上较少涉及外网，主要集中在工厂内网的建设。尽管当前制造企业的网络部署方式多种多样，但传统上遵循了多层级方式建

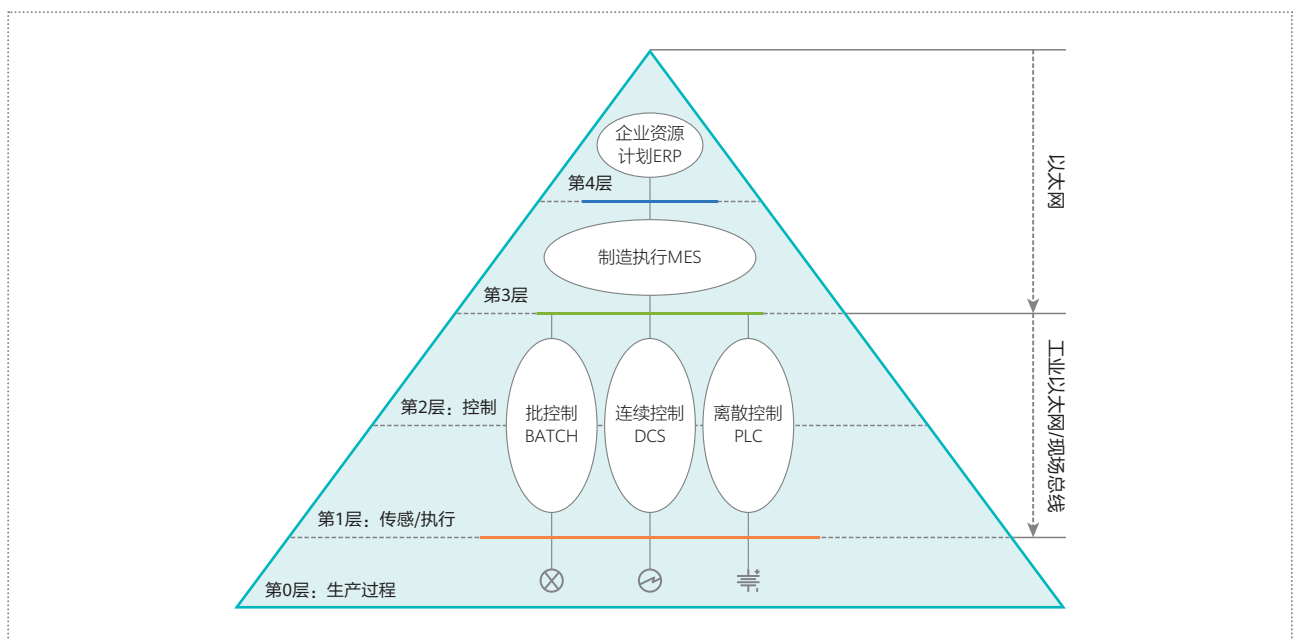


图9 现场边缘计算网络层级

设，一般从上到下划分为企业办公网络、生产管理网络、过程控制网络以及现场 I/O 网络，如下图所示。各层级根据不用的业务需求分别采用不同的网络协议进行构建，层次之间使用网关等设备进行互联。

企业办公网络用于企业各业务系统之间交换业务过程信息，是企业的骨干网络，承载 ERP、以及网页、邮件、文件传输等 IT 业务。企业办公网通常使用商用的交换机和路由器构建，采用标准以太网协议，并根据需要与互联网相连。

生产管理网络用于交换生产调度和执行信息，一般由 MES、WMS 等系统组成，通常通过单向网闸或防火墙与过程控制网络相连，采集各种生产现场数据信息和状态信息，实现对生产过程的管理和优化；同时通过防火墙与企业办公网络相连，与上层业务系统（如 ERP、PLM 等系统）交换产品信息、工艺信息、订单信息等。生产管理网络一般使用标准以太网协议构建。

过程控制网络为生产控制系统提供基础的网络设施，根据生产工艺的不同通常选用的控制系统包括 DCS（分布式控制系统）、PLC（可编程逻辑控制器）、DNC（分布式数控系统）等。过程控制网络一般使用工业以太网或者各种现场总线协议进行构建，对网络的确定性、可靠性和实时性都有较高要求，最快可提供毫秒级的传输周期。主流的工业以太网协议提供实时与非实时两种业务通道，对于设备之间具有实时性要求的传输业务，如控制指令等，通过实时通道进行；对于无实时性要求的业务，比如配置和管理指令等，则通过非实时通道进行。

现场 I/O 网络主要实现对生产现场的信息采集，一般使用

现场总线协议构建网络，有部分自动化水平比较高的企业正逐步使用工业无线和工业以太网在一定程度上代替现场总线。

2.3.2 设备实时智能检测场景

工业检测涉及了工业的生产、制造、维护等多个环节，是现场边缘计算的重要应用之一，边缘计算平台通过对现场设备的数据进行采集，实时反馈分析处理结果，一方面可以实现产品质量的视觉实时高精度高效率检测与持续优化，提高检测的准确率和实时性，进而促进生产效率的提升；另一方面可以在现场设备在运转状态下进行异常检测及损伤评估，从而确保生产过程的安全性和稳定性。

工业现场的高清相机、线阵相机实现产品的质量图像实时检测，并通过现场级网络将实时图像数据传输至边缘层进行智能检测分析，同时根据反馈结果实时操作。

边缘计算层接收来现场级网络的产品图像数据，基于人工智能算法模型进行实时分析决策。边缘计算层将数据经过聚合后通过管理 / 企业级网络上传到云平台，同时接收经过训练的数据处理模型进行更新，以优化检测精度并满足多样性产品的检测。

云平台接收来自边缘云聚合的数据信息，训练模型，将更新模型推送到边缘端，完成数据的分析和处理。

在智能检测场景中，检测的对象通常是现场作业的设备，会通过多种多样的现场协议接入，一方面，为了保障机器及人员安全，需要系统能够及时有效得反馈处理结果；另



图 10 设备实时智能检测架构

一方面，采集的数据已经由传统的结构化数据慢慢转变为非结构化数据，数据量增大，对网络的带宽也提出了更高的要求。另外，应用涉及了现场设备、边缘计算节点以及边缘云之间的多段网络，对跨域的网络管理以及自动化部署也提出了新的需求。

2.3.3 对网络的需求

现场网络的总体发展趋势是 OT 网络与 IT 网络的融合，支撑新一代的网络技术融入到生产控制及管理的过程中。同时，不同的网络层级对指标及性能的需求有所不同。

企业级网络通信主要使用 TCP/UDP 和 IP 协议进行，主要关注的内容是网络的带宽，对实时性和可靠性的要求并不严格。

控制网和制造执行系统，是运行边缘计算业务的主要执行层。控制层为了提高实时性，实时通道将应用层数据直接加载到修改过的二层工业以太网帧中进行传输，而非实时通道为了提高兼容性，支持标准的 TCP/UDP 和 IP 协议，能够与普通以太网设备兼容；制造执行层通常用以太网构建，与控制网之间需满足安全隔离等需求。这几层网络主要关注确定性、实时性和可靠性。

传感 / 执行层包括总线、工业无线或使用私有网络协议的设备网（OT 网络），无法与标准以太网直接互联，必须通过网关或 PLC 等设备进行转换。这部分网络对实时性和可靠性有非常高的要求，随着现场设备的升级，对带宽的要求也在逐步增高。

总的来讲，现场边缘计算网络需要满足以下几点需求：

- » **异构终端接入需求：**现场网络需要面对多种多样的设备，支持多种类的设备接口。
- » **确定性时延及带宽需求：**在时延方面，工业自动化控制通常分为运动控制和过程控制，运动控制通常要求时延在 1ms 级别，过程控制要求时延在 10ms~100ms 级别；同时，确定性时延不仅要求低时延，还要求时延的抖动控制在一定范围内，通常为纳秒级；带宽方面，对于传统结构化数据的采集，要求在 100kbps，对于非结构化数据的采集，例如视频等，要求在 100mpbs 以上。
- » **可靠连接性需求：**现场业务的丢包率根据不同的业务



要求在 10^{-6} ~ 10^{-9} 范围内。

- » **跨域协同和管理：**需支持现场网络到企业网络各层级的协同和自动安装管理。
- » **安全：**工业界最关注的问题，在未来工业网络扁平化的趋势下，如何保障现场网络和企业网络的不同安全登记和需求，保障工业网络不受入侵、工业数据不被窃取是工业网络构建的基本要素。

另外，随着工业互联网的发展，现场边缘计算网络呈现出了“IP 化、扁平化、无线化 + 灵活组网”的发展趋势。

- » **IP 化：**主要是指 ECA，以实现从机器设备到 IT 系统的端到端互联，进而实现整个制造系统更大范围、深层次的数据交互与协同。
- » **扁平化：**包括两个方面，一是工厂 OT 系统将逐渐打破车间级、现场级分层次组网模式，智能机器之间将逐渐实现直接的横向互联；二是整个工厂管理控制系统扁平化，包括 IT 系统和 OT 系统部分功能融合，或通过工业云平台方式实现，实时控制功能下沉到智能机器。
- » **无线化：**利用各种无线技术支持企业内更加广泛的信息采集与传送，消除“信息死角”。随着工业互联网的发展，无线技术将逐步成为有线网络的重要补充，但还需要解决电磁信道干扰、低功耗、可靠性等关键问题。
- » **灵活组网：**面向柔性生产的需要，通过网络资源的动态调整，实现生产过程的灵活组织及生产设备的“即插即用”。

2.4 小结

边缘计算网络涉及现场网络、园区网络以及运营商接入 / 汇聚网络等多域边缘计算网络，从网络的架构、性能等多方面提出了更高的要求。

不同的边缘计算业务对网络的范围、性能等需求各异，对于固移融合业务场景，需满足移动网络和固网同时访问边缘计算业务的需求，以及低时延、高可靠性连接需求，实现无缝业务体验。对于运营商网络和园区网络融合场景，需求主要集中在新型移动网络技术如 5G 的接入以及网络的互联、互通、互操作；对于现场边缘计算网络，需求主要是 OT 网络与 IT 网络的融合以及现场业务的确定、实时、可靠和安全需求；

总体来讲，边缘计算对网络的需求可以总结为以下几个方面：

- 1) 支持业务通过固网或移动网的多接入需求。
- 2) 满足边缘计算的可靠连接性需求，无绕行网络。
- 3) 支持网络边云协同 / 跨域边云协同。
- 4) 支持算力按需调度，选取最优节点处理业务的需求。
- 5) 运营商网络和园区网融合的互联互通互操作、以及安全互信需求。
- 6) 满足边缘计算的确定性时延 / 低时延、高带宽、高并发网络需求。
- 7) 支持现场异构接入网络。





03

边缘计算网络基础设施

经过这几年的边缘计算实践，业界已经逐步认识到在现有网络架构体系下，是很难满足边缘计算对网络的需求。首先，在网络层级的划分上，传统分类方法难以描述边缘计算所涉及的网络基础设施，例如用户系统通过无线回传网（IP RAN、SPN）接入到边缘计算系统，同时边缘计算系统到云计算系统之间也可能通过无线回传网，但两类场景下要求和发展方向存在很大的差异性；其次，围绕边缘计算的需求，新型网络技术与新型网络设备正在发展中，但与现有技术和设备的定义差异很大，难以用现有概念去定义和评估。因此有必要以边缘计算系统为中心，重新审视

和划分对应的网络基础设施，研究和应用新的解决方案与关键技术，从而满足边缘计算对网络各类诉求。

本章以边缘计算系统为中心，将边缘计算所涉及的网络基础设施分为三部分，分别是 ECA（Edge Computing Access，边缘计算接入网络）、ECN（Edge Computing Network，边缘计算内部网络）、ECI（Edge Computing Interconnect，边缘计算互联网络），分别阐述每部分网络的定义、重要特征、解决方案以及关键技术。

3.1 边缘计算接入网络 ECA

3.1.1 定义

边缘计算接入网络（Edge Computing Access，简称 ECA），是指从用户系统到边缘计算系统所经过的一系列网络基础设施，包括但不限于：

- » **园区网**：企业的内部网、大学的校园网、厂区内的局域网等，常见网络技术有 L2/L3 局域网、WIFI、TSN（时间敏感网络）、现场总线等；
- » **接入网络**：无线网络 2G/3G/4G/5G、运营商 WIFI、光接入网络 PON、以及各类接入专线等；
- » **边界网关**：5G 用户转发面（User plane Function，简称 UPF）、宽带网络网关（Broadband Network Gateway，简称 BNG）、客户终端设备（Customer Premise Equipment，简称 CPE）、物联网 IoT 接入网关等；

3.1.2 重要特征

ECA 是边缘计算网络技术体系区别于云计算网络技术体系的重要部分。

首先，边缘计算需要为用户提供低时延、高可靠、本地化等业务特性，对网络指标的要求更为苛刻，因此需要专门研究和探讨从用户系统到边缘计算系统之间的这段网络基础设施，统一进行规划设计。

