

# 联想边缘计算白皮书

(2022 版)

Lenovo

## 前言

边缘计算是指在靠近数据源头执行计算的一种新型计算架构。边缘计算基于融合的边缘侧计算、存储、网络能力，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化转型所面临的敏捷连接、实时业务、智能应用、数据安全等关键需求。据 Gartner 预测，到 2021 年底将有 50% 的大型企业在项目中纳入边缘计算。而到 2022 年，边缘计算将成为所有数字业务的必要需求。2025 年将有 75% 的数据产生在数据中心和云之外并在边缘侧进行处理。边缘计算与云计算、人工智能、物联网、5G 等技术协同，成为国家新基建的核心所在。

本白皮书将分析边缘计算发展的需求和挑战，阐述联想在边缘计算领域的思考和布局，介绍联想边缘计算产品、技术、解决方案及行业应用。

## 目 录

<b>1. 边缘计算发展背景</b> .....	<b>1</b>
1.1 行业数字化转型驱动边缘计算 .....	1
1.2 技术发展驱动边缘计算 .....	3
1.3 边缘计算发展路线.....	5
<b>2. 联想的边缘计算思考</b> .....	<b>7</b>
2.1 联想的边缘计算看法 .....	7
2.2 边缘计算的核心应用价值.....	9
2.3 边缘计算关键挑战.....	12
2.4 联想的边缘计算布局 .....	16
<b>3. 联想边缘计算平台 (Lenovo Edge Computing Platform-LECP) .....</b>	<b>19</b>
3.1 平台概述 .....	19
3.2 功能特色 .....	20
3.3 全融合边缘计算一体机：快速部署、自动扩容与极简运维 .....	21
<b>4. 联想边缘计算行业创新解决方案</b> .....	<b>23</b>
4.1 基于 5G+边缘计算的智慧园区 .....	23
4.2 基于 5G+边缘计算的智慧商超 .....	23
4.3 基于 5G+边缘计算的智慧工地.....	24
4.4 智能化生产线应用管理优化 .....	25
4.5 5G 边缘云化 AR/VR .....	26
4.6 基于联想超能云桌面的端-边-云一站式教育解决方案.....	27

<b>5. 总结和展望</b> .....	29
<b>6. 参考文献</b> .....	31
<b>一般法律告知</b> .....	32
<b>权利声明</b> .....	34

## 1. 边缘计算发展背景

### 1.1 行业数字化转型驱动边缘计算

- **工业互联网**

伴随着全球工业数字化转型的浪潮，边缘终端设备的数量以及这些设备产生的数据量都在激增。这些与日俱增的设备数据在传统云计算处理模式下会对网络带宽造成了极大的压力。同时，工业现场的许多数据都有非常短的时效性，对网络连接的可靠性也有极高要求，一旦处理延迟或断网，就会失去决策的意义，甚至造成重大生产事故。工业互联网发展要求边缘计算来实现快速接入、稳定可靠的低延时实时响应、实时处理数据、业务管理优化、智能安全等。

工业生产的特殊性对边缘计算提出了具体要求：

一是工业现场的复杂性。目前，工业设备的通信协议繁多，边缘计算需要处理各种制式的网络通信协议相互转换、互联互通，同时又能够应对异构网络部署与配置、网络管理与维护等方面的艰巨挑战。

二是工业生产要求计算能力实时、可靠。工业控制的部分场景要求计算处理的时延不超过 10ms。同时，在工业生产中要求计算能力不受网络传输带宽和负载影响，在断网、时延过大等极端情况下仍然能够保证对实时工业生产的支持。

三是许多工业数据有私密性要求，尽可能在生产过程中进行处理，以保证数据不流出产区及落入未被授权的使用者手中，所以边缘侧数据安全也使边缘计算及边缘安全成为必须。

- **智慧园区**

智慧园区利用 5G 等新一代通信技术对园区工作生活环节进行感知、监控、分

析、控制和整合资源，并在此基础通过人工智能技术对各种工作生活关键场景进行创新，为园区企业提供高效、便捷、个性化的发展空间。

在智慧园区中，为了实现智能的感知、监控，必须稳定可靠地从海量传感器、仪器仪表、控制器等设备中采集数据；然后需要对这些数据进行实时处理，比如车牌识别、人脸识别、安防告警、人员流动及空间优化等；同时，出于隐私保护的考虑，人脸数据等敏感数据的处理需要不出园区；此外，各种智慧园区应用需要一个高效、稳定、自治的支撑环境以及生命周期管理，比如新的应用需要快速上线，楼宇智能自控、智能协作等关键应用在断网情况下也需要继续正常执行本地业务逻辑，当网络连接恢复后，完成数据和状态同步。总结来说，智慧园区对边缘计算提出了海量设备可靠连接，数据本地实时处理，应用管理自治等关键需求。智慧园区也包含工厂、医院、购物中心等区域管理的智能化升级改造的需要。

## ● 智能家居

智能家居将家中各种设备，如照明、音响、空调、通风机、报警器、电动窗帘、传感器等各种家电通过网络连接在一起，从而实现自动化和智能化控制，提升家居活动的便利、舒适和安全。

目前在智能家居领域，云计算应用比较广泛，但是存在如下问题：首先，对网络稳定连接有强依赖，在网络不稳定或者断开的时候，很多智能家居的应用都会出现问题，语音入口更是无法正常工作；第二，成本高，效率低。用户数据需要通过网络发送至遥远的云计算平台，计算结果再经网络返回至用户端，整体占用的流量和算力都比较大；第三，存在用户隐私数据泄露的风险。

