



面向视频领域的边缘计算 白皮书

(2020 年)

SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会

2020 年 12 月

版权声明

本白皮书版权属于 SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会”。违反上述声明者，本推委会将追究其相关法律责任。

前 言

本白皮书旨在梳理边缘计算产业发展现状、分析边缘计算在视频领域的应用场景及需求、提炼边缘计算在视频领域的核心价值、构建面向视频领域的边缘计算总体架构、归纳其技术特征与技术实现、汇总边缘计算解决方案、展望边缘计算未来发展趋势，推进边缘计算在视频领域优先落地。

参与编写单位

中国信息通信研究院、浪潮软件科技有限公司、北京爱奇艺科技有限公司、中国联合网络通信有限公司研究院、联想（北京）有限公司、九州云信息科技有限公司、上海层峰网络科技有限公司、英特尔（中国）有限公司、北京百度网讯科技有限公司、国家广播电视总局广播电视科学研究院、云迅智能科技南京有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、贵州白山云科技股份有限公司、网宿科技股份有限公司、北京视博云信息技术有限公司、北京金山云网络技术有限公司

主要撰稿人

宋平、穆域博、毕立波、柴瑶琳、韩淑君、党小东、任怀影、杨崑、王亚鹏、房兰涛、张腾、秦建华、陈杲、黄倩、崔先锋、李鸿斌、荆留清、沈建发、曾红李、张海亮、吴秋材、何方石、李薰春、张建华、唐云兵、贾玄、曹刚、王文滨、谢炜彬、常文华、李华宇、斯文

目 录

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 1. 面向视频领域的边缘计算 | 1 |
| 1.1. 边缘计算概念..... | 1 |
| 1.2. 边缘计算产业生态发展..... | 2 |
| 1.3. 视频领域边缘计算应用场景及需求..... | 8 |
| 1.4. 边缘计算在视频领域的核心价值..... | 11 |
| 2. 面向视频领域的边缘计算总体架构 | 13 |
| 2.1. 总体架构..... | 13 |
| 2.2. 端侧视频设备..... | 14 |
| 2.3. 边缘侧..... | 17 |
| 2.4. 边云协同..... | 24 |
| 2.5. 云端集中管理平台..... | 30 |
| 2.6. 视频应用..... | 32 |
| 3. 面向视频领域的边缘计算技术特征 | 38 |
| 3.1. 边缘设备技术特征..... | 38 |
| 3.2. 边缘方案技术特征..... | 41 |
| 3.3. 边缘服务技术特征..... | 45 |
| 4. 面向视频领域的边缘计算技术实现 | 47 |
| 4.1. 流量分流..... | 47 |
| 4.2. 能力开放..... | 48 |
| 4.3. 计算卸载..... | 49 |
| 4.4. 消息路由..... | 52 |
| 4.5. 边缘视频存储..... | 52 |
| 4.6. 边缘视频编解码..... | 55 |
| 4.7. 边缘视频智能处理..... | 57 |
| 4.8. 边缘视频处理加速..... | 60 |
| 5. 面向视频领域的边缘计算解决方案 | 62 |
| 5.1. 运营商方案..... | 62 |
| 5.2. 云服务提供商方案..... | 64 |
| 5.3. 工业互联网方案..... | 67 |

| | |
|-----------------------|-----------|
| 5.4. 垂直行业方案..... | 70 |
| 6. 未来趋势展望..... | 73 |
| 6.1. 产业生态合作与共建..... | 73 |
| 6.2. 标准化建设持续推进..... | 73 |
| 6.3. 边缘计算加速应用创新..... | 74 |
| 7. 缩略语..... | 75 |

互联网产业生态圈

1. 面向视频领域的边缘计算

1.1. 边缘计算概念

随着中国“新基建”发展步伐加快，以及 5G、物联网、人工智能、工业互联网等新型基础设施的规模化部署，国内乃至全球的众多行业迎来数字化转型的浪潮。根据专业机构预测，2020 年全球将有超过 500 亿的终端与设备联网，2022 年将有 65% 的数据在边缘数据中心存储和处理。万物互联为传统云计算集中式的处理方式带来严峻挑战，计算、存储等能力“下沉”至近用户侧成为必然趋势，边缘计算时代已然到来。

国内外边缘计算相关的标准组织和联盟从不同角度出發，提出边缘计算的定义。例如，欧洲电信标准协会从电信领域的角度，定义了多接入边缘计算（Multi-access Edge Computing, MEC），即一种在接入网络边缘提供 IT 服务环境以及云计算能力的系统。从工业互联网领域的角度出发，边缘计算产业联盟（ECC）将边缘计算定义为一种在靠近物或者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）。

本文认为边缘计算应具备“云、网、边、端”的基本特征，通过在近用户侧部署分布式计算架构，实现存储、计算等能力“下沉”，面向不同垂直领域的众多应用场景，为用户提供低时延、广连接、大带宽、智能化的服务，满足业务实时性、数据智能化处理等行业需求。

按照边缘计算的技术实现方式，边缘计算可分为：运营商边缘、

云边缘和工业边缘三类：

- **运营商边缘：**基于运营商网络，在基站、中心机房等位置部署计算资源，提供边缘服务。
- **云边缘：**云服务商基于 CDN 节点和网络构建，通过虚拟化技术，将算力“下沉”到距离用户较近的城域内，构建边缘服务能力。
- **工业边缘：**通常在工业企业内部构建边缘基础设施，面向“人、机、料、法、环”产品质量管理全环节，部署边缘应用，实现 OT 与 ICT 的深度融合。

上述三类边缘计算已经在垂直行业的不同场景中得以广泛应用。

1.2. 边缘计算产业生态发展

在数字化浪潮的背景下，边缘计算已成为业界关注的热点。包括设备提供商、电信运营商、云服务提供商、CDN 服务商、联盟与标准组织以及垂直行业在内的相关国内外组织或单位，协作共建边缘计算产业链条，并积极推动边缘计算产业发展。

如图 1 所示，设备提供商提供了边缘计算部署所需的基础硬件和平台软件；电信运营商、云服务提供商和 CDN 服务商等相关企业结合自身技术优势，为最终用户提供边缘服务；各个垂直行业根据行业应用特点，提供用户业务需求；联盟、标准组织以及科研机构等积极推进边缘计算标准化进程，促进边缘计算产业合作共赢。

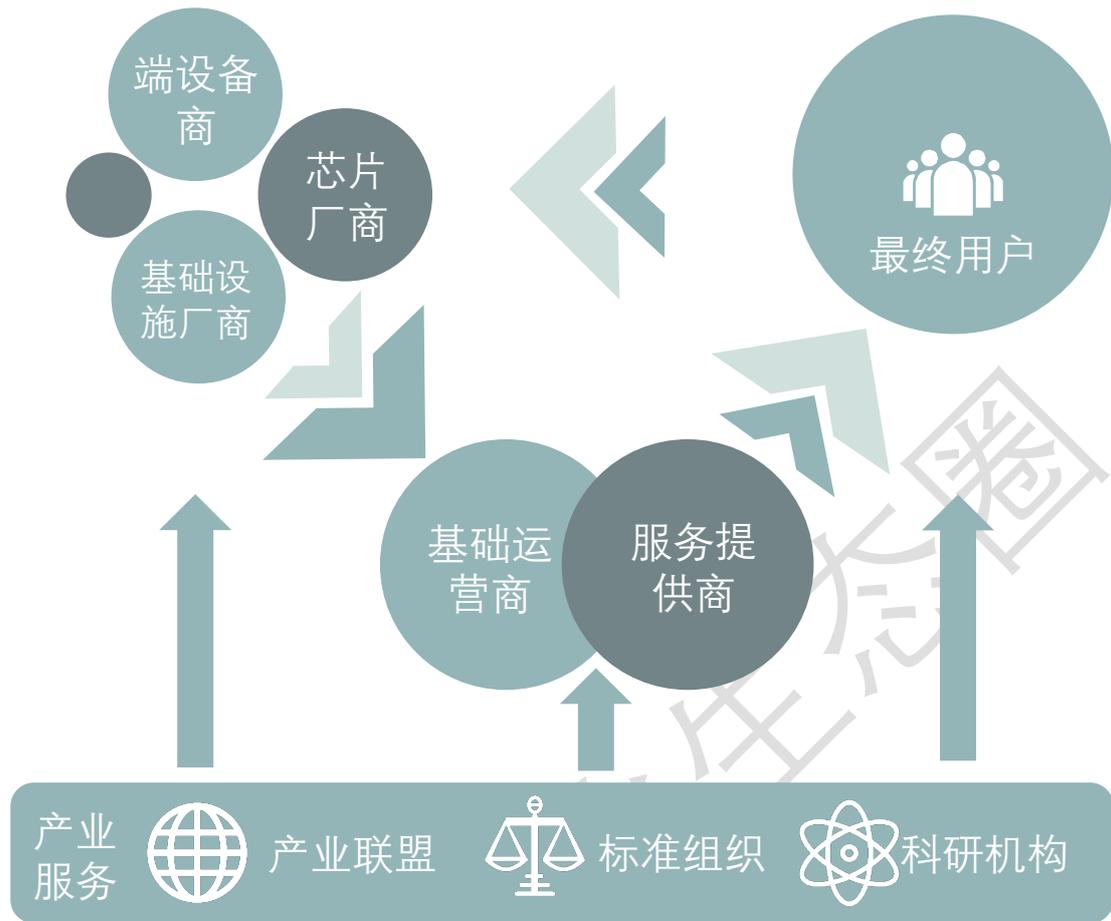


图1 边缘计算产业架构图

(1) 设备提供商

设备提供商面向“端、边、云、网”边缘计算整体架构的全环节提供基础硬件以及平台软件。当前边缘计算应用场景众多，设备提供商呈现多元化特征，大致可分为：端设备商、基础设施设备商、芯片厂商等。

- **端设备商**提供摄像机、传感器、AR/VR终端、智能设备等端侧设备，构建上行业务流量，展现边缘服务处理结果。现阶段端侧设备整体呈现高清化、智能化、协议多样化的发展趋势。
- **基础设施设备商**重点为边缘侧提供边缘服务器、边缘一体机、

边缘网关设备、边缘存储设备、边缘网络设备等基础设施设备。此外，传统的通信设备商还提供了 5G 网络设备，进一步提升边缘计算的接入能力。

- **芯片厂商**积极布局边缘智能领域，提供边缘 AI 应用所需边缘智能芯片产品，提升语音识别、文字识别、计算视觉等边缘 AI 应用开发与执行效率。

大部分设备提供商在提供硬件设备的同时，也提供运行在硬件设备上的平台软件系统。平台系统通常集成设备管理、资源管理、应用管理等平台基础能力。边缘应用和服务运行于平台软件系统之上，利用虚拟化等技术，使用硬件设备资源。

（2）电信运营商

当前 5G 商用持续推进，大视频、物联网等业务蓬勃发展，越来越多新应用对网络时延、带宽和安全性提出更高要求。行业普遍认为，多接入边缘计算（MEC）在缩短端到端业务的时延、减少大带宽视频业务对骨干网络资源的占用、满足业务与数据的本地化处理和安全性要求等方面有着天然优势。运营商在网络和基础设施方面存在巨大优势，由于 MEC 需要部署到边缘，所以网络服务的能力显得尤为重要。

当前，运营商将 MEC 边缘云作为实现 CT+IT+OT 融合的锚点，基于边缘云平台结合网络联接的控制与管理能力，向应用能力和创新产品进行渗透。从技术演进角度看，运营商将抓住 5G 机遇，进一步发展云、边、端之间的协同，增强 MEC 能力，构建算力网络，使能算力

服务，加速网络业务和服务的创新。

（3）云服务提供商

云服务提供商通过“CDN 下沉”的方式将云计算能力下沉到网络边缘，并结合自身在传统云计算应用的需求与技术积累，积极拓展边缘计算应用边界。云游戏、边缘 CDN、智能安防、互动直播、视频会议等相关应用已在云服务提供的通用边缘计算平台上部署。

“边云协同”是目前云服务提供商提供的边缘方案/边缘服务的典型特征。云侧面向应用、资源、设备等对边缘计算整体架构进行集中式管理并提供大数据、人工智能等应用平台，边缘侧提供部分管理能力以及应用运行的基础环境，边缘侧与云侧通过 Internet、VPN 等形式进行通信，从智能、资源、应用等不同方面进行协同。

此外，云服务提供商还积极布局“边缘+物联网”。在云侧运行物联网平台，对接入的物联网设备以及网关设备进行统一管理，并对设备采集信息进行智能分析处理；在边缘侧通过部署边缘网关，提供强大的南北向协议转换能力，并提供一定的算力资源，可运行轻量化的应用，对设备上送信息进行智能化处理。

（4）CDN 服务商

CDN 被看作是一种广义边缘计算的典型应用。CDN 服务商借助其先发优势，积极转变传统 CDN 形态，延展服务能力，增强算力部署。

国内 5G 移动网络大规模部署，使得边缘与用户侧进行大量频繁交互式计算成为可能。在这种背景下，部署在边缘的大量分布式 CDN

节点，成为了边缘计算最早可能落地的场景资源之一，探索的方向包括基于物联网相关的高并发计算、基于机器学习相关的低延迟大带宽计算、基于实时交互的低延迟应用等。各种 CDN 现有的资源和功能将以松耦合的方式在边缘计算场景里应用。

目前 CDN 的形态逐步由传统 CDN 节点，转变为采用“通用服务器+CDN 软件”的解耦方式进行部署，并向 CDN 云化方向发展，进一步开放 CDN 节点的计算能力构建边缘计算平台。国内外 CDN 企业已将 CDN 产品升级成边缘计算服务，主打的产品除了传统的 CDN 之外，也通过 Serverless 技术提供轻量级的流量加速服务等边缘计算服务，在离用户更近的位置实时完成业务处理和响应，跟随业务变化弹性扩缩，广泛适用于低时延、实时交互、广覆盖的应用场景。

（5） 联盟与标准组织

目前国内外多个产业联盟与标准组织正在积极推进边缘计算标准化进程。

边缘计算产业联盟定位于搭建边缘计算产业合作平台，推动 OT 和 ICT 产业开放协作，促进边缘计算产业健康与可持续发展。目前已经发布《运营商边缘计算网络技术白皮书》、《边缘计算 IT 基础设施白皮书》、《边缘计算参考框架 3.0》等多项边缘计算领域白皮书。

SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会（SNAI）下设的 SDN 集成与互通测试组、MEC 应用推进组等，面向边缘计算领域，在白皮书、测试等方面积极开展工作。2018 年 10 月，MEC 应用推进组发布了《MEC

行业应用》白皮书，围绕多个垂直行业，探索 MEC 应用方案。

欧洲电信标准协会（ETSI）于 2014 年成立 MEC 标准工作组，该工作组致力于 CT 与 IT 融合，在无线接入网内部提供 IT 和云计算能力，通过一个多接入边缘计算环境运行应用于服务。目前已发布了包括术语、技术要求、参考框架、服务场景等 30 余项多接入边缘计算标准文档。

中国通信标准化协会（CCSA）在工业互联网、5G 核心网、车联网等方面，积极推进边缘计算标准化进程。目前已经立项《工业互联网边缘计算》系列标准、《5G 核心网边缘计算平台》系列标准、《面向 C-V2X 的多接入边缘计算》等相关标准。

（6）垂直行业

伴随移动互联网和物联网的快速发展，海量终端设备充分利用云计算中心强大的计算、存储能力，在工业、能源、医疗、教育、交通、金融等垂直行业领域得到广泛的应用。然而，采用传统云计算的集中式交互方式，增加了网络负载，对网络带宽和吞吐量提出更高的要求。

当前边缘计算在多个垂直行业中得到广泛的应用，满足大带宽、低时延和海量连接的行业业务需求。例如，在能源行业，利用边缘计算可以满足企业在移动办公、生产调度、巡检、监控等业务需求，促进能源企业降本增效，提升核心竞争力。在医疗行业，边缘计算可应用于三维影像、医疗教学、远程医疗等细分场景，改变传统的医疗模式，促进“互联网+医疗健康”的发展。未来边缘计算将应用于更多

垂直行业，不同的垂直行业需求也将进一步促进边缘计算技术的演进。

1.3. 视频领域边缘计算应用场景及需求

（1）运营商

在全球移动产业迈向 5G 的背景下，运营商正加大力度，积极探索 MEC 技术在各种行业应用中的价值，并希望通过 MEC 和 5G 技术进一步推动 IT 与 CT 的融合。对运营商而言，可以充分利用边缘计算探索新的应用场景，发挥云、边缘、核心电信网络的集成优势，为自身提供更加广阔的发展空间。

