

“边缘计算+” 技术白皮书

(2022 年)

算网融合产业及标准推进委员会
2022年8月

版权声明

本白皮书版权属于算网融合产业及标准推进委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：算网融合产业及标准推进委员会”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



参与编写单位

中国信息通信研究院、北京航空航天大学、天翼云科技有限公司、中国联合网络通信有限公司研究院、北京火山引擎科技有限公司、浪潮电子信息产业股份有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、英特尔（中国）有限公司、工业和信息化部威海电子信息综合研究中心、联想（北京）有限公司、浪潮通信技术有限公司、上海层峰网络科技有限公司、浙江九州云信息科技有限公司、星环信息科技（上海）有限公司、浩鲸云计算科技股份有限公司、优刻得科技股份有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、京东云计算有限公司、缀初网络技术（上海）有限公司、深圳市视美泰技术股份有限公司、北京百度网讯科技有限公司、阿里云计算有限公司、北京奥思工联科技有限公司。



主要撰稿人

宋平、穆域博、毕立波、柴瑶琳、韩淑君、党小东、张云畅、刘轶、安雨顺、鄢智勇、陈杲、沈建发、马犇、罗宋平、姚远、郑志浩、曾红李、武璇、杜君、宋滨、崔先锋、郭双拴、王晔彤、魏明智、杨雪、徐俊、李开、范豪钧、童欣欣、王占成、陈双禾、李希源、袁博、刘海涛、刘禹瑄、肖志新、王闻宇、王晓飞、柏威、

吴秋材、朱松、白常明、王鑫、黄磊。



算网融合推委会
CCNIS

前 言

作为行业数字转型的核心能力底座，边缘计算获得业界的广泛关注。随着边缘计算在医疗、交通、工业等各行业规模部署，要求边缘计算应面向特定行业具备差异化与定制化的能力，为满足行业应用在高效算力、海量接入、智能分析、安全防护等方面的需求，边缘计算技术与 5G、大数据、人工智能、安全等各类技术深度融合，共同构成“边缘计算+”技术创新体系。“边缘计算+”既是边缘计算技术的融合创新，也是边缘计算服务能力的升级演进，其深层含义是各类技术通过“边缘计算化”赋能产业数字化、网络化、智能化转型。

本白皮书基于行业研究和调研报告，梳理了技术融合在边缘计算行业赋能方面的助力作用，总结提炼边缘计算技术融合的核心价值；提出了“边缘计算+”内涵，从边缘计算赋能底座、技术融合与行业应用三个层次介绍“边缘计算+”参考模型；从场景需求、技术架构和典型案例三个方面，系统梳理“边缘计算+5G”、“边缘计算+人工智能”、“边缘计算+音视频”等六项“边缘计算+”的关键技术能力；最后围绕算网融合、一体化智能化、云原生与安全防护，展望“边缘计算+”技术演进趋势。

当然，白皮书仍然存在诸多不足，恳请各界批评指正。

目 录

一、 融合创新已成为边缘计算发展的必然趋势	1
(一) 边缘计算构筑行业数字转型能力底座	1
(二) 技术融合助力边缘计算实现行业赋能	2
(三) 边缘计算技术融合的核心价值	5
二、 “边缘计算+” 的内涵与参考模型	7
(一) “边缘计算+” 内涵	7
(二) “边缘计算+” 参考模型	8
三、 “边缘计算+” 关键技术能力	17
(一) 边缘计算+5G	17
(二) 边缘计算+人工智能	26
(三) 边缘计算+音视频	38
(四) 边缘计算+区块链	51
(五) 边缘计算+安全	56
(六) 边缘计算+高性能计算	62
四、 “边缘计算+” 技术发展趋势	68
(一) “边缘计算+” 技术从概念走向深入	68
(二) 一体化与智能化成为“边缘计算+” 重要发展方向	69
(三) 云原生将成为“边缘计算+” 技术演进的加速器	69
(四) 可信设施与安全服务共同构筑“边缘计算+” 安全壁垒	70
参考文献	72
缩略语	73

图 目 录

图 1 “边缘计算+”参考模型	8
图 2 MEC 参考模型	21
图 3 机器人联网监控和预测维修案例	24
图 4 智慧商超案例	24
图 5 智慧园区案例	25
图 6 边缘 AI 参考架构	31
图 7 工业质检典型场景部署架构	34
图 8 期货交易所仓库运营管理方案	35
图 9 建筑工地人员行为分析平台	36
图 10 在线视频流量分发技术落后于内容需求	39
图 11 边缘计算音视频参考架构	40
图 12 边缘 RTC 方案	45
图 13 边缘视频源站	46
图 14 视频安防方案	47
图 15 边缘节点与云 CDN 协同	48
图 16 边缘计算+区块链架构图	54
图 17 边缘计算安全架构	59
图 18 无人机通信链路	60
图 19 可信电力调度方案	62
图 20 边缘高性能计算架构	64
图 21 “软件+硬件”异构计算架构	66

一、融合创新已成为边缘计算发展的必然趋势

（一）边缘计算构筑行业数字转型能力底座

数字经济成为构建新发展格局的关键支撑。党的十九届五中全会提出，要加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局，把实施扩大内需战略同深化供给侧结构性改革有机结合起来，以创新驱动、高质量供给引领和创造新需求。数字化转型过程将以信息技术，特别是新一代信息通信技术为基础。

在数字经济发展需求的驱动下，新建数据量将超过过去 30 年的总和，娱乐数据将保持主体地位，生产数据占比将持续增长。数字经济时代，80%的数据和计算将发生在边缘。作为行业数字化转型的基础赋能平台，边缘计算通过在网络边缘位置，为各类行业用户提供数字化、网络化、智能化服务，以满足行业数字变革过程中在低时延、大带宽、智能分析、海量数据、安全可信、高效算力等不同方面的差异化需求。

全球各国积极推进边缘计算的战略布局。以美国、欧洲为代表的发达国家，均将边缘计算列入产业数字化转型中的关键环节和技术进行统筹部署，并积极推进创新应用。我国高度重视边缘计算的发展，近期工信部印发了《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》、《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023 年）》、《工业

互联网综合标准化体系建设指南（2021 版）》等相关文件，积极推进边缘计算在工业互联网等多个领域的技术、标准与产业发展。

在边缘计算分类方式上，Linux 基金会的 LF Edge 根据部署的位置，将边缘计算划分为用户边缘和服务提供商边缘两类^[1]。其中，用户边缘包括端侧设备、网关设备以及边缘数据中心等；服务提供商边缘包括访问边缘和区域边缘等。本文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。

(二) 技术融合助力边缘计算实现行业赋能

1. 运营商边缘

运营商边缘主要为终端用户提供大流量、低时延的服务，典型应用例如互动直播、云渲染、云 VR 等。运营商边缘的部署位置通常

位于运营商的通信机房中，与通信设备部署在一起，通过低成本的方式获得大带宽。

5G 与边缘计算的深度融合已成为行业数字转型的能力底座。自 2020 年开始，国内三大电信运营商已经开始进行 5G 网络的大规模部署建设。由于 5G 的目标是与各行各业深度融合，推动垂直行业数字化转型，所以在 5G 网络建设部署的同时，还需要部署大量的边缘计算节点来打造支持大带宽、大规模复杂连接的 5G 边缘云。5G 边缘云将成为承载新商业应用、电信运营商基础网络及业务系统云化的“底座”，是电信运营商借以进行 ToB 业务竞争的核心竞争力，也是电信运营商与互联网企业在垂直行业竞争的“护城河”。

边缘计算技术与 5G 技术的深度融合促使网络流量通过各种低成本的本地专线的方式接入云网络。此外，运营商边缘正在逐步向提供跨电信运营商的统一边缘云服务方向迈进。通过采用统一通用的 API 接口，实现应用的跨电信运营商统一部署交付、运维和管控。

2. 云边缘

云边缘为客户提供指定地理位置附近的云能力。与运营商边缘相比，云服务商借助已部署的 CDN 网络，并提供多个运营商的网络接入能力，以服务更多的用户。云边缘到终端用户的时延一般在 20ms 以内^[2]，主要为用户终端用户提供对时延和网络稳定性有一定要求的服务。

边缘计算与视频技术的深度融合进一步提升视频类应用的用户

体验。云服务商在视频边缘计算领域拥有大量的业务需求和成功经验，以云游戏、直播、音视频加速、安防监控等为代表的大流量大并发业务，在 4G 时代已得到广泛应用。随着 5G 时代的到来，云服务商通过“CDN 下沉”的方式，将算力下放至近用户侧，提供低时延、智能化的边缘服务。

音视频加速业务利用云边缘基础设施，为其客户提供音视频加速服务，利用边缘节点的低成本及低延迟优势，提升产品竞争力及用户体验。云游戏利用云边缘基础设施，以最少的机器成本为节点覆盖区域提供低成本及高性能的 PC 及手机端云游戏服务。

安防监控利用云边缘，实现安防摄像头数据的转存及转发两大业务，利用边缘节点的低成本特性，极大降低的视频数据的传输和存储成本。基于边缘节点建设的存储功能，实现了摄像头数据的就近存储和就近访问。

3. 工业边缘

工业边缘是边缘计算的重要应用领域，广泛分布于制造、能源、仓储物流等各个环节中，如制造车间、变电站、物流分拨中心、工业园区的网络机房等。各类工业应用在海量通信协议、异构数据、时间确定性与低时延、数据私密性与安全性、设备运行环境等不同方面对边缘计算提出了更高的要求。

随着工业互联网的发展，工业边缘计算会在人、机、料、法、环、测等各个环节遍地开花。利用边缘计算与人工智能融合技术实

现的机器视觉，可以对人和设备的安全提供保障、对生产物料质量进行识别纠错等；通过大数据实时采集分析可以对工作设备进行预测性维护、对周围环境进行监测预警等。

同时，伴随着通信技术的不断发展，5G 的低延时和大带宽特性也正在和工业互联网的发展产生交集。我们可以看到工业现场的轻型边缘计算设备可以通过 5G 与网络边缘的基础设施高效协同工作，以此充分利用各自的物理资源。比如，大带宽可以将重计算量的大数据分析分配在网络边缘，低延时可以将毫秒级的控制应用部分上移到网络边缘，以此使工业边缘与网络边缘互相融合协同创新。

（三）边缘计算技术融合的核心价值

作为行业数字转型的核心能力底座，边缘计算获得业界的广泛关注。边缘计算已由技术概念期进入到期望峰值期，成为未来计算的重要趋势之一。于此同时，随着数字转型的深入，边缘计算在行业应用深度和广度上将得到进一步加强，广泛应用于工业、医疗、交通、教育、能源等众多领域，充分利用近用户侧的先天优势，为行业用户提供低成本、高质量的服务。

边缘计算技术融合将成为边缘计算产业落地的“助推器”。行业数字转型要求边缘计算应面向特定行业具备差异化与定制化的能力，以满足行业应用在高效算力、海量接入、智能分析、安全防护等方面的需求。边缘计算作为基础能力底座，与人工智能、大数据、区

块链、5G 等各类新兴技术具有天然的亲和性，通过将各类技术“边缘计算化”，实现边缘计算服务能力升级，满足行业应用需求，推动边缘计算产业快速落地。



二、“边缘计算+”的内涵与参考模型

（一）“边缘计算+”内涵

随着各行业数字转型的逐渐深入，为了满足行业在高效算力、海量接入、智能化分析、安全防护等差异化应用需求，边缘计算技术与 5G、大数据、人工智能、安全等各类技术深度融合，以 MEC、边缘 AI、边缘 IoT、边缘高性能等为代表融合创新技术，共同构成了“边缘计算+”技术创新体系。“边缘计算+”既是边缘计算技术的融合创新，也是边缘计算服务能力的升级演进，其深层含义是各类技术通过“边缘计算化”赋能产业数字化、网络化、智能化转型。



（二）“边缘计算+”参考模型

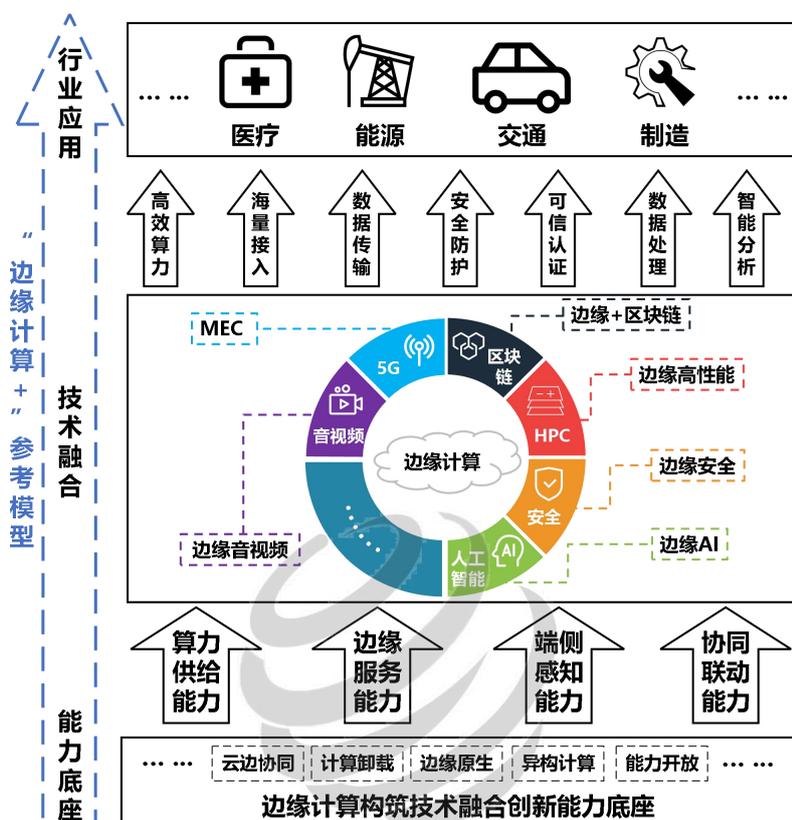


图 1 “边缘计算+”参考模型

1.边缘计算构筑技术融合创新能力底座

如图 1 所示，在“边缘计算+”参考模型中，边缘计算为 5G、AI、高性能计算等新一代 ICT 技术的行业落地，提供了必要的算力供给能力、边缘服务能力、端侧感知能力以及协同联动能力。各类 ICT 技术利用由边缘计算构筑的基础赋能平台，实现与边缘计算技术的融合创新，将服务能力延展至“端、边、云”各个层次，满足各行业定制化服务需求。