智能家居需要边缘计算在家庭范围内部署算力，管理设备，并与云计算协调配合，对现有场景进行优化，也支持新场景的落地。比如云端的 AI 模型可以下发到位于

家里的边缘计算网关，数据可以直接在网关进行 AI 推理，无需传送到云端，产生的决策也可及时驱动控制器执行操作。只将必要的经过分析处理后的数据传送到云端，降低隐私数据泄露的风险。

- **车联网**

车联网中的车辆上装有多种车载设备，这些车载设备通过无线通信技术，对信息网络平台中的所有车辆动态信息进行有效利用，在车辆运行中提供不同的智能服务，比如，能够为车与车之间的间距提供保障，降低车辆发生碰撞事故的几率；可以帮助车主实时导航，并通过与其它车辆和网络系统的通信，提高交通运行的效率。

车辆的本地计算资源非常有限，难以满足复杂高动态场景中基于图像识别、视频处理等计算密集型任务。而将数据传至云端进行处理再将决策指令传回车辆一方面占用巨大带宽资源，另一方面无法满足实时决策的性能需求。因此车联网也需要利用边缘计算能力将车辆感知生成的计算任务从车辆通过高速可靠的 5G 网络卸载到车辆附近边缘网关服务器进行处理，从而提高了车群系统的感知决策能力。

## **1.2 技术发展驱动边缘计算**

- **5G**

5G 是电磁波频率在 sub-6GHz（低频）和 28GHz（高频）频段附近的第五代移动通信技术。5G 网络具有增强型移动宽带（eMBB）、大规模机器类型通信（mMTC）、超高可靠和低时延通信（uRLLC）三大特征，触发了当前各种高带宽、泛连接和低延时行业应用的大量涌现。例如，工业设备的精准实时控制、虚拟现实（VR）/增强现实（AR）、在线 4K /8K 视频等要求高带宽的业务；智慧城市、智能交通等需要泛连接的业务；以及车联网、无人驾驶、无人机等要求低时延的业务。

传统网络结构中，信息的处理主要位于核心网的数据中心机房内，所有信息必须从基站的网络边缘传输到数据中心机房进行处理之后再返回网络边缘，导致带宽瓶颈、时延抖动等性能问题难以解决。5G 承载网引入资源池云化、控制平面/用户平面分离等新架构，使得可以在网络边缘部署计算能力，将低时延业务、局域性数据、低价值数据等在边缘机房进行处理，而不需要通过传输网返回核心网，从而降低时延、减少回传压力、提升用户体验。

- **AI**

随着 AI 算法、算力、数据的发展，AI 在各行各业的应用变得十分广泛。例如机场车站的人脸识别，生产线上的质检、分拣机器人，家庭中的智能音箱，电商平台的智能客服等。目前，由于 AI 应用对算力要求较高，典型的做法是将数据从端设备传输到云数据中心进行分析处理，然后再将结果传回端设备。

这种中心化的 AI 模式存在诸多挑战，首先是海量数据向云数据中心的传输占用大量带宽资源、造成网络拥堵、产生高昂的成本。其次，因为长距离不稳定的网络传输，数据可能丢失，影响云端分析的正确性。第三，受网络延迟或者中断的影响，一些时延敏感，甚至要求实时响应的应用，例如无人驾驶、设备反控等，可能产生灾难性的后果。第四，AI 处理的数据中有些是非常敏感的，比如病人的病历，个人的身份，商家的客户信息，工厂的机密生产数据等，传输到云端存在被篡改或窃取的风险。

边缘计算可以支持 AI 的推理在靠近数据的本地进行，减少传输的网络开销，降低端到端业务时延，保证数据隐私和安全，提高模型训练和推理的可靠性。云数据中心只负责非实时模型的训练及必要的全局决策，因此避免了高带宽的持续网络连接和高昂的数据存储代价。

- **物联网**

物联网，即万物相连的互联网，是互联网基础上的延伸和扩展的网络，将各种信息传感设备与互联网结合起来而形成的一个巨大网络，可实现在任何时间、任何地点，人、机、物的互联互通。

据国际数据公司(IDC)发布的《全球物联网设备数据报告》预测，到2025年，全球物联网设备数将达到416亿台，这些设备包括各种机器及其传感器、智能家居、车辆、穿戴设备以及工业设备等，每年产生的数据量将达到79.4ZB。如果将海量物联网数据需要先通过网络全部传输到中心机房，由云计算进行处理，处理完成后再将结果传输到相应位置，就会出现决策不及时和高带宽持续占用两个严重问题。

采用边缘计算，可以在网络边缘过滤、清洗、整合大量原始数据，减少中间传输的过程，增强服务响应能力，大大减轻网络带宽和数据中心功耗的压力；同时，物联网数据在边缘侧处理也减少了网络数据泄露的风险，保护了用户数据安全和隐私。

### **1.3 边缘计算发展路线**

目前，边缘计算市场上的玩家众多，来自不同阵营的力量正在以不同的路线共同推动边缘计算的快速发展。以亚马逊、百度、阿里等为代表的公有云厂商将云计算能力向设备和用户侧延伸，扩充云数据中心的外延，将云原生的统一编程模式通过边缘网关的能力应用到设备构成的边缘云，主打云边协同一体化；以移动、电信、联通为代表的5G运营商将IT能力同基础网络承载与业务运营融合，提供基站的边缘计算服务及5G网络接入管理；以西门子、GE、苹果等为代表的物联网厂商，以设备侧的边缘基础设施为中心，逐渐辐射到远端的数据中心，将一些边缘侧无法完成的任务提交到云端完成，例如通过调用云端的服务进行大算力的运算；以联想、浪潮、新华三、