在众多“5G+MEC”的行业应用中，视频类应用占比较大。当前，超高清视频业务在低时延、大带宽、高并发方面需求强烈，要求运营商的 MEC 节点应具备按需提供计算、存储能力，并可支持通过云边协同提升业务服务能力。新兴的 AR/VR 类业务，需要支持用户以自然的方式与虚拟环境中的物体进行交互操作的重要方式。在时延和带宽等方面，不同的沉浸体验程度对于运营商网络提出了更高的要求。

运营商利用“5G+MEC”技术可以满足多种视频类应用的需求。例如：MEC 提供差异化路由、计算与存储、运维能力实现视频的本地处理与交付，提升视频点播类业务的用户体验；通过在 MEC 平台部署多视角流媒体服务器，满足视频直播类应用对多路视频高码率无卡顿播放的需求。

（2）云服务提供商

4G 网络的发展开启了移动互联网时代，云服务提供商在传统云

计算领域拥有大量的业务需求、技术积累和成功经验。为了满足低延迟、大带宽、低成本、本地化等业务需求，云服务提供商正在积极地改变传统“云+端”业务模式，向“云+边+端”的模式演进，支撑新时代众多新型场景落地。

云服务提供商既需要进一步提升视频点播、视频会议等传统视频应用的服务质量，也需要满足云游戏、超高清视频直播、VR/AR 等新兴视频类业务的需求。例如：互动直播类应用，要求云服务提供商根据业务流量的瞬时增长，弹性扩张计算资源，并降低带宽成本；云游戏应用需要在保障大流量视频数据传输可靠性的同时，保证游戏交互时延，避免卡顿问题。

为了满足视频类应用需求，云服务提供商一方面通过“CDN 下沉”的方式，将云服务能力下放至距离用户较近的城域内；另一方面，积极地探索与运营商 5G 网络融合，在距离用户更近的位置，提供云服务能力。

(3) 工业互联网

工业互联网以构建互联互通的网络化结构、提升自动化和智能化水平为目的，为工业企业所涉及的人、机、物提供全面并安全的数字化新模式。工业互联网的建立将促使 OT、IT 和 CT 的充分融合，并可按需将互联网云计算的相关技术和能力部署至边缘侧，以满足工业企业日益增加的适时计算需求，同时又克服了企业对数据安全的顾虑。

在各种工业互联网应用中，视频相关的应用无疑是近年来最普遍

的数字化和智能化相结合的应用场景。视频应用对大数据采集、人工智能分析、实时自动化响应都提出了较高的要求，这些恰恰是边缘计算的特长。同时，工业企业对各自数据的隐私及安全的需求也促使这些应用对网络传输和公有云方案提出了挑战，这也促进了工业企业对边缘计算和私有化网络部署的渴望。

从工业领域所涉及的人、机、料、法、环的角度，质量检测、良率控制、过程优化、预测性维护、人机协作、物流追溯、人员安全管理、环境监测、机器人等各个环节都对面向视觉的边缘计算有广泛的需求。这些通常都通过摄像头对目标进行视频采集后，可以选择性地对视频进行编解码以获取原始图像，再结合计算机视觉对视频进行分析和处理并反馈至执行机构做相应的处理。其中，计算机视觉部分往往由多个环节组成，包括图像预处理、机器学习算法模型推理、图像后处理等多级结构。近年来神经网络和深度学习技术突飞猛进，使得视频边缘计算也得以快速发展。众所周知，深度学习往往需要同时拥有算法模型训练所需的集中式密集计算需求，也包含分布广泛的算法模型推理所需的中等计算需求，这也促进了工业互联网和边缘计算的大量部署。

(4) 垂直行业

面向视频的边缘计算在垂直行业得到广泛应用，例如医疗领域的远程医疗，远程监护等，工业领域的现场视频巡检等场景，能提高行业应用的可视化和智能化水平。

视频用于远程医疗的典型场景包括远程监测类，远程会诊类，远程指导类等。基于 5G+MEC 基础设施的发展，能够支持 4K/8K 的远程高清视频和 VR/AR 技术会诊和医学影像数据的高速同步传输与共享，并让专家在线开展会诊，提升诊断准确率和指导效率，促进优质医疗资源下沉。远程医学示教通过引入高清视频和 VR/AR 设备支持对手术示教，操作示教，以及对相关病例的直播和录播等，能让受教者的沉浸感更强，具备更多交互内容，提升效率和效果。还有视频用于远程查房使远端专家无需到现场就可以远程精准指导。

用于工业现场的巡检,辅助维修等场景是视频结合边缘计算与 AI 技术的另一个垂直应用场景。以电网运检为例，通过引入无人机、巡检机器人、智能摄像机等新型视频前端，结合智能化运检平台，智能分析决策平台等，实现从“人巡”到“智巡”变革，显著实现了电网运检模式的革新。无需进行大量人力投入，便可轻松实现对电网设备状态、人员行为、区域安全等全场景智能化监控，从而极大地提高工作效率，确保巡视不停、保障不停。

1.4. 边缘计算在视频领域的核心价值

全球行业数字化转型浪潮已经到来，边缘计算技术获得全球各行业的广泛关注。与传统的云计算不同，边缘计算技术将存储、计算、网络资源更加接近用户或设备进行部署，解决未来爆发式增长的用户和设备对传统云计算产业带来的挑战。边缘计算将广泛应用于制造、能源、交通等不同领域的多个场景，满足人民对未来科技生活的向往。

以超高清视频、工业视觉、AR/VR 等为代表的视频应用，借助边缘计算“低时延、高带宽、大连接”的先天优势，助力各行业数字化转型，满足各行业对视频业务实时性、视频数据智能化等方面的需求。未来 3-5 年将是边缘计算规模部署的关键时期，视频领域将成为边缘计算先行落地的应用领域。

互联网产业生态圈

2. 面向视频领域的边缘计算总体架构

2.1. 总体架构

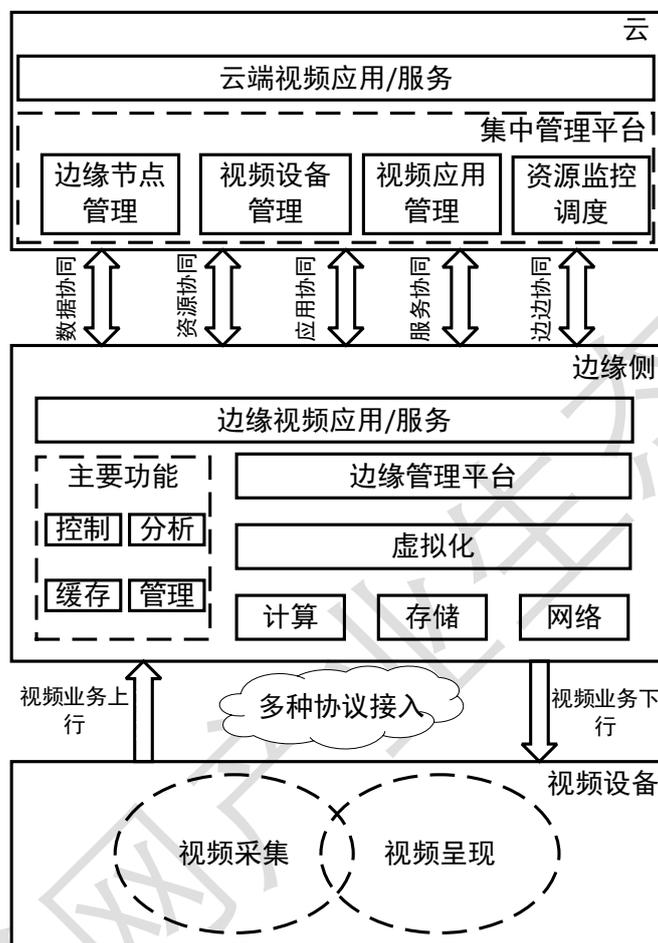


图2 面向视频领域的边缘计算总体架构

本白皮书从边缘视频应用需求出发，结合业界通用边缘计算标准架构，提出面向视频领域的边缘计算总体架构，如图2所示。面向视频领域的边缘计算架构具备“云、边、端”的边缘计算基本特征。

端侧设备通过多种协议接入到边缘侧，主要包含摄像机、监视器等视频采集设备以及显示器、VR终端等视频呈现设备，用于生成上行视频业务流量，接收并展示下行视频业务流量。

运行于边缘侧的边缘管理平台利用虚拟化技术管理计算、存储和

网络资源，提供智能化的音视频分析处理能力，本地化存储视频业务数据，管控端侧设备。边缘应用/服务运行于边缘管理平台之上，为用户提供视频服务。

云侧运行集中式的管理平台，从全局角度管理边缘节点、边缘设备、边缘应用和全局资源。于此同时，云侧通常提供大数据、人工智能等平台服务。部分视频应用/服务运行于中心云上，利用平台提供的能力，与边缘侧协同处理视频业务。

边缘侧与云侧之间从数据、资源、应用、服务等多个方面进行协同，满足视频应用需求，保障整体架构高效、稳定运行。

2.2. 端侧视频设备

(1) 视频采集

视频采集设备是指具有静态图像捕捉、视频摄像等功能的设备，例如视频监控、摄像头、照相/摄像机等。

摄像机作为传统的视频采集设备，主要分为演播室和广播摄像机、数字电影摄像机等。演播室和广播摄像机主要用于演播室和直播制作的专业广播摄像机，可用于体育赛事等直播场景，支持 4K、2K、高帧率（HFR）、高动态范围（HDR）等。数字电影摄像机主要是用于制作电影、电视剧、商业广告和独立电影的摄像机。网络的不断发展，传统的广电行业、影视制作行业的摄像机越来越来的支持网络方式传输。

监视器作为摄像机中一种特殊的类型，主要被用于监控、行车记录、最终监视器的不断发展，越来越多的智能摄像机、云台摄像机等

新型的产品涌入市场。云台摄像机的好处是摆脱了传统监视器进行本地存储带来的成本和不安全因素，但是云台摄像机也存在着由于网络传输不畅导致的视频画面丢失的风险。

目前，8K、360°全景等新型视频的拍摄需要专用的摄像头，比如8K视频的拍摄需要专用的8K摄像机。360°全景的拍摄也需要全景摄像机的支持。因此伴随高新视频的不断出现，新型的专用摄像机将越来越多。

此外，摄像头还广泛应用在各种设备上，例如手机、平板电脑、PC、汽车、无人机等。此类设备体积小、分辨率高，但由于这些设备的存储容量、处理能力有限，需要在云端进行存储、处理。

（2）视频呈现

2020年5月21日，工信部、广电总局印发《超高清视频标准体系建设指南（2020版）》中指出超高清终端呈现设备涉及到电视、机顶盒、个人电脑、手机、平板、VR/AR终端。

电视作为家庭场景中重要的视频呈现设备是超高清视频呈现的主要设备之一。当前家庭互连网络的不断发展，智能电视逐渐普及，家庭中的智能电视可以快速接入边缘计算的架构当中。智能电视，是基于Internet应用技术，具备开放式操作系统与芯片，拥有开放式应用平台，可实现双向人机交互功能，集影音、娱乐、数据等多种功能于一体，以满足用户多样化和个性化需求的电视产品。其目的是带给用户更便捷的体验，目前已经成为电视的潮流趋势。

机顶盒作为一种连接电视机与外部信号源的设备，随着互联网和有线电视入户在家庭视频呈现中也扮演着重要的角色。它可以将压缩的数字信号转成电视内容，并在电视机上显示出来。机顶盒在中国经过几十年的发展，逐步走向了智能化、高清化、互联网化。搭配 Android/TVOS 操作系统，支持 4K 解码是当前机顶盒的主流配置。在内容上，有线电视、IPTV 数字电视机顶盒由运营商提供内容，OTT 机顶盒主要由生产商与视频牌照方合作提供内容。未来 IPTV 机顶盒将作为一种家用数字平台被广泛用于不断扩大的交互式多媒体数字内容服务领域。

VR 终端设备市场上主要产品可以分为移动端 VR、PC 端 VR 和一体机。移动 VR 被很多人认为是未来的主流 VR 设备。另外由于移动 VR 设备相对来说技术含量较低、成本不高，使得移动 VR 设备推广更为迅速，但在消费者的沉浸感和交互性体验上，远低于 PC 端设备和一体机。PC 端 VR 头盔相对于移动 VR 存在操作繁琐、价格昂贵、携带不便等困难，但其绝佳的体验感让消费者体验到 VR 技术真正的魅力。但 PC 端 VR 需要一定的空间以及多项设备包括 PC、传感器的链接，并且 VR 设备对 PC 的硬件要求也很高。相较于市场上的手机盒子以及依托电脑输出的 VR 产品，一体机更符合人们对 VR 的认知。VR 一体机是具备独立处理器并且同时支持 HDMI 输入的头戴式显示设备。具备了独立运算、输入和输出的功能。

智能设备终端包括智能手机、平板等。由于互联网应用的不断发展，智能终端设备将承载越来越多的视频流量，用户在手机上观看视

频变得越来越方便。短视频的流行如火如荼，直播代购方兴未艾，正是新的视频场景和业务的出现给移动端的视频播放带来了更大的挑战。

2.3. 边缘侧

(1) 主要功能

a. 控制功能

在视频业务场景中，利用边缘计算本地化计算能力，可以对摄像头等视频设备上传的采集信息进行及时、高效地处理，并根据外部环境变化，生成控制指令，控制相关设备行为，满足智能安防等应用需求。因此，边缘侧主要控制功能应包括采集信息能力感知、设备行为控制等相关功能。

- **采集信息能力感知**要求边缘侧利用多种标准化接入协议感知设备接入；在边缘对设备进行抽象，并与应用、服务、场景等进行绑定，实现设备对接；通过专用接口，获取接入设备的采集信息。
- **设备行为控制**要求边缘侧根据设备采集信息，结合分析功能，生成设备控制指令，并通过南向协议向对应设备下发指令，完成对设备行为的控制。

b. 分析功能

根据设备采集的音视频信息，利用边缘节点计算资源，进行本地

化智能分析处理，是边缘计算在视频领域的核心价值所在。一方面，在边缘侧预处理设备产生海量数据信息，进行数据过滤，可以有效降低上云带宽；另一方面，将计算量大的训练、推理卸载至边缘侧，可以有效地保障时间敏感应用的处理需求。边缘侧分析功能具体包括数据导入与预处理功能、智能分析功能。

- **数据导入与预处理功能**是大数据技术与边缘计算技术的有效结合。在边缘侧对设备产生的海量视频数据进行导入，并采用流式计算等方式对导入的数据进行预先处理，满足部分业务的实时计算需求。边缘视频监控业务本质上使用了一种基于边缘计算的视频图像预处理技术，通过对视频图像进行预处理，删除图像冗余信息。
- **智能分析功能**是人工智能技术在边缘侧的重要体现。智能分析功能主要针对边缘节点上采集的视频信息进行 AI 加工处理和 AI 算法的管理，并通过编排功能支撑多算法组合、调度，实现实时的图像特征提取、视频基因分析、视频文字提取等相关视频分析处理能力。

c. 缓存功能

边缘缓存功能一方面将大量用户频繁访问的视频业务数据，临时缓存到边缘侧，从而降低用户访问时延、改善用户体验的服务质量，满足高清视频点播等视频业务需求；另一方面，针对上行视频业务流量，在边缘侧为用户提供各种类型的存储服务，实现本地化的数据存

储，减少骨干网流量、避免网络拥塞、保障数据安全，满足安防监控等视频业务需求。

在“热”数据缓存方面，通过本地 DNS、流量重定向等缓存模式，在近用户位置响应视频业务请求，并利用基于流行度缓存、基于用户偏好缓存、基于学习缓存等多种缓存策略，实现高效业务缓存机制。缓存功能根据不同视频业务所需的计算性能与存储容量，可以灵活部署在不同的边缘位置。