另一方面，通常从用户系统到云计算系统只需 IP 可达，无需考虑网络层及下层协议的差异性，但对于边缘计算系统，尤其是现场级边缘计算，用户侧终端接口及协议种类非常丰富，异构性难题需要专门进行研究和分析，才能通过融合网络的方式来满足端到端的指标要求。

因此 ECA 具备下列特征：

1) 融合性

在物联网、工业互联网、智能家居等场景下，用户侧终端接口及协议种类非常丰富（比如仅 IEC 确定的工业现场总线就高达几十种），边缘计算网络用户侧接口需要支持异构性，以接入各种类型的用户 / 网络终端。

同时，国内主流三大运营商侧的网络基础设施也分为固定承载网与移动承载网两大体系。为了满足边缘计算更高的业务要求，ECA 需要将不同类型网络进行整合，从传统的简单的互联互通逐步升级到基于深度融合的互操作。

另外，随着运营商边缘计算下沉到企业园区网以及 5G 网络延伸到企业办公 / 生产网络，运营商网络与企业园区网络逐步从互联走向以互联、互通、互操作为标志的融合。

2) 低时延

边缘计算业务需要低时延特性，不只是将边缘计算系统部署在网络边缘，缩短与用户系统之间的空间距离，更需要减小两者之间的逻辑距离，即减小流量在网络中的实际传送距离，同时，部分场景还需要考虑专有的低时延网络技术，从技术本身提供更低的传送时延（如 5G、TSN、DetNet 等技术）。因此 ECA 需采用多种策略，以实现从用户系统到边缘计算系统之间的端到端低时延。

3) 大带宽

边缘计算业务对网络基础资源的带宽需求可分为两方面需求，一是高下行带宽类业务需求，如视频点播类 / 云 VR 等，对网络的需求主要是下行带宽需求；二是高上行带宽类业务需求，如 AI 应用类 / 智能监控等，对网络的需求主要是上行带宽需求。现有网络大多重点解决下行带宽问题，而上行带宽增加则需要 ECA 引入更多的新技术和新协议。

4) 大连接

对于边缘计算在物联网相关场景中的应用，其承载的连接数量是现有连接数量的数千倍，因此 ECA 必须具备支持海量连接的能力。

5) 高安全

ECA 融合用户侧网络与运营商侧网络，导致网络边界发生变化，会引发两方面的问题。一是用户担心其信息在不受控的外部网络被截取复制，二是运营商担心不受限的用户设备冲击整个网络，带来网络安全隐患，因此 ECA 必须考虑到可信区域重叠的问题，即用户如何与运营商建立安全的可信机制。

3.1.3 解决方案

为了实现 ECA 的融合性、低时延、大带宽、大连接和高安全等特征，ECA 需要在现有网络上进行演进升级，核心思路主要是在于缩短 ECA 的距离，即将边缘计算系统无论在



物理上还是在逻辑上都尽可能接近用户系统，常见解决方案有：边界网关下移、虚拟网元部署、固移综合接入以及园区网络与运营商网络融合等。

边界网关下移

边界网关下移是指将原来集中放置在网络汇聚节点或网络核心节点的业务网关下移到边缘计算所在位置，直接完成用户接入控制功能，就近接入边缘计算系统，如 5G UPF 的下沉部署等。

在现有网络架构中，用户连接需要上行到集中部署业务网

关，如 4G PGW 通常集中部署在省会城市的省级核心机房，用户流量需要从本地出发，上行到省会核心机房，完成业务控制流程与协议处理，然后再通过承载网络回传到部署在网络边缘的边缘计算系统中，流量绕行严重。因此将边界网关下沉到与边缘计算系统同址，避免流量在网络中的绕行，既能有效降低时延，又能将保证数据在本地传送与处理，满足用户对边缘计算的本地化要求。

下面以 4G 和 5G 网络为例，来说明 ECA 引入边界网关下移方案的效果。

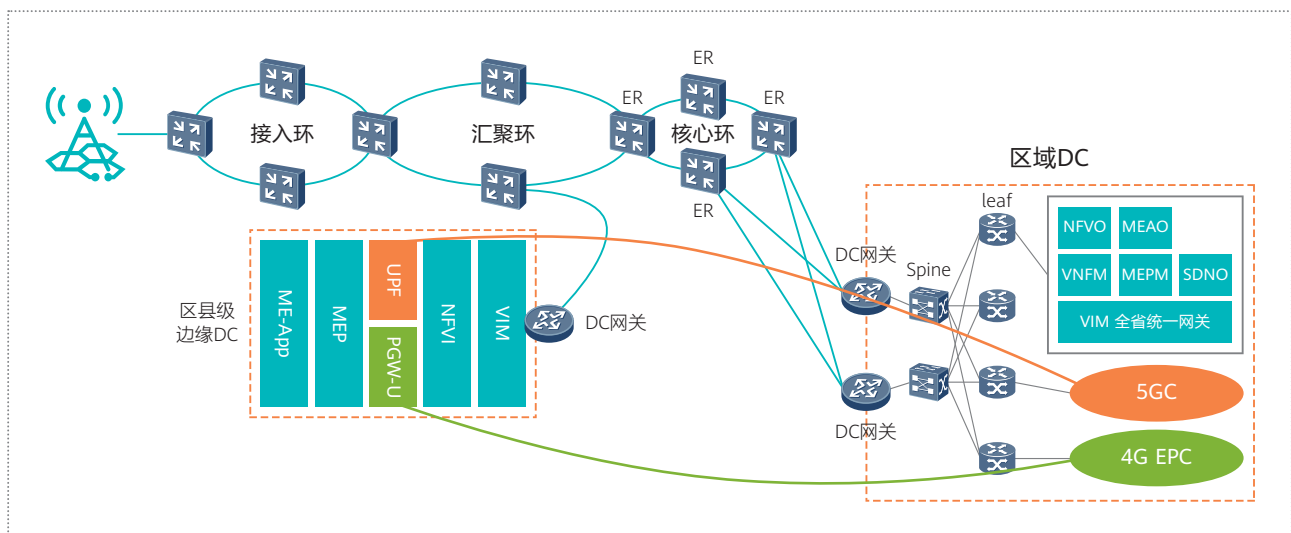


图 11 ECA 引入边界网关下移方案

对于现有 4G 网络，PGW 集中设置在核心节点，用户流量需要绕行 PGW 后，才能回传至边缘计算系统。而 5G 将网元拆分为控制面（5GC）和用户面（UPF），UPF 可以与边缘计算同址，负责终端用户业务的就近接入，以及用户加密隧道的解封包、业务引流与执行相应的计费策略。而 5GC 部署在大区集中位置，比如省或区域核心机房，主要负责移动网络的移动性接入管理、业务配置与下发以及数据管理与计费。

虚拟网元部署

虚拟网元部署是利用边缘计算系统的计算资源、存储资源，直接部署虚拟化的边界网关设备，比如云化的 5G UPF、云化的宽带网络网关（vBNG）。虚拟网络部署与边界网关

下移的思路相似，将边缘计算用户的网络连接相关的业务控制能力下移到边缘计算系统上，避免流量在网络中的绕行，实现就近处理的目标。

固移综合接入

固移综合接入是指将网络地址分配与管理节点下移到边缘计算系统所在位置，并统一管理不同的接入方式（如 5G、光接入、WIFI 等），使得归属于同一用户的不同终端能够按需获得相同网段的网络地址，能够被统一管控，并得到相近的网络质量保障。

在现有网络架构下，移动网络和固定网络分属于不同的路由域，其网络地址（如 IP 地址）分配机制不同且地址分

配锚点不同，终端接入移动网络与接入固定网络会得到完全不同的网络地址，并受不同管理节点的管控。以致用户采用多种接入方式时，就需要对终端进行额外的鉴权认证与地址转换，增加了管理复杂度。而 ECA 采用固移综合接入，能够让不同接入方式的终端分配到同一网段的网络

地址，有利于减少用户对网络层的处理，降低成本，提高效率。

下面以小区智能监控为例，来说明在 ECA 引入固移综合接入的效果。

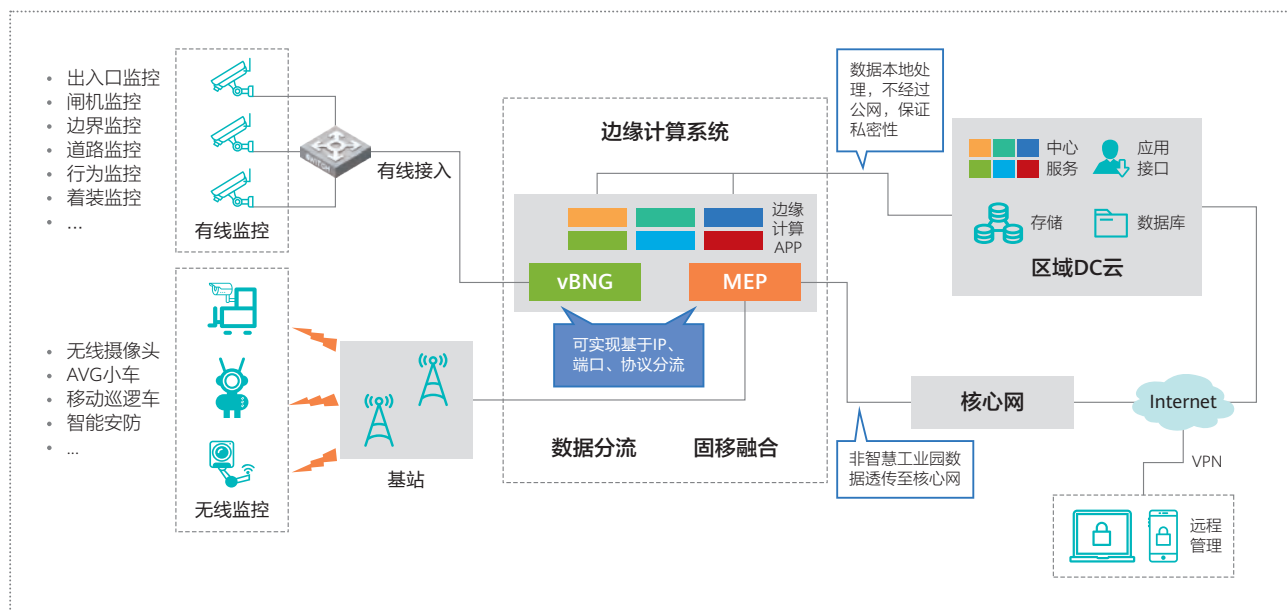


图 12 小区智能监控方案

在该方案中，固定网络与移动网络的控制面设备（BRAS-C 和 5GC）都部署在运营商的区域 DC 内，相应的用户面设备统一部署在小区附近的运营商边缘 DC 内。通过固移网络的控制面预配置相应业务策略把小区的监控流量分流到边缘 DC 的用户面设备上，再通过固移融合的用户面设备统一引流到边缘计算平台（MEP）上，通过部署在 MEP 上的各类智慧监控与分析应用软件来为客户提供智能监控服务。

园区网络与运营商网络融合

园区网与运营商网络的融合主要指在双方互信的基础上，实现网络资源的统一部署、统一管理、统一调度等。

随着运营商边缘计算与 5G 的建设，一方面，5G 由于三大能力特性（大带宽、低时延、大容量）会进一步与企业生产系统结合，渗入到企业生产网络；一方面，运营商边缘计算随着 5G 渗透到企业园区网，推动更多的企业与企业业务进一步上云。这种变化潜在会推动园区网与运营商网

络从互联逐步走向互联、互通、互操作，在结合安全可信能力的基础上，逐步实现网络资源的统一部署、统一管理、统一资源调度等。

互联：运营商网络提供专线业务，为园区网提供出口连接，使能园区网接入互联网以及实现多园区连接。运营商网络主要提供管道能力，不涉及企业生产 / 办公业务。

互通：运营商网络和园区网络，能够根据园区用户的生产 / 办公业务的区别，为业务提供差异化网络承载服务，如不同 QoS 等。随着边缘计算下沉到企业园区网，促进加速企业业务进一步上云，企业生产 / 办公业务需要园区网和运营商网络结合为不同业务提供差异化服务。

互操作：园区和运营商网络可以进行更深层次的互动，例如园区网络可以调用运营商网络开放的网络能力接口；运营商可以动态得根据园区网络的实时需求调配接入的网络

参数，或者由园区客户根据自身需求自行配置所使用的园区及运营商网络。

3.1.4 关键技术

1) 5G

5G (5th generation mobile networks 或 5th generation wireless systems、5th-Generation, 第五代移动通信技术) 是面向 2020 年以后移动通信需求而发展的新一代蜂窝移动通信技术。相比于 4G (LTE-A、WiMax), 5G 具有超高的频谱利用率和效能, 在传输速率和资源利用率等方面也较 4G 移动通信提高一个量级或更高。将 5G 技术应用在 ECA 中可以减少传输时延, 提高系统安全性, 提升用户体验。