边缘计算融合创新能力底座应具备以下核心能力：

- **端侧感知能力：**端侧设备主要包括了 PC、手机、物联网设备等用户终端设备。边缘计算支持种类繁多的通信协议，提供了海量设备接入能力。边缘平台可以及时感知各类端侧设备的状态，获取相关采集数据，向 ICT 应用/服务提供数据输入。
- **边缘服务能力：**边缘计算为各类 ICT 技术的应用与服务部署，提供了边缘化服务供给能力，并结合低时延、大带宽等边缘计算基本特性，可以满足行业用户高质量服务需求。
- **算力供给能力：**边缘计算为 ICT 技术应用提供了“云、边、端”一体化、多样化的算力供给能力，云侧平台负责对全网算力资源进行统一管理，通过智能化算力调度，满足各类技术应用运行的算力需求。另外，边缘计算提供了异构计算的能力，支持 CPU、GPU、FPGA 等不同硬件资源。
- **协同联动能力：**从云网一体到算网融合，“端边云”已经成为行业应用部署的基本范式。不论是在云网时代还是在算网时代，边缘计算均提供了“端边云”高效协同数据处理能力，端侧主要负责数据采集，边侧主要提供边缘数据分析处理，云侧负责集中式管理以及部分数据处理。

以提供边缘计算核心能力为目标，充分发挥边缘计算的融合创新赋能作用，各类边缘计算技术正在不断地创新演进。以云边协同、计算卸载、边缘原生等为代表的边缘计算核心技术，一方面将延展

边缘计算的赋能范围，加速边缘计算与更多技术的融合创新，另一方面将提升边缘计算的赋能能力，满足 ICT 技术应用/服务的高效运行需求。

（1）云边协同技术

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。在资源协同方面，云边协同的作用之一，根据可用资源和资源需求，完成业务的部署、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。云边资源协同在具体落地的形态上，根据运营商边缘、云边缘和工业边缘三种不同模式，和中心云的交互也有一定的差异实现。运营商边缘实现的是 MEC 通信级别机房和中心云的互通，一般通过专用网络方式实现；云边缘是 IDC 互联网机房和中心云的互通，一般通过 SD-WAN 模式实现；工业边缘是单体网关和中心云的互通，一般通过普通互联网实现。

在数据协同方面，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；在安全隐私方面，边缘侧在接收到敏感信息或隐私数据后，执行数据脱敏过程，把结果上传至云端形成样本积累，通过大量样本学习，提高迭代效率。边缘侧还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。

在服务协同方面，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，满足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。

在应用协同方面，通过“端”、“边”、“云”三者的有效协同，实现各类应用的业务数据分发和应用请求调度。其中，端与云的交互实现设备集中管控、请求精确调度，边与云的交互实现计算存储下沉、应用自动注册；端与边的交互实现文件快速交付、边缘服务发现。

（2）计算卸载技术

计算卸载技术是指计算密集型任务从计算资源受限的计算环境卸载到有满足算力资源需求的计算环境中执行，具体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。其中，卸载策略和计算资源分配策略是计算卸载的核心。

卸载策略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，包括：最小化执行时延的卸载决策、最小化能量损耗的卸载决策等。计算资源分配策略主要是通过资源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分配计算资源，包括单节点资源分配、多节点资源分配等方式。

（3）边缘原生技术

边缘原生技术是由 5G 确定性网络产业联盟（5GDNA）、EdgeGallery 开源社区、边缘计算产业联盟（ECC）和工业互联网联盟（AII）共同提出，该技术是云原生技术向边缘侧的演进，主要技术包括：以边缘侧 5G 网络能力开放为特征的边缘服务、基于云边协同和边边协同的边缘网格技术、面向复杂场景跨网络的边缘编排技术等。

（4）异构计算技术

在边缘计算环境中，海量的端侧设备与包含 CPU、GPU、FPGA、TPU 等不同计算架构的边缘计算基础设施共同构成了极度异构的计算环境。异构计算技术在异构硬件资源的基础上，构建异构计算平台，充分发挥各类计算硬件的优势，提高算力资源利用率。为了实现不同计算硬件的统一调度，业界从两个方向开展技术研究与实现，以云厂商为代表的边缘计算服务商，通过虚拟化技术将计算资源池化，向用户提供算力资源服务；边缘计算硬件厂商，基于自身硬件产品，提出统一的编程模型，为跨 CPU、GPU、FPGA、专用加速器的开发者提供统一的体验。

（5）能力开放技术

能力开放方面从实际的业务场景需求来看，边缘侧不仅需要具备 CT 的能力，还需要具备 IT 能力。因此能力开放技术既应包括边缘计算平台能力的开放，还应包括网络服务能力的开放。

在平台能力开放方面，针对各种垂直行业不同的业务需求提供各类平台能力，包括直播场景下的视频编解码、视频渲染能力，智能制造场景下的视频 AI 处理能力等。在网络服务能力开放方面，可以提供网络及用户信息开放、业务及资源控制功能开放、本地分流、DNS 服务等相关能力。

2.边缘计算与 ICT 技术深度融合,满足行业应用差异化需求

在“边缘计算+”参考模型中，基于边缘计算提供的技术融合创新能力底座，以 5G、AI、高性能计算等为代表的 ICT 技术与边缘计算技术深度融合，形成 MEC、边缘 AI、边缘 HPC、边缘安全等“边缘计算+”关键技术，并面向行业用户提供高效算力、海量接入、安全防护、智能分析等融合能力，通过统一的服务接口，为行业应用提供定制化、差异化服务。

在**边缘计算与 5G 技术融合**方面，边缘计算充分结合 5G eMBB 高带宽、uRLLC 极低时延、mMTC 大连接等特性，将云的能力下沉到移动网络边缘，满足车路协同场景、智能制造场景、智慧能源场景等众多场景，在高通量实时智能分析等方面的处理需求。

在**边缘计算与人工智能技术融合**方面，伴随行业数字转型浪潮的到来，结合边缘计算与人工智能的边缘人工智能技术，将人工智能算法运行在边缘侧，满足智慧交通、智慧物流、智慧水利等众多场景的实时性、本地化的智能处理需求。

在**边缘计算和音视频技术融合**方面，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。

在**边缘计算与区块链技术融合**方面，通过在边缘计算节点上部署区块链服务，既可以为行业应用提供实时的数据存储，也可以提供可信的数据分析和业务执行。

在**边缘计算与安全技术融合**方面，边缘计算节点需要面对海量设备接入，在隐私保护、数据安全等方面面临诸多挑战。边缘计算与安全技术的融合，一方面体现在构建安全可用的边缘计算生态系统，保护边缘计算设备、基础设施、边缘应用等边缘计算架构安全；另一方面，可以在边缘侧提供安全网关、安全检测等各类安全服务。

在**边缘计算与高性能计算技术融合**方面，自动驾驶、数字制造等场景需要在边缘侧提供高性能算力资源与计算架构，满足计算密集型任务的处理需求。于此同时，高性能计算应用上云已成为行业发展的必然趋势，通过在边缘侧和云侧同时部署云化 HPC 应用，将充分满足行业应用灵活、弹性的高性能算力需求。

3.边缘计算技术融合满足行业应用差异化需求

利用边缘计算融合创新平台，MEC、边缘音视频、边缘 HPC、边缘安全等边缘计算融合创新技术，将充分满足行业应用差异化需求，促进边缘计算在各行业领域不同应用场景中应用部署。

智慧石油场景中，“边缘计算+”将重点解决由于油井地理位置偏远，给油井现场、设备的实时管理和监控带来挑战。利用 MEC 的接入能力，结合边缘视频处理技术以及边缘 AI 能力，实现现场级的油井异物入侵、人员行为检测、设备状态监控等业务能力，降低业务成本，保障石油开采过程中人员设备安全。

车路协同场景中，利用“边缘计算+”提供的边缘 AI 能力，实现道路与车辆相关信息的实时智能分析；通过 MEC 技术实现车-路、人-车、车-车之间的高速信息交互；通过边缘 HPC 提供的强大算力，实现对外部环境突发情况的及时响应。

视频点播/直播场景中，利用“边缘计算+”提供边缘音视频技术实现包括转码、合流、切片等在内的视频流边缘处理，直播流可以就近分发、就近访问，减少网络传输时延，降低网络带宽成本，提高用户的服务体验。

智能园区场景中，利用边缘计算+区块链技术，可以实现园区内监控视频的本地存储与视频存证，保证视频数据的真实性和可信度。另外，利用边缘 AI 技术，可以实现智能化的车辆识别，降低安保压力。

无人零售场景中，边缘 AI 技术提供的智能化数据处理能力，满足货品监测、收银记录、人员识别等多个无人零售核心业务需求。在基础设施方面，利用边缘 HPC 技术，提供优秀的性能功耗比，令计算密集型 AI 应用运行于低功耗的设备中，满足业务场景对性能和

功耗的苛刻要求。

此外，“边缘计算+”所提供的融合创新能力还可以广泛应用于智慧医疗、智慧电网、智能制造等多个领域，满足更多场景数字化、网络化、智能化的应用需求。



三、“边缘计算+”关键技术能力

（一）边缘计算+5G

多接入边缘计算（Multi-access Edge Computing, MEC）技术是边缘计算与 5G 融合的代表性技术^[3]。该技术将云的能力下沉到网络边缘，结合 5G eMBB 高带宽、uRLLC 极低时延、mMTC 大连接等特性，移动通信网络将更多的应用到垂直行业，越来越多的数字化场景将可能被解锁。边缘计算兼顾成本和性能的优势，通过将终端算力后移到边缘，云端服务下沉到边侧，可以有效降低终端成本，减少传输带宽占用，降低业务时延，提高业务数据安全^[4]。

1. 应用场景与需求

边缘计算的业务场景、部署环境、承载的应用需求都与传统云计算不同。通常边缘节点都是小规模部署，算力、存储、网络等资源相对于云数据中心有着各种各样的限制。给边缘平台如何降低系统资源开销，以及如何合理、高效的利用有限资源等方面带来挑战。另一方面，边缘计算集群部署的机房条件（空间、温度、湿度等）通常参差不齐，有些环境条件非常恶劣，运维人员无法在平台出现故障时及时到达或进行定期巡检维护，这也对边缘计算平台的可靠性、可用性提出了非常苛刻的要求。

在网络端，边缘计算平台需要能够实时感知 5G 网络的状态，用

户设备的状态，以便利用这些信息智能化完成例如流量切换、QoS 规划等，进而优化网络性能，提升用户体验。在 5G 网络时代，伴随着超高清视频、VR/AR、智能安防、远程医疗等智能应用下沉到边缘处理，在带来对人工智能算力高需求的同时，如何充分利用终端设备、边缘节点和云数据中心的资源，优化人工智能模型的整体训练和推理性能，来构建更为高效的机器学习模型，也是当前边缘智能面临的问题之一。

■ 车路协同无人驾驶场景

城市道路交通智慧化的实现，需要基于 5G 通信、边缘计算、传感器探测等技术，实现人、车、路、环境等要素之间的大协同，这种大协同首先需要从车路协同(5G-V2X)的建设开启。车路协同(V2X)的核心在于实现车辆与车辆、行人、基础设施、云端等万物的互联，能够感知外部环境，助力下一代自动驾驶，实现实时监控，进一步缓解交通环境拥堵、提高道路交通安全。

车路协同场景中边缘计算平台通过对路侧设备包括摄像头、雷达产生的数据进行边缘端的 AI 推理分析，实现车-路、人-车、车-车之间的实时高效的信息交互，为交通参与者提供全方位可靠的的交通信息。通过视频流进行 AI 智能分析，辅以雷达测距，将道路参与主体（人、车、非机动车）的状态、速度、方向、位置等信息进行检测，并采用轨迹跟踪、行为分析、事件触发、违规检测等技术，在智慧交通领域形成广泛应用。