利用边缘存储优势，可以选取就近的边缘节点上传视频数据，并优质传输链路，保障传输质量。此外，边缘侧还可以针对传输的视频数据执行加密、脱敏等操作，保障数据安全。为了满足未来众多场景各类视频的用户需求，边缘侧应提供边缘文件存储、边缘对象存储、边缘块存储等多种类型存储方式。

d. 管理功能

边缘侧应支持对边缘视频应用/服务的相关管理功能，主要包括应用生命周期管理、运维管理、应用规则管理、资源管理等。

- **应用生命周期管理**支持对应用的生命周期进行管理，具体包括：支持实例化应用；支持终结应用实例；支持查询应用实例信息；支持改变应用实例的状态，如停止、启动等；支持查询应用实例的状态。
- **运维管理**包括平台配置、性能和故障管理、应用程序监控、远程服务配置和服务控制、有关平台功能的信息收集、可用

服务和可用虚拟资源等。

- **资源管理**利用虚拟化技术对边缘资源进行有效地管理，通过 VIM 采集 CPU、内存、存储、GPU 加速卡和 FPGA 加速卡资源使用量，以及用户访问应用的网络分流流量，并提供北向资源统计信息 API 和公共服务调用的统计信息 API。
- **应用规则管理**包括服务授权、流规则配置以及 DNS 配置等。边缘管理平台通过管理相关规则，实现应用和服务的按需调度。

(2) 边缘形态

a. 边缘设备

目前主流边缘设备类型包括边缘服务器、边缘一体机、边缘网关等。

■ 边缘服务器

目前边缘服务器通常使用业界通用的 x86 或 ARM 服务器。边缘服务器的配置根据部署需求不同，存在差异。在机房条件较好的环境下，优先使用通用服务器承载边缘业务；对于机器学习和人工智能训练型服务器，可采用专用的 GPU 服务器，小规模计算场景采用通用服务器配置 GPU 卡，其基本部署在城市核心 DC，配合边缘数据中心实现视频类业务。

采用通用服务器方案并使用虚拟化技术，形成资源池，有利于提升资源利用率及对虚拟化资源进行统一管控、运维、监控等。此外，

采用通用服务器方案还能避免厂商锁定问题，有利于后期扩容、升级与维护。

■ 边缘一体机

边缘一体机往往集成了计算、存储、网络等硬件资源、虚拟化能力以及边缘云软件平台，具有快速部署、运维管理简单等特点。

边缘一体机适合边缘机房环境以及部署成本等因素受限的场景。特殊尺寸的边缘服务器具有尺寸小、功耗低、计算密度高等特性；采用前走线设计，便于维护管理。边缘一体机有利于利用现有接入和汇聚机房，减少边缘机房改造，满足用户低时延等业务需求，快速开展边缘计算业务。

■ 边缘网关

边缘网关设备通常用于工业互联网、物联网等场景，是一类具有较强接入能力和协议转换能力的计算设备。边缘网关通常具有 RS 232、RS 485、RJ45、USB 等有线接入能力，以及 4G/5G、专用无线芯片、蓝牙等无线接入能力。在协议转换方面，根据应用场景不同，边缘网关将多种不同的南向接入协议转换为 MQTT 等标准北向协议。

在满足接入与协议转换能力的基础上，边缘网关通常具备一定的计算存储能力，可部署运行边缘应用，提供轻量化的大数据与人工智能服务。

b. 边缘平台

目前主流边缘平台包括多接入边缘计算平台及边缘 IoT 平台等。

■ 多接入边缘计算平台

以 ETSI 定义的 MEC 参考架构为代表的多接入边缘计算平台(MEP), 主要实现边缘数据中心的分流规则管理、DNS 管理、API 网关能力等功能, 它是从边缘网元和应用访问端点之间的控制模块, 实现更精细的边缘访问管理控制。MEP 主要功能包括:

- MEP 为实现 MEC 应用发现、发布、使用以及提供 MEC 服务提供环境。
- MEP 根据来自 MEPM、MEC APP、MEC Service 的数据流路由规则完成数据面路由转发规则的控制。
- MEP 接收 MEPM 的 DNS 配置信息完成 DNS 代理/服务器的配置。

■ 边缘 IoT 平台

边缘 IoT 平台为物联网的万物互联提供安全、可靠、稳定的终端接入、协议适配、数据路由、数据存储、数据分析、应用使能等功能。边缘 IoT 平台的位置如图 3 所示。

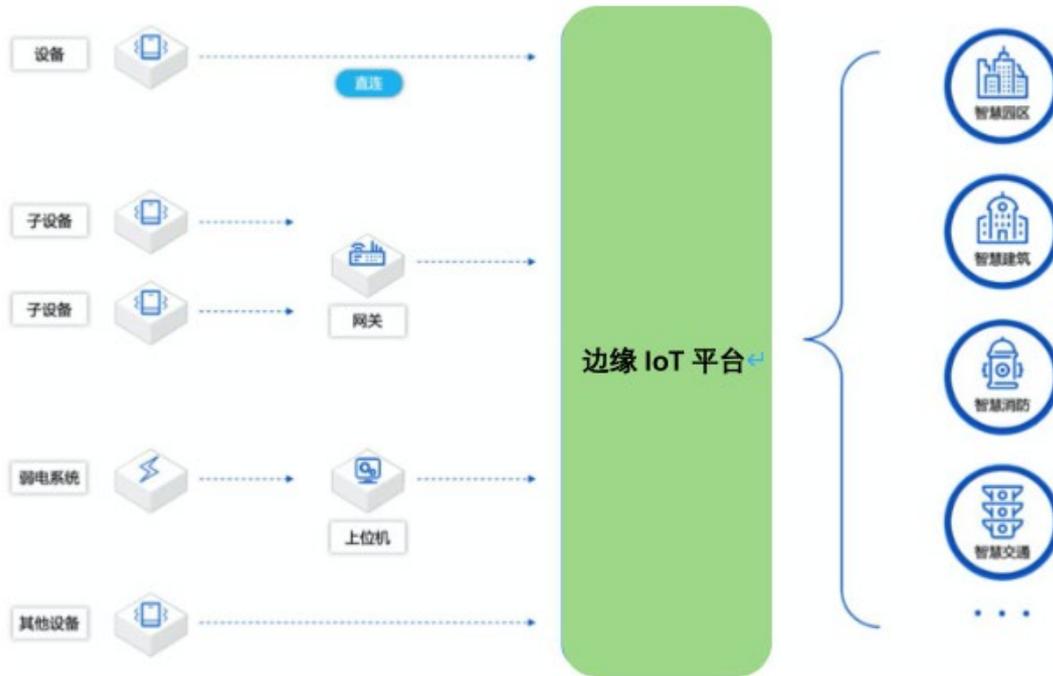


图 3 边缘 IoT 平台

边缘 IoT 平台具有如下功能：

- 连接服务：提供设备联网功能，支持设备通过各种无线或有线的通信方式接入网络，并支持各种网络传输协议；
- 设备服务：提供设备基础管理功能，包括设备的鉴权管理、数据协议解析、消息路由、设备影子数据及元数据管理功能；
- 数据服务：提供设备数据的基本管理功能，包括设备的上下行日志存储，以及一些数据指标的聚合分析，如平均值、最大、最小值等；
- 使能服务：提供应用使能服务，主要是为上层或第三方应用提供按规则和条件进行数据订阅和数据转发的服务。包括应用注册、规则引擎、数据流转服务；
- 其它：包括基础的安全服务、控制台和监控服务。安全服务提供基本物联网安全机制；可视化控制台提供边缘 IoT 平台

与客户交互的界面；可视化监控提供服务可用性及风险监控能力。

2.4. 边云协同

随着 VR/AR、4K/8K、云游戏等技术的迅速发展，视频类应用越来越场景化和多样化，更大的数据量、更强的交互性以及用户对应用体验的更高要求，都对视频类应用及业务承载网络提出了新的挑战，在保障高带宽的同时，要兼顾视频类应用的低时延需求。

为满足视频类应用发展需求，边缘计算与云计算需要从资源、数据、应用、服务四个维度进行紧密协同，并在中心云的统一管理下，实现边缘节点之间协同。

(1) 资源协同

云边协同的作用之一，是在评估可用资源和资源需求的情况下，完成业务的部署和调度和负荷分担。调度过程需依据业务的资源占用、流量、运行状态等，从全局视角，对计算资源、网络互联带宽和延时、存储资源和应用软件资源完成调度和配置，以达到全局的业务整合。

计算资源协同方面，边缘侧根据业务需求，提供不同类型的虚拟化设备，如计算增强型、GPU 渲染增强型、存储增强型等不同设备。服务商对边缘节点部署的服务应具备精准监控与调度能力，在边缘节点计算资源不足时，可以调用云端资源进行补充；**存储资源协同方面**，在边缘节点存储热度高、定制化的内容，在云端存储区域长尾内容，将边缘节点有限的存储能力与云端存储进行联动，以发挥最大价值；

网络资源协同方面，可以在边缘侧实现用户多路接入、边云多路互通。当网络发生拥塞的时候，运行在云侧的网络控制器可以及时感知，并将流量引入到较为空闲的链路上。

为满足边云资源协同的需求，要求边缘侧设备具备虚拟化能力，提供 IoT 管理方式，丰富的北向接口提供精准的状态反馈与管理颗粒度；云端除了集中算力和存储资源外，亦需强化对终端、边缘设备的南向管控。

（2）数据协同

在基于视频类应用的边缘计算场景中，边缘与云端数据的有效协同是为用户提供优质视频服务的必要条件。边缘侧可以提供区域化、个性化的本地服务，同时降低回传网络负载压力；与此同时，边缘侧也可以将接入的本地资源与网络其它部分隔离，将敏感信息或隐私数据控制在区域内部。

对于视频类数据，应具备三种数据协同能力：

■ 精准分发

边缘计算的特点是灵活、分散、数量大，边缘节点与云端应搭建精准分发调度体系，通过创建精确调度索引，实现海量数据向海量节点的精准分发

■ 区域定制

边缘计算的出发点是面向场景化提供更优质的服务，对于视频类数据协同，边缘节点需具备区域热点数据自动分发及区域内容用户自

定义的运营能力，以满足不同场景需求。

■ 数据安全

边云数据协同应加强安全可控的能力。边缘计算节点的设施数量、能力存在一定限制，缺少足够的备份、恢复、审计措施，依托云端数据与边缘数据有效协同，为边缘数据提供全方位安全防护

（3） 服务协同

视频类服务最终的发展方向是通过边缘计算为用户提供优质的更高效、优质、精细化的服务，边缘计算节点使分布式计算渗透到网络的各个位置，对海量边缘节点统一管理和终端服务精细化控制的需求，要求端、边、云有效协同搭建管理与安全服务体系。

在**容器化部署**方面，支持弹性伸缩，支持边缘应用生命周期管理，帮助用户在云端统一对边缘应用进行管理、监控和运维。同时，根据业务需求、预设策略及实时调度手段，自动调整计算和存储资源，快速响应业务负载的增长和下降，保障业务健康。

在**服务自治和本地自治**方面，因为边缘区域的网络条件难以达到骨干网的服务保障水平，边缘节点的管理服务、承载业务，在一定程度上需要具备服务自治和本地自治能力，边缘节点与云端网络断开后，业务和本地管理功能可以正常工作。

在**安全服务**方面，边缘计算节点应提供计算、网络、存储等可信的、规范的基础资源，提供应用监控、应用审计、访问控制、数据加密等能力。

在**运维管理**方面，边缘管理平台应向集中管理平台提供接口进行配置管理、故障管理和状态管理。其中，配置管理是指集中管理平台可以进行激活/去激活 DNS 规则、配置业务规则等；故障管理是指集中管理平台接收边缘平台相关的报警信息；状态管理是指将已经实例化的应用的操作状态暴露给集中管理平台。

（4）应用协同

边缘计算场景下视频类业务的正常服务，依赖“端”、“边”、“云”三者的有效协同，从而实现视频文件的精确分发和应用请求的精准调度。

端云交互实现设备集中管控、请求精确调度；边云交互实现计算存储下沉、应用自动注册；端边交互实现文件快速交付、边缘服务发现。

在端侧，边缘计算的能力带来 VR/AR、4K/8K、云游戏等新的终端应用，与之对应，端侧设备需要增加对“边”的发现和识别，包括发现边缘节点、发现下沉的边缘服务、发现下沉服务的具体交付情况等，并对用户呈现，引导体验升级。

在边缘侧，计算、存储、网络等能力进一步下沉到接近用户的网络边缘，实现批量化部署。边缘侧与云侧联动，完成服务的自动化注册与管理，使海量边缘节点的统一管理与节点自治能力达成统一；尤为重要的是，在“边”上提供用户对服务的发现能力，让期望的服务真正由边缘计算节点完成交付。

在云侧，充分发挥资源集中、管理集中的优势，成为视频类应用用户体验的“总控室”。首先在云端完成视频内容的生产、监管、运营，并通过 AI 技术增强内容生产、分发、交互能力；同时云端提供的调度系统与边、端联动，实现面向用户请求的精准调度。

基于边缘计算场景的应用协同，在每一个具备独立网络接入和计算能力下沉的节点部署具备唯一 ID 标识的业务逻辑定位服务，为边缘服务云端注册、终端发现边缘服务、云端响应终端请求、精确调度边缘交付等提供重要支撑，有效实现端、边、云联动。

（5）边边协同

P2P CDN、交互式云游戏等新型视频应用，为了实现业务快速流畅切换，需要在集中云管平台的管理下，实现不同边缘节点之间的数据，状态，信息等方面的协同。边缘节点之间的协同主要包括以下几个方面：

■ 业务协同

完整的视频服务往往并不是某单一类型的边缘服务所支撑的，如当前主流视频网站的内容点播，往往包含标准 CDN 内容分发、P2P 内容下载等多种文件获取方式，需要具有不同业务属性的边缘节点之间有效协同。因此，各边缘节点通过向云端管控平台注册业务属性信息，由云端管控平台维护所有边缘节点属性信息，并与各边缘节点同步，实现不同业务属性边缘节点的相互感知。

■ 网络协同

边边网络需要保障边缘节点之间数据传输透明且安全，支持 Fullmesh 和安全加速。Fullmesh 就是边边网络实现的边缘节点之间的直接通讯，无需通过中心绕道；安全加速是基于由众多边缘节点构建的分布式传输加速网络来克服互联网数据传输稳定性、跨运营商网络传输速度瓶颈等问题，为应用提供透明的边边数据传输加速的体验。

■ 状态协同

边缘节点之间的应用或业务状态信息协同。边缘节点除了和中心节点需要做数据交互之外，边缘和边缘之间的数据交互也是非常必要的，边缘和边缘协同有效帮助用户解决在不同的边缘之间的流畅切换，例如：用户在高速移动（驾车或者高铁等）场景使用边缘计算业务，需要能快速在不同的边缘节点之间的做状态信息的同步，以保证用户业务不受边缘节点切换的影响。

■ 算力协同

当前各类视频类应用往往会为用户提供点播、直播、互动、采集、编辑、上传等多种不同能力。由于不同视频业务的算力需求不同，因此对边缘节点的硬件需求存在差异，如存储增强型节点、GPU 渲染增强型节点、采编增强型节点等。为了向用户提供完整、优质的应用体验，集中云管平台需要在感知边缘节点算力能力的基础上，实现不同算力类型的边缘节点之间的相互协同。

2.5. 云端集中管理平台

（1）视频设备管理

接入边缘侧的视频设备，是视频业务流量的生产者。云端管理平台需要对接入边缘侧的视频设备进行集中管理，并与边缘侧管理平台进行协同，确保视频监控、视频数据分析等视频类业务可以有效、安全地利用海量视频设备，对设备行为进行控制。

云端集中管理平台的视频设备管理功能，具体包括设备感知、状态管理、设备绑定等。设备感知方面，云端集中管理平台对接入边缘侧的视频设备，应通过与边缘管理平台协同，获取接入视频设备的相关信息。此外，云端集中管理平台还应支持 SDK、ONVIF 等视频设备接入协议，感知直接接入云集中管理平台的视频设备；状态管理方面，云端集中管理平台应支持对接入设备的运行状态进行监控；设备绑定方面，对于接入云端集中管理平台的设备，应支持设备与边缘节点的绑定，使设备可以被边缘侧应用获取。

（2）边缘节点管理

边缘节点位于企业现场设备到传统云计算中心节点之间的任何位置，通过云边协同，形成“云+边+端”智能计算基础设施，通过集聚边缘应用能力，赋能数字化转型。

运行于云侧的集中管理平台需具备边缘节点注册、边缘节点纳管、边缘节点状态管理等相关功能，实现对边缘节点的管理。一个新的边缘节点配置边云北向通信协议、在云端集中管理平台完成节点注册；