2) TSN

TSN (Time Sensitive Networking, 时间敏感网络) 指的是 IEEE802.1 工作组中的 TSN 任务组正在开发的一套协议标准。该标准定义了以太网数据传输的时间敏感机制, 为标准以太网增加了确定性和可靠性, 以确保以太网能够为关键数据的传输提供稳定一致的服务级别。TSN 标准可以应用于许多垂直领域, 例如工业和汽车网络。在 ECA 中使用 TSN 标准, 为有确定性、可靠性需求的业务提供服务保障。

3) 超级上行

超级上行是为了解决新型业务对上行带宽与时延的超高要求而提出的全新解决方案。它将 TDD 和 FDD 协同、高频和低频

互补、时域和频域聚合, 充分发挥 3.5G 大带宽能力和 FDD 频段低、穿透能力强的特点, 从而提升了上行带宽, 又提升了上行覆盖, 同时缩短网络时延。超级上行技术可以用在 ECA 中满足出现在边缘计算中具有高速率上行要求业务的需求。

4) SDN

SDN (Software Defined Network, 软件定义网络) 的出现是为了解决传统网络过于复杂, 难以进化发展的问题。SDN 技术是一种将网络设备的控制平面与转发平面分离, 并将控制平面集中实现的软件可编程的新型网络体系架构。SDN 控制平面利用控制 - 转发通信接口对转发平面上的网络设备进行集中控制, 并向上提供灵活的可编程能力, 这极大地提高了网络的灵活性和可扩展性。SDN 技术可以应用在 ECA 中使接入网向智能灵活、可管可控的方向演进。

5) NFV

NFV (Network Functions Virtualization, 网络功能虚拟化), 利用虚拟化技术, 将网络节点的功能, 分割成几个功能区块, 分别以软件方式实现, 不再局限于硬件架构。解决了网络设备功能过度依赖于专用硬件的问题, 降低网络昂贵的设备成本, 使资源可以充分灵活共享, 实现新业务的快速开发和部署。ECA 中常见的 NFV 化网元包括 5G UPF、vBRAS、vSR、vCPE 等。

6) Wi-Fi 6

Wi-Fi 6, 顾名思义, 就是第六代 Wi-Fi。Wi-Fi 6 采用 OFDMA 技术, 较之前的 OFDM 可以多址接入, 把载波分配给不同的用户来提高系统用户连接容量, 可支持多达 8 个设备通信。它使用 1024-QAM 提高吞吐量, 最高支持 8x8 MIMO, 最高速率可达 9.6Gbps。此外 Wi-Fi 6 延续了 802.11ah 中的 TWT (Target Wake Time) 功能, 这是一种设备资源调度方式, 可以降低功耗提高电池寿命。在 ECA 中使用 Wi-Fi 6 技术可以支持更多通信设备, 提高用户访问速率, 节约能源。

7) 网络切片

网络切片是一种按需组网方式, 可以让运营商在统一的基础设施上分离出多个虚拟的端到端网络, 以适配各种各样类型的应用。每个虚拟网络是逻辑独立的, 任何一个虚拟网络发生故障都不会影响到其它虚拟网络。在一个网络切片中, 至少可分为无线网子切片、承载网子切片和核心网子切片三部分。在 ECA 中使用网络切片技术, 使得运营商可以在无线接入网 (RAN) 的用户接入层中提供差异化服务。



3.2 边缘计算内部网络 ECN

3.2.1 定义

边缘计算内部网络（Edge Computing Network，简称 ECN），是指边缘计算系统内部网络基础设施，如连接服务器所用的网络设备、与外网互联的网络设备以及由其构建的网络等。

3.2.2 重要特征

边缘计算系统规模小于云计算系统，且两者发展方向也截然不同：云计算系统强调规模效应，通过集中部署大量计算资源、存储资源来降低单位成本，而边缘计算系统则强调用户感知提升，通过拉近与客户的距离，来实现低时延、大带宽、大连接、高安全等业务指标。因此边缘计算内部网络（ECN）与数据中心内部网络（DCN）具有完全不一样的特征：

1) 架构简化

由于 ECN 所涉及的设备数量、连接数量远小于 DCN，可根据规模大小选择不同类型的网络架构，比如扩展性要求高的时候可以采用 Spine-leaf 架构等，当服务器规模在 20 台 -100 台时可以采用简单三层网络架构（出口 - 汇聚 - 接入），小于 20 台时可以采用扁平架构（即用一套网络设备同时完成接入、汇聚和出口功能）。



2) 功能完备

边缘计算系统作为独立存在的用户业务承载系统，需要满足相应的运营和监管要求，比如仍需要提供 DPI、流量探针、综合管理等功能，简而言之，就是“麻雀虽小五脏俱全”，因此 ECN 有必要根据系统规模，尽量采用简化架构，增加设备能力，从而减少网络设备所占用的空间和电力等资源。

3) 无损性能

高性能计算业务，如 AI 类业务，需要网络提供超低时延、零丢包等能力，避免网络成为瓶颈，因此当此类业务部署在边缘计算系统中时，需要 ECN 具备无损网络能力。

4) 边云协同，集中管控

由于边缘计算系统天然的分布式属性，单个规模不大但数量众多，若采用单点管理模式难以满足运营的需求，还会占用宝贵的机房资源，降低收益；另一方面，边缘计算业务更强调端到端时延、带宽以及安全性，因此边云、边边之间的协同也是非常重要的问题。因此，一种理想的方案是在云计算系统中引入智能化的跨域管理编排系统，统一管控一定范围内所有的边缘计算系统中的网络基础设施，因此 ECN 必须支持基于边云协同的集中管控模式，以保证网络与计算资源的自动化高效配置。

3.2.3 解决方案

1) 扁平架构

传统 DCN 采用三级架构，通常分为“出口 - 核心 - 接入”三层或称为“出口 - 汇聚 - 接入”，常见以出口层为界，其上为三层网络，其下为二层网络。此架构简单高效，能够有效应对中小型规模的组网，维护便利，但扩展性受限。近来，在大型数据中心和云计算系统内，正在逐步向 Spine-Leaf 架构演进，来解决扩展性问题的。但受限边缘计算系统规模，三级架构或 Spine-Leaf 架构应用在 ECN 中相对较少，而扁平架构应用更多一些。

扁平架构是指用一套设备完成所有的二层和三层网络功能，包括服务器接入、与外网互通、路由寻址等。此方案适用于小微型 ECN，简单高效，但扩展性严重受限。

2) 融合架构

融合网络设备就是以一台设备，集成所有的网络应用，实现路由交换、网络安全、流量监管等功能。目前有两类思路，一是扩充服务器设备能力，利用集成 AI、NP、FPGA、ASIC 等芯片的智能网卡，以增加二层交换、三层路由甚至是边界网关等网络功能；另一种方案则是在传统网络设备上，增加集成鲲鹏 /ARM/X86 处理器的计算板卡，提供更为丰富的计算能力，以实现智能图像识别、DPI、FW 等功能。

3.2.4 关键技术

1) Spine-Leaf 网络架构

“Spine-Leaf 架构”也称为分布式无阻塞网络，主要为解决数据中心内流量的快速增长和数据中心规模不断扩大的问题，以满足传统的三层网络拓扑结构不能满足的数据中心内部高速互连的需求。“Spine-Leaf 架构”核心节点包括两种：第一种 leaf 叶节点负责连接服务器和网络设备；第二种 spine 节点连接 leaf 交换机，保证节点内的任意两个端口之间提供延迟非常低的无阻塞性能。由于 ECN 中服务器规模有限，通常无需采用此类型架构，但存在部分区

域为了保持与 DCN 一致的建设要求，也可采用此类架构组网。

2) 无损网络技术

无损网络是针对传统有损的 IP 网 / 以太网提出的概念，是一种可兼顾低延迟、高吞吐的网络技术，通过采用 PFC、DVL 等多种技术，提升网络在拥塞控制、负载均衡、流量控制等方面的能力。在 ECN 中使用无损网络技术可以满足网络的高吞吐、低时延和零丢包的要求，实现对应用的无损承载。

3) 融合型网络设备

简单地说，融合型网络设备就是以一台设备，集成所有的网络应用，包括路由交换、网络安全、流量监管等，就是所谓的 All in One 产品。不同于传统云计算中心，边缘计算系统对交换机、路由器以及服务器的体积、性能有特殊的要求，开放网络融合设备将面向边缘计算系统的需求，集成计算、存储、交换、转发等功能。因此使用融合型网络设备能够实现边缘计算系统设备的小型化、集约化、模块化，支持计算、储存、网络等多厂家板块的即插即用。

3.3 边缘计算互联网络 ECI

3.3.1 定义

边缘计算互联网络（Edge Computing Interconnect，简称 ECI），是指从边缘计算系统到云计算系统（如公有云、私有云、通信云、用户自建云等）、其它边缘计算系统、各类数据中心所经过的网络基础设施。

3.3.2 重要特征

相比 DCI（数据中心互联网络），ECI 具有如下特征：

1) 连接多样化

边缘计算系统涉及与多种类型的系统连接，包括云计算系统、其他边缘计算系统、用户自建的系统等，因此 ECI 连接的对象变多，且属于不同运营方（如用户本身、云服务运营商、其它边缘计算运营商等），从而 ECI 相对 DCI 更为复杂多变，难用单一技术或者网络完成互联工作。

2) 跨域低时延

用户对低时延的要求，也会从 ECA 中延伸到 ECI 来，例如车联网业务场景中，还需要在边协协同的基础上继续保持用户业务的低时延特性。但目前这方面的研究还处于起步阶段，有待后续根据业务需求进一步发展。

3.3.3 解决方案

ECI 是在现有 DCI 的基础上进一步扩展，因此一种理想的解决方案是将现有的云网一体化布局思路拓展到云、网、边的一体化布局，从基础设施布局、管控架构以及业务产品等层面上都呈现边、网、云的高度协同，主要覆盖如下三方面的内容：

1) 一体化布局：即实现边缘计算节点、云数据节点与网络节点在物理位置布局上的协同，形成以边、云为核心的一体化基础设施布局。

2) 管控协同：即 ECI 需要实现网络资源与计算 / 存储资源的协同控制。通过 SDN、NFV 等多种计算手段,建立网络、云和边的统一或协同的控制体系,从而使三者的协同管理更加顺畅和灵活。

3) 业务协同：ECI 将具备对业务、用户和自身状况等的多维度感知能力。业务将其对网络服务的要求和使用状况

动态传递给网络,网络侧针对体验感知进行网络资源的优化调整。通过网络能力开放接口,能够随时随地按需定制管道,满足用户端到端的最佳业务体验。

近期 ECI 以跨网络隧道技术为出发点构建,如以 SD-WAN 等方案为代表的 Overlay 方案,以 SRv6 隧道方案为代表的 Underlay 方案等。

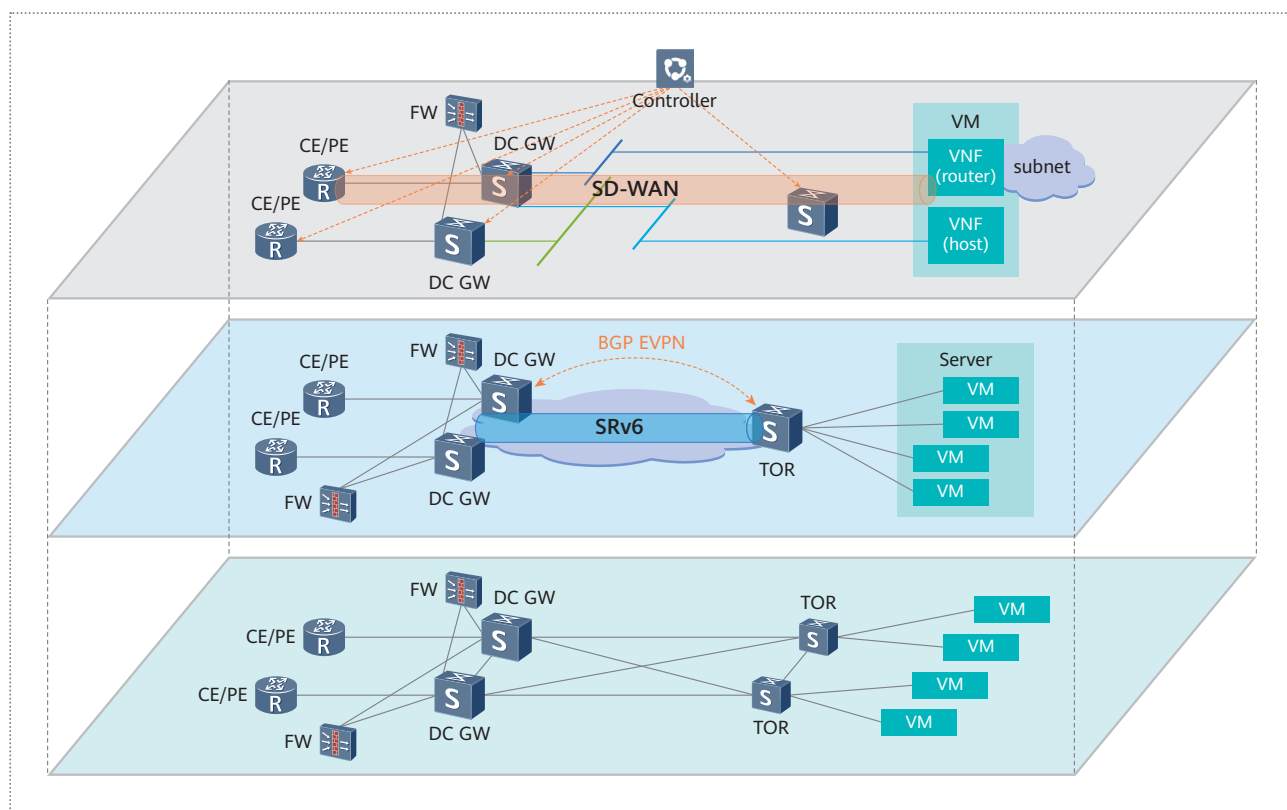


图 13 云、网、边一体化布局示意图

3.3.4 关键技术

1) SD-WAN

SD-WAN (Software-Defined Wide Area Network, 软件定义广域网) 是将 SDN 技术直接应用在广域网场景中的一种服务,实现对传统广域网的智能管控。SD-WAN 分层架构通过智能化、集中化、自动化的手段将网络功能和服务从数据平面迁移到向更加抽象的可编程控制平面,实现数据平面和控制平面分离,其统一的通信协议简化了控制平面和各数据平面之间的通信。ECI 中 SDN-WAN 的应用会为用户提供更加