■ 工业边缘物联网大数据场景

智能制造离不开智能装备的支撑，包括高级数控机床、配备新型传感器的智能机器人、智能化成套生产线等，以实现生产过程的自动化、智能化、高效化。从 2015 年到今天，国内机器人装机量从 25 万台猛增长到 100 万台。大量的智能装备的运维和管理离不开工业物联网体系的支撑。通过智能制造物联网平台，将机器、设备、人员这些真实的物体进行联结，通过边缘计算就近提供边缘智能的服务，对设备进行集中管理控制，实现智能化生产、个性化定制、网络化协同。

工业物联网大数据平台的建设离不开强大边缘计算和 4G/5G 网络环境。边缘计算平台提供了高性能流式分析工具实时判定设备的故障告警，数据清洗、去重和实时计算等预处理秒级响应。物联网平台支持有线网络、4G/5G 无线网络、串口转网口等多种网络连接环境。

■ 智慧石油场景

我国几大石油企业正在开展“减员增效”改革，积极试点 AI、5G、边缘计算、数字化等技术在整個业务流程上的应用。石油的边缘端场景主要集中在众多偏僻郊野的采油井上，现阶段石油客户对边缘计算+5G 的需求主要在油井现场的管理、油井设备智能化管理以及油藏智能监控等方面。

油井现场管理。油井侧部署的摄像头所采集的视频数据接入 AI

盒子中，实时分析，大量数据边缘卸载，只传回部分分析结果数据，降低数据传输带宽需求。包括油井异物入侵实时监控、工人现场行为监测等；

油井设备智能化管理。传统模式下，为保证作业现场设备正常运行，每 3 小时需要对设备进行巡检。通过在油井上部署 AI 盒子，部署相应的算法模型，对接入的设备运行数据及传感器传回数据进行实时分析，监控设备运行状态，减少人工巡检工作量。

油藏智能监控。通过机器视觉技术，对井下石油的渗出情况进行判断，将传统管控模式升级为智能管控模式，实现油井液量的智能计算、抽油机井智能自主间抽、注水井智能调控等。油井抽油机主要是电力驱动，耗电量大。智能自主间隔抽油后，降低了抽油频率，据客户测算，单口油井能节省 80% 的电力开支。

■ 智慧电力场景

电力行业目前边缘+5G 场景很多，包括变电站、输电线路等。目前主要应用方向集中在人工智能图像、视频识别应用上，客户对边缘计算的需求目前主要在输电线路图像识别（无人机/直升机/可视化）、安全行为智能分析、配电站房监控、能源语义搜索等方面。

针对配电站房和变电站等无人值守环境，研发越界检测、表计识别、设备状态识别、安全帽及工服检测等模型，应用边缘计算+5G 实现监控视频的准实时边端检测。

针对电力系统施工现场作业监督需求，研发人脸识别、安全帽

检测、闯入识别、吸烟识别、滞留识别等模型，实现对电力施工现场的安全管控。

2.技术架构

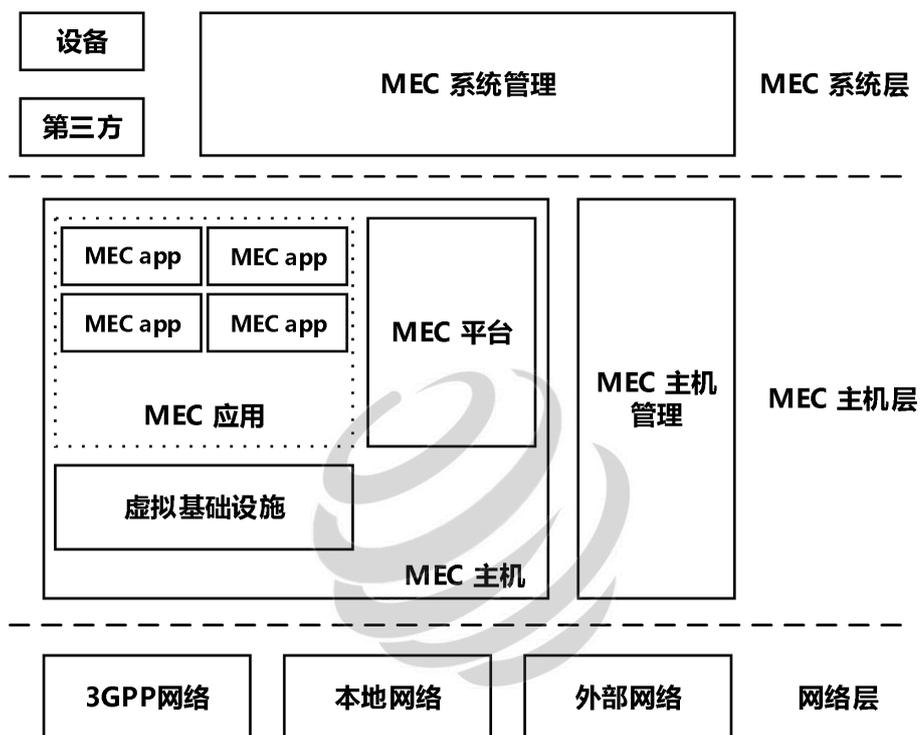


图 2 MEC 参考模型

由图 2 所示，MEC 参考模型主要分为网络层、主机层和系统层三部分。

- **MEC 网络层**由各类有线、无线网络组成，实现 MEC 主机与外界的高效连接。
- **MEC 主机层**由 MEC 主机、MEC 主机管理模块组成。MEC 主机又包含了虚拟基础设施、MEC 平台和 MEC 应用三部分。丰富的 MEC 应用将运行于虚拟基础设施上，为边缘用户提供不同

的边缘服务。虚拟基础设施资源为 MEC 应用提供了虚拟计算资源、虚拟存储资源和虚拟网络资源。MEC 应用之间依靠 MEC 平台上安装的转发规格进行流量转发。MEC 主机管理主要包括 MEC 主机的资源管理和应用管理。

- **MEC 系统层**负责 MEC 全局系统资源的管理、第三方或者设备的请求处理。

当海量用户通过网络层接入边缘计算系统后，主要由运行在 MEC 主机上的不同边缘应用处理边缘用户请求。当前，边缘计算解决方案主要通过虚拟机或容器的方式运行边缘应用，实现不同边缘应用之间的资源隔离。因此，边缘应用利用虚拟基础设施提供的虚拟资源，针对海量边缘用户请求的处理效率，决定了整个边缘计算系统能够满足低延时和海量接入的需求。

MEC 主机层的硬件基础设施主要包括服务器上的计算、存储、网络等设备，以及作为人工智能算力承载的 GPU 设备也包含在内。虚拟基础设施通过虚拟化技术形成一个对外提供资源的池化管理，支持轻量级计算虚拟化技术；分布式存储提供了多副本的数据存储机制；网络虚拟化将 IP、虚拟网卡、分布虚拟交换机、VLAN、VxLAN、虚拟防火墙等资源进行整合；5G 数据转发面提供 5G 网络流量的本地分流；GPU 虚拟化技术则实现了显卡资源的按需分配；

MEC 平台在对资源进行有效监控管理的基础上，实现资源编排以及一键部署，满足业务系统的快速运行；实现了镜像管理、本地

分流、带宽管理、负载均衡、网络感知等服务；同时支持弹性扩缩容，满足系统可伸缩性需求；边缘高可用有效保证了服务的不间断运行；另外，支持第三方业务接入，在运营商和具体业务间无缝对接；支持运维管理自动化。

MEC 平台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。同时平台的高可用功能可以从不同维度以及高可用需求对平台运行服务提供不同层次的高可用保障。

3. 典型案例

■ 机器人联网监控和预测维修案例

在工业互联网的推动下，以设备为核心的智能制造物联网平台兴起。边缘一体机搭配上层数据分析系统，能够高效地收集和分析设备产生的大量数据，盘活 IoT 的数据价值。

如图 3 所示，在汽车主机厂内搭建机器人联网系统，可以有效实现工厂的监控和预测维修。工厂仪器通过网络将设备数据，如状态信息、统计信息、结果信息等，实时传送至边缘计算平台。边缘计算的一体机设备利用其靠近应用现场的优势，快速汇集一定区域内的数据，运用数据分析平台内的预训练算法对该类数据进行处理和解析。连接不同终端机器的边缘一体机将处理后的数据汇总，能够统一在数据分析平台上进行晾晒。一方面，用户可以运用汇总信息实现主机厂的监控和运维；另一方面，一体机收集的数据能够用

于训练和调试数据分析平台，保证厂内算法的适配性。

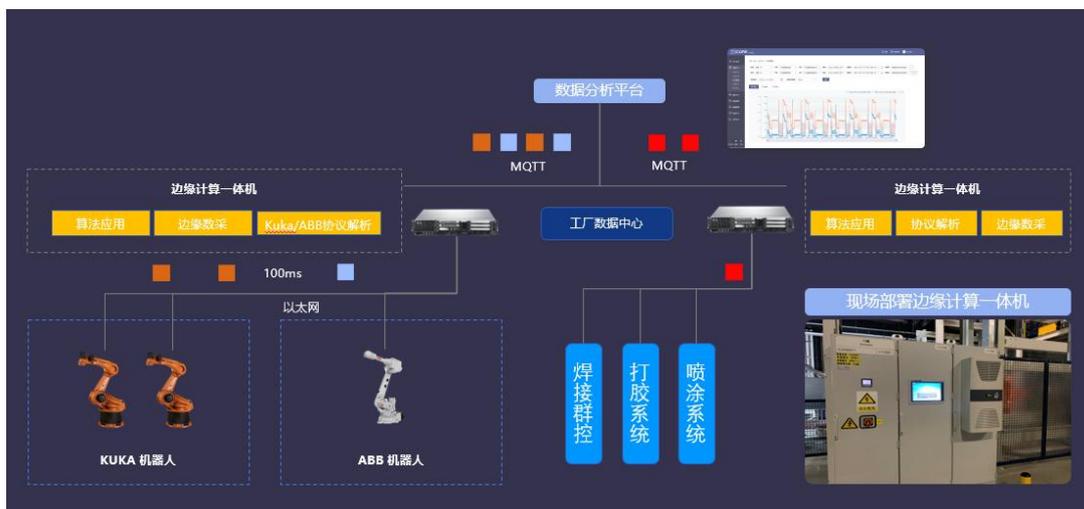


图 3 机器人联网监控和预测维修案例

■ 智慧商超案例

5G+MEC+智慧室分构建云边端协同开放能力,提供面向商超的导航导览和地下停车场定位导航等增值服务。方案提供部署于网络边缘、基于 X86 软硬一体化、开箱即用的 MEC 微数据中心整体解决方案。包括边缘定制服务器、轻量级虚拟化基础设施(IaaS)、资源及应用编排层(PaaS)、MEC 能力开放服务和标准接口,如图 4 所示。



图 4 智慧商超案例

■ 智慧园区

随着园区的不断建设，面积、功能不断扩大，园区总体管理、办公环境及应用管理需求需要由 5G、物联网、MEC 边缘计算，搭载各类智能终端设备，形成一体化方案构建智慧园区。MEC 边缘计算以微型 ICT 数据中心下沉到 5G 网络边缘，为园区提供紧贴园区用户、低时延、高带宽、高可靠的园区综合管理、云协同办公和云存储等园区智能服务，如图 5 所示。

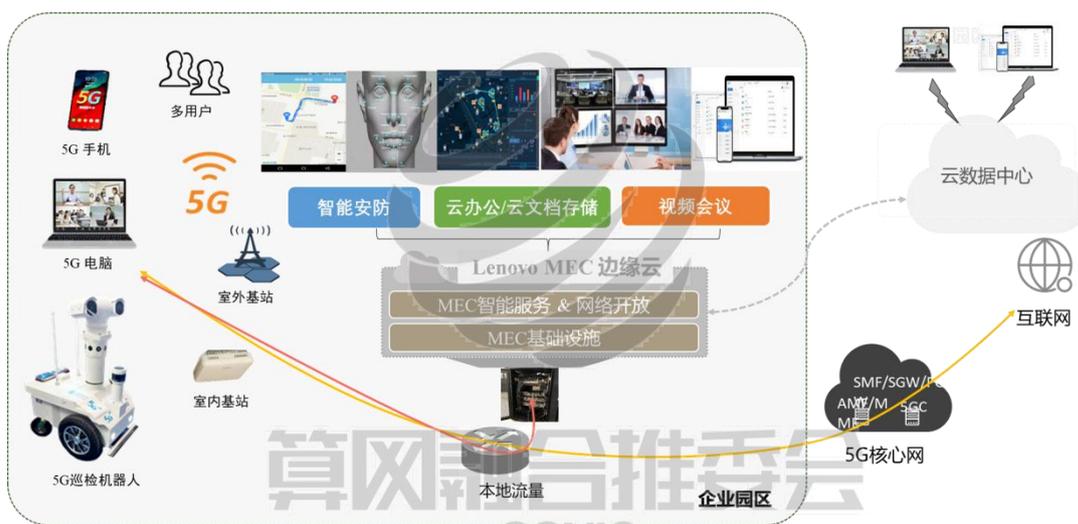


图 5 智慧园区案例

■ 车路协同

V2X（Vehicle to Everything）车路协同不仅是发展智能交通的关键技术，也是边缘计算的典型应用场景，具有设备多、分布广、网络复杂、低时延等典型边缘计算特点。边缘计算凭借海量边缘节点统一管理、云边协同、边缘节点自治、边缘集群轻量化、智能监控等杀手锏技术实现了路侧众多边缘设备的统一纳管，为 V2X 车路