云端集中管理平台根据注册信息，纳管边缘节点，获取边缘节点运行状态信息。

在管理规模方面，采用云/网一体化方案的厂商，一般采用 OpenStack 把边缘节点当成普通计算节点管理的 SD-WAN 方案。但是对于运营商的规模部署要求而言，缺乏必要的可伸缩性。例如通用云平台一般只能管理数百个边缘计算节点，而运营商 5000+ 的边缘机房通过扩展，已经成为 5000+ 边缘视频云存储节点。IBM 基于 Redhat 推出的新边缘技术解决方案中，核心组件 Edge Application Manager 可以管理 1 万个边缘节点。

（3） 视频应用管理

边缘侧和云侧均提供了运行视频应用所需的软硬件环境，通过虚拟化、微服务、Serverless 等技术，实现云侧集中管控、边侧部署执行的应用/服务管理模式。

在图 2 所示的面向视频领域的边缘计算总体架构中，运行在边缘侧的管理平台应具备视频应用生命周期管理的能力，并向云端集中管理平台提供应用生命周期管理 API；云端集中管理平台利用应用管理 API，并结合应用部署需求以及资源状态，实现视频应用的创建、编排、部署、更新、卸载等应用管理功能。此外，云端也分担一些对算力需求大、实时性要求较低的边缘视频应用，例如：在视频分析应用中，云侧负责根据边缘侧产生的视频数据进行 AI 训练，将训练好的模型反馈到边缘侧进行推理。

（4）资源监控调度

在边缘计算架构中，不同层次的边缘节点所拥有的计算能力不同，边缘侧的管理还包括边缘节点的负载分配。边缘云本身具备分层结构，例如边缘云节点包括集中式和区域性的数据中心节点与较小的边缘/远边缘数据中心节点。负载分配实质是应用/服务工作负载的分配功能，即根据应用/服务的不同需求和特性（例如智慧城市的视频监控要求边缘节点能够快速调取，实现摄像头故障后的快速替换），将工作负载合理有效地分配到各层边缘节点上。

云边协同模式下，企业 IT 运营模式核心从基础架构转变为以应用为核心，需要结合本地传统数据中心（本地 DC）和云服务来找到部署应用程序的“最佳执行地点”。边缘节点的负载分配涉及的关键指标包括：用户需求、时延、带宽、能耗及成本等等。针对不同的边缘处理任务，需要设置各个指标的权重和优先级，便于选择最优分配策略。例如边缘节点成本分析不仅需要在节点部署前进行，后继还需要在节点部署后运作过程中进行，例如实时根据不同节点之间分发负载干扰和资源使用情况来进行分析。

2.6. 视频应用

（1）视频监控

随着平安城市、“雪亮工程”等项目的规模化部署，视频监控设备的需求与日俱增，产业规模也不断扩大。作为安防系统的基础，视频监控设备与边缘计算技术融合，可以解决视频监控设备的算力资源

问题，满足对视频采集数据智能化的处理需求。

视频监控设备实时地采集视频流/图片数据，通过智能网关设备拉取数据流，并上传至边缘侧，进行数据分析，抽取其中图像清晰的关键帧图片进行识别，将分析后的数据回传至智能设备（也可在边缘智能网关设备进行一定量数据分析、响应）。当存在某些图片信息无法识别，需要数据标注工具对特征进行标注后将图片上传到训练库中，通过训练引擎进行模型训练，最后将模型训练生成的模型更新到智能网关中，持续提升识别准确性。

边缘侧不仅能够对采集的视频数据提供计算、存储资源，也能实现数据清洗、数据治理，同时能够回传中心节点进行数据分析、可视化展示，实时展示“智慧城市”治理或者服务流程和数据信息。

（2）超高清视频

目前视频内容的不断丰富，视频形式及应用场景的不断创新，如4K/8K超高清、AR/VR等，视频行业已进入一个爆炸式发展的时代，高流量，高并发、高感知成为这个时代的主要特征。5G时代衍生而来的海量超高清视频意味着异常庞大的文件存储容量、超高清视频的边缘快速加载、高时效性的多媒体应用实时转码等多项需求。

超高清视频具备高分辨率、高帧率、高色深、宽色域、高动态范围等特点，相关应用的普及意味着单位时间内向单用户传递更多的数据量，除视频生产和消费终端的迭代升级外，边缘计算将发挥重要作用。

考虑超高清视频在线点播的超高带宽，骨干承载网难以应对大批量超高清视频并发，而且云端的 CDN 也无法通过简单堆叠来应对流量的爆炸式增长，必须依靠边缘计算技术与 CDN 技术的有效结合，在更接近用户的网络位置，实现内容的精准分发和调度，使 CDN 在面向用户服务时具备更快的响应速度、更大的单用户带宽保障。

CDN 的部署位置直接影响到超高清视频业务的整体时延。通过在边缘侧部署 vCDN，使 CDN 部署位置下移，并结合区域热点预判技术+区域用户内容定制能力，可以有效的卸载骨干网络带宽压力，提升用户体验，并在一定程度上，有助于优化带宽成本。

播放终端的升级将进一步扩展超高清视频的消费方式，从影院快速进入家庭甚至移动播放场景，而边缘计算的引入以及端、边、云的有效协同，为超高清视频分发提供了有力保障，将推动 4K/8K 超高清视频的普及。

(3) AR/VR

近年来虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术不断进步，相关产业得到了蓬勃发展。如今，VR/AR 技术已经进入到影视、游戏、教育、医疗、旅游、军事、房地产等各种与人们生产、生活息息相关的领域中。

当前主流的 VR 设备有两类，一类是 VR 一体机，在头戴式显示设备中集成计算、输入、输出等功能，拥有很高的自由度，一般用于观影和简单交互游戏；另一类是外接式 VR，依托外接主机提供更强的

CPU/GPU 能力，以牺牲自由度为代价，提供更强的交互体验。

除以上当前主流 VR 设备外，伴随 5G 和边缘计算技术的发展，cloud VR 成为 VR 技术的新宠。云 VR 技术将 VR 内容和渲染的处理放到云端，解放了 VR 终端设备的硬件限制，让更高自由度、更高舒适度的 VR 终端成为可能；而边缘计算技术为云 VR 用户提供了近端视频渲染、超大带宽传输的能力，解决了从中心云提供服务带来的视觉延迟问题，从根本上解决了云 VR 的体验难题。

（4）云游戏

针对传统游戏对硬件设备门槛高、游戏耗电严重等痛点问题，云游戏是以云计算为基础的游戏方式，游戏主体在云端服务器运行，通过网络传输游戏画面、音频和控制信息，实现流畅清晰的用户游戏体验。

用户和服务器互动时会有大量的数据传输。在这两者之间有两类流，控制流负责发送控制信号，当用户使用输入设备如键盘、鼠标、摇杆时，信号会被编码到发送列表中，通过网络被游戏服务器接收，接收后，信号将被解码到游戏控制系统。在此之后，数据流被启用，将新的音频、视频数据编码传输给用户，用户再反解码并将它们呈现在屏幕上。

云游戏对网络带宽、网络延时、云端响应、图形渲染的要求都极高，整体时延要求达到 80ms 以内，网络时延达到 40ms 以内；对于 VR 类沉浸式云游戏，整体时延更是要求达到 20ms 以内才可以减轻用户

的眩晕感。

然而，由于早期技术和网络发展的滞后，网络延时和带宽成本难以满足云游戏的体验要求。当前 5G 技术的不断发展与完善，全新的低时延空口技术以及更靠近用户的边缘计算，让对带宽时延要求高的云计算场景得到进一步实现与推广。

（5） 视频直播

近年来直播行业发展迅猛，体育赛事、网红带货、游戏电竞、才艺表演等各种直播类型都走入大众视野，直播应用在互联网总流量中有很大占比。

从技术角度来看，视频直播场景通常包括音视频推流、转码、分发、播放等核心业务模块，以及弹幕、打赏礼物等互动业务逻辑，在用户体验上对清晰度、播放流畅度、播放延时等具有较高要求。边缘计算应用于视频直播应用，将给视频直播带来三方面的重要变化：

- 降低延时，提高实时性
- 优化分发，有效降低成本
- 能力拓展，带来新的直播方式

首先，通过边缘计算技术可以在近用户侧部署算力资源，快速接收直播推流并完成转码，将完成生产的直播内容传入内容分发网络，等于将直播内容的生产过程从大型云端机房下沉到了更接近用户的网络边缘，实现内容生产直接进入内容分发阶段，可有效降低直播的演示，提高实时性。

其次，通过边缘计算技术进行分发优化，将直播视频流推送到更接近用户的边缘节点，可以大量减少直播数据流在骨干链路中的并发数量，避免网络拥塞，同时可以有效降低厂家的网络成本。

此外，边缘计算为直播应用带来能力的拓展，更大的带宽，更低的时延，边缘侧 AI 能力的下沉，结合播放终端的升级，为直播应用创新升级带来了肥沃的土壤，相信多屏直播、多机位直播、实时回看、定制直播、全景直播、特效直播等新的业务模式，会在边缘计算技术的加持下得到快速发展和普及。

3. 面向视频领域的边缘计算技术特征

3.1. 边缘设备技术特征

对于 IT 的发展历程，可以根据计算场景的不同，将其划分为不同的阶段，在不同的阶段，对计算设备的需求存在较大的差异。云计算场景下，数据中心的主要计算设备是服务器，数据中心的集群模式，使得计算设备不仅具备高性能，还具有高可靠性，同时，服务器集群的计算能力，可以通过不断增加计算设备的数量来进行扩展。边缘计算场景与传统的云计算场景相比，在计算架构、算力分配、应用场景、外部环境等方面存在一定程度的差异，这些差异化就会导致对边缘设备的技术特性要求发生改变。

(1) 小体积，高性能

边缘设备部署的环境相对比较复杂，为降低时延，节省传输带宽，获得更好的用户体验，通常在网络边缘的园区，或者是市县一级的机房。与传统数据中心所处的标准化机房相比，边缘数据中心机房机柜深度多为 600mm 深，远小于核心数据中心 1200mm 的机柜深度，通用服务器无法正常部署，因此边缘服务器的尺寸设计应满足 600mm 的机柜深度，一般边缘服务器的深度在 450mm 左右。

边缘计算应用场景比较多样化，一些计算密集型应用需要计算平台处理更为复杂的运算，比如 5G 小站、云游戏、VR/AR、超高清视频、工业视觉等边缘应用场景下，对计算设备的算力要求较高，需要为用户实时处理数据，实现业务的灵活接入，同时还要承担人工智能、图像

识别和视频渲染等新业务，所以要求边缘设备的性能要更加强劲。

（2）低能耗

边缘计算业务的部署位置往往更加靠近用户，在部署空间上相对传统数据中心较小，机房的条件相对传统的数据中心也较差，空间和功耗的约束限制较大。在此情况下，边缘设备的功耗相对同等算力要求的计算设备要低。

（3）工业用级别

对于数据中心机房的温度、湿度等工业级别要求，国标 GB2887—89 计算机站场地技术条件中 4.4.1.3 条规定开机时机房内的环境温度、湿度标准，其中环境温度为：A 级 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，B 级 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，C 级 $10\sim 35^{\circ}\text{C}$ ；环境湿度为：A 级 $45\%\sim 65\%$ ，B 级 $40\%\sim 70\%$ ，C 级 $30\%\sim 80\%$ ；一般通信机房的标准均应达到 A 级标准，在 25 度以下，相对湿度 75% 即可。对于边缘设备根据应用的场景不同，会对温度、湿度等要求适当放宽。边缘设备的适应温度可以达到 $-5\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，环境湿度 $5\%\sim 90\%$ 。

（4）异构支持

在一些边缘计算场景中，存在传统的 x86 架构难以满足功耗和性能的要求，需要边缘计算能够解决异构计算的问题。在一些较低功耗场景需要下，ARM 架构的边缘设备功耗方案更具有优势。随着云游戏、VR/AR、超高清视频、视频直播等应用的推广，使得计算的场景和数

据格式更加复杂多样，从原来的结构化数据，演化为更多的非结构化数据，硬件平台也需要考虑异构计算能力，如 ARM、X86、GPU、NPU、FPGA 等。

(5) 高扩展性

边缘设备可以通过虚拟化技术，将计算和存储资源进行池化，可以通过不断增加虚拟化服务器的数量来进行扩展，从而提升边缘设备的计算和存储性能。

(6) AI 算法支持

目前人工智能的逐渐普及，边缘设备也需要支持常用的 AI 算法，在应用场景分类上包括不限于计算机视觉、语音识别、自然语言处理、数据挖掘、统计学习和模式识别等。在 AI 算法的学习方式上需要支持监督学习、非监督学习、半监督学习、强化学习、深度学习和迁移学习等。在 AI 算法解决的任务类型上，需要支持分类算法、回归算法和聚类算法等。在算法具体实现上，需要支持决策树、朴素贝叶斯、梯度下降、线性回归、逻辑回归、支持向量机（SVM）和神经网络等算法。

(7) 视频编解码支持

边缘设备根据视频编解码的发展趋势需要支持多种的编解码能力，包括并不限于 MPEG-2、MPEG-4、H. 264/AVC、H. 265/HEVC、VP9、AV1、AVS2 等。

（8）多协议支持

针对视频媒体的传输协议，边缘设备需要支持不同的视频传输协议，包括并不限于 RTP、RTSP、RTCP、RTMP、HLS、MPEG-DASH、WebRTC、UDP、TCP、HTTP/1.1、HTTP/2、QUIC、UDT、SRT 等。

（9）安全可靠

边缘计算设备应提供 DDoS 防护、木马检测、暴力破解防护、漏洞扫描等基础安全防护功能，并且应支持多设备互备、双机热备等可靠性能力。

（10）快速部署

边缘设备应支持相关部署软件的预安装，在设备交付部署时，用户不需要深入地了解设备内部结构，设备上电后即可通过快速部署工具，在较短时间内，完成边缘环境部署。

3.2. 边缘方案技术特征

（1）应用快速部署

边缘方案应支持快速灵活集成部署第三方应用，提供应用程序的开发和运行环境，提供企业进行定制化研发的中间件，同时涵盖数据库和应用服务器等。提供的可视化的 API，用户或者厂商可以快速开发自己所需要的应用和产品。将现有各种业务能力进行整合，包括应用服务器、业务能力接入、业务引擎、业务开放平台等。

（2）轻量化

边缘方案应满足降低虚机化组件和容器组件的资源占用和启动速度，在虚拟化方面需支持轻量级虚拟化，应用运行环境尽可能占用较小的物理内存资源，保证应用服务快速启动，在云原生方面需支持轻量级的云原生组件，进而提高资源利用率，降低系统集成部署复杂度。

（3）部署方式灵活

边缘云平台部署方式应支持计算和存储融合的部署方案，同时也支持虚拟机和 Kubernetes 以及 KubeEdge 等云原生方案的混合部署，在平台内既可以管理虚拟机计算资源，也可以管理云原生容器资源。同时支持多种后端存储部署接入，包括 Ceph/ Glusterfs/NFS, 支持物理存储设备透传给应用使用，用于提高 IO 密集型应用的性能。

（4）部署维护成本低

边缘云平台应支持多种不同维度的高可用，包括物理节点高可用、控制节点高可用、平台虚拟机高可用，确保在无人值守的边缘环境中易于维护，并且有较强的故障恢复能力。在网络电力中断恢复后，无需人为干预，边缘平台可以自动恢复，保证可以正常对外提供的服务。另外针对边缘平台可以快速进行计算和存储方面的扩容。

（5）支持混合虚拟化环境

边缘侧可提供多种虚拟化环境支持，针对应用的运行环境，在

IaaS 层面支持虚拟机环境以及容器环境，同时边侧平台支持对运行环境进行资源的监控和管理，在 PaaS 方面支持应用以服务的形式基于虚拟机和容器环境进行应用编排/一键部署以及混合部署，并可以根据软件及服务的负载进行灵活调度，以实现平台物理资源的最大化利用及服务对资源使用的优化配置。

(6) 满足电信级部署要求

需提供针对该平台的技术支持服务，甚至针对该平台而进行的应用系统开发、优化等服务，保证支撑软件服务提供商各种应用系统长时间、稳定的运行。平台支持多种维度的高可用，保证系统有较强的故障恢复能力。