Dell 等为代表的 ICT 厂商将基础硬件及技术服务同边缘计算场景融合，实现软硬一体的边缘计算私有化部署，并力推云网融合从而达到 5G 云化网络与边缘计算的充分结合，以满足各类行业智能化应用所急需的新型边缘侧高性能网络与计算资源。

## 2. 联想的边缘计算思考

### 2.1 联想的边缘计算看法

联想的 3S 战略从智能物联网、智能基础设施和智能行业解决方案三个维度入手，建立了“端-边-云-网-智”的“新 IT”（Intelligent Transformation，行业智能化转型）技术架构体系，在此基础上推动各行各业的智能化转型。

#### “新IT”技术架构

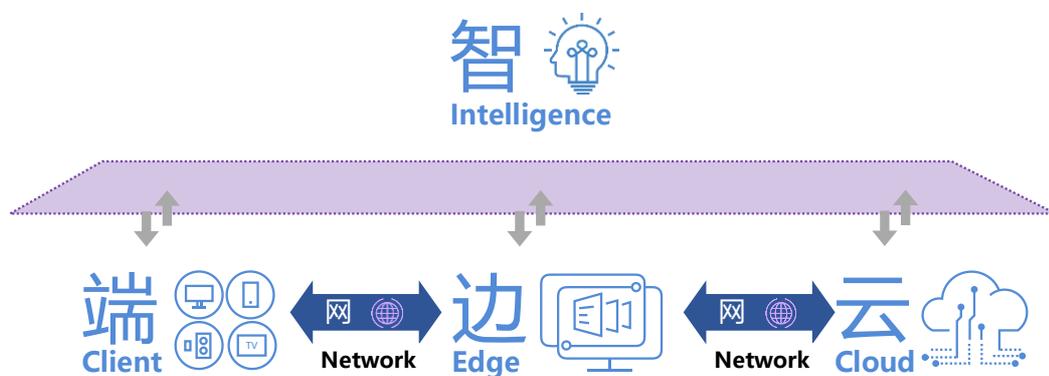


图 1：联想“新 IT”技术架构

联想以边缘计算作为“新 IT”架构中的核心抓手，促进端、边、云、网一体化协同，构建行业专属的新型智能解决方案。端是行业客户数据的源头；边在接近数据源头的地点提供算力，支持 AI 或物联网及终端内容所需的各类计算需求，同时，边还是通过新型高速可靠网络连接端和云的重要中介介质，实现对端设备进行高效管理以保障源头数据的可靠，边通过对端数据的过滤处理，极大提升了进入云侧数据的质和量，降低了云侧数据管理的成本；云负责多个边之间的协同管理以及时延要求较低的

全局决策，并为客户提供端到端的服务和 SLA 保障；网支持数据、控制在云、边、端之间安全高效地传输；行业解决方案针对客户特定应用场景，快速整合云边端资源，定向技术创新以解决客户痛点。以边缘计算驱动的端边云网高效融合的行业智能解决方案，为行业客户智能化转型保驾护航。

行业客户的数据通过端设备经由 5G/WIFI/固网等多种网络接入到边缘进行处理、压缩、存储、分析，然后按需进一步传送到云中心支持全局统筹决策与 AI 训练。根据不同的业务需求，边缘计算的场景，也即数据的处理、传输路径和应用分布与协同会有所不同。

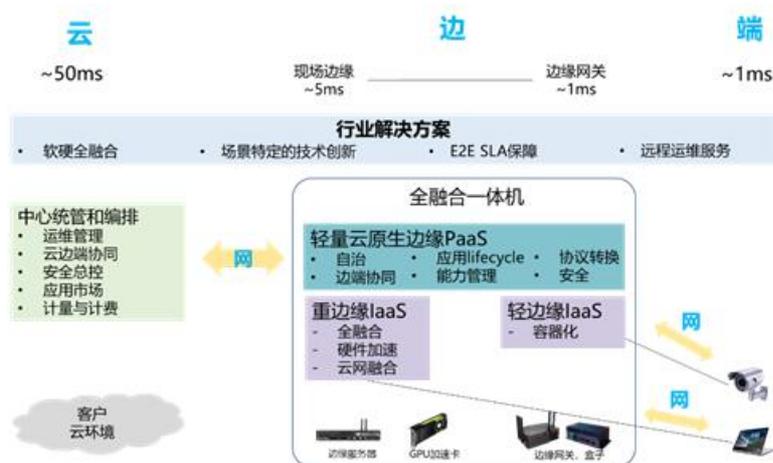


图 2：联想边缘计算总体架构

● 场景 1：数据在边缘网关及现场边缘处理

比如在智能制造中，工业传感器采集的产线数据经边缘网关初步清洗及压缩，发送到厂区的现场边缘，部署在现场边缘的智能应用可以对数据进行违规操作识别、产品瑕疵检测等分析处理。现场边缘对多个边缘网关节点进行统一管控、自动运维，也对部署在现场边缘上的多种智能应用提供了面向 SLA 的生命周期管理。这一场景通过边缘侧数据处理保证了敏感的客户生产数据不出厂区，更加安全。

● 场景 2：数据在现场边缘处理

比如在智慧教育中，虚拟仿真实验室试图引入 VR 技术，使得学生可以身临其境地感受实验效果而不必担心实验风险及实验条件的限制。但这一创新场景面临 VR 眼镜算力要求高、续航短、时延长、用户体验不佳的挑战。通过将实验效果的渲染从 VR 眼镜卸载到部署于实验室的现场边缘节点，可使得 VR 眼镜更加轻量长续航、时延更短、学生的体验更好。同时，部署于学校的现场边缘的中心管理和编排组件对多个实验室边缘节点进行统一管控、自动运维。这一场景通过引入了现场边缘使得创新教育模式从愿景变为现实。