协同提供了可靠、实时的本地能力支撑，保障了智慧交通的快速落地。

■ 智慧矿山

在边缘计算+5G+智慧领域，实现了 5G 智能边缘计算的本地化部署。

基于 5G 的大带宽、低时延和高可靠通信能力和边缘计算的智能调度、智能运维、自动化部署等特性，能够实现 AI 场景化服务到 5G 网络边缘的高效部署和毫秒级的计算任务响应，为矿卡车辆的无人驾驶和采矿设备的无人操作，以及矿山生产运营、调度的自动化管理提供支撑。

(二) 边缘计算+人工智能

在 5G 浪潮的驱动下，智能设备、自动驾驶、VR/AR、智能制造等对于实时性、本地性有着较强需求的场景日益丰富，通过边缘计算可以有效提升用户体验^[5]。但是，随着强实时数据量的迅速攀升，且数据形态更加多元，边缘计算面临的技术挑战更加复杂。在这一趋势下，融入 AI 能力的智能边缘计算应势而起。通过人工智能技术和边缘计算技术相融合，使人工智能算法运行在能够进行边缘计算的设备上，不必连接到云平台，从而保证数据处理的实时性、本地性。

1. 应用场景与需求

■ 智慧交通场景

利用边缘计算+计算机视觉技术对视频信号进行处理、分析和理解，在不需要人为干预的情况下，通过对序列图像自动分析，对监控场景中的变化进行定位、识别和跟踪，并在此基础上分析和判断目标行为。

目前，智能视频监控系统可以有效完成行人行为、车辆行为、道路设施状态、交通环境状况等信息的实时自动监控，为道路安全运行与危险情况营救提供必要的技术支持。主要表现在：1) 准确判断车辆的驾驶行为，实时掌握车辆超速、车辆逆行等交通违章现象并及时处理；2) 就车流量、车速、交通拥堵等进行分析和预测，实时显示道路运行信息，自动完成拥堵、畅通等级的划分；3) 迅速评估火灾、急救、道路烟雾等突发事件紧急程度，为应急救援车辆规划最佳路线，同时快速为周边车辆传播突发危险信息。

■ 工业 AI 质检场景

计算机、通信、消费类电子等 3C 产品通常对精密度和外观要求非常高，而微小结构件检测产量大、人力耗用巨大，缺陷类型多、数据无法收集，人工检测已经成为制造业效率提升和成本降低的瓶颈。工业 AI 质检解决方案中通过边缘计算技术能够对 5G 传输来的数据做到实时分析处理，保障工厂生产效率的同时实现无人化质检。通过机器视觉+人工智能深度学习算法能够处理很难提取的特征如产品表面的细小瑕疵，同时能够消除由于拍摄、光源、对焦等一系

列问题，带来的影响。

■ 智慧物流场景

物流行业的边缘场景在于各级物流仓，目前 AI 在物流行业应用的主要场景集中在仓储的现场管理。其实现途径是以高清摄像头为硬件载体，通过计算机视觉技术监测并识别仓储现场中人员、货物、车辆的行为与状态。可分成两类：1) 仓内现场管理。针对仓内工作人员的行为进行实时监测，识别并记录暴力分拣、违规搬运等容易对货物、包裹造成破坏及损伤的行为，采集行为实施人员的相关信息等；2) 场院管理。包括车牌识别、车辆时间判定、装载率识别、能效分析等。

■ 智慧水利场景

智慧水利检测平台方案，通过水质监测仪采集的数据进行水质监测、水污染管控、水位监控、可疑人员监控等全业务应用，可将业务应用的数据进行统一化管理，通过感知设备到边缘设备再到中心平台进行三级系统协同分析，同时实现端侧快速响应，解决后台集中业务处理负载重的问题，并实现感知设备的监控，实现水质、天气、环境外在入侵全方位感知，全场景数据采集。

■ 智能设备场景

智能设备指任何一种具有计算处理能力的设备、器械或者机器，如智能送餐机器人、智能语音助手、智能电视、AI 智能音响等等。智能设备主要依赖于基于语音的用户接口，同时引入视觉技术成分。

以机顶盒和数字电视为例，诸如自动提供字幕、图像增强以及用户体验提升等功能都有很强的用户需求。从语音的角度来看，设备需要一直处于开启状态，因此需要一种低功耗的解决方案。从视觉的角度来看，由于需要处理大量的数据，它的挑战在于需要高性能。由此，结合人工智能的边缘计算技术，将为支撑以上需求提供高效的解决方案。

■ 自动驾驶场景

自动驾驶是智能边缘计算的典型应用场景之一。自动驾驶汽车必须不断地扫描周围的环境并评估行驶情况，根据突发事件对其行进轨迹进行校正。这些情况具备很强的实时数据处理需求，通过边缘计算+人工智能技术的融合，在车载端搭建智能边缘计算系统，负责数据的存储、处理和分析，保证数据处理的实时性。

■ VR/AR 场景

高质量的 VR/AR 内容是促进行业消费和市场壮大的要素之一，只有具备强大的计算能力和图形处理能力才能满足高质量的 VR 内容渲染要求。VR/AR 服务提供商能够在云上对内容进行实时管理，对不同消费等级的用户提供差异化服务体验，并在更加靠近用户的位置提供音视频的渲染能力。特别在 AR/VR 场景中，边缘计算的引入可以大幅降低 AR/VR 终端设备的复杂度，从而降低成本，同时通过结合 AI 技术强大的图形分析、图像渲染能力，整体提升用户体验，促进整体产业的高速发展。

■ 智能制造场景

在智能制造领域，随着物联网的发展，制造业已经发生了革命性的变化，许多研究表明，到 2020 年有超过 500 亿台设备连接在一起，预计每个工厂每天收集的数据点将超过 14.4 亿，这意味着对连接性、计算能力、服务速度和质量等方面有着前所未有的需求和期望。边缘计算正是充分利用物联网终端的嵌入式计算能力，并与云计算结合，通过云端的交互协作，实现系统整体的智能化，通过在现场侧部署边缘计算智能网关实现本地数据采集，并进行数据过滤、清洗等实时处理，在边缘侧部署边缘计算平台，预置多种视频智能分析等 AI 算法，提供智能化运算能力，通过人工智能技术进行安全监控和识别，从而促进实现制造业的智能化发展。

■ 智慧园区场景

部分产业园区业态复杂、人车混杂，有大量非营运车辆进出，对园区的安全保障造成威胁。通过在园区出入口安装摄像头，将视频输入边缘 AI 一体机，识别进出车辆的车牌、车型，与营运车辆数据库信息进行比对，快速识别非营运车辆和危化车，及时采取拦阻等处置措施，将强化园区车辆管理，降低安保压力。

■ 智慧交管场景

城市交通路口存在大量的车辆、行人违章行为，部分城市因警力不足，无法在每个路口都配置交警和协警，造成路口交通秩序难以及时管控。通过在交通路口加装 AI 盒子，将摄像头视频数据接入，

快速识别违章停车拉客、行人走快车道等违章行为，并通过现场大屏和音响设备进行劝阻，可大大降低交通管理压力，确保人车出行安全。

■ 智慧应急场景

一般应急管理应用场景需要即时反应和处置，需要将人工智能能力下沉到边缘，计算后实时将结果进行反馈，实时处置。例如在举行某项活动的时候，加入人员识别+计数器，发现人员密度较高，可以及时触发进行现场提醒：本场地人流密度过大，请大家有序进出。同时将人员密度高结果发送云端。

2. 技术架构



图 6 边缘 AI 参考架构

如图 6 所示，边缘 AI 参考架构主要分为边缘计算基础设施、边缘平台和智慧应用部分：

■ 边缘计算基础设施：为边缘计算平台和边缘 AI 平台提供基

础算力资源和接入能力。基础设施硬件方面，提供了边缘 AI 所需的 GPU、FPGA、TPU 等加速硬件，确保 AI 算法的高效执行。此外，边缘计算基础设施还提供了计算、存储和网络的资源管理能力为 AI 平台提供弹性的运行环境。

- **边缘平台：**该层既提供基础的边缘计算平台服务，包括：镜像管理、接口管理、边缘自治、边缘虚拟机、边缘应用等平台服务，也提供面向 AI 开发、加工和应用的一体化软件平台，实现一站式的 AI 开发与计算，包括数据处理、算法开发、模型训练、模型部署都可以在平台上完成。
- **智慧应用：**利用边缘平台提供的基础边缘计算服务和 AI 服务，面向园区、质量检测、设备运维、交通、医疗等应用场景，构建业务所需的边缘智能应用。

3. 典型案例

■ 工业视觉质检方案

在服务器、计算机等硬件生产过程中，服务器组装、质检等环节主要依靠人工操作，前一生产环节完成后通过 AGV 小车自动运输到下一生产环节，形成一套完整的生产线。服务器组装完成后，通过 AGV 小车自动运输到 PQC 班检台，通过扫码枪人工扫码获取该型号服务器检测项（看板显示质检内容），员工根据检测项对服务器进行相应检测（整个检测过程持续几分钟），检测通过后，拍照留底（三张照片，上方、前后侧），如检测到缺陷则人工处理通过后再拍照留

底。PQC 班检内容包括核对机器配置、看下线缆是否安装到位、线缆/板卡/内存安装位置是否正确、标签粘贴是否正确、散热器安装是否正确等。简单来说，在生产过程中，散热器在组装时存在正反面装反的情况、部分 CPU 存在弯针问题、标签及 logo 错误、主板螺丝数量不足以及设备划伤等情况，通过人工检验效率低、长时间存在视觉疲劳、容易误判。

针对以上需求，计划通过 5G+边缘计算+人工智能技术，利用散热器现有正反面区分标识进行自动判别，对常见 CPU 弯针情况进行检测与识别以及对标签、logo、主板螺丝数量、划伤等情况进行自动化识别与检测，减少硬件故障率，提高质检效率，提升工作质量与自动化程度。

如图 7 所示，通过 5G 网络基础设施，在边缘侧搭建 5G 工业质检平台，利用视觉检测技术实现产线的智能质检，提升质量稳定性和质检准确度。通过云端协同管理系统在边缘节点侧的调度协同、数据协同与中心云侧的调度协同、数据协同相结合，提供的云端训练及分发算法、边端计算及应用，满足各类质检场景需求。

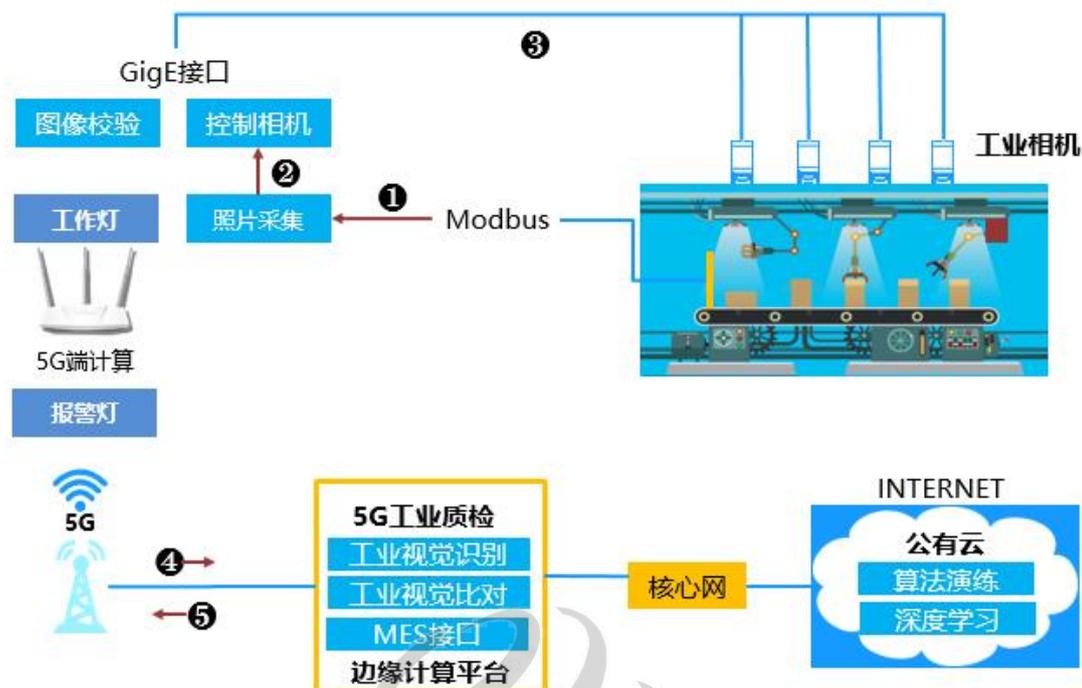


图7 工业质检典型场景部署架构

基于5G、AI、边缘计算、机器学习等新兴技术，结合某产业园K1工厂服务器等产品生产制造过程中面临的实际问题，打造集数据采集、数据传输（5G网络）、缺陷检测、质检结果反馈、展示与统计等全流程贯通的5G+工业视觉质检平台，自动识别检测K1工厂在生产服务器等硬件产品过程中风扇装反、标签遗漏等情况，有效解放人力，提高质检效率、提高生产效率，提升产品合格率，提升工作质量与自动化程度，助力工厂数字化转型升级。