(7) 离线处理

边缘方案依靠计算/存储/网络的虚拟化功能，可承载独立的视频应用，并对应用进行监控和管理，同时实现与云侧数据交互。离线状态或与云端无法通信或通信异常情况下，边侧具备一定的数据缓存能力，不会影响视频类应用自身的工作状态，应用可正常保持运行和维护，待网络恢复，边侧实现与云侧的数据同步和管理。

(8) 高速通信

端侧设备发起视频请求，请求信息在到达云侧之前在边缘侧优先筛选过滤，在确认边侧可以满足承载应用后，边侧将请求转发至特定应用，无需传输至云端处理，在物理传输链路上实现快速响应。

边缘方案采用逻辑网络分离，物理网络灵活规划的方式，扁平化网络设计缩短服务器之间的通信路径，从而降低延迟，可以显著提高应用程序和服务性能。高效率高带宽网络规划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，从而实现从接入到云平台的敏捷服务。

边侧针对不同的应用类型以及端侧的请求路由，维护特定的通信路由表，保证端侧下次发起请求时减少数据转发和筛选，实时和高效的实现与边侧通信。

(9) 数据按需汇聚

边缘方案可按照一定的协议规范与云侧进行数据交互，交互的信息包括边缘侧承载的应用信息/服务信息/资源的管理以及边边交互的信息同步。

云侧可对边侧的系统资源的监控和对平台服务运行状态的监控，边侧支持定时监测、汇总以及服务状态的异常告警。边侧支持发送边缘节点及视频设备等信息给云侧，针对视频应用以及监控类信息需求场景，边侧支持与云侧协商通信接口，并根据协议规范，按照云侧需求实现相关数据的上报，实现信息按需汇聚。

(10) 接口开放

边缘方案应兼容不同厂商的方案，屏蔽复杂业务逻辑，进行应用级的接口封装，降低应用开发的门槛，加速应用落地，支持智能应用、视频应用等不同垂直应用的接口。

（11）边缘智能处理

边缘方案应在边缘侧提供 AI 模型库，并支持通过边云协同的方式，将训练好的 AI 模型添加到边缘侧。边缘方案应支持自定义边缘智能应用，并对外提供智能化服务，实现数据分析等智能化处理。

（12）高效运维

边缘方案应提供对异构硬件资源和相关软件资源的管理，并在此基础上提供包括系统部署、资源监控、故障告警、操作日志、资产管理等相关功能的自动化运维能力。

3.3. 边缘服务技术特征

（1）覆盖范围广/就近服务

边缘服务应覆盖移动、联通、电信等主要运营商网络，在全国主要省市、地市乃至区县部署边缘环境，面向用户提供低网络时延边缘服务，为时延敏感业务提供更好的用户体验。

（2）服务稳定可靠

边缘服务应具备高可用、高容错等可靠性特征。运行边缘服务的计算、存储以及网络设备应通过多机互备、双机热备、VRRP 等可靠性技术手段，确保控制节点、存储节点、计算节点、网络节点等节点发生故障时，边缘服务不受影响。

（3） 云端集中管控

边缘服务应具备云端的集中管理平台进行统一管理能力，包括边缘节点管理、边缘设备管理、边缘应用管理以及网络流量控制等。此外，集中管理平台还应对服务的运行状态进行统一的监控。

（4） 资源协同调度

边缘服务应支持边缘基础设施资源管理能力，可根据云端策略，利用边缘侧能力，按需调度计算、存储、网络、虚拟化等基础设施资源。

（5） 端到端自动化管理

边缘服务应支持通过集中云端管理平台，在不同边缘站点之间或者边云之间实现动态业务编排，按需自动部署端到端业务，并通过管理界面对业务进行管理。

（6） 安全隐私保护

边缘服务应在边缘侧提供轻量级数据加密、数据存储、敏感数据加密、安全监测等相关安全技术能力，在网络边缘保护用户数据全生命周期的安全性。

（7） 能力开放

边缘服务应在边缘侧或边云侧，面向第三方提供统一的服务调用API，对第三方的应用或系统进行资源、运维、智能处理、数据分析等北向能力开放。

（8）业务优化

边缘服务应面向主流视频业务，提供本地缓存、网络信息感知、用户信息感知等视频业务优化接口，减少视频业务的网络拥塞，优化网络资源分配，提升用户体验。

4. 面向视频领域的边缘计算技术实现

4.1. 流量分流

流量分流是通过建立本地边缘节点，把部分视频业务导向本地网络或者分流到边缘，缓解传输带宽压力，减少时延，提升用户感知。

边缘节点通常根据业务需求，为不同客户配置不同分流策略：

（1）针对 4G/5G NSA 业务，将边缘节点采用二层模式串接于 S1 口，通过配置 IP 五元组（IP 地址+端口号）、DNS 目标域名解析等规则方式将业务分流至本地；对于来自于 EPC 的下行流量，则由 MEC 网关透传到 eNodeB，由 eNodeB 正常发给 UE 终端。对于来自于本地特定网络的下行流量，则由 MEC 网关基于协议分析结果封装成相应的 GTP-U 报文后转发给 eNodeB，由 eNodeB 正常发给 UE 终端。由于采用二层串接模式，因此部署位置应比较靠下，面向专享型客户。

（2）针对 5G SA 业务，基于 5G 核心网采用 C/U 分离架构，用户面按需分布式部署，实现流量本地卸载。此时分流方式有以下三种：

- 上行分类器分流，网络侧根据业务需求，基于 IP 五元组实现上下行分流，UE 无感知，即根据 SMF 下发的过滤规则，通过检查数据包目的 IP 地址进行分流。该方案适用于访问本地业

务场景，如本地内容访问企业网、增强移动宽带（eMBB）场景本地分流业务等。

- IPv6 多归属分流，方案中分支点（BP）根据 SMF 下发的过滤规则，通过检查数据包源 IP 地址进行分流。IPv6 多归属主要解决同 1 个 PDU 会话、多个 IPv6 地址的问题，根据地址对业务按需分流。该方案适用于物联网、高可靠性专网等场景，但由于要求 UE 须支持 IPv6，目前实施难度较大。
- 本地数据网分流，通过终端判断自身位置，如终端处在本地数据网络（LADN）服务范围，则发起携带 LADN 数据网络名称（DNN）的会话建立请求。

以上 3 种分流方式都需要 UPF 和 5GC 的参与，但对终端和网络要求依次升高。

4.2. 能力开放

能力开放方面从实际的业务需求来看，边缘不仅需要具备 CT 的能力，还需要具备 IT 能力，包括视频编码、视频转码、视频渲染、大数据、机器学习等，例如 5G 新型应用（VR/AR、4k/8K）由于业务时延的要求，必须由边缘平台提供相应的视频处理能力。

以 MEC 为代表的边缘平台，能够集成网络能力，融合云计算平台和大数据等能力，使能第三方应用部署在网络边缘，是 5G 的关键技术之一。基于 MEC 开放平台，可以为应用开发者提供丰富的网络能力和平台服务能力和统一的标准化 API，为运行在 MEC 平台上的 MEC 应

用提供无线网络信息、位置信息等多种能力的开放服务。

网络服务能力开放包括网络及用户信息开放、业务及资源控制功能开放,主要包括支持 4G/5G/WiFi 多种网络本地分流能力,支持 NAT,路由策略配置, DNS 服务, 虚拟防火墙 VFW, UE Identity 服务, 带宽管理服务和业务负载均衡等。

在 MEC 网络能力的基础上,针对各种垂直行业不同的业务需求提供各类“联接+”的融合能力,例如针对视频直播类业务提供“联接+视频编解码、视频渲染”能力,针对制造行业提供“联接+视频 AI”能力。例如借助无线信息开放,可以实现无线侧和应用层跨层信息交互和联合优化,例如 MEC 平台通过北向接口获取 OTT 视频业务的应用层及 TCP 层信息,同时通过南向接口获取 RAN 侧无线信道等信息(如: RNIS、LocationService 等),双向跨层优化来提升用户的感知体验。

4.3. 计算卸载

计算卸载是指某个计算过程从移动设备迁移到有更多丰富资源的云服务器上,通常是指将某个计算量大的任务根据一定的卸载策略合理分配给资源充足的远程设备处理的过程。

结合视频业务,典型的业务类型包括:

- 大数据量输入和大数据量输出,比如数据量较大的文件或者视频进行格式转换;
- 小数据量输入和大数据量输出,比如移动用户请求的音频和视频文件等。

基于 MEC 的计算卸载方案，关键技术及实现包括卸载策略和计算资源分配策略、计算卸载的移动性管理三个方面。

（1）卸载策略

一般情况下，移动终端的计算卸载方式主要有本地执行、卸载到 MEC 服务器执行、卸载到云计算服务器执行三种方式。卸载方式主要基于可分配到的资源大小、计算和回传时间的长短以及完成计算的功耗大小来进行决策。

■ 最小化执行时延的卸载决策

该决策通过比较本地执行时延和卸载执行时延（包括数据卸载时间、计算处理时间、数据返回时间）的大小来选择卸载方式。当执行时延小于卸载时延时，移动终端选择在本地执行计算任务；当卸载时延小于执行时延时，移动终端选择将就计算任务卸载到 MEC 服务器上。

■ 最小化能量损耗的卸载决策

在本地计算场景下，能量消耗主要是移动终端在执行本地计算时的能量消耗，计算卸载场景下，能量消耗主要是计算任务上传和计算结果下载的能量消耗之和。在满足业务时延要求的条件下，选择能量消耗小的方案进行卸载决策。

■ 基于时延和能耗权衡的卸载策略

在不同场景下，时延和能耗的要求不同，比如实时性在线游戏和视频服务，对时延要求较高，当用户电量较低时，对能耗要求较高，

所以需要基于通信和计算资源分配进行卸载决策。

（2） 计算资源分配

当接入同一个基站的多个用户同时发起卸载请求时，会涉及资源分配的问题。调度器根据目前网络资源的状况以及不同用户的时延要求来安排响应的 MEC 服务器并分配计算资源。

■ 单节点计算资源分配

单节点是指一个基站（MEC 服务区与基站绑定）在一个时隙内只能服务于一个计算任务。单节点的计算资源分配方案包括借助于云计算进行资源分配和借助于基站间的迁移进行资源分配。

■ 多节点计算资源分配

多节点是指一个基站（MEC 服务区与基站绑定）在一个时隙内可以服务于多个计算任务。基站优先服务自己的用户，以确保最小的时延损耗。

（3） 计算卸载的移动性管理

在用户进行计算卸载的过程中，由于用户的移动性，将会有一定概率出现用户与基站断开连接的情况，需要保证用户移动时计算卸载过程的完整性。

■ 基于功率控制的移动性管理

针对用户移动性较低的场景，在应用卸载给 MEC 处理的过程中，自适应地动态调整基站的功率来保证服务的连续性和不中断。

■ 基于虚拟机迁移的移动性管理

针对用户切换到新的服务基站的场景，通过计算节点间的虚拟机迁移来保障服务的连续性和不中断。

4.4. 消息路由

消息路由即通过路由规则动态规划消息的传输路径，使消息按照过滤条件，从消息源节点路由到目标节点。云侧对边缘计算网络进行统一管理，通过消息路由实现对数据转发的灵活控制，避免网络拥塞，提高边云协同、边边协同的效率。

当前消息路由主要针对以下三类消息：

- **边缘侧与云侧之间的消息：**边缘侧与云侧通过 IP 网络，在数据、服务、资源等方面进行协同。
- **边缘节点之间的消息：**在互动直播等视频应用场景下，边缘侧之间需要进行消息传输，使视频源数据可以快速稳定地转发到不同的边缘节点。
- **端侧和云侧之间的消息：**在部分物联网应用中，端侧设备直接连接到云侧物联网平台，上送采集信息。

以 SDN、NFV 为代表的网络虚拟化技术，是消息路由使能的关键技术。SDN 技术侧重“转控分离”，NFV 技术侧重“软硬解耦”，两种技术相结合，可以对边缘计算网络进行灵活管控，根据网络运行状况，动态调整网络资源的分配，实现端到端的高效数据转发。

4.5. 边缘视频存储

边缘视频存储是指视频数据直接存储在数据采集点或者本地数

据中心，而不需要把采集的数据通过网络（即时）传输到存储的中心服务器（或云存储）的数据存储方式。

边缘视频存储主要应用于视频分发缓存场景和安防监控类写缓存场景，包含了读缓存视频存储和写监控视频存储两类存储。

边缘视频存储在不同场景中的技术实现包括：

(1) 视频点播中的边缘视频存储

对于当前流行的互联网点播、视频直播等视频应用场景，在边缘进行视频存储可以降低大量的视频内容传输对骨干网传输带宽的占用。

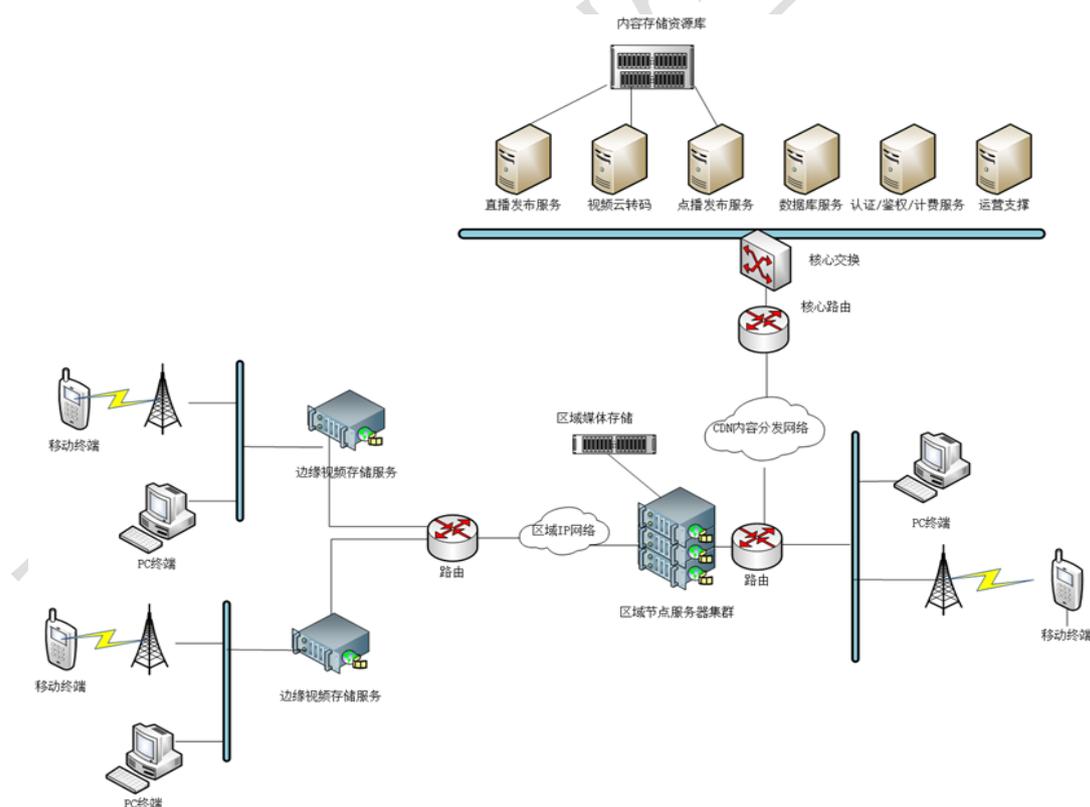


图4 边缘视频存储技术方案

针对视频点播应用，边缘视频存储主要应对的是用户下行拉流所带来的流量，在边缘节点进行热点视频的存储可以距离边缘节点更近

的用户所产生的流量引导到边缘节点，可以大大提高用户的视频观看体验。具体的技术方案如图 4 所示。

边缘视频存储中由于边缘节点的存储容量的有限，需要根据实际情况去采用合适的缓存策略、资源协同策略、流量分流策略等去满足不同区域的用户对不同的热点视频的需求。目前在视频缓存策略上比较传统的有最近最少使用（LRU, Least Recently Used）算法、最近最不常用（LFU, Least Frequently Used）算法。随着边缘计算中边-边协同、边-云协同的出现，在边缘侧采用更加智能化的缓存技术将成为趋势。

(2) 边缘监控中的边缘视频存储

边缘监控视频存储主要面向视频安防监控行业，在边缘节点和用户侧部署边缘存储服务，加速视频数据边缘上传，自动同步边缘中心数据，有效解决上传链路差，带宽利用率低等行业痛点，降低本地存储成本。