多样化的设备管理功能,给网络带来更大的开放性和灵活性。

2) SRv6

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。同时它还能够完全融入 IPv6,在保证中间设备 IPv6 可达的前提下,实现业务无缝部署。SID (SRv6 Identifier) 的 function 可以实现应用级的功能,如防火墙、

负载分担等。ECI 中 SRv6 的应用能够带来业务快速开通，协议栈简化，系统集成复杂度降低等诸多好处。

3) EVPN

EVPN (Ethernet Virtual Private Network, 以太网虚拟专用网络) 是一种是针对 VPLS 的缺陷 (如无法支持 MP2MP、

无法支持多链路全活转发等) 提出的二层 VPN 技术。它的控制平面采用 MP-BGP 通告 EVPN 路由信息，数据平面可以采用 VxLAN、MPLS、PBB 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，灵活扩充边缘计算系统业务的目的。

3.4 运营商 5G MEC 网络的架构模型和网建六大关键点

3.4.1 运营商 5G MEC 网络的四大挑战

随着 5G MEC 系统的引入，运营商承载网不仅需要 5G Ready，还需要 MEC Ready，对运营商承载网络提出了新的四大挑战：

- 1) 5G MEC 中 UPF 的下移需要无线核心网的业务端口下移 (如 N4, N6, N9, 5GC OAM 等接口)，导致原来在骨干网上的 (无线核心网) L3 VPN 下移到移动承载网上；同时 UPF 的分布式部署，增加了 L3 VPN 的覆盖。这对运营商承载网增加了许多 L3 VPN 需求。
- 2) 现场 MEC 是一个新的应用场景，覆盖企业园区的基站和企业园区里的 5G MEC 需要有低延迟的直接连接，企业重要

业务数据不出园区。这对运营商接入网提出了新的挑战。

- 3) MEC 中 UPF 需要和中心云中的 5GC 控制面和管理系统通信；MEC 的 MEP 平台中的应用可能是运营商或 OTT 云应用的一部分；这对运营商承载网提出了边云协同需求。
- 4) MEC 提供无缝的 FMC 业务，需要 ECA 提供多接入，跨越无线网络和固网的连接；ENI 需要提供跨越移动承载网和固定承载网的网络连接，完成和中心云、MEC 间的业务互通，这对拥有移动承载网和固定承载网双平面的运营商在网络架构和网络互通方面提出了新挑战。

上述四大挑战，不是传统 4G 移动承载网的需求，是 5G MEC 带来的新需求，是运营商 5G 承载网必须要解决的问题，运营商 5G 承载网络应该是 MEC Ready 网络。

3.4.2 运营商 5G MEC 网络架构模型和网络建设六大关键点

由于各运营商的承载网架构各不相同，我们提供了 MEC 视角的承载网架构模型，图 14 红框里为 MEC 系统，MEC 中的 UPF 需要通过 N3 (基站到 UPF 的数据接口)，N4 (5GC 控制面到 UPF 的控制接口)，N6 (UPF 到 Internet 的数据接口)，N9 (UPF 到 Anchor UPF 的数据接口)，L1 (监听接口)，OAM (UPF 的管理接口) 和相关的 5GC 系统互联，这些 5G 标准中的接口 (除了 N3) 都是新的下移核心网接口。MEP 平台中会运行运营商或第三方的业务，可能是复杂云业务的实时处理软件部分，需要和中心云交互。图 14 上部的业务和通信系统，分布在城域网中心到区域中心间，各运营商的部署会略有不同。



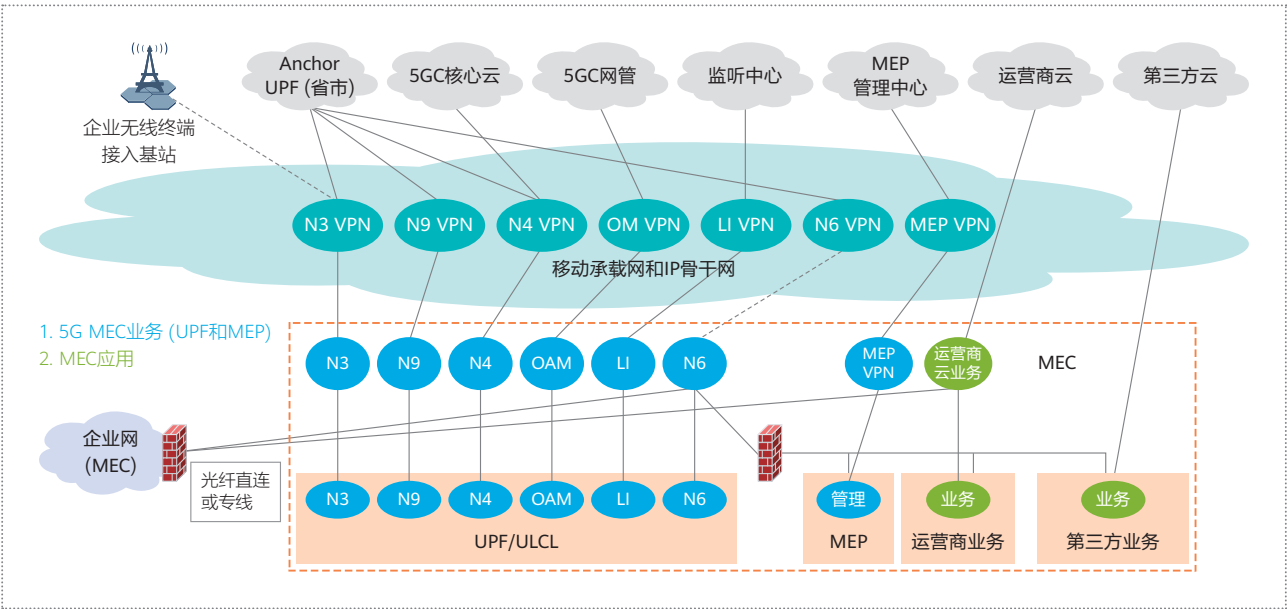


图 14 MEC 视角的运营商承载网架构模型

上述 5G MEC 网络通信模型，要求我们在建设 MEC Ready 的运营商网络时，要重点落实以下六大关键点：

1) **最短 ECA**：从基站到 MEC 的 UPF 的 N3，应该采用最短路径连接，在园区里应该通过在园区里的路由器直接连接到 MEC，而不应该在运营商的网络中绕行。业务

流无绕行的需求，一方面是为了低延迟和节约网络带宽，另一方面是为了保证企业关键业务数据不出园区，如图 15 所示。这要求 MEC 接入点路由器能就近转发数据报文，因此边缘接入网设备具有路由能力（L3 到边缘）是支持业务流无绕行传输的一个基本要求。

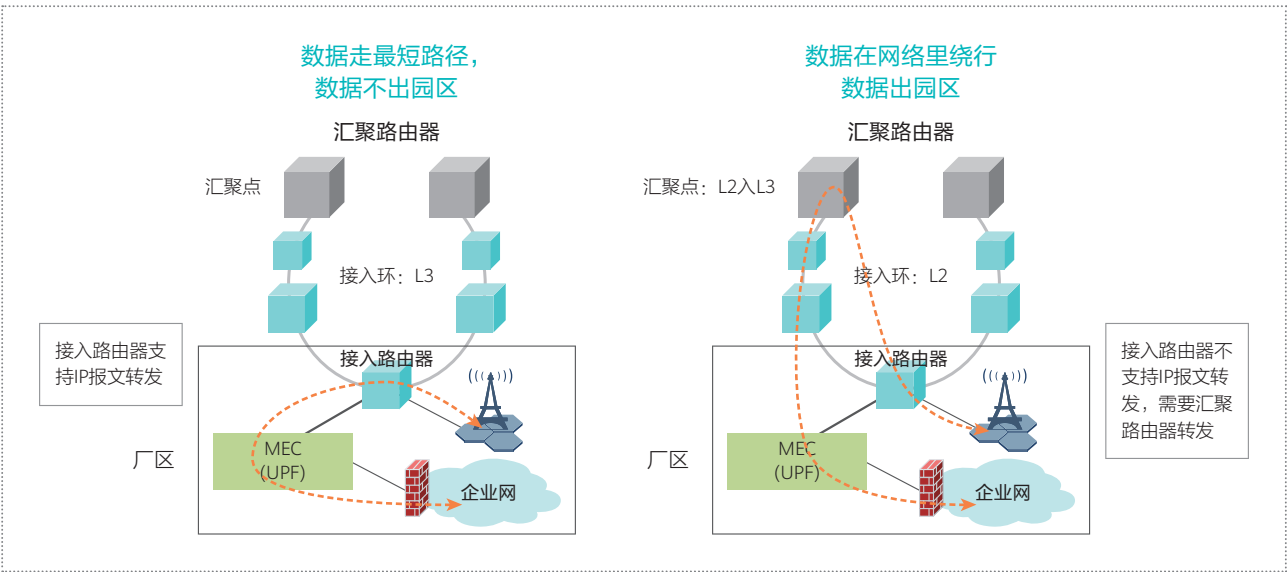


图 15 MEC 需要无绕行，低延迟接入网

2) **低延迟分片**：为满足 MEC 应用的低延迟和安全可靠性需求，运营商承载网需要为企业用户提供低延迟分片网络服务。MEC 分片网络包括无线基站、移动承载（基站到 MEC 间）和 UPF 系统，即企业业务流经过的所有网元。经过的网元越少，分片的复杂度就约低，越有利于保证传输低延迟。

3) **ECI 多点通信**：MEC 到 5GC（N4, OAM）、MEP 管理平台和其他 MEC（N9）的业务接口都是多点到多点通信模式，都需要通过 L3 VPN 来支持。MEC 的承载网络都需要提供 L3 VPN 能力，包括边缘网络在内，即 L3 VPN 能力延伸到边缘；而且 L3 VPN 需要跨越城域网和骨干网等多网段。ECI 网络无论在网元数量（大量 UPF）还是网络覆盖面（从接入到骨干），都比 4G 承载网复杂很多，所以需要灵活、功能强大的 L3 VPN 来支持多点通信（如图 16）。