- **场景 3：数据在边缘网关及云中心处理**

比如在安防中，视频摄像头采集的数据通过近旁的智能网关进行视频压缩和基于机器视觉的入侵分析，当识别到异常情况，分析结果和压缩的视频会被发送到云中心，与其它地点的模型特征数据及分析结果进行融合，从而进一步研判是否有非法入侵并构建入侵者的行动轨迹。这一场景通过边缘侧数据处理避免了海量数据传输造成的网络拥塞及带宽浪费。

从上述典型场景不难看出，端是源头，边是核心，云是辅助，网是基础。

## 2.2 边缘计算的核心应用价值

边缘计算为行业应用带来的核心价值主要体现在以下五个方面：低延时、降低带宽依赖、更经济的智能、数据可控、高可靠。

- **低时延：**应用时延通常由计算时延和传输时延两部分构成，降低应用时延是提高用户体验甚至是使得某些应用能够工作的重要因素。一方面，边缘计算通过在网络边缘进行数据处理，降低了因数据在终端和云端之间多跳传输产生的时延。另一方面，利用优化的边缘算力进行数据处理，也比利用有限的终端算力进行数据

处理所产生的计算时延更低。

- **降低带宽依赖：**物联网设备产生的数据具有体量大、价值密度较小的特性。如果把原始数据直接传输到云端进行处理，很大程度上造成网络拥塞，为了保证带宽所需的成本代价也极高。边缘计算对海量原始数据进行预处理和分析挖掘，将产生的高价值洞察传送到云端，极大程度降低了对带宽的依赖。
- **更经济的智能：**视频监控、语音识别、图像分析等人工智能应用越来越广泛地被应用于满足行业的业务需求。AI 模型的训练需要非常强大算力的支持，不可避免地要在云端进行。但基于实时数据进行模型推理如果也在云端进行，网络成本会非常高。同时，普通的终端设备无论从算力还是能耗角度都无法支持模型的推理。边缘计算将 AI 模型推理卸载到边缘节点，在边缘节点上通过 GPU、加速硬件虚拟化等机制提高模型推理的并发能力，以一种经济有效的方式实现应用智能。
- **数据可控：**企业往往对将自己的生产数据传输到云端进行处理有很大顾虑。边缘计算能够实现敏感数据不出工厂，不出园区，直接在本地对数据进行清洗、预处理、聚合、筛选，避免了数据传输过程中可能的泄露、遗失、篡改等风险。此外，云计算数据中心对数据的安全控制力度并不是十分理想，API 访问权限控制以及密钥生成、存储和管理方面的不足都可能造成数据泄漏，并且还可能缺乏必要的数据销毁政策。边缘计算可以实现更可控的本地数据存储和管理，降低数据风险。
- **高可靠：**靠近数据生产或者使用的场所往往物理环境复杂、网络条件不稳定、潜在的攻击窗口众多。边缘计算硬件专为严苛的物理环境设计，具有紧凑、坚固、抗高温高湿等物理特性。边缘计算软件平台通过云边协同来保障端到端的 SLA，

边缘节点在断网期间能实现自治，继续支撑其上应用的运行，在网络恢复之后，还能自动与云端更新数据、状态。边缘计算软件平台还支持应用跨节点部署及多实例运行等能力，当某个节点发生故障时，可快速实现负载迁移，避免对业务的影响。

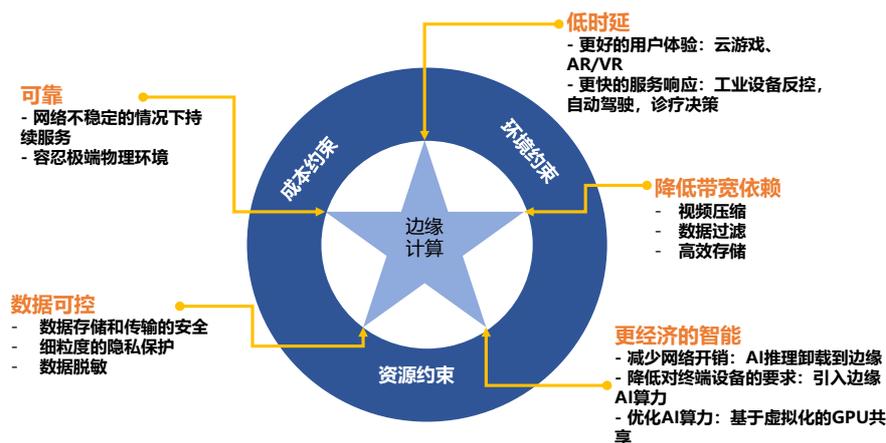


图 3：边缘计算的核心应用价值

这些价值一方面能促进现有应用的升级，以云游戏为例，通常指游戏厂商的基于云开发的游戏应用程序集中运行在云数据中心，但对手机终端加速能力有较高要求，同时一些高性能游戏对时延要求很高，由此云游戏对手机终端的性能很高，限制了游戏的推广和盈利。然而，将云游戏下沉到边缘数据中心里运行，原本由手机等终端进行的游戏加速、视频渲染等对芯片有高要求的任务，现在可以由边缘计算平台代替运行。边缘计算平台与终端之间传输的信息包括两类：一类是从边缘计算平台向终端发送的游戏视频流信息，另一类是从终端向边缘计算平台发送的操作指令信息。云游戏场景下，终端只是相当于一个视频播放设备，完全不需要高端的系统和芯片支持，就可以得到更好的游戏体验，同时大大降低了手机终端的性能要求，从而扩大了云游戏的用户群。