(3) 通用场景下边缘存储功能

短期内边缘计算最先落地的场景会在互联网视频领域，即直播、点播、云游戏等强互动、超高清、沉浸感的场景，对低延时、大带宽、数据传输有要求。为了满足各类场景的用户需求，边缘计算节点支持边缘文件存储、边缘对象存储、本地盘存储，同时也提供容器数据共享和持久化存储解决方案。

边缘对象存储应提供稳定、安全、高效、高可扩展的边缘对象存

储服务。

边缘文件存储应提供简单可扩展的边缘文件存储服务，通过标准的文件访问协议，为边缘虚拟机、容器等计算资源提供无限扩展、高可靠、全球共享的文件存储能力，实现数据共享和协作。

边缘块存储应提供低时延、持久性、高可靠和高弹性的边缘块存储服务。

4.6. 边缘视频编解码

边缘视频编解码是边缘计算中进行计算卸载的典型应用，将对计算能力需要高的视频编解码运算迁移到边缘服务器上，可以有效的降低用户对终端计算能力的需求，同时对于移动设备可以降低计算带来的功耗。

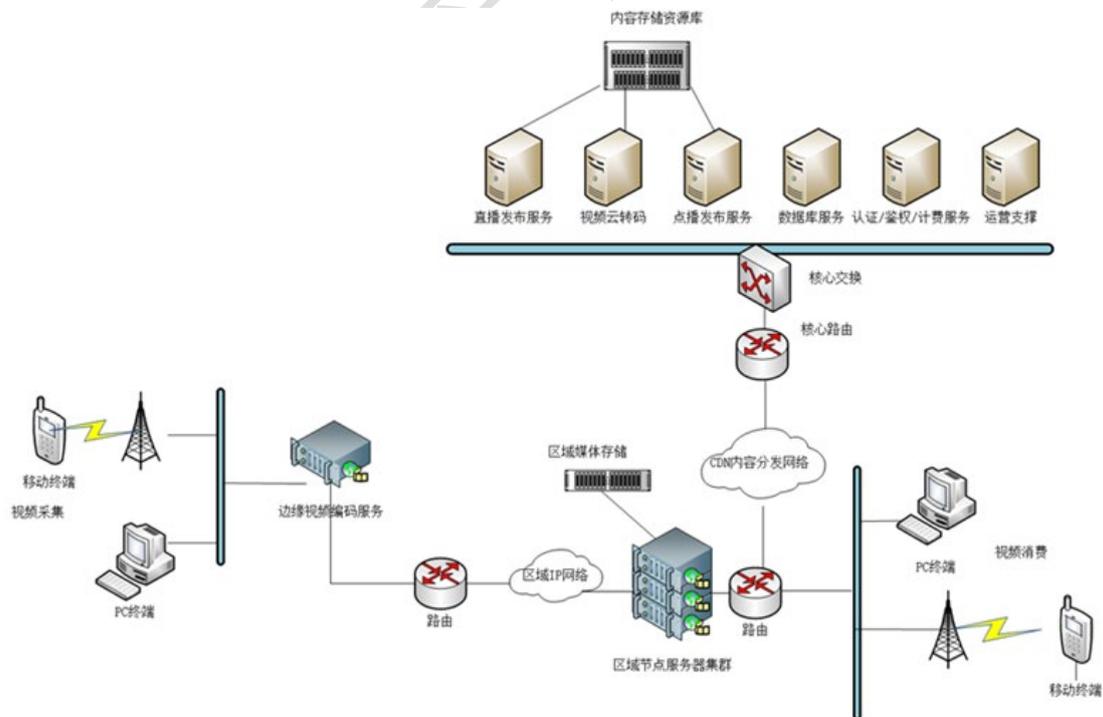


图5 针对上行流的边缘视频编码技术方案

首先是上行业务，以手机直播为代表的上行业务逐渐火热，采

用移动手机作为直播端的视频采集设备越来越广泛，虽然随着手机性能的不不断提升，但是手机侧的编码能力相比专业的视频采集处理设备还是不够，因此通过边缘计算将一定的编码计算需要卸载到边缘节点，一方面能够降低终端设备的硬件条件，另一方面通过在边缘侧对原始视频进行一定的处理之后比如压缩编码再上传到视频分发服务器，能够减少承载和骨干网的上行压力。针对 AR 视频业务还可以实现边缘 VR 实时拼接服务，在边缘侧进行视频实时拼接、编码可以实现内容的快速分发。具体技术实现如图 5 所示。

视频采集设备将视频流传输到边缘的视频编码服务器，经过处理的视频流通过核心路由上传到媒体分发平台进行下行的分发服务。同时很多场景下内容本身具备很强的区域性特点，对于这样的视频的处理没有必要返回到云端的数据中心进行处理，在边缘处进行处理并在边缘处消费是更加优化的方式。

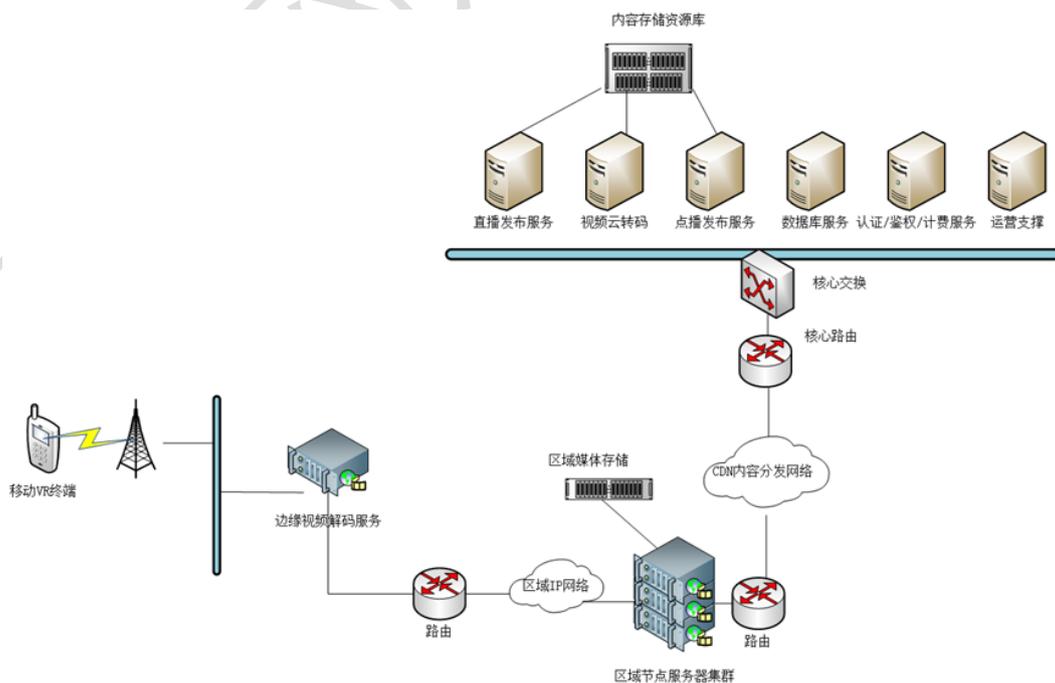


图 6 针对下行流的边缘视频编码技术方案

下行业务上，边缘视频的解码服务在将来的 VR、云游戏等场景上将体现出来，将 VR、云游戏中大量的解码计算卸载到边缘视频解码服务上，能够降低设备的硬件成本和耗电量，具体技术如图 6 所示。

4.7. 边缘视频智能处理

边缘视频 AI 能力主要针对边缘节点上的视频信息进行 AI 加工处理和 AI 算法的管理，并通过编排功能支撑多算法组合、调度等。边缘视频智能处理主要包括：

（1）视频基因

视频基因是将视频的特征转换成信息字符串的新一代信息技术，具有稳定性，不会随音视频文件的格式转换、剪辑拼接、压缩旋转等变换而发生变化；同时具备高精度识别能力，可适配视频压缩、视频镜像、视频旋转等；因此可支撑多种业务场景，如视频查重、相似度识别、原创识别等。

（2）视频大数据

依托人脸识别、OCR、视频图像结构化分析技术，可以快速定位视频中的内容，形成视频大数据，对视频节目进行智能打点，实现快速检索与定位；另外可通过视频大数据，为观众提供语音交互服务，识别人脸，展示人员简介信息，并关联推荐相关内容。

（3）边缘视频智能分析

边缘侧的视频智能分析支持视频流上云、存储、转发、视频 AI 等

功能，提供视频算法以及云边协同（算法云端训练、云端下发、边缘计算推理）服务。用户可以在云端对视频内容进行高效分析和审核，从视频、语音、文字、公众人物、物体、场景等多个维度进行识别后，通过交叉比对、自然语言处理等技术处理，输出对视频的场景、公众人物、地点、实体和关键词的结构化标签信息，从而提高搜索准确度和用户推荐视频的曝光量。支持对直播视频、直播音频、直播弹幕评论、视频、语音、图片的审核，从涉黄、涉政、暴恐、违禁、广告多个纬度进行审核，快速发现违规内容，同时利用 OCR 技术对图片中的文字内容进行审核，支持自定义人脸识别。

边缘视频的智能分析主要具备几个特点：第一是视频接入和分析的一体化，边缘视频分析提供视频接入、处理、分发全流程、自动化、智能化的调度和分析；其次支持算法托管和云边协同，在边缘侧和设备侧部署支持多平台硬件加速的算法容器，云端算法模型管理下发到边缘进行推理，支持从算法市场实时调用、更新算法模型，同时依托算法生态进行算法托管与分发；第三是数据安全和模型安全，云端为算法模型提供加密和版权保护和安全的分发链路，保障算法模型的安全传输和应用。

(4) 边缘 AI 模型训练

由于设备端存在 CPU、内存、时延等方面的限制，许多解决方案如无人驾驶、预测性机械维护、机器人等仍需要实时分析能力。云端 AI 模型的训练和实时传输可降低对设备的要求，简化模型训练和更

新，无需进行复杂的设备部署。例如，无人车可以基于云端的实时预测来确定位置，避免碰撞。电梯可以将数据、模型实时上传，做到故障实时反馈和预警。

在边缘 AI 模型被部署之前，AI 应用首先需要基于大量的特征数据（即训练样本）来训练 AI 模型（如深度神经网络）。由于物联网场景下的训练数据通常以分布式的形式产生和存储在不同的用户设备中，因此，如何以较低的通信开销、较好的收敛性更安全的隐私保护来进行 AI 模型的分布式训练就显得尤为重要。

(5) 人脸解析算法服务

图片人脸特征提取服务、实时视频人脸特征提取服务、人脸 1:1 比对服务、人脸 1:N 比对服务、人像目标库检索服务、人脸布控服务、人脸告警推送服务等，满足安防监控、门禁考勤、人证对比等场景的人脸识别需求。

(6) 车辆解析算法服务

车辆解析算法服务包括实时视频车辆特征提取服务和视频文件车辆特征提取服务，分别支持对实时视频和离线视频文件中的车辆进行检测提取，识别输出车牌号码、车辆类型、车牌颜色、车辆品牌、车身颜色、车前部物品（检测标志、挂饰、主遮阳板、副遮阳板等）、车辆型号、附属物（主驾安全带、主驾打电话等）等车辆属性特征信息。

(7) 行人解析算法服务

行人解析算法服务包括实时视频行人特征提取服务和视频文件行人特征提取服务，分别支持对实时视频和离线视频文件中的行人进行检测提取，识别输出上衣种类、上衣颜色、下衣种类、下衣颜色、性别、年龄阶段、附属物（戴帽子、背包、骑车等）等行人属性特征信息。

4.8. 边缘视频处理加速

目前边缘视频 AI 处理加速在各个场景下得到广泛的应用。以深度学习为代表的，AI 处理过程需要高效处理大量非结构化的视频数据，要求硬件具有高效的计算能力。目前业界通过在边缘侧部署“硬件+软件”异构计算环境，实现视频处理加速，如图 7 所示。

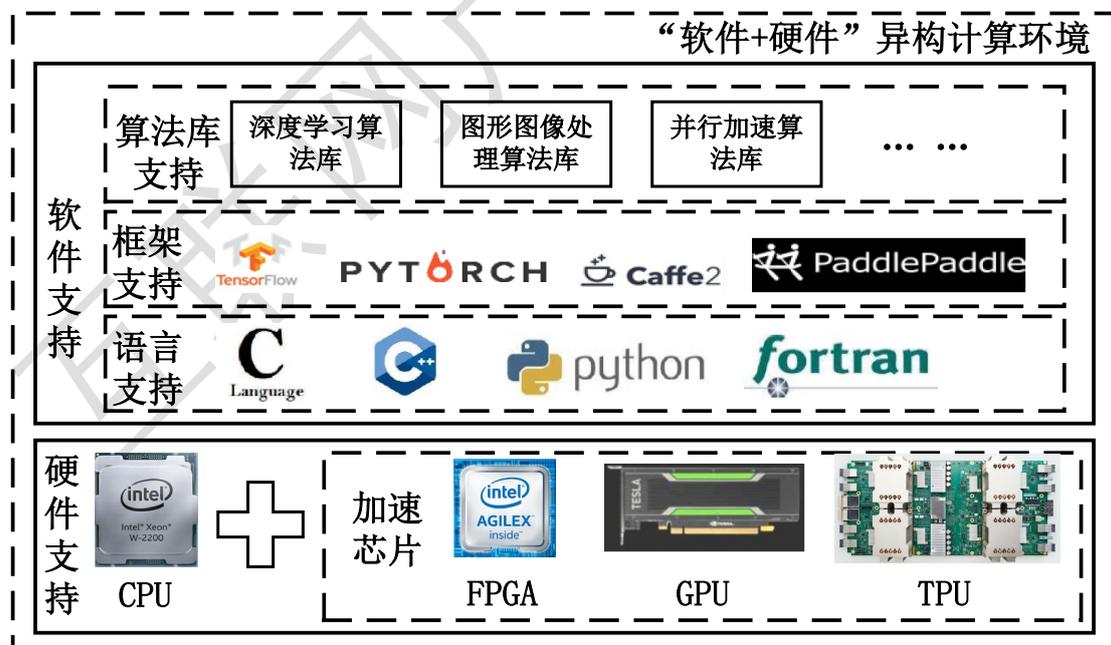


图 7 “软件+硬件”异构计算架构

云侧通过部署异构计算环境以及大数据和人工智能平台，负责执

行智能数据分析、模型训练任务、以及部分带宽占用低、非时延敏感的推理任务；与云侧相比，边缘侧的算力资源更少，主要执行数据传输带宽压力大、实时性要求高等推理任务；部分端侧设备也配置了低功耗的专用芯片，对采集数据进行分析处理。

此外，通过算力资源调度，优化资源配置，也可提高视频处理效率。音视频数据通过边缘可靠链路高速上传并由边缘计算服务及时处理，可极大降低关键业务延迟，加速视频分析处理链路。通过智能调度就近优质链路，并提供节点内存储及计算服务，全方位降低响应时延。各地的服务通过边缘节点的虚机和容器提供计算服务，可以让用户做到对底层服务无感知。边缘场景的整体基础设施及运维能力，也满足客户多应用场景需求并提供业务快速复制能力。

在视频上传场景中，就近接入边缘节点，视频文件上传速度将提升 50%，同时因减少传输链路使得上传成功率提高至 99% 以上。另外，也可引入多个节点存储集群，保证边缘环境存储功能的可靠性。