■ 期货交易所仓库运营管理方案

在期货交易所仓库场景中，交割物品仓库的监管业务存在交割物品仓库地址分散且多为第三方运营，人工巡检难度大成本高；人工巡视下仓库内部的异常状况不能被及时发现，安全性难以保证；

仓库管理人员对交割物品的行为操作方面，常用识别模型准确率低等痛点问题。

面向交割物品仓库的智能化监管方案，利用边缘计算平台，结合人脸检测和识别、人员动作识别以及库内场景状态识别等计算机视觉技术，建立面向金融仓库的智能化监管应用产品。为了实现管理人员对交割物品的拆解、搬运等动作行为的精准识别，将视频行为的图像和光流的融合信息作为神经网络的输入，并根据实际场景的数据不断迭代，得到具有较高动作识别的高精度模型。此外，根据仓库内提取到的场景状态信息，可以识别明火烟雾等异常状态，如图 8 所示。



图 8 期货交易所仓库运营管理方案

面向交割物品仓库的智能化监管方案将提升监控的效率，在边缘端即可完成事件警告和分析，取代人工的巡查，整体仓库运营成

本同比下降约 30%。于此同时，通过融合光流图像的深度学习模型，仓库内人员操作动作识别准确度可达到 98.4%，比通用的单帧图像效果提升约 8%，可大大提升仓库监管质量。

■ 建筑工地人员行为分析方案

在建筑工地场景中，作业穿戴不规范的施工人员进入危险区域无有效提醒手段，事故发生几率高；监控摄像头安装位置随着施工进度调整频繁，关键监控区域难以随之动态调整。通过人员方式逐一排查，不仅操作难度大而且处理不及时。



图 9 建筑工地人员行为分析平台

如图 9 所示，结合人员属性智能分析的模型积累，基于边缘 AI 的建筑工地人员行为分析平台实现了该场景下施工人员的安全帽佩戴，反光服穿戴检测和识别。当施工人员进入危险区域如：禁行区域、塔吊下方等区域时，可及时预警通知相关人员。针对工地摄像

头安装位置频繁调整导致的关键监控区域难以延续的痛点问题，实现了目标区域的可视化配置，用户每次调整后只需进入平台手动绘制关键区域即可，全过程可视化交互，简单易用。

该平台通过部署在工地现场的边缘计算盒子，接入监控摄像头后即可进行 24 小时智能监控。当识别危险事件时，可将告警消息及时转发监控中心，以可靠预警超过 100+次危险事件，有效降低事故发生率。

■ 生产工艺流程优化方案

工艺流程的参数根据经验输入，目的是为了最终化工产物产量高而稳定，但工人轮替导致化工产物波动大，流程中的损耗大。利用边缘 AI 技术，由传感器收集各道工序的数据，在边缘计算平台中对数据进行系统性的清洗、特征分析与预处理，利用领域知识与 XGBoost 等算法，构建混合模型进行产量预测，并根据模型结果对整个工艺流程进行优化，实现工艺流程控制的智能化与自动化。

该方案可以帮助企业构建具备领域知识的人工智能工艺流程优化模型，进行实时的模型推演，做到智能化流程管理与优化，实现企业生产收益最大化。从数据角度切入化工专业，为专家经验增添了基于数据的洞见，使得生产工艺优化的尝试有理可循，为未来更多场景的推广探索出一条道路。

■ 设备预测性维护方案

工厂新旧设备“几代同堂”情况时有发生，设备运行状态数据

收集不及时、不完整，因此设备维护工作难以监管，影响设备运转率，降低设备使用寿命。另外，突发设备故障也时有发生，导致生产流程中断，造成生产成本的大幅提升，甚至对生产安全形成威胁。

利用边缘 AI 技术，通过边缘计算平台首先对收集到的振动、温度、压力时序数据进行统计分析，识别潜在的设备故障类型，并进行故障模型匹配。然后，通过原始数据提取特征参量来进行相应的模型构建，对故障做出预判及告警，并进行故障诊断，旨在提升设备监管效率。

该方案不仅可以帮助企业进行数字化转型，建立数据收集体系，做到各类数据实时监控与管理，提升企业生产与运营效率，而且建立了一套完整的设备运维分析体系，避免突发设备故障的发生，保障企业生产效率与收益。

（三）边缘计算+音视频

在全球移动产业迈向 5G 的背景下，以超高清视频、工业视觉、AR/VR 等为代表的音视频应用，借助边缘计算“低时延、高带宽、大连接”的先天优势，满足了各行业对视频业务实时性、视频数据智能化等方面的需求。音视频行业是边缘计算的一个传统且不断创新的重点应用行业之一。音视频的主要特点是其服务具备有高的互动性和实时性，对基础设施层要求低延时高带宽，是与边缘计算匹配的应用行业^[6]。

1. 应用场景与需求

■ 在线视频流量分发技术落后于内容需求



图 10 在线视频流量分发技术落后于内容需求

视频服务商的典型特征是把连续的音频和视频信息放到网络服务器上，用户边下载边观看。因此服务器的带宽和存储就变成了提升用户体验的唯一考量标准。而传统的 CDN（Content Delivery Network）架构服务通过在互联网上部署多个节点，把视频内容推给网络的边缘用户，并根据客户的请求选择到用户最近的服务节点进行服务，从而减轻服务器的压力和骨干网络的带宽消耗，如图 10 所示。

但是随着流媒体的发展，越来越多的自制内容，超高的码率。而 CDN 采取峰值计费，导致成本增速远超过收入增速。因此为使商业模式可持续，就必须显著降低成本。而选择边缘节点通过边缘计算提供服务，既可以满足用户对体验提升的期待，并助力云端产业降本增效达到平衡 ROI。

2.技术架构



图 11 边缘计算音视频参考架构

如图 11 所示，边缘计算音视频参考架构主要分为客户端、实时音视频网络和控制中心部分：

■ 客户端

客户端是指用户发起或接收音视频通信服务的应用端 APP，会根据不同的终端硬件类型集成不同的 RTC SDK 供应用端业务调用 API 实现和其他用户的音视频通信和交互。

- **终端：**支持主流的终端硬件类型，包含 IOS、Android、Windows、macOS、Linux、Web 网页端等。
- **RTC SDK：**提供音视频实时通信的音视频处理和传输能力。
 - ✧ **视频引擎：**实现终端视频数据的采集、编码、处理能力，以及对接收的视频数据进行解码、播放、渲染能力。
 - ✧ **音频引擎：**实现终端音频数据的采集、前处理、编码能力，以及对接收的音频数据实现解码、后处理、播放能力。

- **前处理**是在音频编码前,对采样的 PCM 数据进行回声消除、噪声抑制、增益控制等处理,去除各种干扰,提升声音清晰度。
- **后处理**是在音频解码后,对还原的 PCM 数据进行均衡器、混响等处理,产生各种音效,增强声音效果。
- ◇ **网络引擎**:实现对流媒体在互联网传输中的传输性能和可靠性保证,提供带宽探测、拥塞控制、FEC 前向纠错、ARQ 重传等网络服务能力。
- ◇ **信令**:实现客户端和 RTC 后端服务的信令交互功能,比如用户认证、房间请求、流请求等操作请求。
- ◇ **房间操作**:实现客户端用户创建/加入/离开房间、开始/停止接收媒体流、用户可见性等操作能力。
- ◇ **监控**:实现对客户端 CPU/内存信息、本地发送音视频统计信息和网络状况、接收远端音视频统计信息和网络状况的监控能力。
- ◇ **视频特效**:实现对发布视频的视频特效叠加处理,包括创建/销毁特效引擎、特效素材包、特效强度、颜色滤镜等特效能力。
- ◇ **流管理**:实现本地音视频流发送/不发送、音视频流配置参数、转推直播等管理能力。
- ◇ **消息**:实现房间内用户间点对点、广播消息的发送和接收能

力。

■ 实时音视频网络

基于全国分布的边缘计算节点资源，构建覆盖所有区域用户的实时音视频网络，并实现就近提供音视频控制面和数据面业务接入和服务能力。

➤ **边缘计算资源服务**: 提供实时音频通信服务边缘部署所依赖的基础设施资源服务和管理能力。

- ◇ **边缘计算节点**: 提供覆盖全国各省市和运营商的边缘计算基础设施资源。
- ◇ **运营商专线**: 提供运营商单线、多线和 BGP 专线服务实现互联互通能力。
- ◇ **边缘云操作系统**: 实现对边缘物理资源的虚拟化抽象，以 API 形式对外提供边缘计算资源服务和管理能力。
- ◇ **边缘虚拟机**: 提供 RTC 网络服务边缘部署的虚拟化环境。
- ◇ **边缘网络**: 提供 RTC 网络服务边缘实例的网络互联互通能力。
- ◇ **边缘存储**: 提供 RTC 网络服务数据的持久化存储能力。
- ◇ **边缘函数**: 支持基于事件驱动的边缘托管函数计算能力。
- ◇ **边缘容器**: 提供 RTC 网络服务边缘部署的轻量容器虚拟化环境。

➤ **实时音视频网络服务**: 实现对音视频媒体流的控制、接入、转发、处理等能力。

- ◇ **统一接入网关：**实现对客户端 RTC SDK 发送的控制面/数据面请求的统一接入能力和服务路由能力。
- ◇ **边缘信令服务：**实现对客户端控制面信令请求的本地处理或转发，比如用户认证请求、创建/加入/退出房间操作信令请求、发布/订阅/自定义操作流请求等。
- ◇ **媒体服务：**实现对客户端音视频媒体流的就近接入、转发及边缘云端视频处理能力。
 - **合流：**将本地音视频流和连麦远端视频流本地合流，用于转推直播场景。
 - **录制：**将当前音视频流进行录制，并转录至相应的对象存储，用于点播转录场景。
 - **截图：**针对当前视频流进行抽帧截图，用于内容审核场景。
 - **切片：**针对当前音视频流进行周期性切片保持，用于音、视频审核场景。
 - **渲染：**针对用户终端性能不足场景，可以通过边缘云端 CPU/GPU 资源辅助终端实现高性能特效高算力渲染能力。

■ 控制中心

实现对 RTC 业务的中心统一控制能力。

- **用户管理：**实现对 RTC 用户的身份信息管理，以及请求服务的 Token 管理、分发、认证能力。
- **调度中心：**实现对 RTC 用户接入请求基于 IP 地理位置亲和性、

时延等指标提供最优 RTC 统一边缘接入网关清单，供客户端优选最佳节点接入。

- **配置中心：**实现对客户端、边缘实时音视频服务等模块的统一配置管理和下发能力。
- **中心信令服务：**实现对边缘信令服务异步同步，及跨边缘多节点信令同步能力。
- **监控中心：**实现对客户端、边缘节点、边缘实时音视频服务、网络等资源的数据采集和监控能力。
- **网络编排：**实现基于实时网络时延、丢包率、资源负荷等指标，动态计算 RTC 边缘节点间最佳路由路径，用于指导 RTC 用户边缘节点间快速流拉取和转发。

3. 典型案例

■ 游戏与视频直播

以直播行业某头部客户为例，该直播客户平均月活用户数 1 亿以上，是国内最大的互动游戏直播平台之一，其涉及边缘计算的业务场景主要分两种，第一种是主播网，用于构建主播直播所需网络，第二种是信令系统，主要负责收集处理并发送客户端用户的弹幕内容。

明确该直播客户需求后，在全国多地进行边缘计算节点 UEC 的设备部署，并进行多地运营商节点的测试工作，为客户提供全国性的边缘计算节点和带宽资源，一方面在主播直播推流时，支持就近

推流，实现直播流的分发和就近访问，确保直播低时延，同时降低带宽成本，目前该客户边缘节点网络连接延时小于 5 毫秒，带宽成本下降 50% 以上。

另一方面支持高并发，实现实时弹幕的边缘分发，提升主播、用户双向的直播体验。同时为客户开发了边缘节点的 API（应用程序接口），客户可自行对资源进行管理、扩展，方便运营管理。