另一方面，边缘计算的核心价值还能触发创新应用的涌现。2015 年至今，XR 经历了从火爆到平淡再复苏的一条发展曲线，所面临的一个主要挑战就是设备和内容的体验急需改善。例如 AR/VR 眼镜要么需要连接到手机或者高性能 PC 上处理图像渲染等任务，要么做成笨重的头戴式设备，同时，呈现的画面质量不高，视野局限，还有明显的眩晕感，极大妨碍了 AR/VR 应用的产生和落地。边缘计算将渲染计算、转码和缓存加速卸载分流到经过特殊优化的边缘节点，可有效减轻 AR/VR 眼镜的重量、减少能耗、提高画面质量、降低交互时延，促进了基于 AR/VR 的产线装配、智慧课堂等应用的大量涌现。

### 2.3 边缘计算关键挑战

边缘计算将原有云计算中心的计算任务部分或全部迁移到网络边缘，在边缘设备处理数据，从而提高应用的实时性，降低对带宽的依赖，并且有效保护了隐私数据的安全。边缘计算所处的环境具有分散性、多样性和局限性的特点：

**分散性：**不同于云计算的集中式数据中心，边缘计算可能发生在成千上万个分布的边缘节点上。这些边缘节点在地理位置上是分散的，可能位于各个小区的配电室、各个家庭的路由器、各个学校的教室、各个工厂的车间。它们还可能位于不同的网络中，节点之间通过不稳定的多跳网络连接在一起。

**多样性：**边缘节点从需求、能力、资源等方面都存在巨大的多样性。从应用需求看，有的节点需要快速响应，有的节点需要稳定可靠，还有的节点需要有 AI 算力。从能力角度看，有的边缘节点是一个非常轻量的边缘网关，只能实现数据接入，而有的边缘节点已经接近一个小型的数据中心，可进行相对复杂的数据预处理、存储和分析。从资源角度看，可能涉及多种异构的计算、网络及存储资源。从可靠性的角度

看，有的边缘节点有物理上的安全保护以及稳定的网络连接，有的路侧边缘节点则随时有被盗损的风险。

**局限性：**边缘节点的局限性体现在部署环境、资源和可靠性。边缘节点常常部署在居民小区、车间仓库、户外基站等地方，这些地点往往存在高温、高尘、电磁干扰、电压不稳等恶劣环境。受条件所限，边缘节点的计算能力也不可能像云数据中心那样强大和无限扩容。同时，边缘节点非常容易面临物理损坏和恶意攻击，可靠性难以保证。

考虑到边缘计算这些显著不同于传统云计算的特点，我们无法将简单地将云计算技术直接应用到边缘，必须从边缘计算的特性出发，设计新型的以边缘为核心、云网边端协同的分布式体系架构。该架构的关键挑战包括：

- **异构计算**

边缘计算涉及机器视觉、加密解密、大数据处理、声学检测、AR/VR、软件定义网络等丰富的场景，需要不同的计算、存储和网络资源来提供支持。

对于计算资源来说，CPU 擅长逻辑控制，但在大规模并行计算能力上很受限制。GPU 有数量众多的计算单元和超长的流水线，特别适合处理大量的类型统一的数据，但 GPU 具有能耗高的问题。ASIC 是针对特定场景专门设计的集成电路，批量生产时与通用集成电路相比具有体积更小、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点，但 ASIC 一旦设计制造完成后电路就固定了，无法再改变。现场可编程门阵列 FPGA 可以提供强大的计算能力和足够的灵活性，非常适合通信场景所需的低延迟的流式处理，但单个芯片的开发成本高，而且功耗也是个问题。

边缘计算的数据特征具有更高的时效性、多样性、以及关联性，需要保证边缘数据高效的连续存储和预处理。除了传统的 SSD/HDD 之外，非易失存储介质 (non-

volatile memory, NVM) 因为其高密度、低能耗、低时延以及高速读写等特性被广泛用到边缘场景中, 例如用于存储和传输大型视频和其它文件。

边缘计算对网络指标的要求也因应用场景的不同而存在不同的要求。移动网络具有灵活性、可扩展性、易于部署等优势, 而固网连接有独享性, 信号和带宽也更稳定。边缘计算需要实现业务在移动网络和固网下的同时接入及数据同步, 并且保障固移混合接入的协同性、实时性、稳定性。

因此, 在边缘计算架构中, 根据应用实时性要求, 结合计算资源、网络延时、带宽、能耗等进行优化的资源部署, 才能有效发挥边缘计算的优势。

## ● 边缘安全

边缘计算的分布式架构带来了更多的攻击风险, 边缘计算客户端操作系统和软件栈的多样性也带来了更多安全漏洞的可能性, 用户私有数据存储的可靠性和安全性也需要更好的安全防护措施, 面向多种网络连接, 多种边缘设施, 多种边缘环境的安全解决方案有待进一步增强。

边缘计算安全要从节点安全、网络安全、数据安全、应用安全等多方面进行考虑。节点安全主要涉及节点的虚拟化安全、操作系统安全、节点身份鉴别、接入数据完整性校验等。网络安全涉及各网络协议的安全、网络隔离、网络检测以及网络防护等。数据安全涉及数据的安全存储、加密、敏感数据的处理和检测等。应用安全涉及APP加固、权限控制、应用监控审计等。

在设计边缘安全解决方案时, 必须考虑边缘计算的特点。首先, 边缘安全要考虑高吞吐量、可扩展、自动化、智能化以适应海量的边缘节点、连接及数据。例如, 传统的安全认证机制就不再适用于海量的边缘 IoT 设备。其次, 边缘安全要考虑计算、平台、网络及数据的异构性。第三, 因为边缘计算资源的局限性, 边缘安全需要轻量