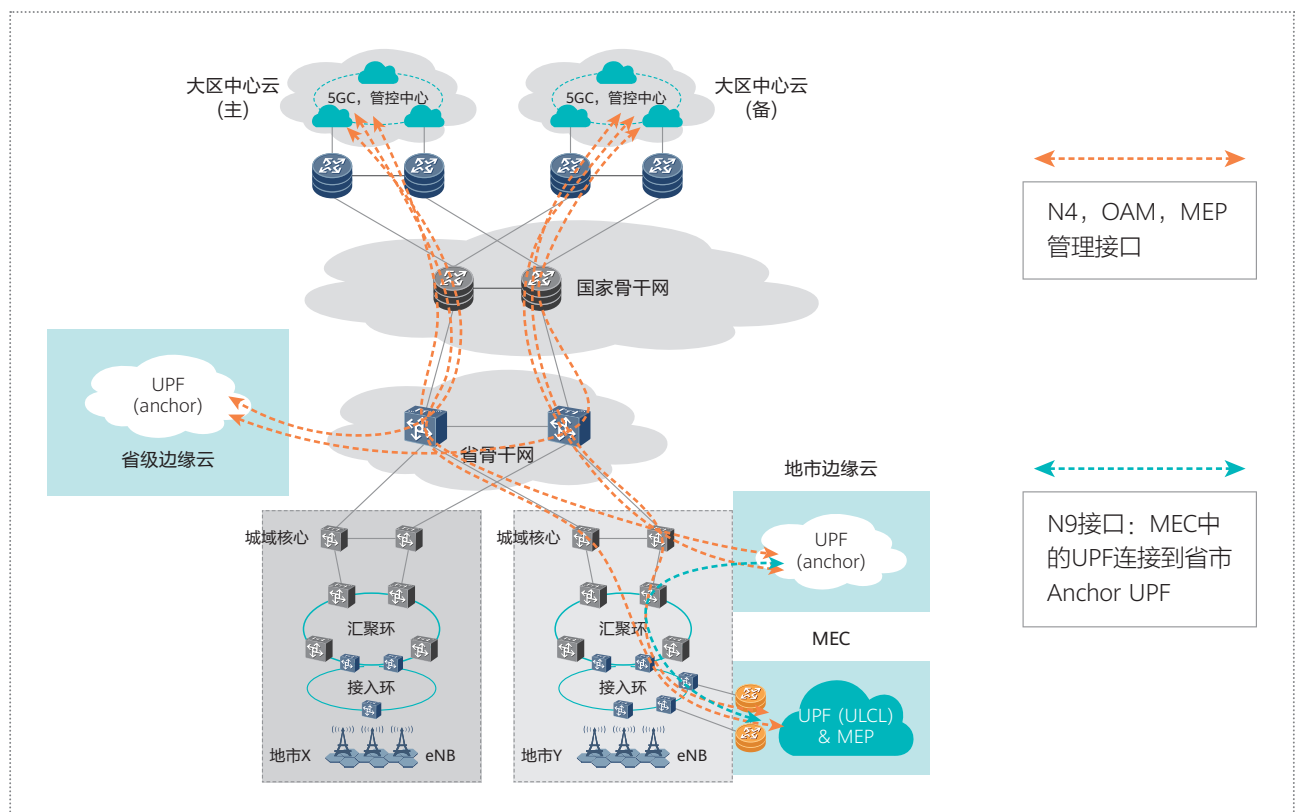
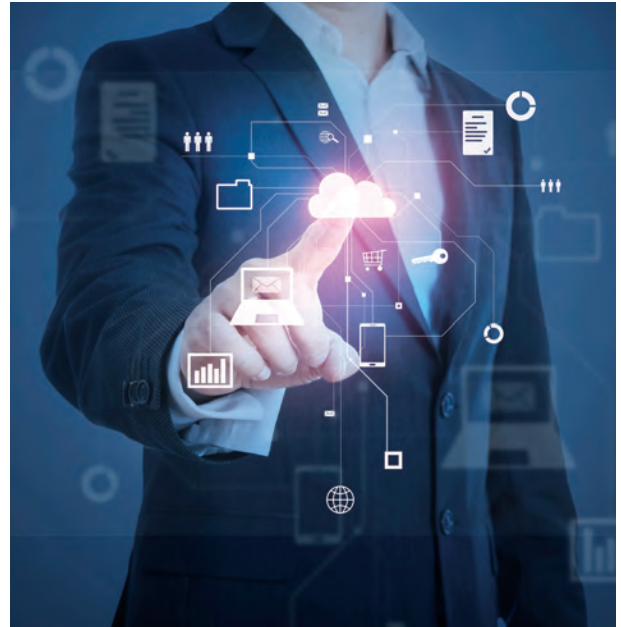


图 16 管控业务接口穿越多段网络

4) **ECN 中路由器的集成通信能力：**小微型 MEC 是当前 5G MEC 的主流模式，因为成本和通信需求，ECN 一般采用一层集成网络模型，如图 17。这就要求 ECN 的路由器提供 MEC 中各物理设备间以及 VM 间的 L2 和 L3 可靠连接，完成 MEC 和外部 IP 网络（IP RAN）的路由互通和可靠通信，以及边云协调通信。一个 UPF 可以运行多个 VM 来提高性能和可靠性，ECN 要提供多路 ECMP 负载均衡（当前 MEC 的需求是 16 路负载均衡）。

5) **边云协同：**MEC UPF 作为 5GC 的一个下沉部分，以及

MEC 中的应用作为云业务的一个实时处理应用部分，都不仅需要有可靠的通信保障，还需要在自动化部署和运维方面进行边云协同配合。

6) **两网安全互通：**运营商 MEC 网络需要和企业网互通，使企业可以把 5G 通信能力和 MEC 应用集成到企业的业务系统中。现在一般是通过 MEC 里面的路由器来和企业互通，网络安全是企业网和运营商网络都非常关注的问题，需要采用基于防火墙的网络安全方案。

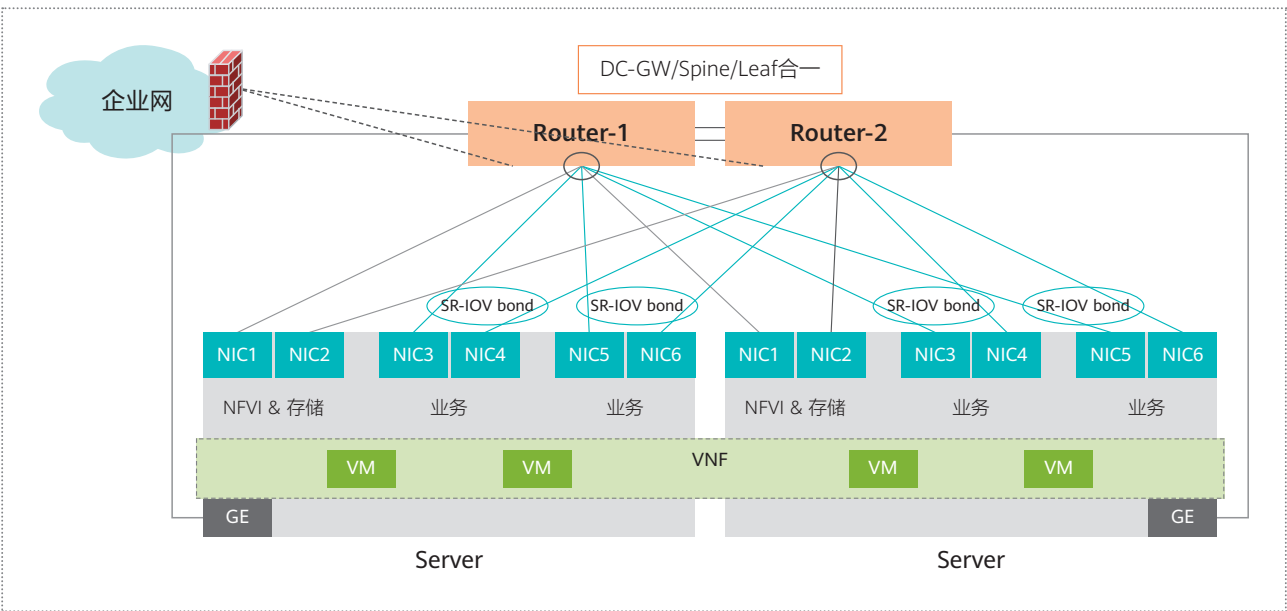


图 17 ECN 模型



04

边缘计算网络相关技术发展展望

随着未来新型业务应用的快速发展，以及网络基础设施自身价值定位要求的提高，边缘计算对网络的智能化、低时延、大带宽、海量接入等提出了新的需求。例如，网络用

于承载计算能力的分发，端到端网络实现超低时延以适应特殊的应用场景，以及网络采用新的标识以满足新型业务应用的需要等。

4.1 边缘计算网络技术未来发展方向

产业界关于边缘计算网络的研究还处于起步阶段，随着边缘计算产业的不断演进与发展，边缘计算网络未来技术发展将呈现如下趋势：

1) 从有损网络到无损网络

当网络中出现超过链路承载能力的报文进行传送的时候，就会出现时延过高，丢包严重及抖动频繁等问题。在大部分场景中，当以上情况出现时，网络是无法使用的，这就需要出现相应的技术在同样的场景下解决这些问题，以满足低时延、零丢包、高吞吐的性能要求。

2) 从“尽力而为”到确定性

现在使用的网络大部分以 IP 为基础，IP 网络本质上是一种不可靠的网络，以“尽力而为”的方式进行信息的传递，对于一些特定的场景无法做到质量的保证，这就需要在 IP 网络的基础上应用一些“确定性”的技术，在时延、抖动、带宽等方面满足特定场景的需要。

3) 从流量哑管道到算力智能网络

传统网络仅仅作为信息传送的一种通道，将数字世界中的

信息以报文的形式进行端到端的转发，随着云网融合的发展，网络能够携带更多的资源能力信息，将“算力”作为一种资源进行传播。

4) 从 IP 寻址到内容寻址

传统的互联网业务设计理念是面向“主机 - 主机”的端到端的通信，而互联网业务发展趋势是以内容和服务为中心的，这就要求出现一种内容和服务驱动的网络，以支持更高效的内容分发。

5) 从被动安全到主动安全

传统的网络安全架构是一种在现有网络基础架构的基础上建立的分级保护体系，随着未来 5G 和物联网业务的发展，海量的接入设备对原有被动防御的模式提出了挑战，这就需要在网络安全体系中采取一种主动发现问题或者主动改变系统自身结构的主动防御模式，提升系统的安全性。

6) 从能力受限的接入到随时随地的接入

传统的网络接入方式为有线接入及无线接入，其中有线接入包含双绞线 RJ45、光纤等常用接入方式，无线包括

3G/4G、WIFI、蓝牙等常用接入方式，未来的网络接入方式将进一步扩展，以实现更丰富类型终端设备的随时随地接入。

在边缘计算网络的三层体系（ECA/ECN/ECI）中，围绕上述发展趋势出现了众多新兴网络技术，其中有代表性的如下表所示：

	ECA	ECN	ECI
无损网络		✓	✓
DetNet	✓		✓
算力网络	✓	✓	✓
内容寻址网络	✓	✓	✓
主动防御网络	✓	✓	✓
B5G/6G	✓		

4.2 无损网络

无损网络技术可用于解决边缘计算网络的性能问题，在边缘 DC 网络部署场景中，无损网络技术的应用可实现降低时延、避免丢包、增加吞吐量的功能。

4.2.1 技术描述

网络指标可以从时延，丢包，吞吐三个方面具体分析。时延可以分为服务器侧处理时延，网络传输时延；丢包很大可能性是以太网拥塞导致的；吞吐量取决于两个方面，一

是带宽，二是拥塞场景下的 buffer 利用率。

无损网络从网络指标的三个方面进行针对性优化，其中采用 RDMA 技术对时延进行优化，此项技术目前已经较为成熟；采用 PFC（Priority-based Flow Control）和 ECN（Explicit Congestion Notification）技术对丢包进行优化；采用 DCQCN（Data Center Quantized Congestion Notification）技术对吞吐性能进行优化，以达到网络的低时延、无丢包、高吞吐的目标。

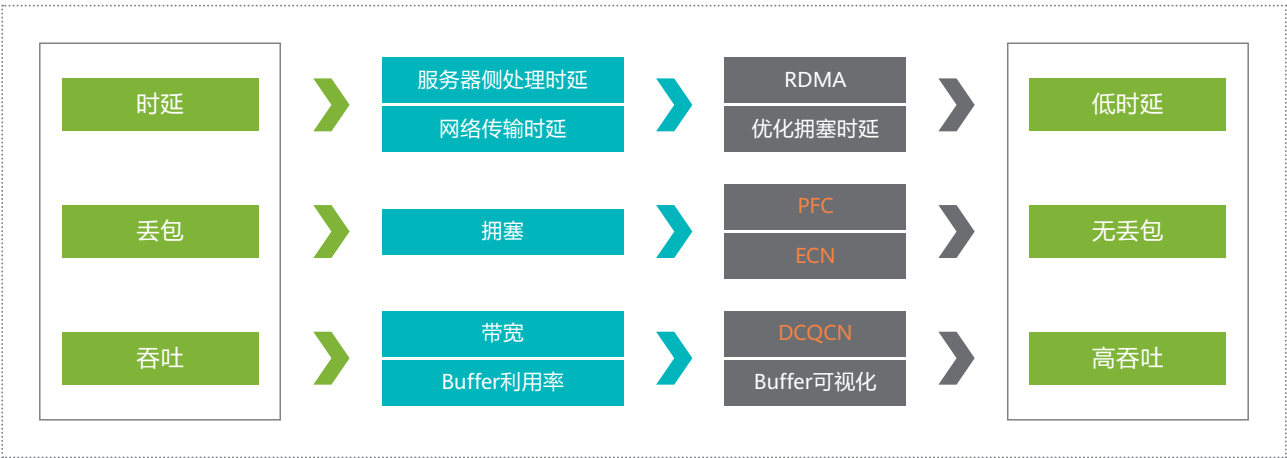


图 18 性能指标三方面优化方案

4.2.2 应用场景

在边缘 DC 的 CLOS 架构网络中，应用无损网络技术，主要实现了丢包和吞吐率的网络性能提升。

- » 为了避免拥塞丢包，需要在 Leaf 与 Spine 之间部署 PFC 流控技术，同时，Spine 设备也需要支持基于拥塞的

ECN 标记；

- » Leaf 作为服务器网关，支持和服务器之间基于 PFC 的流量控制，同时支持拥塞 ECN 标记；为了提高吞吐量，需要在服务器网卡支持 DCQCN，将发送速率调整到最优；
- » 全网设备部署 PFC、ECN，基于业务特征配合可视化技术，利用 SDN 控制器根据业务流量特征实现调优，为网络的稳定运行提供无损保障。