■ 边缘 RTC 方案

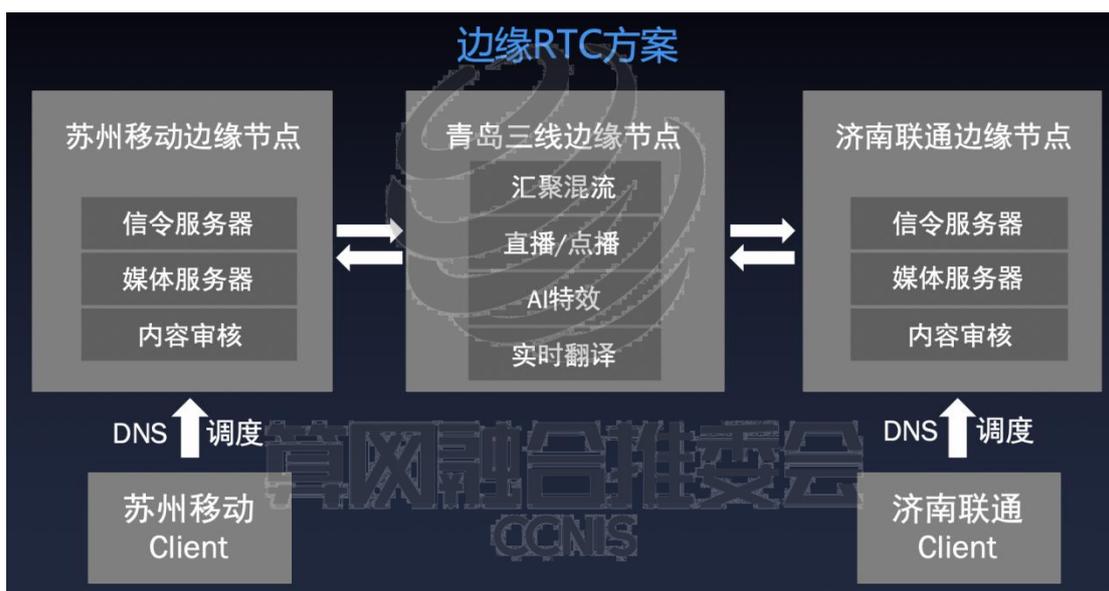


图 12 边缘 RTC 方案

如图 12 所示，在 RTC 场景下，通过把架构从中心打散到每个边缘节点做部署，实现一整套全国式分布式网络的就近接入。通过就近的节点把用户侧的视频流做就近的接入，把接入后的视频流在单线节点做初步媒体和信令层面处理之后，通过三线节点做混流&转发，把整套视频的交互在边缘完成。通过流量的本地卸载，做到整体传

输链路的最优，大幅度提升用户体验；同时也降低中心节点的网络带宽的消耗，卸载到边缘的带宽成本结构上，做到成本的降低。

■ 边缘视频源站



图 13 边缘视频源站

如图 13 所示，在边缘视频源站场景下，边缘计算实现了主播侧视频流的就近接入，通过边缘计算能提供的计算能力，实现了整个视频流的边缘处理。视频流的处理，包含转码、合流、切片、分析等等一系列业务定义逻辑。视频内容处理完成，可通过 CDN 做到全国观众的分发。若为本地主播上传视频，同时又为本地用户观看，可直接通过边缘节点拉流，形成一整套视频的本地化处理方案。在边缘视频源站整个的场景架构下，边缘计算可解决从内容生产、内容存储、内容加工、内容分发全环节在边缘节点内全闭环处理，帮助 ToB 的企业实现降本增效。

■ 视频安防



图 14 视频安防方案

如图 14 所示，在视频安防场景下，边缘计算提供了一套新型云边端解决方案：在端上侧重于做一些原始数据的接入和轻量化计算。如在摄像头上，包含 AI 摄像头和传统摄像头，接入边缘计算盒子实现很好的计算补充，把更多的计算任务本地卸载。在云边缘侧，支持实时汇聚上行的视频流或者图片流，汇聚后可把 AI 的结构化处理在边缘节点上闭环。同时支持把 AI 任务加工之后，能更实时的返回到端上，形成低延时的交互。而在中心云端，做核心数据的留存，更偏大数据的分析、一人一档的处理。实现云边端的完美协同。

■ 边缘节点与云 CDN 协同

如图 15 所示，边缘节点的业务中台已结合传统 CDN 的缓存架构并进一步发展。可推出 PCDN 与云 CDN 协同的模式，将云 CDN 作为内容提供商分发的源站，而内容提供商仅提供 URL 以及分发参数，PCDN 则自动支持从云端获取、下载、分发视频。在用户观看视频时，

可用原先的 URL 向业务后台发送请求，数据将正常调用 PCDN。如果遇到网络状况较差或者紧急请求，则自动向云 CDN 获取数据，确保用户体验方案能将云与边缘融合，满足用户对内容提供商从云到边缘无缝切换零感受，并可在保持使用原有的 CDN 服务不变的情况下，逐步过渡采用 PCDN 解决方案。

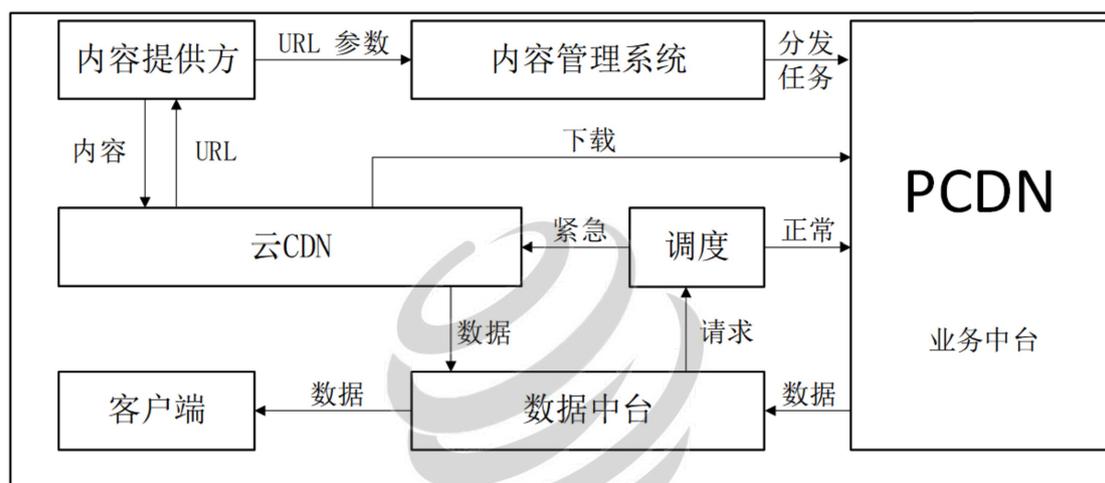


图 15 边缘节点与云 CDN 协同

PCDN 与云 CDN 协同方案应能汇聚边、云计算能力，通过数据采集、大数据分析和智能调度技术，实现按需求灵活调度，将分发内容调度至加速节点，优化终端用户体验；且能广泛兼容海量和存量的边缘计算节点，即具有计算能力的联网硬件设备：家用台式电脑、路由器、OTT 机顶盒，5G 微基站，小区机房等），形成传输技术和供应成本的双重优势，在提升用户体验和服务可靠性的同时，大幅降低网络带宽成本。从功能视角看，该方案应有以下三项核心能力：

➤ 异构资源敏捷编排

PCDN 与云 CDN 的高效协同，需能灵活调度后台内容资源与服务

响应。可基于 Kubernetes（K8s）或定制化容器编排调度平台等，进行对云原生架构的非侵入式扩展，有较为完备的云原生兼容性，支持包括但不限于 K8s Pod、Docker 容器、原生程序、Kata 容器和函数计算等的下发；针对环境异构性，面向边缘侧的 CPU、存储以及网络等特征，设计云边一体化协同方案，实现安全隔离、高资源利用率、秒级弹性、轻运维与灰度发布等功能，支持统一高效编排、业务快速接入，实现敏捷部署。

此外，可将不同的存储抽象成统一的存储资源，采用统一的模式来支持多变需求，强调简单配置与动态布局，将存储介质通过 LVM 合并成一个逻辑卷，提供给任务实例使用，实现存储资源的充分利用以及服务能力的提升。同时，可定制信令通信协议，借助大数据分析平台和 A/B 测试灰度实验论证体系，全方位评价各种调度技术指标，根据平台、服务和资源规模等，敏捷配置调度优化策略。

➤ 自动化交易与运维

可设计一整套经济学的撮合机制，形成循环的聚合拉动模式，并纳入用户和资源供应商，既考虑供给节点的效益，也考虑需求业务的效益，注重服务覆盖的广度和规模以及服务部署的弹性，建立一套交易模型；通过尽可能地复用资源，在异构的业务和异构的资源环境下，同时满足用户和资源供应商双方的要求，形成良性交易循环，从而完成双边经济。

基于大数据和人工智能，实现资源、服务和任务的自动化调度，

使资源在细颗粒度下进行精确调度，提升资源的利用率，大幅降低错误调度与重复调度的发生频率，形成以 IaC 为核心的自动化运维能力；同时，对全网的机房节点和服务器进行自动化监测，在服务器硬件故障发生前可实现提前预警，并调拨任务到该机房节点的其他服务器，以替换潜在故障服务器，从而强化节点资源的稳定性和可靠性。

➤ 底层网络动态调整

一方面，基于动态 SDN 技术构建服务器间的网型架构，在各个服务器节点之间建立一套可自定义服务质量的、高效虚拟的 Overlay 传输网络，使底层网络支持动态调整，在较复杂的网络下兼容于各种异构网络环境，从而能容忍准弱网甚至弱网环境，保障节点间网络传输的质量和稳定性。同时，绕开骨干网与三线互联，在城域网和接入网两个环节打通整个网络，用上层算法协议进行路由决策，基于七层 SDN 有效地避免昂贵的 BGP 带宽费用开销，并提升用户体验。

另一方面，基于一套链路评估机制，运用多维度指标（包括谷歌的 BWE，TTL 以及成本 Cost 等）来评估多路的、单路的、内网的异构节点，考虑节点的历史稳定性。根据以上维度的指标数据，为每条链路进行定期打分；并基于链路打分，对数据进行分片，用不同的链路传输不同的数据，实现并行传输，从而规避因为单路径中断而导致网络异常的情形；此外，借助 RTC 中的 FEC 技术，把数据

切片之后用喷泉码做扩展，构建数据冗余机制，控制传输可靠性和延迟。

(四) 边缘计算+区块链

边缘计算与区块链技术具有广域分布的共性技术特征，两种技术具有天然的亲和性，两种技术的融合可以为行业应用提供高效的可信认证能力。一方面，区块链服务可以利用边缘计算的基础赋能底座，获得边缘侧算力资源与通信能力，提升自身服务能力；另一方面，运行于边缘侧的各类行业应用可以利用区块链服务提供可信的数据信息^[7]。

1. 应用场景与需求

■ 通信设备巡检

在人员日常通信设备巡检中，巡检效率低，成本高，耗时长，通信设备数量多、型号多、品牌多，当巡检工作外包给第三方公司时，就可能会有造假情况的发生。

区块链服务部署在边缘计算节点服务器上，为设备检验提供数据采集、信息登记、设备查询、数据存储、可视化显示等功能，并提供检验数据的全过程追溯，确保检验结果的真实性和可靠性。还可以对巡检数据进行分析，为操作人员提供巡检数据管理服务，从而提高巡检质量和效率。

数据采集目前的方式可分为人工巡检和自动巡检两种。人工巡

检是指：运维人员到巡检现场采集巡检数据，并通过人工登记的方式将巡检信息上传到区块链巡检管理系统。自动巡检是指：部分数据来自安装在巡检现场的相应传感设备，可自动采集并上传巡检指标数据；另一部分数据可以来自现有网络的网管平台，一些设备的巡检数据可以通过巡检管理系统与网管平台的接口交互获得。自动巡检可以有效降低人工巡检的成本，杜绝人工巡检中的造假现象。通过自动巡检，还可以大大提高巡检效率，特别是对于一些偏远地区，人工巡检的成本相对较高，自动巡检可以在不需要运维人员赶往设备现场的情况下完成巡检任务。

■ 行业数据可信处理

边缘计算与区块链共同为行业生产活动的数字化提供高可信、高效率处理：行业多方将长流程业务各方面的生产数据实时传输到边缘云。部署在边缘计算节点上的区块链服务可以提供实时存储，基于可信数据的分析和处理，支持业务的可信执行，解决业务数据处理的带宽、安全性、实时性和高可靠性问题。

新一代数字化技术与传统行业逐步融合带动产业发展，行业活动伴随长流程、多方参与、智能处理与大量数据产生。以航运物流业为例，航运涉及许多参与者，如托运人、海关和航运公司。航运业务纷繁复杂，协同效率低，成本高。需要联系各方实现协同经营，进而重构国际贸易产业链模式。所有这些都需要建立各种数据可信度。又比如，现代农业，智慧农业希望依托传感器采集数据的多样

性，对数据进行智能分析处理，将数据传感、分析、存储和联动一体化，完成远程监测、预警和控制。

■ 视频存证

视频数据通过边缘节点上的区块链存储在本地。当业务端查询数据时，自动完成数据验证服务，业务端可以方便高效地知道数据的真实性。

校园、客运站、商城等区域的监控视频、执法视频等，都是由各单位自行存储，当需要调阅视频时，只能查询各单位自身存储的视频数据，而各单位可能出于对本单位利益的考虑，很可能对视频数据进行删除、伪造等，这样数据就存在造假的隐患，不利于还原事实真相。视频存储的需求通常是在有视频录制方和监管方时产生的，比如总司对分公司的监控或公共安全方面的统一要求等。视频记录的可信度，尤其是长期保存的历史视频的真实性，可能会受到质疑。使用区块链记录作为证据大幅度提高视频的可信度。

2.技术架构



图 16 边缘计算+区块链架构图

如图 16 所示，在“边缘计算+区块链”的架构中，共包括 IaaS、PaaS、SaaS 和运维管理四个部分，其中：

- IaaS 层：位于最底层，负责计算、存储、网络资源的分配和调度，也可为外部区块链系统提供服务器资源；
- PaaS 层：该层中边缘计算平台提供边缘服务能力，区块链平台提供区块链核心支持能力，包括资源申请、区块调用、数据分析、资源编排等，丰富完善了边缘计算能力，通过能力开放框架，共同为各类应用场景提供统一的“边缘计算+区块链”服务接口。
- SaaS 层：是整个系统对外提供的应用服务能力。应用也可使用部署在边缘计算节点资源池外部的区块链。
- 运维管理：提供用户管理、资源管理、系统监控和分析响应