化，云边协同。例如，要考虑轻量化的数据加密机制。第四，因为边缘计算的分散性特点，边缘安全需要考虑边缘自治、多边协同、可信硬件支持等。

- **联网云边协同、离网边缘自治**

对于行业数字化转型应用来说，如果将所有数据发送到云端计算，就会在带宽使用上面临瓶颈，而且应用的时延无法得到保证。如果完全依赖基于边缘的分布式体系结构，边缘系统和应用程序管理非常复杂，边缘节点的局限性使得应用的可扩展性和高可用性都难以实现。因此，需要云计算和边缘计算的融合以减少延迟、提高可扩展性、增强对信息的访问量，并使业务开发变得更加敏捷。

云边协同涉及资源协同、数据协同、应用协同等多个方面。资源协同针对边缘硬件多样性及边缘资源局限性的特点，对多样的底层硬件进行抽象，使得上层应用可以方便地使用底层硬件提供的计算存储等能力，同时还提供全局视角的资源调度，使得边缘节点的资源利用更加实时有效。数据协同针对边缘计算数据量大、隐私数据要求本地处理的特性，在边缘侧对数据进行清洗和分析整合等实时处理，然后将处理结果协同上报云端数据库中。应用协同是整个边缘计算的核心，让用户方便地从云上向边缘灵活部署应用，并且降低应用生命周期运维管理的难度。

边缘节点与中心云之间的网络连接稳定性较差，边缘节点可能因为网络原因彻底断联。由于边缘节点数量众多，环境复杂，IT 运维人员难以及时对断联节点进行维护恢复，因此需要让边缘节点具备离线自治能力，从而保障边缘侧业务的连续性和可靠性。边缘离线自治

- **极简运维**

边缘节点的数量非常庞大，边缘设备的类型非常多样，而且边缘环境又非常复杂，传统的数据中心运维方式面临巨大的挑战，无法保证边缘业务的稳定和持续运

行。

边缘计算需要创新的运维技术来实现运维自动化和智能化。首先，需要轻量化的机制对边缘节点的网络流量、CPU 利用率、进程、内存等的状态进行采集，并实时提供运维人员一个系统全面的边缘节点状态监控。其次，需要有故障自检能力，当预知潜在故障将要发生时，能够采取恰当的措施进行预防性维护。当检测到故障已经发生，需要根据监控的数据进行根因定位，然后采取恰当措施进行自我修复。对于实在无法自动修复的问题，通知运维人员。

总之，边缘计算的运维需要结合大量的自动化和人工智能技术以减少运维人员的介入，提高问题发现、诊断和修复的自动化比例，避免响应式故障修复，实现预测性维护。

## 2.4 联想的边缘计算布局

联想从边缘计算硬件、边缘计算平台、以及边缘应用三个层次积极打造行业领先的边缘计算技术优势，助力各行各业的智能化场景创新。

- **边缘计算硬件**

联想有全栈的边缘计算硬件产品，包括丰富的支持 x86 及 ARM 架构的物联网网关、轻边缘硬件、通用及专用边缘服务器。物联网网关可以在设备上运行本地计算、消息通信、数据缓存等，可以在无需联网的情况实现设备的本地联动以及数据处理分析。轻边缘硬件具有高稳定、低功耗的性能特点，外观上具有轻量化、灵活性强等特点，可广泛应用于新零售、智能安防、智慧课堂、智能制造等领域场景，为用户提供高性价比的场景化部署。通用及专用边缘服务器在性能、扩展能力、易用性等方面都具有突出的表现，为企业智能化转型过程中所产生的庞大数据提供高性能、高可靠的

算力支撑。这些边缘设备既发挥了联想硬件的传统优势，也能量身定制，解决了多场景、碎片化的难题。比如说防尘、产品小巧、安全坚固、易拆卸等都是针对行业特有场景定制而成。

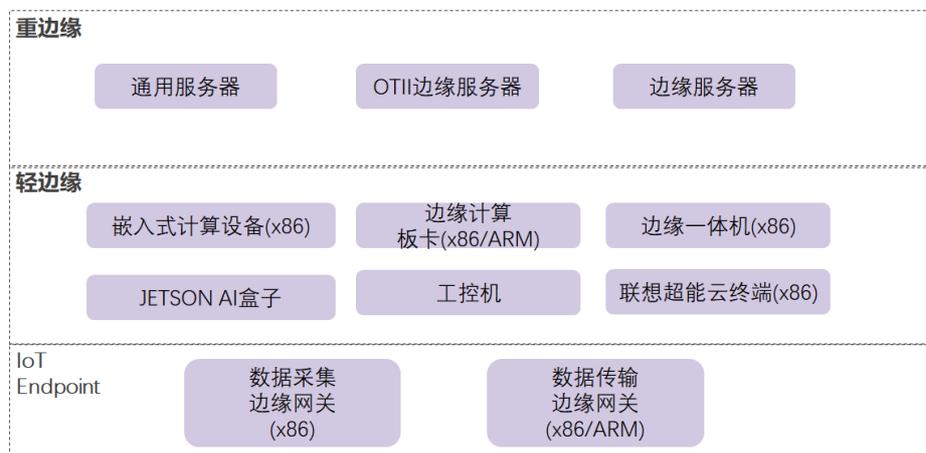


图 4：联想边缘计算硬件

### ● 边缘计算平台

联想边缘计算平台是以边为核心、支撑“新 IT”技术架构的边缘计算软件平台。平台支持灵活部署方式，针对各种低延时、大带宽、高可靠的边缘智能垂直行业应用场景提供高效算力资源、能力开放及全生命周期的应用管理。