5. 面向视频领域的边缘计算解决方案

5.1. 运营商方案

(1) 边缘 VR 平台方案

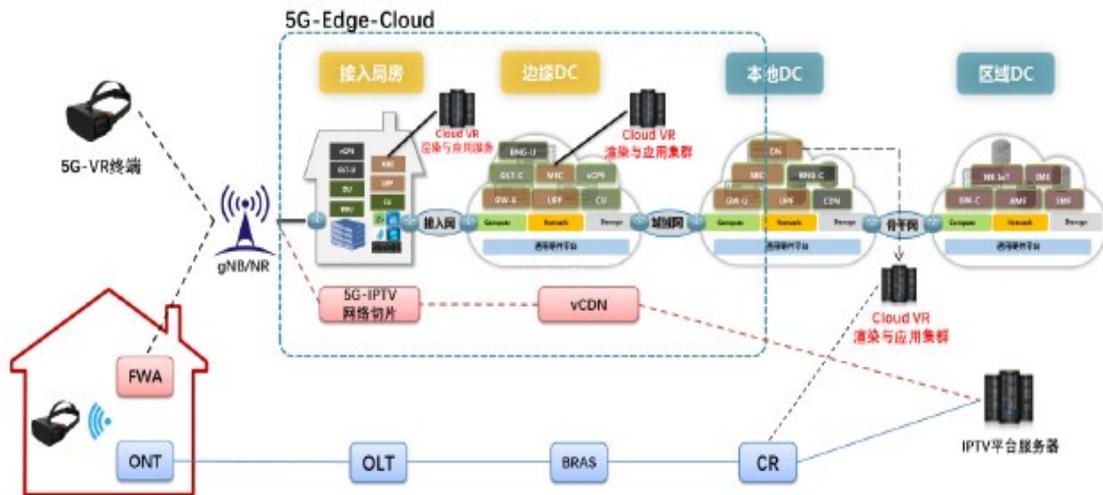


图 8 “5G+云 VR”网络架构

如图 8 所示，面向 5G+VR 内容服务，建立基于固移融合的服务能力。利用 5G MEC 资源，在本地 DC、边缘 DC、接入机房等多位置搭建云渲染资源节点，支撑广大移动网络用户对于 VR 实时渲染业务的需求；同时利用 5G MEC 建立 vCDN 资源，并结合 5G 网络切片技术，开辟独立的网络资源，实现 5G 承载 IPTV 业务。

边缘 VR 平台实现了应用管理、云渲染/云流化平台管理、云渲染/云流化资源监控、统一门户配置系统、业务管理系统、探针监测系统六大功能，可自动调节带宽、视频码率，调节终端显示分辨率，通过对用户行为预判，完成视频定向传播，从而降低了内容传输带宽和终端界面压力，实现低成本，高品质的视频内容展现；

（2）边缘视频监控方案

视频监控需要有视音频编解码、视频图像处理、视音频数据存储等核心技术，同时结合云计算、大数据、深度学习等前瞻技术对采集视频作进一步优化分析。超高清视频技术可以弥补低光照、恶劣天气等环境缺陷，结合 5G 技术可以推动以视频为核心的视频监控业务的进一步发展，真实还原各区域细节。

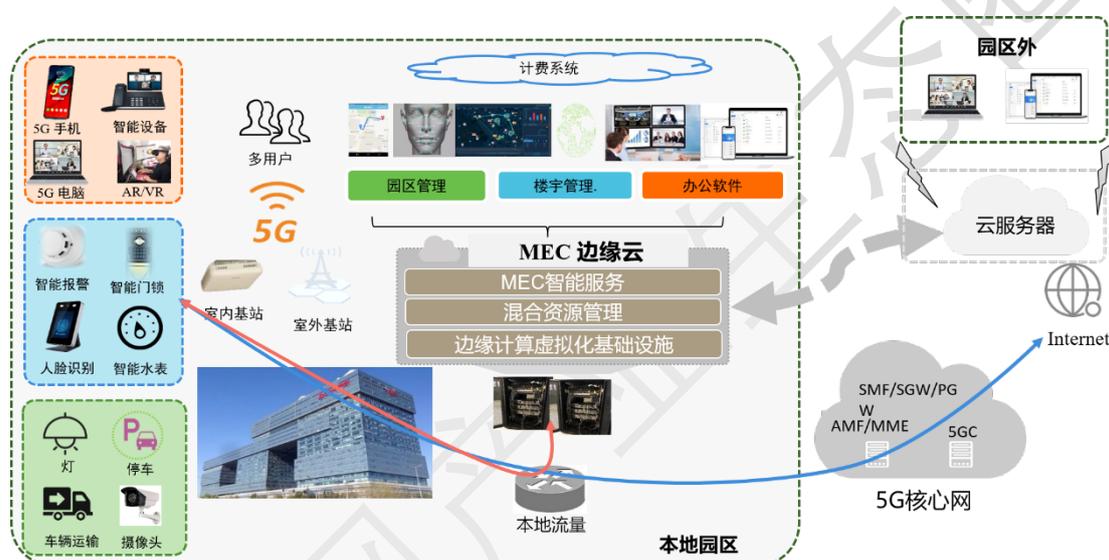


图 9 基于 5G+MEC 的视频监控方案

如图 9 所示，在物流工业园区中利用 MEC 平台承载自动巡检机器人的视频应用，与常规的巡检机器人服务器放在厂家的云端不同，该园区机器人通过 5G 网络接入到边缘计算平台，并将视频数据实时发送至边缘计算平台，平台侧进行监控和分析巡检现场安全状况，人流密集程度，可疑物体识别等，并可发送指令给机器人执行特定安全检查/危险目标区域鉴定等任务，安全系数和巡检效率大大提高。

（3）基于“端-边-云”协同调度的内容分发方案

基于“端-边-云”协同调度的内容分发解决方案，旨在为网络运

营商、云服务厂商、应用提供商提供一套可用于节点批量上线、业务灵活可控的边缘计算解决方案，方案结构如图 10 所示。



图 10 基于“端-边-云”协同调度的内容分发方案结构图

终端设备接入网络后，向边缘侧发起服务请求；边缘计算辅助服务向终端返回边缘计算节点的 ID 信息；终端携带边缘节点 ID 信息，向云端发起服务请求，云端查询调度策略后，向终端返回可服务 IP 信息；终端向可服务的边缘 CDN 发起请求，边缘 CDN 交付用户请求内容。

5.2. 云服务提供商方案

(1) 互动直播方案

互动直播场景包括音视频推流、转码、分发、播放等核心业务模块，以及弹幕、打赏礼物等互动业务逻辑，在体验上有清晰度、播放流畅度、播放延时等方面的要求。

边缘计算节点基于 CDN 节点进行改造，开放成边缘计算节点，并

在全国范围的节点部署计算、存储、网络、安全能力，既能够做到全国各地区和运营商的完整覆盖，同时也利用节点丰富的计算和带宽资源能力，支撑大型赛事或活动的直播的资源弹性需求。

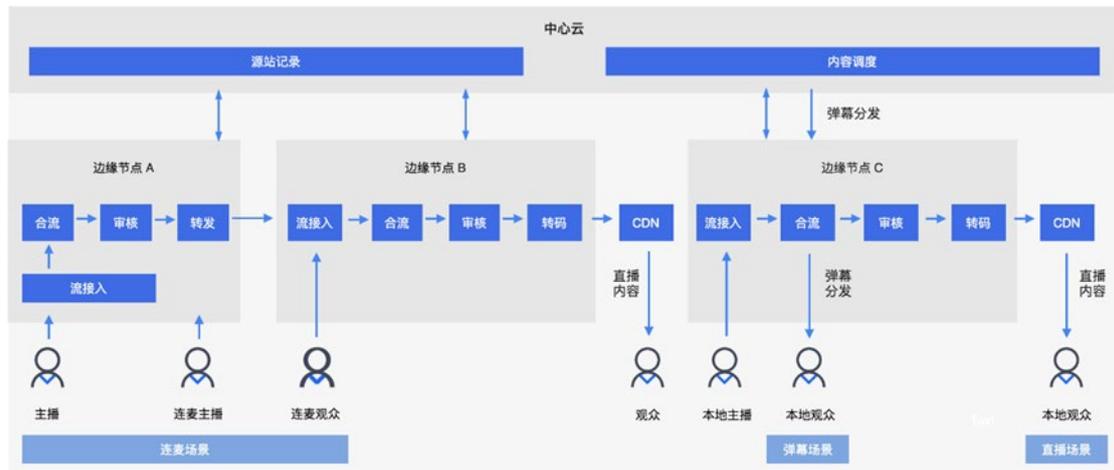


图 11 互动直播方案架构图

如图 11 所示，实际场景中弹幕是直播平台常见的互动模式，而一些重要赛事经常会遇到突发极高的瞬间流量，造成弹幕丢包问题。利用边缘计算节点进行弹幕的就近上传和转发，可以提高弹幕发送和接受的成功率。同时通过网卡流量整形的方式，避免数据瞬间集中广播。流量整形后经线上验证效果良好，可以有效避免丢包情况的出现。

(2) 智能安防方案

随着雪亮工程、平安城市、智慧城市等项目的不断推进，目前一个二线以上城市的监控摄像头数量就可能达到百万量级。若将这些摄像头产生的原始视频传送到云端进行分析，耗费的资源会非常巨大。5G 带给安防 4K/8K 等超高清体验，并使海量终端接入网络，同时也给通信网络带来超大负荷，因此可通过边缘计算实现对数据的本地化处理。



图 12 智能安防方案

如图 12 所示，智慧安防场景下的边缘计算实现云、边、端三体协同，满足众多场景下视频监控上传、存储、分析、分发的需求。端负责视频内容采集及预处理，边缘统一汇聚图片&视频流，进行智能分析、存储，并把数据实时返回给端，中心云保存核心数据。在这样的架构下算力层层消化，提供低成本、高质量的一站式视频接入和处理能力。

前端智能设备算力的不断增强，前端智能化处理可以按需将高质量结构化数据及分析结果传输至后端，减少丢包、压缩造成的信息丢失或误差，提升智能分析的准确性。

(3) 云游戏方案

云游戏是一种强交互的实时音视频技术，基于边缘计算的云游戏，本质上就是面向视频领域的边缘计算技术的一种实现。将云游戏服务器就近部署在边缘节点，进行游戏服务处理及视频渲染。真正做到超低延迟的云游戏体验，实现大型游戏无需下载、即开即玩，如图 13 所示。

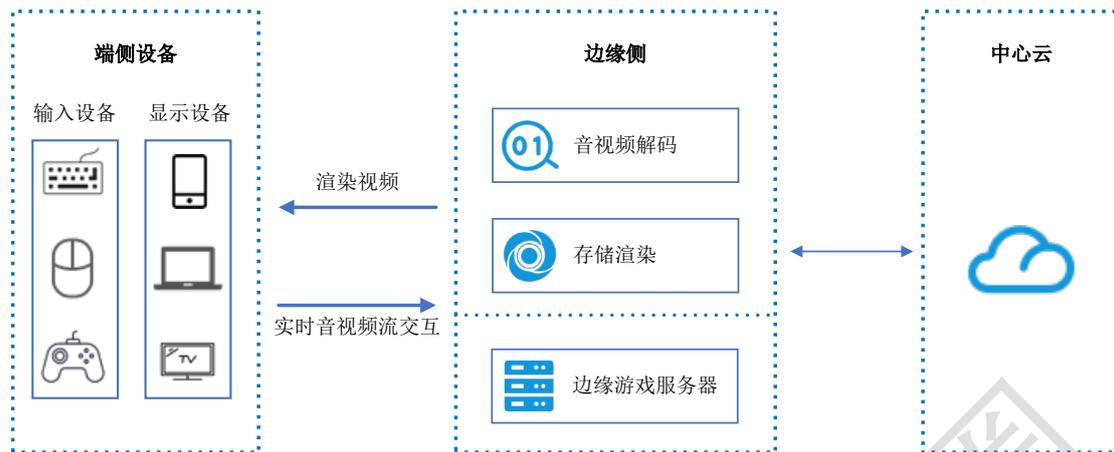


图 13 云游戏架构

云游戏将渲染类的事情从原来用户的终端设备转移到边缘计算节点来进行，边缘计算节点对渲染的结果进行音视频编码，然后网络传输到用户显示设备，进行解码和展示。

在云游戏场景下，边缘计算技术需要对网络方面需要进行一些针对性优化，以适应大带宽高并发网络包的处理需求。此外，在异构支持方面，由于云游戏平台目前主要基于 X86 平台和 ARM 平台，所以边缘计算技术需要支持 X86 平台的虚拟化的同时也需要支持 ARM 平台的虚拟化。云游戏方案里面，渲染是在边缘侧实现的，远端服务器只负责一些数据逻辑。渲染普遍的使用的是 GPU 方式，所以边缘侧也需要支持 GPU 服务器。

5.3. 工业互联网方案

(1) 自动化流水线产品缺陷检测方案

在自动化流水线生产的后端环节，使用视频图像采集方式对被测产品存在的表面缺陷进行检测，并对缺陷进行分类和定位。最终将有缺陷的产品从流水线中转移至人工二次检测的区域，其余正常产品则

继续进入下一作业环节，该视频实时检测过程不影响总体生产节拍，长期而言可以降低人力成本并提高产品良率。

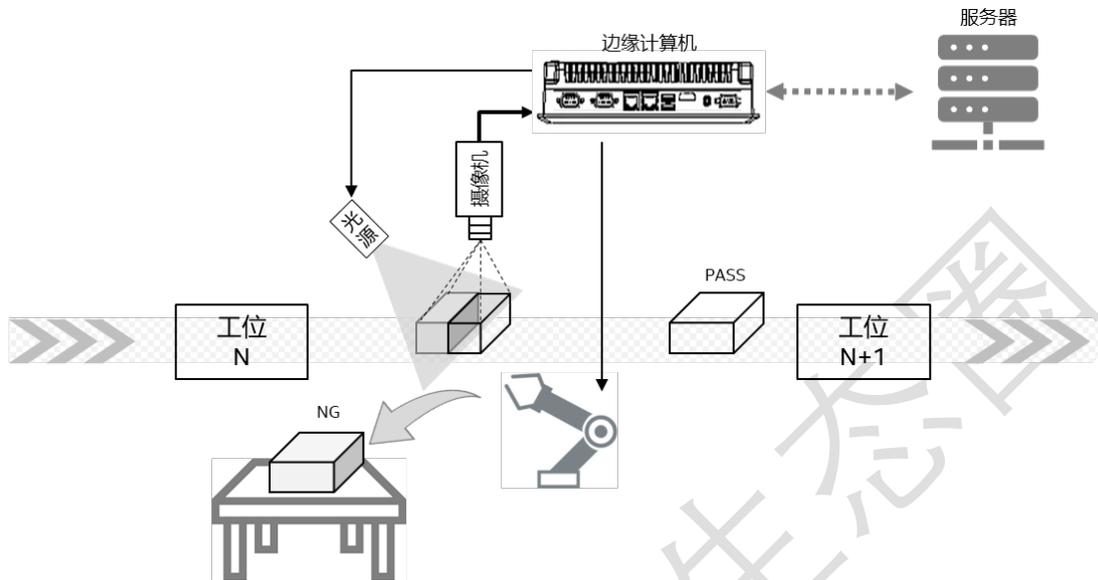


图 14 自动化流水线产品缺陷检测示意图

如图 14 所示，流水线上的目标进入检测范围时，边缘计算机控制光源进行补光，同时命令摄像头进行视频图像采集并回传至边缘计算机内，边缘计算机通过传统计算机视觉及深度学习的结合算法来检测该目标。如果发现该目标存在缺陷，边缘计算机就通知机械臂将该目标从流水线上取下放入维修台待检区。边缘计算机可以将检测结果及缺陷图像上传至机房的服务器，也可以通过现场显示器直接显示以便于工作人员现场审核。

如图 15 所示，视频通过采集模块将解码后的视频数据送至总线，存储模块从总线上获取视频图像进行存储，分析模块按需发送总线请求获取相应的图像。视频采集模块可以支持多路视频采集与解码从而支持多条生产线的处理。视频分析模块可采用传统计算机视觉方法对视频图像进行预处理，再用深度学习算法进行模型推理，经后处理后