等基础运维能力,实现区块链资源和边缘计算资源的统一管理和监控。

3.典型案例

■ 区块链巡检

保存人工巡检或自动巡检过程采集到的各种巡检数据,并将其哈希值保存到区块链中,以保证数据的准确性。各公司可以通过检验管理系统查询检验结果。

将区块链巡检系统部署在边缘计算服务器上,可以利用边缘节点的资源,涉及多地区的巡检数据上链,与各公司形成多节点架构,把节点部署在运营商云计算平台上,同时就近部署在边缘计算平台上。

■ 行业数据

随着数据传输量、设备数量和数据计算量的快速增加,整个系统对传输带宽、计算量和响应速度的要求越来越高,通过边缘计算可以提供低功耗、低时延、高可用性等服务。同时,利用区块链服务提供多方交互、可信存款、可信执行全过程数据,从而实现对全过程的监控。

将行业长流程业务各环节的生产数据,发送给部署在周边边缘节点上的相关应用,如单据、监控信息、设备实时情况等,借助区块链技术的数据透明性,将信息流程实时链接,数据保存,为流程跟踪和业务追溯(如导航、事故原因等)提供更直观、更详细的数

据支持；边缘计算能力用于对数据进行分析 and 决策，依托区块链的智能合约进行流程管控、触发报警、提供实时反馈，并产生具有双向可追溯性的可靠电子证据等。

■ 视频文件验真

区块链账本存储空间会比较有限，视频文件一般会很大，在设计业务方案和流程时，需要将视频文件的摘要信息上传到区块链存证，而视频源文件则物理地分散在每个单元的原始存储介质上。视频信息包括视频文件的哈希值、文件名、文件大小等信息。可以在生成和存储视频文件的地方安装边缘视频服务软件，例如摄像头和视频服务器，并且可以定期检查视频文件以生成摘要并发送到边缘区块链节点。共识处理后，区块链系统将摘要数据存储于区块链网络上。

业务人员在调取本地视频文件进行查看时，边缘视频服务软件向区块链系统发出一个验真的请求，并用视频文件重新生成摘要信息，如果和区块链上存储的摘要信息高度契合，则表明其为当时记录的视频，没有被篡改，最终将验真的结果反馈给业务人员。

(五) 边缘计算+安全

边缘计算具有地域分布广、算力多元泛在、数据海量异构、接入协议种类繁多等特性，一方面传统云计算环境下的数据安全、隐私防护等防护措施在边缘计算场景下面临诸多挑战，另一方面车联

网、工业互联网等诸多场景，要求在边缘侧部署各类安全策略，保障安全防护的及时性与有效性。边缘计算安全技术融合了边缘计算架构与各类安全防护技术，从边缘基础设施安全到边缘安全服务，体系化构建边缘计算安全防护体系。

1. 应用场景与需求

■ 通信协议存在安全问题

消息中间件或网络虚拟化技术通常被应用在边缘节点与云服务器中，边缘节点与海量、异构、资源受限的现场/移动设备大多采用短距离的无线通信技术，这些协议的安全性面临巨大的挑战。

例如：在工业边缘计算、企业 IoT 边缘计算场景下，传感器与边缘节点之间存在着众多不安全的通信协议（如：ZigBee、蓝牙等），缺少加密、认证等措施，易于被窃听和篡改；在电信运营商边缘计算场景下，边缘节点与用户之间采用的是基于 WPA2 的无线通信协议，云服务器与边缘节点之间采用基于即时消息协议的消息中间件，通过网络 Overlay 控制协议对边缘的网络设备进行网络构建和扩展，考虑的主要是通信性能，对消息的机密性、完整性、真实性和不可否认性等考虑不足^[8]。

■ 边缘节点数据易被损毁

由于边缘计算的基础设施位于网络边缘，缺少有效的数据备份、恢复、以及审计措施，导致攻击者可能修改或删除用户在边缘节点上的数据来销毁某些证据。在企业 and IoT 边缘计算场景下，以交通

监管场景为例，路边单元上的边缘节点保存了附近车辆报告的交通事故视频，这是事故取证的重要证据。罪犯可能会攻击边缘节点伪造证据以摆脱惩罚。再者，在电信运营商边缘计算场景下，一旦发生用户数据在边缘节点/服务器上丢失或损坏，而云端又没有对应用户数据的备份，边缘节点端也没有提供有效机制恢复数据，则用户只能被迫接受这种损失；如果上述情况发生在工业边缘计算场景下，边缘节点上数据的丢失或损坏将直接影响批量的工业生产和决策过程。

■ 隐私数据保护不足

边缘计算将计算从云迁移到临近用户的一端，直接对数据进行本地处理和决策，在一定程度上避免了数据在网络中长距离的传播，降低了隐私泄露的风险。然而，由于边缘设备获取的是用户第一手数据，能够获得大量的敏感隐私数据。例如，在电信运营商边缘计算场景下，边缘节点的好奇用户极易收集和窥探到其他用户的位置信息、服务内容和频率等。在工业边缘计算、企业和 IoT 边缘计算场景下，边缘节点相对于传统的云中心，缺少有效的加密或脱敏措施，一旦受到黑客攻击、嗅探和腐蚀，其存储的家庭人员消费、电子医疗系统中人员健康信息、道路事件车辆信息等将被泄露。

2. 技术架构

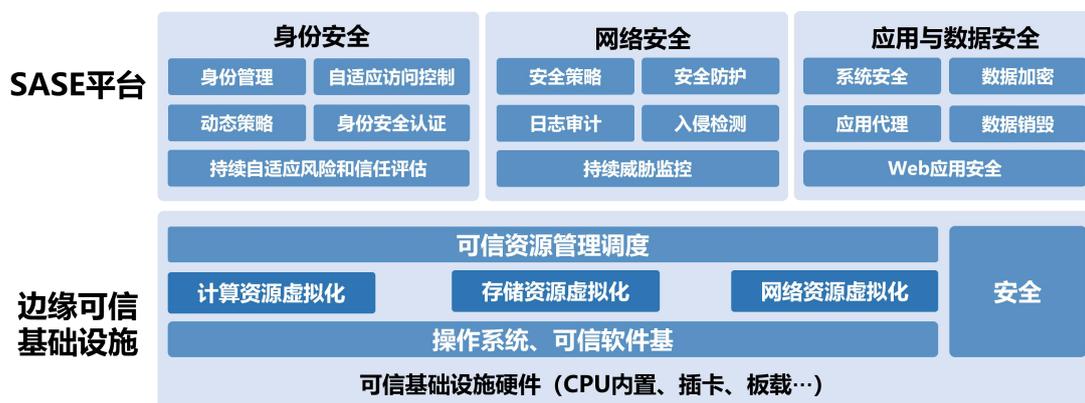


图 17 边缘计算安全架构

如图 17 所示，边缘计算安全架构主要包括边缘可信基础设施、SASE 平台部分^[9]：

- **边缘可信基础设施：**为边缘计算提供可信基础设施硬件，涵盖了 CPU 内置、插卡、板载等多种形式。另外边缘可信基础设施提供了计算、存储和网络的可信资源管理调度能力。可信硬件、软件和资源管理调度系统共同提供了安全可靠的底层基础环境。
- **SASE 平台：**该层包含一个或多个安全环境，提供与敏感数据存储、敏感功能执行相关的各种安全服务。身份安全包括身份管理、动态策略等。网络安全包括安全策略、安全防护、日志审计、入侵检测等。应用与数据安全包括 Web 应用安全、数据加密、数据销毁等。

3. 典型案例

- 无人机安全方案

在无人机安全领域，大多采用边缘部署无人机的方式，由于通信链路的开放性，更容易受到窃听和篡改等恶意攻击。被损坏和控制的无人机可能造成严重的损失。

边缘的无人机使用无人机与卫星、无人机与地面站以及无人机与无人机之间的异步通信链路。这些链路通过承载任务负载实现不同类型信息数据的实时共享。无人机和卫星通信使用全球导航卫星系统(GNSS)信号和气象信息。无人机与地面站之间的通信链路用于传输控制指令和视频图像数据。无人机与无人机的通信是为了实现两台无人机之间的数据传输。对于短距离飞行，无人机只需直接与地面站建立通信即可。对于长距离飞行，无人机需要使用中继机(例如,另一个作为中继器的无人机)来实现无人机和地面站的间接连接。典型的无人机通信链路如图 18 所示。

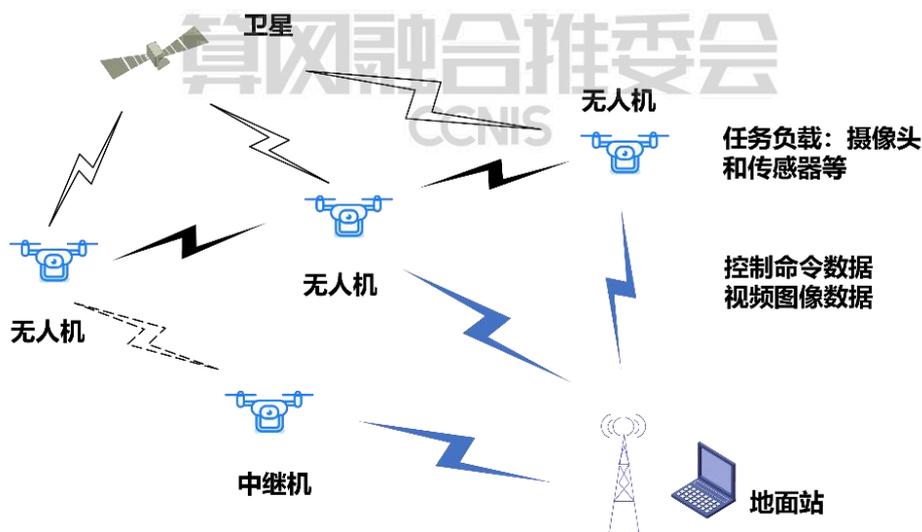


图 18 无人机通信链路

■ 可信电力调度方案

电力调度体系从部署、应用方面与工控终端结合边缘计算的思路深度契合，并且关乎国计民生。如图 19 所示，针对国家电网电力生产调度系统高安全系统防护需求，以可信计算为安全基础支撑平台构建安全体系，通过在硬件上引入可信根，从结构上解决计算机体系结构简化带来的脆弱性问题。基于可信根为核心和信任源点，从平台加电开始，到应用程序的执行，构建完整的信任链，一级认证一级，一级信任一级，未获认证的程序不能执行，从而使信息系统实现自身免疫，构建高安全等级的防护系统，是构建积极防御、综合防范的信息安全体系的关键基础。

该方案采用可信计算 3.0 技术体系，建立新一代电力调度系统安全计算环境，实现电调系统底层基础安全，是有效防止来自未知领域、未知途径、未知方式、未知手段、未知空间攻击的最佳方案。

方案服务于国家电网电力调度系统，使国家电力调度系统达到国家等级保护四级的安全要求，同时符合 GB/T22239 基本要求和 GB/T25070 设计技术要求。

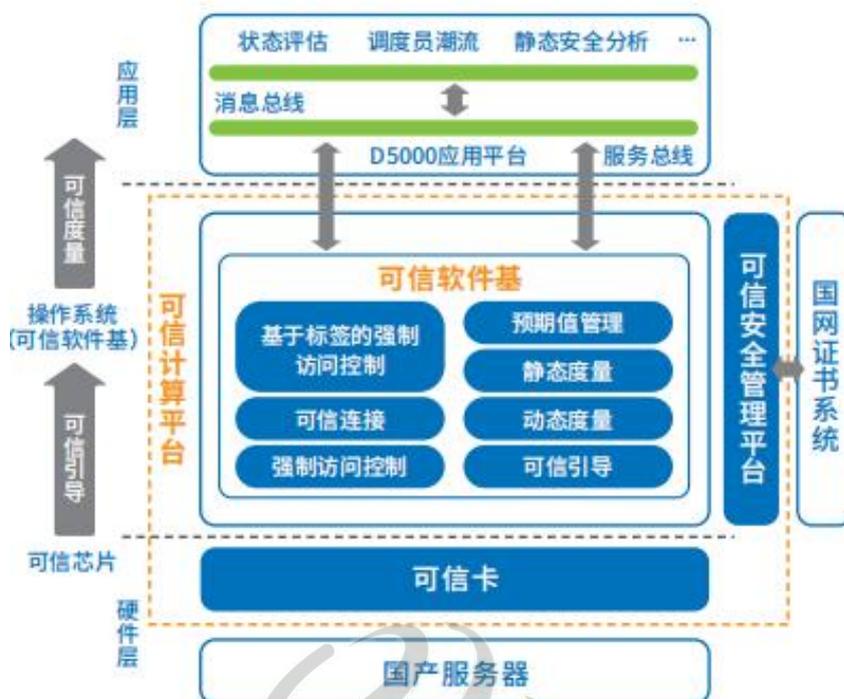


图 19 可信电力调度方案

（六）边缘计算+高性能计算

高性能计算机以超高的计算性能广泛应用于国民经济各个领域，在应对重大挑战性问题，促进传统产业转型升级，提高人民生活水平。高性能计算云已成为一种创新算力服务模式。它侧重提升行业用户算力使用体验，解决传统超算面临的资产投资大等痛点问题，对通用超算和行业超算提供更广阔的应用前景。