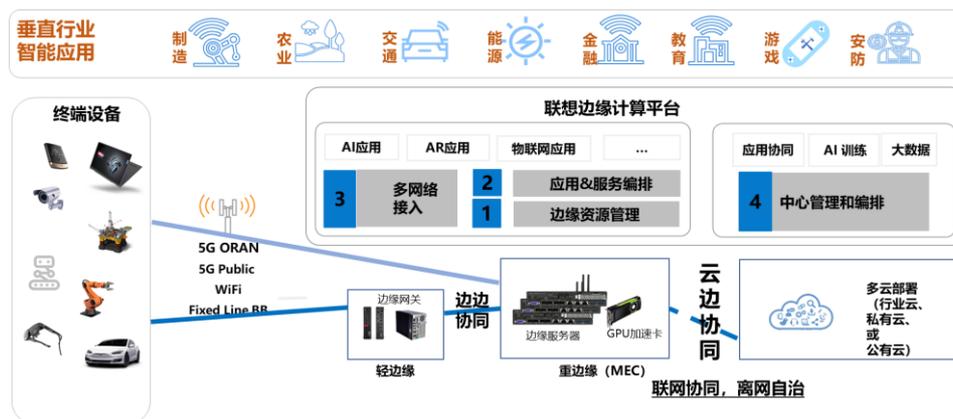


图 5：联想边缘计算平台

联想边缘计算平台支持灵活的部署方式，既可以以软件平台的形式直接部署在现有轻、重边缘硬件之上，也可以以全融合边缘计算一体机的方式部署。边缘计算一体机针对

平台和硬件进行了预先的适配及优化，易于部署及运维，非常适合缺乏专业运维人员的边缘计算场景。深度整合的联想边缘计算平台与联想边缘硬件可以增强联想在边缘计算市场上的竞争力。

- **边缘计算应用**

联想边缘计算应用涉及两个方面：一方面是助力电信运营商利用 5G MEC 赋能行业客户；另一方面是直接赋能行业客户的智能化转型。

联想以边缘平台提供、核心技术支持、联合项目开发等灵活方式支撑三大运营商实现 5G 商业化、赋能行业客户，例如，为运营商提供更实时的无线网络能力以及云原生服务应用管理，保障业务质量；以核心技术赋能运营商的自有边缘平台；与运营商合作打造 5G 商用示范项目、共同参加 5G 绽放杯征文大赛，并进一步行业推广等。

联想也在制造、教育、医疗、健康、环保等行业直接与合作伙伴共同深入不同的场景，为客户的智能化转型提供丰富的应用支持。例如，面向园区的全景 AR 应用、面向仓库的基于高清摄像头的自动进出库应用、面向学校的基于 VR 的虚拟实验室应用、面向飞机制造厂的基于 AR 的装配指导应用等等。无论自有边缘计算应用或是第三方的边缘计算应用，能够快速接入到联想边缘计算平台，方便地获得动态优化的计算及网络资源赋能。

### 3. 联想边缘计算平台 (Lenovo Edge Computing Platform-LECP)

#### 3.1 平台概述

联想边缘计算平台赋能行业客户进行各种智能化转型。平台支持方便的应用上线、灵活的数据接入、高效的应用管理、优化的应用赋能，以全融合一体机方式部署的联想边缘计算平台更是能够支持极简部署、自动扩容和智能运维。

联想边缘计算平台具有业界创新的异构轻量级虚拟化技术、资源感知型应用编排、边缘侧网络感知技术、计算存储网络新形态融合、边缘自主智能运维等特性。

联想边缘计算平台既可以通过 5G 网络分流支撑 5G 公网的边缘云需要，也能满足各种 5G 专网（如联想无线云化小基站）及 WiFi、固网所支撑的智慧应用场景的环境的边缘计算需要，如智能制造、智慧教育、智能交通及自动驾驶、智慧园区等。

联想边缘计算平台与各种轻、重边缘设备深度融合，支持多边缘计算、存储、网络、轻量虚拟化及全融合管理，提供包括 5G 及多网络边缘接入（MEC）及网络感知与开放能力，也支持各类边缘智能应用和资源动态感知调度、跨边缘智能编排及云边协同、及统一自主的云边智能运维管理。

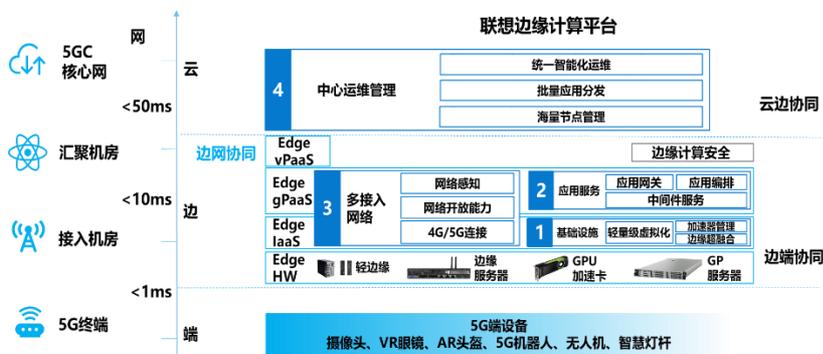


图 6：联想边缘计算平台架构

## 3.2 功能特色

联想边缘计算平台的核心目标是便捷、高效、安全、可靠地支撑垂直行业的各种边缘应用，从而令行业获得智能化转型所需的实时业务、应用智能、数据可控等方面的能力。针对这一目标，平台提供的特色功能包括：