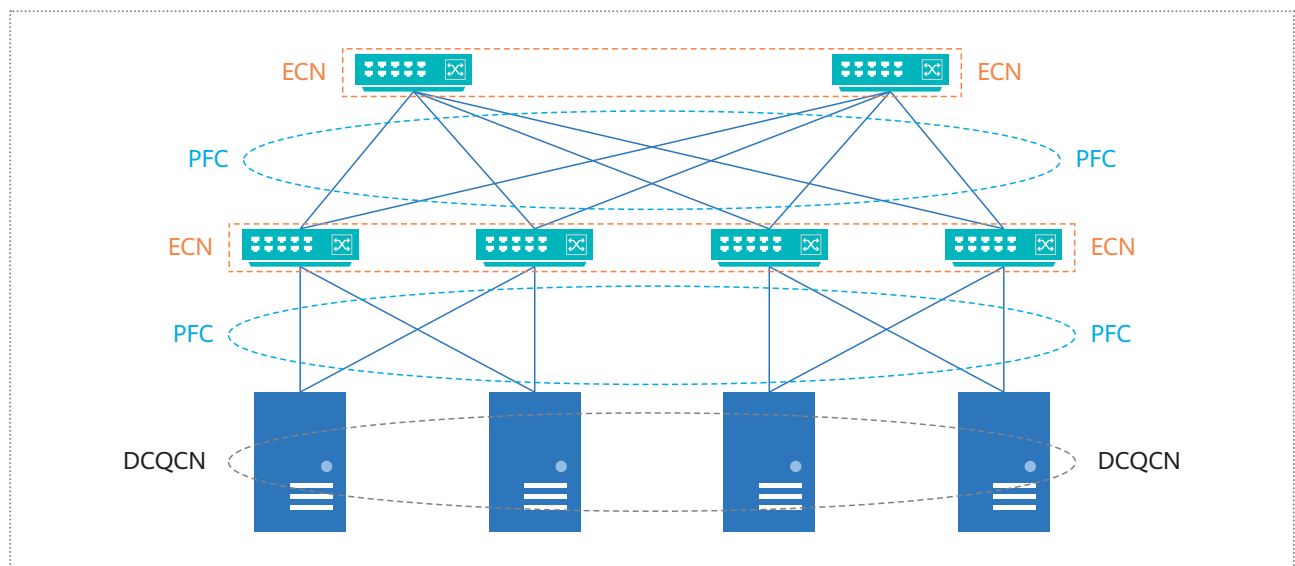


图 19 无损网络技术在边缘 DC 中的应用

4.3 DetNet

DetNet 技术可用于解决边缘计算网络中存在的时延、丢包问题，当边缘计算系统无法部署在距离用户足够近的距离时，可以通过 DetNet 技术的应用，将网络指标降低到可接受的范围，实现边缘计算系统的高效工作。

4.3.1 技术描述

DetNet（确定性网络）指在一个网络域内给承载的业务提供确定性业务保证的能力，这些确定性业务保证能力包括时延，时延抖动，丢包率等指标。

DetNet 的基本特征是：

1) 时钟同步

所有网络设备和主机都可以使用 IEEE 1588 精确时间协议将其内部时钟同步到 1μs-10 ns 的精度。大多数（不是全部）确定性网络应用程序都要求终端站及时同步，一些队列算法还要求网络节点同步，而有些则不需要。

2) 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，可以消除拥塞。

3) 超可靠的数据包交付

DetNet 可以通过多个路径发送序列数据流的多个副本，并

消除目的地处或附近的副本。不存在故障检测和恢复周期，每个数据包都被复制并被带到或接近其目的地，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。

4) 与尽力而为（best-effort）的服务共存

除非临界流的需求消耗了过多的特定资源（例如特定链路的带宽），否则可以调节临界流的速度，这样，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，但临界流降低了这些功能的可用带宽。

4.3.2 应用场景

在某种情况下，MEC 系统可能无法在最靠近端侧处部署，则需要将其进行高置，例如从接入网关侧高置到汇聚网关侧。

MEC 离端侧越近，需要部署的站点数量越多，成本越高；MEC 离端侧越远，经过的设备跳数越多，流量的不确定性增多，时延增大。

当 MEC 系统无法进行低置部署时，DetNet 技术可以满足在 MEC 系统在高置部署时的可用性需求。使用 DetNet 设

备组网承载网，可以保证单跳时延超低，端侧访问 MEC 站点的跳数与时延可期，完全不会受到其它流量影响。

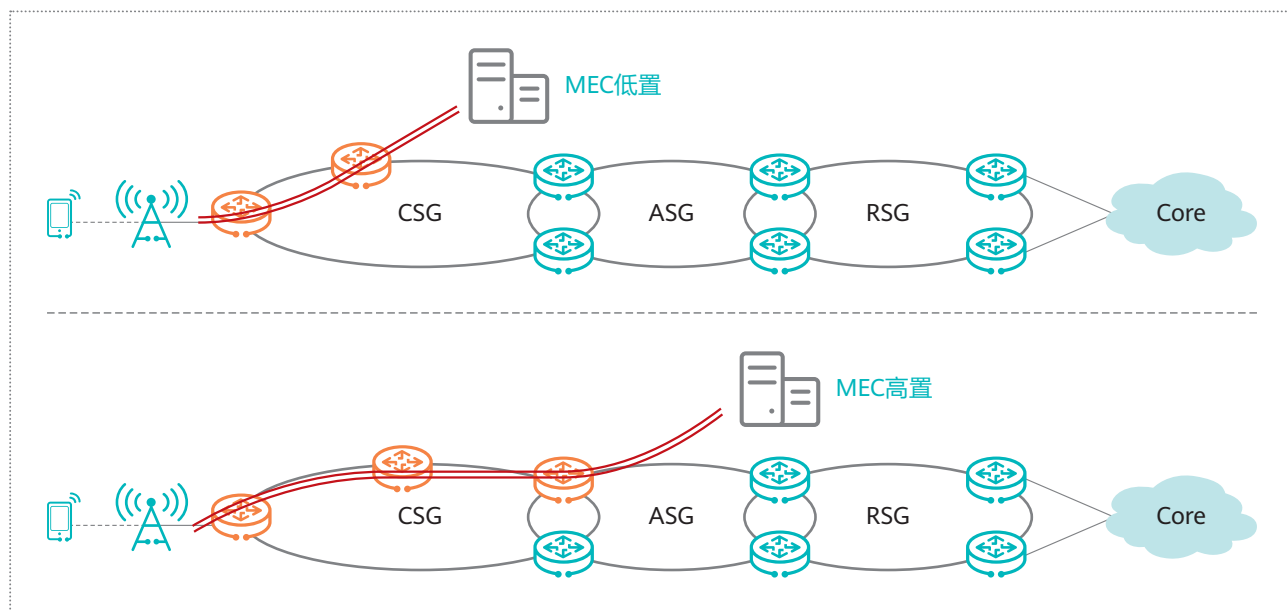


图 20 DetNet 技术在 MEC 系统高置场景中的应用

4.4 算力网络

算力网络技术可用于解决在边缘计算中，由于单个站点算力资源有限而导致的可扩展和调度性能差的问题。当边缘业务无法及时处理时，可根据业务的优先级，通过算力网络将时延不敏感的业务调度到其它空闲节点进行计算，以确保本地的高优先级业务得到及时处理。

4.4.1 技术描述

现有业务应用层和网络解耦，应用层无法精准、实时掌握网络性能，以应用层为主的寻址结果的综合性能可能不是最优、甚至比较差，导致业务体验差。此外，当前互联网的假设是静态的 server 加上移动的 client，传统基于 DNS 解析的 IP 寻址，以及建立 TCP/TLS 会话的网络模式，也难

以发挥动态、微服务、泛在计算的优势，不能保证计算效率最大化。未来网络架构，需要能够支持不同的计算类应用，根据不同的业务需求，网络实时状况，计算资源实时状况，可以动态地路由到离 client 不同距离的计算节点上执行计算任务。因此提出一个基于分布式网络的算力网络融合新架构—算力网络以试图解决以上问题。

算力网络面向计算与网络融合的新架构、新协议、新技术探索：位于网络层之上的算力网络薄层，将当前的计算能力状况和网络状况作为路由信息发布到网络，网络将计算任务报文路由到相应的计算节点，实现用户体验最优、计算资源利用率最优、网络效率最优。

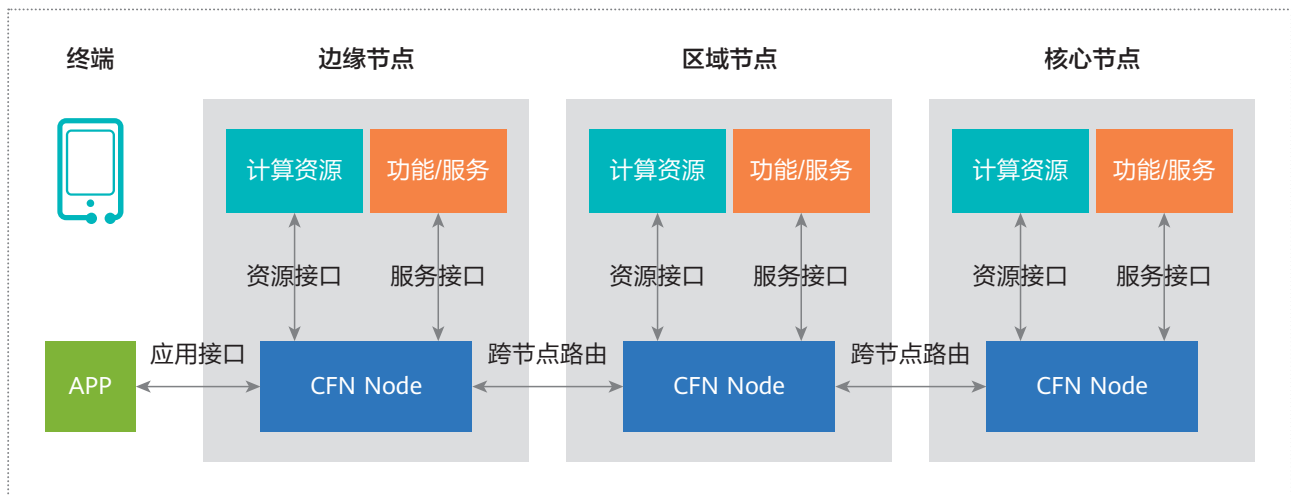


图 21 计算能力通过跨节点路由在算力网络中的发布

4.4.2 应用场景

车联网辅助驾驶场景中，特别是对于车辆外部由于遮挡、盲区等视距外的道路交通情况，需要通过边缘计算节点获取该车辆位置周边的全面路况交通信息，并进行数据统一处理，对于有安全隐患的车辆发出警示信号，辅助车辆安全驾驶。

当本地的边缘节点过载时，辅助安全驾驶通知会发生延迟，可能导致交通事故的发生。通过算力网络将时延不敏感的业务如车载娱乐从本地节点调度到其他节点进行计算，以降低本地节点的负载，使得低时延业务在本地优先处理，保证其用户体验和可用性。