在高性能计算云化发展的背景下，边缘计算与高性能计算的深度融合，一方面云化的高性能计算服务从中心走向边缘，可以进一步满足更多业务场景对高效算力的需求，另一方面结合边云协同能力，实现高性能计算云服务能力的扩展支撑。

1. 应用场景与需求

■ 多媒体渲染场景

多媒体渲染是指用软件从模型生成图像的过程。模型是用严格定义的语言或者数据结构对于三维物体的描述，它包括几何、视点、纹理以及照明信息。

随着近年市场需求增长及计算机硬件和图形学的迅速发展，渲染得到了越来越广泛的应用。动画渲染耗费大量时间已经成为影响动画制作效率的一个重要因素，在动画节目制作过程中渲染所需要的时间越来越多；而且当今的影视后期制作也已离不开特效渲染的支持，后期制作部门面对观众愈加苛求的挑战，艺术家们不仅需要在每个项目上追求创新，并且需要解决实现复杂特效的快速工具；即使最绚丽的特效，在交付期结束前若不能递交将没有任何市场价值。

利用传统的 PC 工作站来进行渲染的方式必定无法满足如此庞大的计算量。因此将边缘高性能计算技术引入渲染行业领域构建渲染系统，成为了解决动漫影视制作瓶颈、提高工作效率的必要手段。

■ 生命科学场景

生命科学涉及到高性能计算的领域诸多，包括基因测序、分子对接和药物筛选等，对算力的需求很大，但普遍存在计算资源老化、本地存储资源不足等问题，阻塞科研流程，影响生产效益。

云超算是基于云原生高性能计算的解决方案，协助传统基因业

务更快部署，传统 Cromwell 流程跑在 kubernetes 环境，实现基础资源的高效弹性，适应了基因测序业务量波动的需求。

通过混合云方案实现线下和线上的协同，开发测试和小规模业务在客户自己的数据中心环境中运行，大规模生产业务运行在公有云中，提升了环境隔离和业务弹性能力，大幅提高了业务承载能力的同时大幅降低企业成本。

2.技术架构



图 20 边缘高性能计算架构

如图 20 所示，边缘高性能计算架构主要包括边缘基础设施层、HPC 平台层、应用层和多云互联四个部分，其中：

- **边缘基础设施层**：高性能计算平台提供了运行行业应用所需的基础算力资源，可向上提供虚拟化能力。基础设施层的硬件资源主要包括通用服务器、存储设备、网络设备、超算服务器、高速互连网络、GPU、FPGA、TPU 等各类计算、存储与网络硬件，其中，超算云以超算资源为主，云超算以通用资源为主。资源虚拟化为高性能计算云服务提供了集中化的

资源管理、可弹性的资源调配、较低的运维成本。

- **HPC 平台层：**提供作业调度、高性能算法库、性能监控、集群管理等相关功能，使用统一的任务调度系统实现对边缘计算资源和作业进行统一调度与编排。
- **应用层：**为面向行业用户的门户，在基础的平台服务之外，提供了多种行业场景下的高性能计算应用服务，包括智能分析、能源勘测、设计仿真、基因测序、图像渲染等。
- **多云互联：**主要包括了 HPC 公有云、HPC 私有云、HPC 边缘云之间从资源、数据、应用与服务四个层面相互协同，并在此基础上实现多云接入、异构管理、资源管理等多云管理功能。

3. 典型案例

■ 边缘视频处理加速方案

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 21 所示。

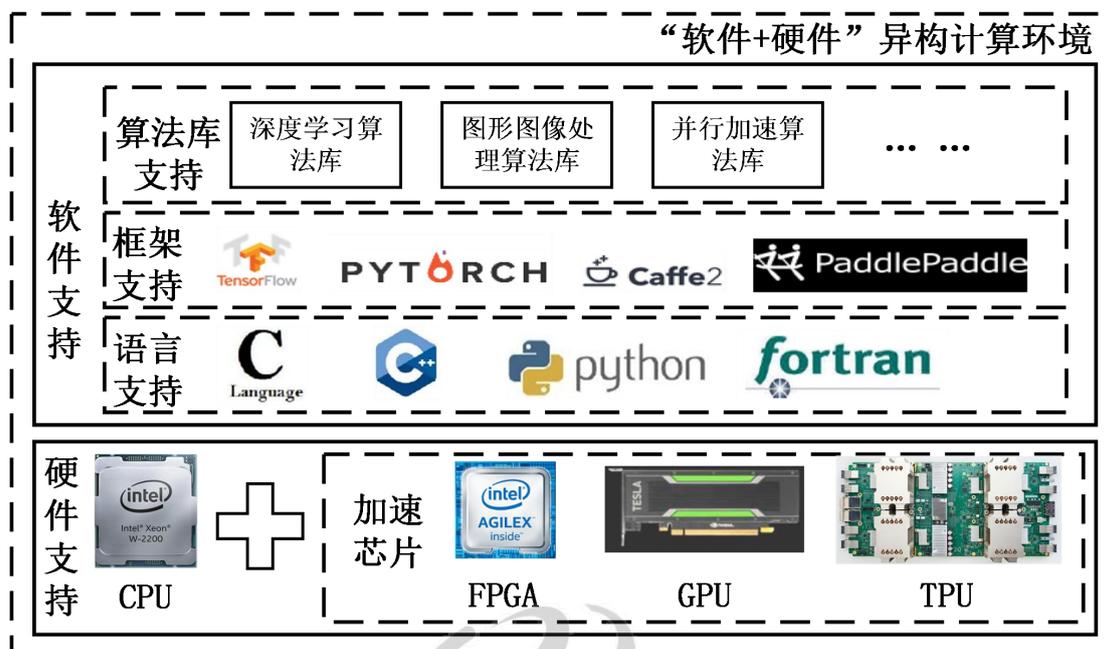


图 21 “软件+硬件”异构计算架构

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。



四、“边缘计算+”技术发展趋势

（一）“边缘计算+”技术从概念走向深入

作为边缘计算技术发展的重要趋势，“边缘计算+”技术融合能力的深度与广度，将得到进一步提升。当前的“边缘计算+”关键技术能力中，边缘计算主要扮演了基础赋能平台的角色，即各类 ICT 技术利用边缘计算平台能力，在边缘侧与云侧同时部署不同的服务能力，满足行业应用差异化需求。未来，边缘计算将与更多 ICT 技术深度融合，在边缘侧提供更为丰富的技术服务能力，提升“边缘计算+”关键技术的广度；另外，边缘计算核心技术将与 ICT 技术深度融合，在硬件加速与软件算法方面不断升级演进，提升边缘 AI、边缘 HPC、边缘音视频等融合技术的执行效率。

“边缘计算+”将以算网融合为目标，加速算力资源与网络资源的深度融合。边缘计算“端、边、云”架构已经成为行业数字应用规模部署的基本范式。在以车路协同等为代表的应用场景中，边缘侧将发挥不可替代的核心作用，满足业务低时延、高吞吐的处理需求。现阶段，“边缘计算+”将推动以“云为核心”的云网融合技术发展，形成一体化的云网资源与服务能力。未来，“边缘计算+”将融入到各类技术与行业场景中，构建集多元化算力、智能化网络于一体的算网融合服务体系。

（二）一体化与智能化成为“边缘计算+”重要发展方向

“边缘计算+”将为行业应用提供一体化资源供给机制、为最终用户提供一体化服务体验，为运营企业提供一体化运维管理。边缘算力基础设施共建共享，将减少建设成本，是满足国家战略层面加速算力基础设施建设需求，实现集约绿色发展的必然选择。边缘算力基础设施的共建共享，将充分整合边缘算力资源，为“边缘计算+”架构的技术融合层，提供跨服务商的边缘平台供给能力。未来，“边缘计算+”将综合各个关键技术能力，为行业用户提供一体化、服务商无感知的边缘算力服务。

在实现一体化能力的基础上，“边缘计算+”将提供智能化的数据感知、资源感知、服务感知与安全感知能力。“边缘计算+”将以跨区域、跨服务商的边缘算力资源为赋能底座，因此“边缘计算+”各类关键技术能力，需要感知边缘计算系统内的算力资源、数据分布、服务部署与安全威胁，在各个边缘计算节点之间实现动态的调度与协同。

（三）云原生将成为“边缘计算+”技术演进的加速器

海量异构资源将成为“边缘计算+”发展的双刃剑，云原生技术可以在一定程度上屏蔽底层基础架构的差异和复杂性。边缘算力基础设施呈现广域分布、多元异构的发展态势。在一体化的边缘算力环境中，存在海量异构的算力资源，如何根据不同场景需求，高效、

充分地利用边缘算力资源，是“边缘计算+”发展的重点与难点。云原生技术可以屏蔽异构算力资源差异，支持行业应用在异构边缘算力节点无差别部署与运行。

云原生技术在应用快速部署、服务模式创新等多个方面助力“边缘计算+”发展。“边缘计算+”可以充分结合云原生的技术架构，实现边缘服务的容器化和网格化，并通过自动化发布管道、CI 工具实现开发环境到生产环境的快速部署和持续集成。在服务模式方面，利用云原生技术，可以实现边缘 AI、边缘音视频等各类服务的高效编排，并根据行业应用需求，匹配具有最佳运行效率的服务环境。

（四）可信设施与安全服务共同构筑“边缘计算+”安全壁垒

在数字化转型升级的边缘计算化发展总体趋势下，可通过具备主动免疫能力的边缘节点从底层支撑，再配合零信任策略体系，达成“个体免疫+总体防控”的整体安全格局。通过可信计算技术，部署具备主动免疫能力的“边缘计算+”安全体系，能够持续性地降低在网络信息安全层面带来的升级维护成本，并对已知和未知的恶意攻击直接由系统本身进行免疫防护。在应用国家自主的可信计算技术体系的同时，还将从网络信息安全层面带动国产、自主基础软硬件在边缘计算领域的发展和应用。

算网融合时代，行业数字应用要求网络安全向软件化、服务化方向演进发展，以 SASE 为代表的“边缘计算+”安全服务技术将融

合网络接入与安全能力，在边缘侧部署安全服务，提高安全服务响应能力，降低部署成本，实现统一的安全管理，满足业务动态安全访问需求。



参考文献

- [1] The Linux Foundation. State of The Edge 2021. <https://stateoftheedge.com/>.
- [2] 3GPP. Feasibility study on new services and markets technology enablers for critical communications V14.1.0:TR22.862[S].2016.
- [3] ETSI. ETSI GS MEC003 Mobile Edge Computing (MEC): Framework and Reference Architecture.
- [4] GSMA. 5G 时代的边缘计算：中国的技术和市场发展，2020.
- [5] AI 边缘计算技术白皮书，2019.
- [6] 算网融合产业及标准推进委员会（CCSA TC621）. 面向视频领域的边缘计算白皮书，2021.
- [7] 中国移动 5G 联合创新中心. 区块链+边缘计算技术白皮书，2020.
- [8] 边缘计算产业联盟. 边缘计算安全白皮书，2019.
- [9] 安全访问服务边缘（SASE）整体方案技术要求（征求意见稿）.



缩略语

缩略语	英文名称	中文名称
4G	4th Generation Mobile Communication Technology	第四代移动通信技术
5G	5th Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信技术
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
AI	Artificial Intelligence	人工智能
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
APP	Application	应用程序
AR	Augmented Reality	增强现实
ARQ	Automatic Repeat-reQuest	自动重传请求
BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
BP	Back Propagation	神经网络
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
CI	Continuous integration	持续集成
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CT	Communication Techonology	通讯技术产业
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
FEC	Forward Error Correction	前向纠错
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程逻辑门阵列
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GPU	Graphic Processing Unit	图形处理器
HPC	High Performance Computing	高性能计算
IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务
ICT	Information Communication Technology	信息、通信技术
IP	Internet Protocol	网际互连协议
IoT	Internet Of Things	物联网
IT	Information Technology	信息产业
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
OT	Operational Technology	运营技术
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
PC	Personal Computer	个人计算机
PCDN	Peer-To-Peer Content Delivery Network	点对点内容分发网络

缩略语	英文名称	中文名称
PCM	Pulse Code Modulation	脉冲编码调制
PQC	Process Quality Control	过程质量控制
QoS	Quality of Service	服务质量
ROI	Return On Investment	投资回报率
RTC	Real-Time Clock	实时时钟
SaaS	Software-as-a-Service	软件即服务
SASE	Secure Access Service Edge	安全访问服务边缘
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
ToB	To Business	面向企业
TPU	Tensor Processing Unit	张量处理器
URL	Uniform Resource Locator	统一资源定位系统
uRLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications	高可靠和低延迟通信
V2X	Vehicle to Everything	车路协同
VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
VxLAN	Virtual Extensible Local Area Network	虚拟扩展局域网
VR	Virtual Reality	虚拟现实
Web	World Wide Web	全球广域网
WPA2	Wi-Fi Protected Access Two	Wi-Fi 网络安全接入第二版

算网融合推委会
CCNIS

算网融合产业及标准推进委员会（TC621）

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300556

传真：010-62300094

网址：www.ccnis.org.cn