输出结果。此方案针对目标检测、分割和分类三种模型，分别使用了不同的预处理优化，最终可以满足缺陷定位分类的要求。

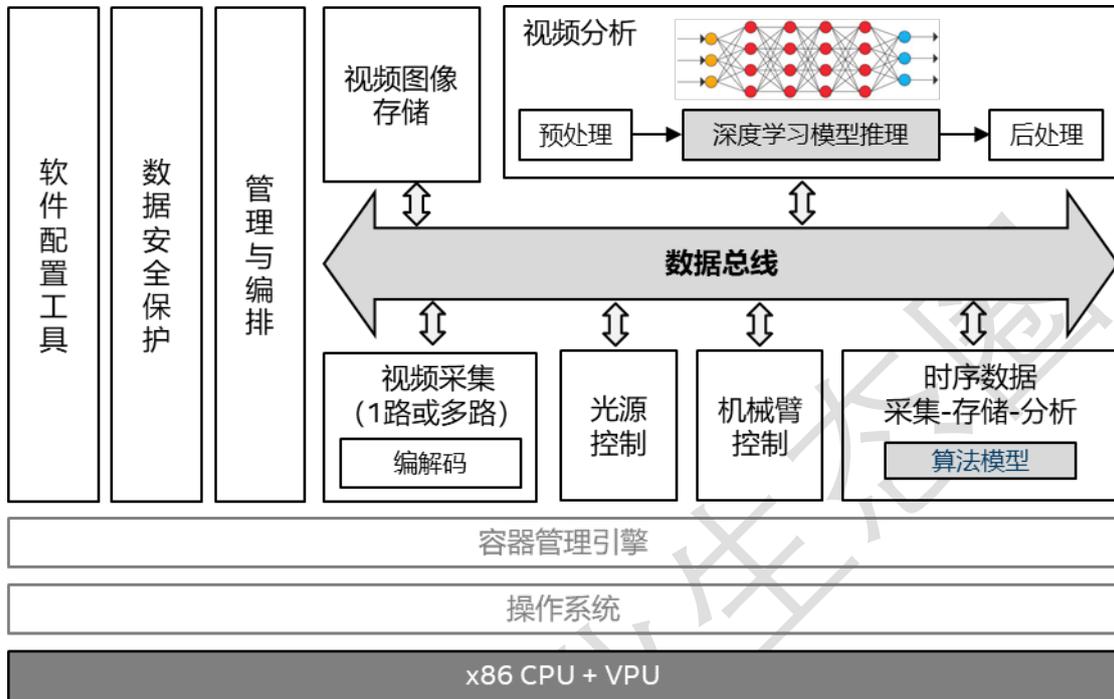


图 15 产品缺陷检测系统架构图

（2）MEC 智能制造平台方案

利用“5G+MEC”低时延、高带宽、数据本地化处理的基本特性，可以在工厂内部实现实时的智能视频监控、机器人巡检等相关功能，提前对故障隐患进行告警、对生产作业流程进行远程指导。

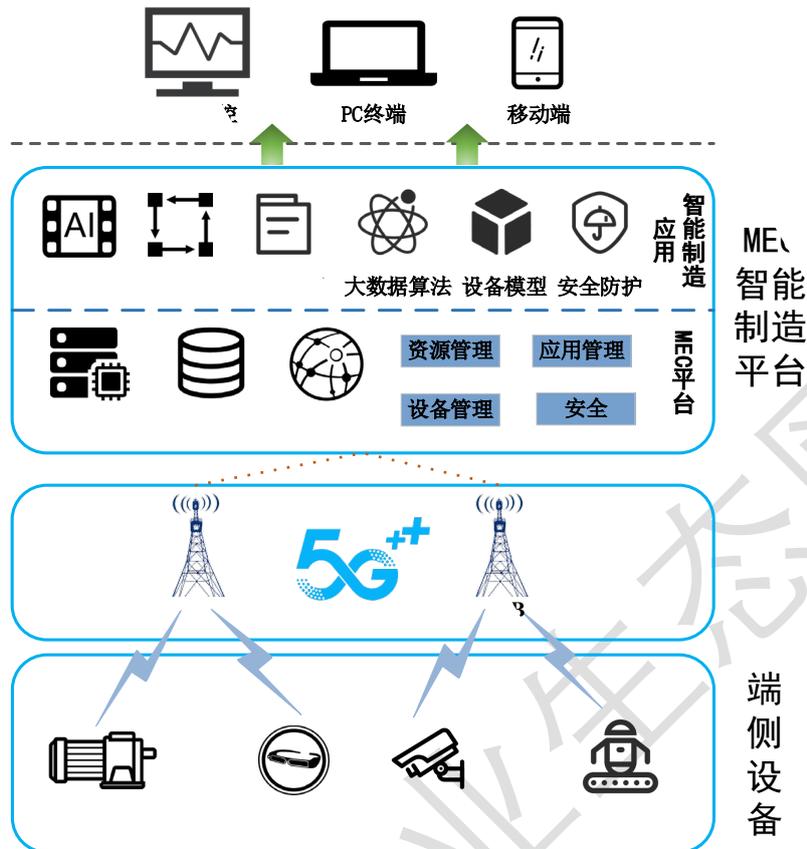


图 16 MEC 智能制造平台架构

MEC 智能制造平台方案如图 16 所示，视频监控设备、AR 设备、巡检机器人等端侧设备通过 5G 网络接入 MEC 平台；MEC 平台通过本地分流策略，获取端侧设备采集的视频信息、设备信息等；采集信息利用 MEC 平台提供的大数据、人工智能等服务，对数据进行智能化分析，将分析结果上送至集中管控中心，实现对人员、设备、环境的异常判断。

5.4. 垂直行业方案

(1) 电网变电站的智能视频运检解决

电网变电站智能视频运检解决方案，基于云边端架构，利用计算机视觉和图像识别技术实现对电力设备状态、人员行为、生产安全的

全方位监测所发挥的价值潜力巨大。



图 17 智能视频运检部署架构图

如图 17 所示，在云端或中心侧，部署训练一体机完成视频样本数据的目标标注，统一进行图像识别算法模型训练、调优、部署和管理，并通过算法模型对上传中心侧的视频图像数据进行实时或离线推理解析。在边缘侧，按需部署 AI 推理边缘设备，按变电站场景需求个性化部署算法模型，对接入多种视频图像数据进行实时分析，监视变电站内设备状态、人员作业、生产安全等情况，及时发现异常情况进行风险预警，实现 24 小时实时智能视觉主动监控。

（2）智慧城市视频网联服务平台

边缘计算在多种智慧城市应用场景中发挥着重要的作用。针对智慧城市中的视频需求，建设视频网联服务平台。在部署方式上，平台

基于移动边缘计算技术引入了 MEC 分流网关及 MEC 平台，利用 5G 边缘计算能力，将视频计算、存储前置到边缘机房处理，进而提高视频网联服务平台的处理效率和服务能力。智慧城市中基于边缘计算的视频网联服务平台部署架构如图 18 所示。

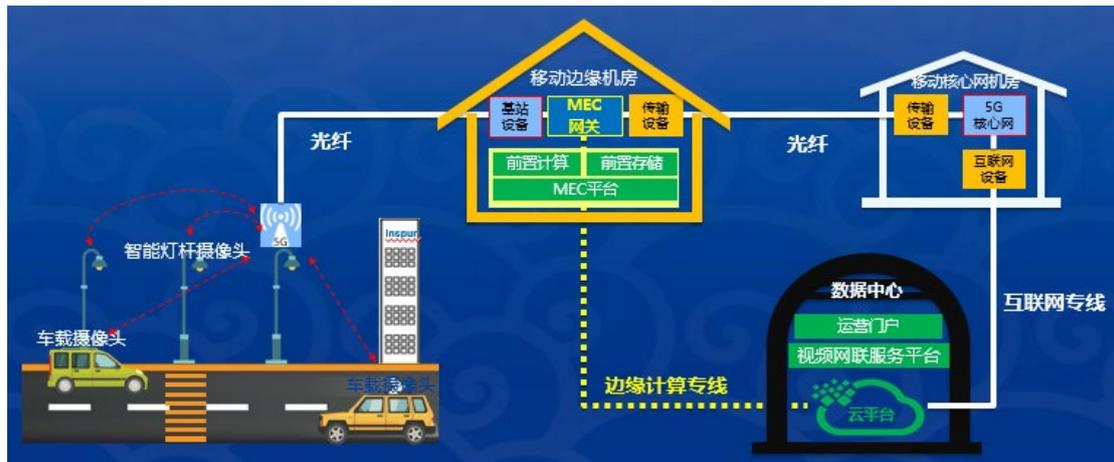


图 18 视频网联服务平台部署架构

在智慧城市视频网联服务平台功能架构中包含：

- 云平台：包括硬件资源池、云数据中心操作系统、行业云平台、支撑视频网联服务平台的云架构运行服务。
- 移动边缘机房部署 MEC 分流网关：搭建 MEC 平台，提供边缘侧计算服务以及存储服务。
- 端设备及边缘设备：包括各类视频、图片、数据采集终端及边缘计算设备，包括摄像机、智能摄像机、网关、终端服务器等。
- 平台：包括视频联网融合平台、视频赋能平台、综合运维管理平台和能力开放与运营服务平台。

6. 未来趋势展望

6.1. 产业生态合作与共建

边缘计算产业生态繁荣发展，是面向视频领域的边缘计算发展的基础。当前，包括基础运营商、云服务提供商、设备厂商、内容提供商、科研院所、边缘企业等在内的边缘计算参与者共同构成边缘计算产业生态。未来，应充分发挥国内外各个边缘相关产业联盟作用，积极组织“产、学、研、用”各方力量，凝聚边缘行业共识，推进产业生态合作共建，推广边缘示范应用，加速边缘计算商业落地。

在边缘资源合作方面，应充分利用运营商的边缘资源，开展与其他边缘参与者的合作共建。运营商可以将边缘资源部署在距离用户更近的基站侧，满足不同应用的算力和时延需求。以内容提供商为例，内容提供商可以与运营商开展 PaaS 层合作共建，优化资源调度，在边缘侧部署 AR/VR 等高新视频类应用，探索各类视频业务与边缘位置的最佳匹配，丰富边缘平台能力与服务，满足各类应用的需求。

6.2. 标准化建设持续推进

边缘计算标准化建设是面向视频领域的边缘计算发展的规范。当前，边缘设备、边缘应用和边缘方案呈现多样化特点，在基础架构、南北向接口等方面均不统一。以 ETSI、IEEE、3GPP、CCSA 为代表的国内外标准化组织以及边缘计算产业联盟等为代表的相关产业联盟，汇聚产业力量，发布了若干边缘计算相关标准，旨在推进边缘计算标准化进程，引导边缘产业发展。

面向视频领域的边缘计算需要在基础架构、关键技术、互操作性、安全等多个方面推进相关标准化工作，制定完善的面向视频的边缘计算标准和规范，加快视频领域边缘计算技术的创新和成果转化，进一步促进面向视频的边缘计算产品和服务的发展，营造一个标准、开放、和谐的视频边缘计算产业生态。

6.3. 边缘计算加速应用创新

应用创新是面向视频领域的边缘计算发展的方向。随着新媒体、智慧城市、雪亮工程等项目的大规模建设以及视频应用领域的不断扩大，海量的视频数据呈现出爆发性的增长，给实时互动、监控的反应速度和数据利用的有效性带来了诸多挑战。

未来，边缘计算将是视频领域中的重要组成部分，视频通过边缘计算的预处理，把已去除图像冗余信息的视频迁移到边缘，从而减低对中心云计算、存储和带宽的需求，提高视频处理效率，在边缘计算的加持下，视频直播、视频监控、云游戏、AR/VR、超高清视频等行业应用的创新与发展也会更加的日新月异。

7. 缩略语

表 1 缩略语表

| 缩略语 | 英文名称 | 中文名称 |
|-------|--|------------|
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project | 第三代合作伙伴计划 |
| 4G | The 4 Generation Mobile Communication Technology | 第四代移动通讯技术 |
| 5G | 5th Generation Mobile Networks | 第五代移动通信技术 |
| 5GC | 5G core network | 5G 核心网 |
| AI | Artificial Intelligence | 人工智能 |
| API | Application Programming Interface | 应用程序编程接口 |
| AVC | Advanced Video Coding | 高级视频编码 |
| AR | Augmented Reality | 增强现实 |
| BP | Back Propagation | 神经网络 |
| CCSA | China Communications Standards Association | 中国通信标准化协会 |
| CDN | Content Delivery Network | 内容分发网络 |
| CPU | Central Processing Unit | 中央处理器 |
| CT | Communication Technology | 通讯技术产业 |
| C-V2X | Cellular Vehicle-To-Everything | 车用无线通信技术 |
| DC | Data Center | 主数据中心 |
| DDoS | Distributed Denial Of Service | 分布式拒绝服务 |
| DNN | Deep Neural Networks | 深度神经网络 |
| DNS | Domain Name System | 域名系统 |
| ECC | Edge Computing Consortium | 边缘计算产业联盟 |
| eMBB | Enhanced Mobile Broadband | 增强型移动宽带 |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute | 欧洲电信标准协会 |
| FPGA | Field Programmable Gate Array | 现场可编程逻辑门阵列 |
| GPU | Graphic Processing Unit | 图形处理器 |
| HDMI | High Definition Multimedia Interface | 高清晰度多媒体接口 |
| HDR | High-Dynamic Range | 高动态范围图像 |
| HEVC | High Efficiency Video Coding | 高效率视频编码 |
| HFR | High Frame Rate | 高帧率 |
| HLS | Http Live Streaming | 流媒体网络传输协议 |
| HTTP | Hypertext Transport Protocol | 超文本传输协议 |
| ICT | Information Communication Technology | 信息、通信技术 |
| ID | Identity Document | 身份标识号 |

| 缩略语 | 英文名称 | 中文名称 |
|-------|---|----------------|
| IP | Internet Protocol | 网际互连协议 |
| IEEE | Institute Of Electrical And Electronics Engineers | 电气和电子工程师协会 |
| IoT | Internet Of Things | 物联网 |
| IPTV | Internet Protocol Television | 交互式网络电视 |
| IPv6 | Internet Protocol Version 6 | 互联网协议第 6 版 |
| IT | Information Technology | 信息产业 |
| LADN | Local Area Data Network | 本地数据网络 |
| LFU | Least Frequently Used | 最少使用的 |
| LRU | Least Recently Used | 最少最近使用 |
| MEC | Multi-Access Edge Computing | 多接入边缘计算 |
| MEP | Multi-Access Edge Platform | 多接入边缘计算平台 |
| mMTC | Massive Machinetype Communication | 大规模机器类型通信 |
| MPEG | Moving Picture Experts Group | 活动图像专家组 |
| MQTT | Message Queuing Telemetry Transport | 消息队列遥测传输 |
| NAT | Network Address Translation | 网络地址转换 |
| NFS | Network File System | 网络文件系统 |
| NFV | Network Function Virtualization | 网络功能虚拟化 |
| NPU | Neural-Network Processing Unit | 网络处理器 |
| NSA | Non-Standalone | 非独立组网 |
| OCR | Optical Character Recognition | 光学字符识别 |
| ONVIF | Open Network Video Interface Forum | 开放型网络视频接口论坛 |
| OT | Operational Technology | 运营技术 |
| PC | Personal Computer | 个人计算机 |
| PDU | Protocol Data Unit | 协议数据单元 |
| QUIC | Quick Udp Internet Connection | 快速 UDP 互联网连接 |
| RAN | Radio Access Network | 无线电接入网 |
| RTCP | Rtp Control Protocol | RTP 控制协议 |
| RTMP | Real Time Messaging Protocol | 实时消息传输协议 |
| RTP | Real-Time Transport Protocol | 实时传输协议 |
| RTSP | Real Time Streaming Protocol | 实时流传输协议 |
| SDK | Software Development Kit | 软件开发工具包 |
| SMF | Service Management Facility | 会话管理功能 |
| SRT | Hard Real-Time | 硬实时操作系统 |
| SVM | Support Vector Machine | 支持向量机 |
| TCP | Transmission Control Protocol | 传输控制协议 |
| UDT | UDP-based Data Transfer Protocol | 基于 UDP 的数据传输协议 |

| 缩略语 | 英文名称 | 中文名称 |
|--------|---|-----------|
| UE | User Equipment | 用户设备 |
| UPF | User Plane Function | 用户面功能 |
| uRLLC | Ultra-Reliable and Low Latency Communications | 高可靠和低延迟通信 |
| USB | Universal Serial Bus | 通用串行总线 |
| VCDN | Static Content Delivery Service | 静态网页加速服务 |
| VFM | Virtual firewall | 虚拟防火墙 |
| VIM | Virtual Interconnected Management | 虚拟互联的管理 |
| VPN | Virtual Private Network | 虚拟专用网络 |
| VR | Virtual Reality | 虚拟现实 |
| VRRP | Virtual Router Redundancy Protocol | 虚拟路由器冗余协议 |
| WebRTC | Web Real-Time Communication | 网页实时通信 |
| WIFI | Wireless-Fidelity | 无线宽带 |

互联网产业生态圈

SDN/NFV/AI 标准与产业推进委员会

地址：北京市海淀区花园北路52号

邮政编码：100191

联系电话：010-62300081

传真：010-62300094

网址：www.sdnfv.org.cn