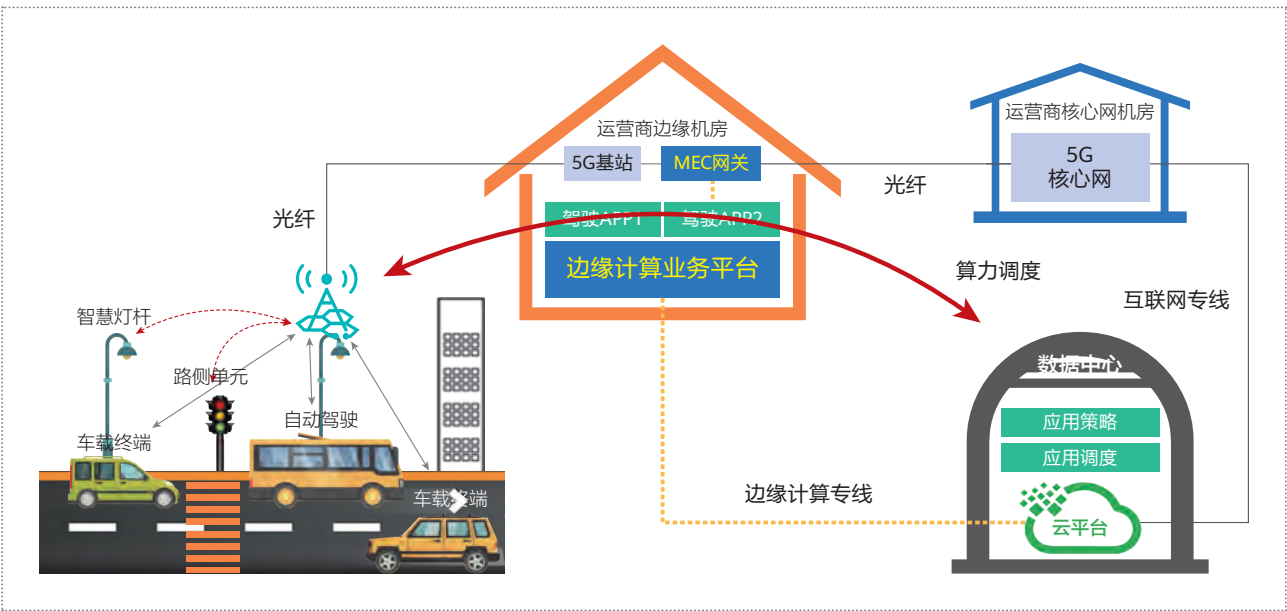


图 22 算力网络在车联网边缘计算场景中的应用

4.5 内容寻址网络

内容寻址网络技术可应用于未来的边缘业务访问场景中，各类终端设备对于服务内容的请求不再局限于传统 IP 网络的“主机 - 主机”通信模式，而是寻求一种高效的以内容为中心的网络通信模型。

4.5.1 技术描述

当前互联网的设计理念是面向“主机 - 主机”的端到端的通信。但随着网络应用的主题逐步向内容请求和信息服务

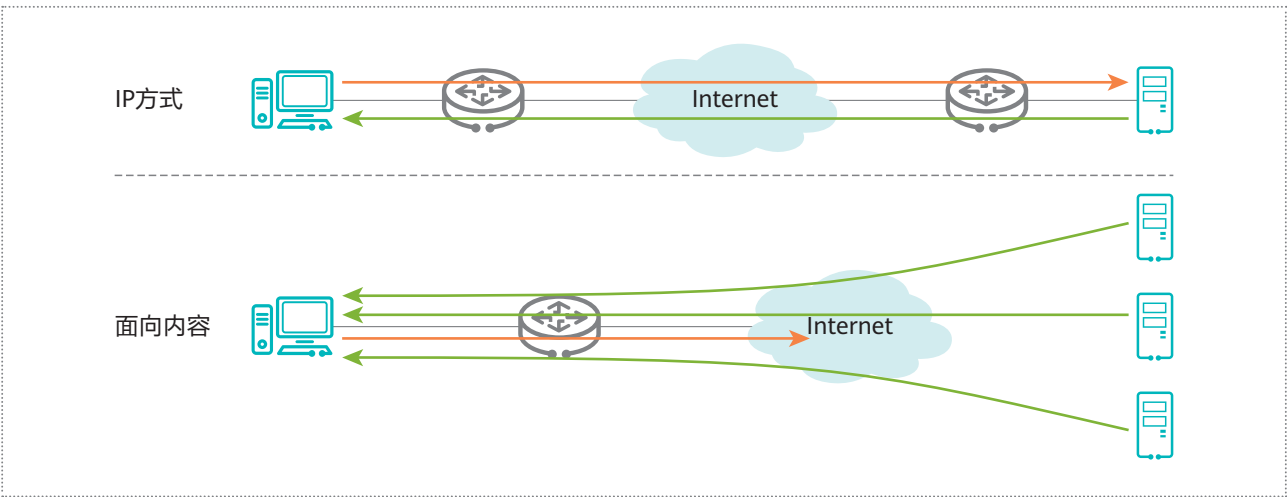


图 23 IP 路由与面向内容寻址通信方式对比

演进，用户关注的不再是内容存储在哪里，而是内容信息本身，以及对应的检索传输速度、服务质量和安全性。传统面向主机的互联网通信模式与当前以内容为中心的应用和服务需求难以匹配，导致内容传输效率低下。

要从根本上解决内容服务与分发问题，必须让网络结构和通信模式的设计与内容服务需求相适应，打破传统“主机-主机”通信模式的束缚。基于内容寻址的网络架构采用以内容为中心的网络通信模型来支持高效的内容分发。

基于内容寻址的网络是一种面向内容共享的通信架构。内容寻址将信息对象作为构建网络的基础，基于内容名字进行数据共享和交换，不需要关心特定的物理地址和主机。基于内容寻址网络中，利用网络内置缓存提高传输效率，而不关心数据存储位置。这种新的网络架构专注于内容对象、属性和用户兴趣，采用信息共享通信模型，从而实现高效、可靠的信息分发。

内容寻址网络中的路由协议可采用类似 IP 网络中的路由协议。不同的是，内容寻址网络中网络设备采用名字前缀而不是 IP 前缀作为信息标识。内容寻址路由器根据路由协议

生成名字路由表，并生成名字转发表加载到路由器数据平面指导数据分组转发。当前的 AS 内路由器协议 OSPF、AS 间路由协议 BGP 都能够适用于基于名字前缀的路由。

4.5.2 应用场景

内容寻址网络可以结合边缘计算在小区上网的场景中进行应用。

小区宽带用户在接入互联网进行内容访问时，在同一时刻只能选择单一的接入方式，同时，他们在上网时一般只会对自己所访问的内容和访问速度关心，而不会关注内容所存储的位置。对于小区而言，一般是存在多家运营商共存的情况的，这些运营商之间是相互独立的，这样就造成了带宽资源的浪费。

可以通过在一个小区或者多个小区的业务边缘，部署一个我们称之为“智慧协同路由器”的设备，采用面向内容共享的通信机制，实现网络资源共享并提升网络访问速度，改造方式如下图所示：

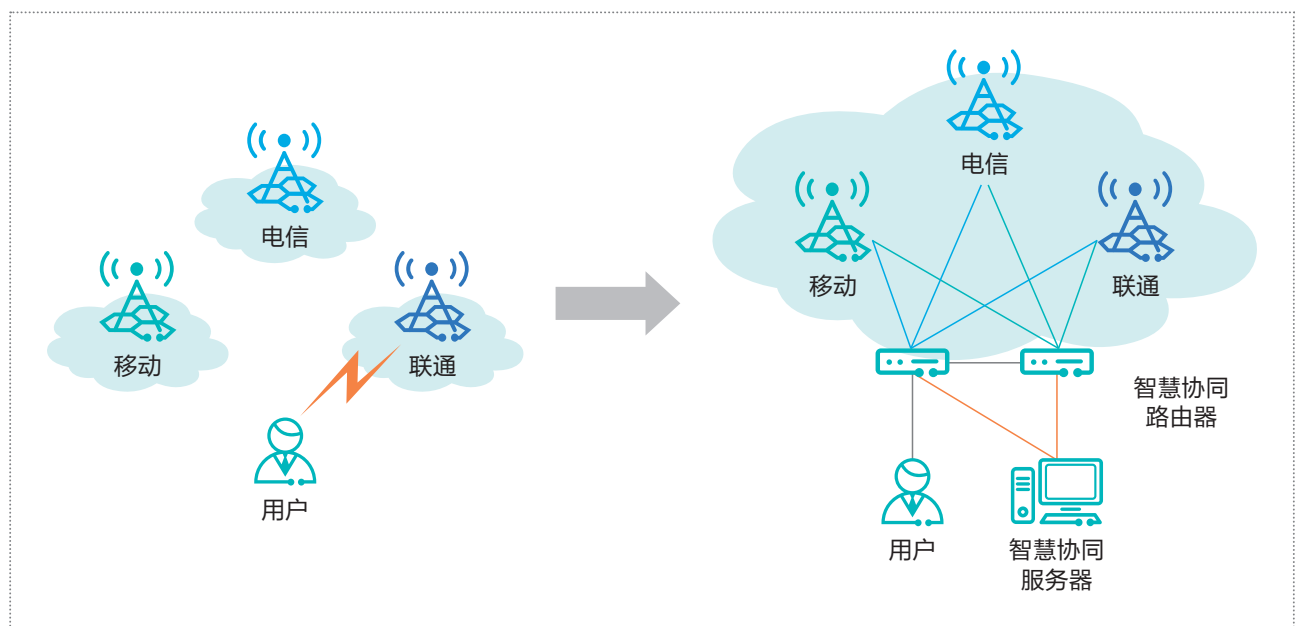


图 24 内容寻址网络技术在小区宽带上网场景中的应用

4.6 主动防御网络

随着物联网的发展，未来边缘接入终端数量庞大，带来的网络安全风险也将随之倍增，主动防御网络为边缘计算网络安全引入了一种不同于传统网络安全的动态防御手段，可应用于边缘计算网络的各个位置。

4.6.1 技术描述

传统的网络安全防御思想是在现有网络基础架构的基础上建立包括防火墙和安全网关、安全路由器 / 交换机、入侵检测、病毒查杀、用户认证、访问控制、数据加密技术、安全评估与控制、可信计算、分级保护等多层次的防御体系，通过不同类型传统安全技术的综合应用来提升网络及其应用的安全性。

所谓主动防御，是指网络能够在主动或者被动触发条件下动态的、伪随机的选择执行各种硬件变体以及相应的软件变体，使得内外攻击者观察到的硬件执行环境和软件工作状态非常不确定，无法或很难构建起基于漏洞或者后门的攻击链，以达到降低系统安全风险的目的。将主动防御用于边缘计算网络体系的各个层次，尤其是 ECA 网络中，可以极大程度的降低网络攻击的风险。

4.6.2 应用场景

在边缘计算网络中，当外部攻击者对系统发起漏洞攻击时，系统感知到有攻击动作的发生，则随机选择执行硬件变体以及相应的软件变体。当外部攻击者下次再次进行扫描时，则可能会认为被攻击的对象发生了改变，重新执行漏洞攻击操作，从而无法实现一整套的攻击操作，如下图所示：

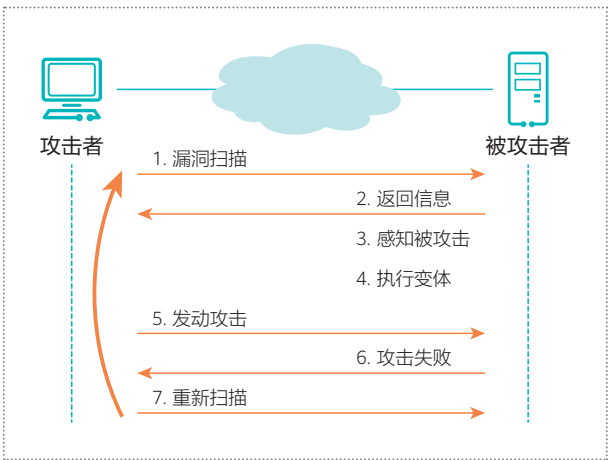


图 25 主动防御技术在主机攻击场景中的应用

4.7 B5G/6G

B5G/6G 是一系列技术的集合，其可应用于边缘计算系统的接入场景中，提供了更为灵活的网络接入方式，使边缘计算接入网络能够容纳更庞大数量的边缘设备接入。

4.7.1 技术描述

以 5G 网络为基础，向下一代通信系统的演进称为 B5G (Beyond 5Generation, 即超 5G)，而 6G (即第六代移动通信标)，目前是一个概念性无线网络移动通信技术，也被称为第六代移动通信技术。B5G/6G 对高数据速率、高容量、无缝覆盖、低时延、高可靠、低功耗、低成本以及万物互联的要求越来越高，其潜在的关键网络技术包括。

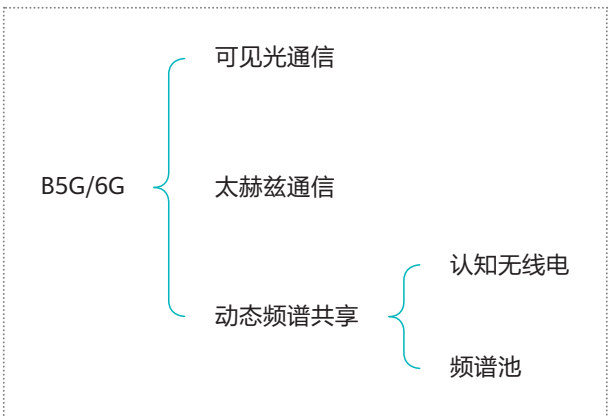


图 26 B5G/6G 中的部分关键技术树形图

1) 可见光通信

可见光通信技术（Visible Light Communication, VLC）是指利用可见光波段的光作为信息载体，不使用光纤等有线信道的传输介质，而在空气中直接传输光信号的通信方式。

LED 可见光通信是基于可见光发光二极管（Light Emitting Diode, LED）比荧光灯和白炽灯切换速度快的特点，利用配备 LED 的室内外大型显示屏、照明设备、信号器和汽车前尾灯等发出的肉眼观察不到的高速调制光波信号来对信息调制和传输，然后利用光电二极管等光电转换器件接收光载波信号并获得信息。无论应用于室内还是室外的可见光 LED 通信系统，在其物理实现上均分为光信号发射和光信号接收两部分。光信号发射部分包括：将信号源信号转换成便于光信道传输的电信号的输入和处理电路、将电信号变化调制成光载波强度变化的 LED 可见光驱动调制电路。光信号接收部分包括：能对信号光源实现最佳接收的光学系统、将光信号还原成电信号的光电探测器和前置放大电路、将电信号转换成可被终端识别的信号处理和输出电路。

与现有 WiFi 相比，未来的可见光通讯安全又经济。WiFi 依赖看不见的无线电波传输，设备功率越来越大，局部电磁辐射势必增强；无线信号穿墙而过，网络信息不安全。这些安全隐患，在可见光通讯中“一扫而光”，而且，光谱比无线电频谱大 10000 倍，意味着更大的带宽和更高的速度，网络设置又几乎不需要任何新的基础设施。

2) 太赫兹通信

从 2G、3G 到 5G 网络，无线通信的频段已经从 1GHz 以下扩展至 52.6GHz，高频段的可用频率多、可支持带宽大的特性，使业界对于 B5G/6G 的潜在技术展望继续关注更高频段。太赫兹波段的通信技术被认为是有望解决频谱稀缺问题的有效手段，引起世界各国的高度关注。

太赫兹波段（简称 THz）是指频率在 0.1~10THz 范围内的电磁波，频率介于技术相对成熟的微波频段和红外频段 2 个区域之间。太赫兹科学技术作为非常重要的交叉前沿技术领域，是当今国际学术研究的前沿和热点。美国认为太赫兹科学是改变未来世界的十大科学技术之一，欧盟第 5-7 框架计划中启动了一系列跨国太赫兹研究项目，日本政府将太赫兹技术列为未来 10 年科技战略规划 10 项重大关键科学技术之首。由于太赫兹波具有高宽带、高穿透性等特性，太赫兹通信技术为需要超高数据速率的各种应用打开了大门，并在传统网络场景以及新的纳米通信范例中开发大量新颖应用。太赫兹可用于和地面高速通信与组网、空间通信、军事保密通信、无线纳米网络通信等领域。

3) 动态频谱共享

无线频谱是信息经济时代的重要战略性资源，是信息化和工业化深度融合的重要载体，目前主要由国家统一管理和授权使用。随着移动互联网技术的发展，无线数据量呈现爆发式增长，这给原本就稀缺的无线频谱资源带来了更大的压力。在异构网络共存、密集覆盖的场景下，如何管理



传统的 IMS 系统频谱，未来用于 B5G/6G 网络的无线频谱以及新开放的重耕频谱，达到提高频谱资源利用率、降低干扰、优化网络性能的目的，是未来 B5G/6G 无线网络中需要重点考虑的问题。

在现有静态的频谱管理方式下，频谱资源的使用主要存在 2 个矛盾：一是可用频谱资源稀缺，而已用频谱资源利用率低；二是频谱划分固定，而频谱需求动态变化。这种问题的根源在于频谱管理方式确定的频谱划分无法及时地根据需求做出调整。采用动态的频谱管理方式进行动态频谱共享，是解决上述矛盾的方法之一。

动态频谱共享技术有认知无线电和频谱池。

- (1) 认知无线电技术通过接收无线电磁环境的无线电磁信息进行频谱感知，对频谱使用状态进行分析和预测以确定空闲频谱，进一步自适应地调整功率、频率、调制、编码等无线电特性参数发射无线电磁信号，在不对主用户产生有害干扰的前提下，利用主用户的空闲频谱提高整体频谱利用率。
- (2) 频谱池是指通过频谱管理系统将不同用户的空闲频谱集中起来形成一个资源池。频谱池系统中提供空闲频谱的用户为主用户，通过申请和使用频谱的用户为次用户。主用户多为授权频谱用户，其频谱较多，可通过将空闲频谱出租给次用户使用并获得一定收

益。频谱池系统通过一定的市场手段有效配置频谱资源，同时需要一个第三方频谱管理系统对整个系统进行管理。

4.7.2 应用场景

频谱池应用于边缘计算接入，当无线用户需要连接边缘云时，通过频谱管理系统从频谱池中获取可用的频谱资源，再通过频谱管理系统通知边缘云，协商完成后，用户通过分配到的频谱资源接入边缘云，如下图所示：

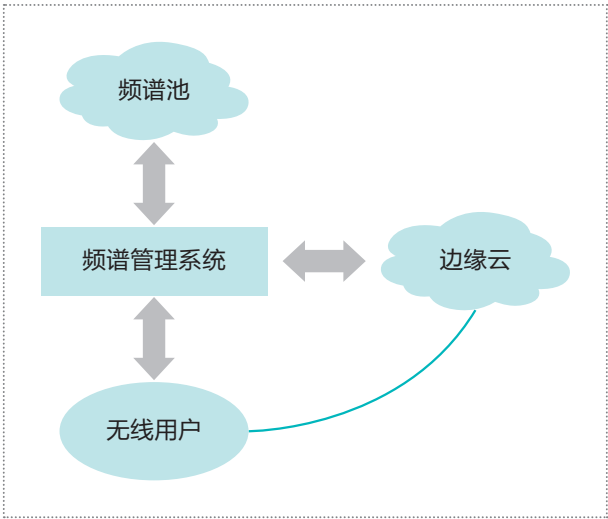


图 27 动态频谱共享技术在边缘计算接入场景中的应用示意图





附录 1

术语表

序号	中文名称	英文名称	定义
1	主动防御	Active Defense	是指网络能够在主动或者被动触发条件下执行各种硬件变体及相应的软件变体的一种防御方式。
2	云计算	Cloud Computing	云计算通常简称为“云”。通过互联网，“按使用量付费”的方式提供按需应变的计算资源（从应用到数据中心）。其部署方式包括公有云、私有云和混合云。
3	临界流	Critical Flow	是指在传送过程中，由于拥塞等原因处于即将被丢弃状态的数据流。
4	边缘计算	Edge Computing	在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合联接、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。
5	单向网闸	Leadsec Uni-directional GAP	为保证高密级别网络中的数据不能流向低密级网络，但低密级网络中的数据可以流向高密级网络（数据机密性要求），彻底解决高密级网络信息泄露的问题，只有采用无反馈的单向传输技术。
6	负载均衡	Load Balancing	负载均衡建立在现有网络结构之上，它提供了一种廉价有效透明的方法扩展网络设备和服务器的带宽、增加吞吐量、加强网络数据处理能力、提高网络的灵活性和可用性。
7	正交频分复用技术	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	将信道分成若干正交子信道，将高速数据信号转换成并行的低速子数据流，调制到在每个子信道上进行传输。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰（ISI）。
8	软件定义网络	Software-Defined Networking	SDN 是一种新型的网络架构，它将网络控制平面和转发平面分离，采用集中控制替代原有分布式控制，并通过开放和可编程接口实现“软件定义”。
9	时分双工	Time Division Duplexing	是在帧周期的下行线路操作中及时区分无线信道以及继续上行线路操作的一种技术，也是移动通信技术使用的双工技术之一，与 FDD 相对应。

附录1：术语表

序号	中文名称	英文名称	定义
10	实时以太网	Time-Sensitive Networking	国际标准组织 IEEE 制订了 TSN(Time-Sensitive Networking) 系列标准，针对实时优先级、时钟等关键服务定义了统一的技术标准，是工业以太网接未来的发展方向。
11	互联	interconnection	是指不同领域、不同地域的多个网络系统之间能互相连接。
12	互通	Interworking	是指对不同的网络系统，可以根据业务的区别提供差异化网络承载服务。
13	互操作	Interoperability	是指两个或多个系统之间交换信息，能够相互理解信息的含义，并在操作上能够相互协同。
14	信息模型	Information Model	是对数据的语义提供概念、关系、约束、操作的模型化表示，实现信息的可共享、可组织。



附录 2

缩略语表

序号	缩略语	英文名称	中文名称
1	AI	Artificial Intelligence	人工智能
2	API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
3	AS	Autonomous System	自治系统
4	BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
5	BNG	Broadband Network Gateway	宽带网络网关
6	BRAS	Broadband Remote Access Server	宽带接入服务器
7	CPE	Customer Premise Equipment	客户终端设备
8	CU	Control plane and User plane	控制面和用户面
9	DC	Data Center	数据中心
10	DCN	Data Center Network	数据中心内部网络
11	DetNet	Deterministic Networking	确定性网络
12	DNC	Distributed Numerical Control	分布式数控系统
13	DCQCN	Data Center Quantized Congestion Notification	数据中心量子化拥塞通知
14	DPI	Deep Packet Inspection	深度报文检测
15	ECA	Edge Computing Access	边缘计算接入网络
16	ECI	Edge Computing Interconnect	边缘计算互联网络
17	ECN	Edge Computing Network	边缘计算内部网络
18	ECN	Explicit Congestion Notification	显示拥塞通知

附录2：缩略语表

序号	缩略语	英文名称	中文名称
19	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划
20	EVPN	Ethernet Virtual Private Network	以太网虚拟专用网络
21	FBB	Fixed Broadband	固网宽带
22	FDD	Frequency Division Duplexing	频分双工
23	FW	Fire Wall	防火墙
24	FMC	Fixed Mobile Convergence	固定网络与移动网络融合
25	IDC	Internet Data Center	互联网数据中心
26	I/O	Input/Output	输入 / 输出
27	IoT	Internet of Things	物联网
28	IT	Information Technology	信息技术
29	LTE	Long Term Evolution	长期演进
30	MBB	Mobile Broadband	移动宽带
31	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
32	MPLS	Multi-Protocol Label Switching	多协议标签交换
33	NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
34	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
35	OSPF	Open Shortest Path First	开放最短路径优先协议
36	OT	Operation Technology	操作技术
37	PFC	Priority-based Flow Control	基于优先级的流量控制
38	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
39	PLM	Product Lifecycle Management	产品生命周期管理
40	PON	Passive Optical Network	无源光纤网络
41	PTN	Packet Transport Network	分组传送网
42	QoS	Quality of Service	服务质量
43	SDN	Software Defined Network	软件定义网络
44	SD-WAN	Software-Defined Wide Area Network	软件定义广域网
45	SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议

序号	缩略语	英文名称	中文名称
46	RAN	Radio Access Network	无线接入网
47	TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
48	TDD	Time Division Duplexing	时分双工
49	TLS	Transport Layer Security	安全层传输协议
50	TSN	Time Sensitive Networking	时间敏感网络
51	UPF	User Plane Function	用户面功能
52	vBNG	Virtual Broadband Network Gateway	虚拟宽带网络网关
53	VR	Virtual Reality	虚拟现实



附录 3

参考文献

- [1] 边缘计算产业联盟 . 边缘计算参考架构 3.0, 边缘计算产业联盟白皮书, 2018.11.30.
- [2] 陈运清; 雷波; 解云鹏 . 面向云网一体的新型城域网演进探讨, 2019.02
- [3] 雷波 刘增义 王旭亮 杨明川 陈运清 . 基于云、网、边融合的边缘计算新方案: 算力网络, 2019.07
- [4] 网络 5.0 技术白皮书 (2019) . 网络 5.0 产业和技术创新联盟, 2019 年 6 月 .
- [5] Multi-access Edge Computing (MEC) Framework and Reference Architecture, ETSI ISG MEC. 2016
- [6] 云网融合发展白皮书 (2019 年) . 云计算开源产业联盟, 2019 年 7 月 .
- [7] MEC 行业应用白皮书 (2018 年) . SDN/NFV 产业联盟, 2018 年 9 月 .
- [8] 施魏松, 刘芳, 孙辉, 裴庆祺 . 边缘计算: Edge Computing. 北京: 科学出版社, 2018.
- [9] 兰巨龙等 . 未来网络体系与核心技术 . 人民邮电出版社, 2017.03.01
- [10] 黄韬等 . 确定性网络研究综述 . 《通信学报》, 2019.06
- [11] ECC 产业联盟 . 《算力网络技术白皮书》, 2019
- [12] 崔宪丽 . 浅谈可见光通信技术及应用 . 《科学与信息化》, 2017.06
- [13] 周钰哲 . 动态频谱共享简述 . 《移动通信》, 2017.03



关注边缘计算产业联盟
请扫二维码

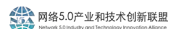
版权所有 ©

本白皮书版权属于边缘计算产业联盟与网络 5.0 产业与技术创新联盟共同所有，本文档包含受版权保护的内容，非经本联盟书面许可，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



为边缘计算产业联盟（ECC）的商标。



为网络 5.0 产业和技术创新联盟（N5A）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。

边缘计算产业联盟（ECC）

地址：北京市海淀区上地十街辉煌国际 5 号楼 1416

邮编：100085

网址：www.eccconsortium.net

邮箱：info@eccconsortium.net

电话：010-62669087

网络5.0产业和技术创新联盟

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

网址：<http://network5.cn/>

邮箱：network5@caict.ac.cn

电话：010-62300067