●方便应用上线	<ul style="list-style-type: none"> <li>•提供虚机和容器来支持行业客户的边缘应用，传统应用可以按需运行在window或linux虚机上，云原生应用可以运行在安全容器中。</li> <li>•平台提供便捷的界面引导行业客户上传应用镜像并遵循TOSCA标准配置应用所需资源。</li> </ul>
●灵活数据接入	<ul style="list-style-type: none"> <li>•支持4G、5G、WIFI、宽带等不同形式的接入，将大量数据卸载到边缘平台进行处理和计算，并将结果及时反馈到生产系统或者上传到云端。</li> <li>•保证处理的时延要求，降低网络通信成本，而且减轻云端数据中心的计算压力。</li> </ul>
高效应用管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>•能够感知应用的类型以及对资源的使用情况，实时调整资源分配，无缝进行扩缩容。</li> <li>•这种动态的资源感知一方面保障了应用所需资源，另一方面也优化了边缘算力的使用，降低行业客户的边缘计算投入。</li> </ul>
●优化应用赋能	<ul style="list-style-type: none"> <li>•针对特定类型的应用进行了针对性资源优化。GPU虚拟化使同样算力能支持更多的AI或其它强GPU应用。将渲染计算从XR设备卸载到边缘平台，减少了对端设备算力要求，使XR设备更轻量、经济，还提升了用户的使用体验，解锁更多的XR应用场景。</li> </ul>
极简部署/智能运维	<ul style="list-style-type: none"> <li>•针对行业客户边缘场景下环境复杂、运维人员缺乏的特点，以全融合一体机形式部署的边缘计算平台实现了开箱插电即用、自动组网、故障时整机替换。</li> <li>•平台具有智能运维能力，实时监控收集多维度运维数据，自动故障告警、修复。</li> </ul>
轻量全局安全防护	<ul style="list-style-type: none"> <li>•使用统一身份认证服务提供帐号鉴权功能，利用其它相关上下文信息（身份、威胁/可信评估、角色、位置/时间、设备配置等）加强安全策略，且提供基于固件的数据应用加密。</li> </ul>

联想边缘计算平台与各种边缘设备深度融合，以软硬一体机的形式提供便捷的边缘计算赋能。平台支持多边缘计算、存储、网络、轻量虚拟化及全融合管理，提供包括5G的多网络边缘接入及网络感知能力，支持边缘应用和资源动态感知调度、跨边缘智能编排及云边协同，以及统一自主的智能运维管理。

在云侧，提供多边缘集群管理，云边资源协同、应用分发及业务数据交互等能力，可以部署于客户云数据中心或公有云上。

在边侧，基于联想为边缘打造的边缘计算服务器，构建软硬件一体化、计算存储网络全融合的异构轻量级边缘计算平台，通过多接入能力无缝接入实现数据本地分流，将数据汇聚在边缘侧进行计算，为用户节省传输的同时提供低时延、高可靠的服务，提供面向多接入智能应用场景的新型 ICT 基础设施。

### 3.3 全融合边缘计算一体机：快速部署、自动扩容与极简运维

目前边缘计算的应用场景、部署环境、承载的应用需求都与传统云计算不同。因此会遇到许多新的问题，面临新的技术挑战，比如，边缘节点通常是小规模部署，带来算力、存储、网络、空间等资源上的限制。同时出于对成本的考虑，一般边缘集群中只有个位数的节点，不会有单独的存储集群支撑整个集群的存储等，而且边缘环境往往没有专门的运维管理人员，需要极高的可靠性。

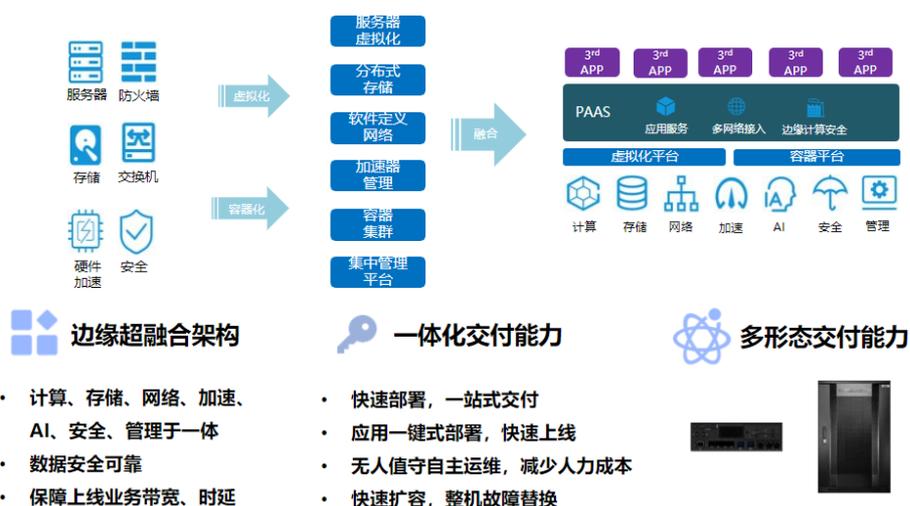


图 7：联想全融合边缘计算一体机

联想全融合边缘计算一体机采用计算存储融合部署模式，平台所有物理节点均采用对等部署模式，通过硬件资源抽象为整个平台提供计算资源和存储资源。这样，当

边缘集群只需要很少的硬件资源时，集群最小部署集合可以做到三节点。当数据及服务没有高可用需求时，甚至整个平台只需要单节点即可运行。相比通用超融合方案，该架构同时还支持多网络接入(4G/5G/WIFI/Fixed Line)，以满足本地分流保障业务低延迟、高可靠要求，加快业务上线时间；通过轻量化异构虚拟化保证第三方 APP 快速上线，满足客户应用灵活发布需求；支持客户跨 WAN 云边协同应用生命周期管理。

一体机的智能故障系统利用基础运维数据和感知数据构建一体机运维知识图谱，借助推理引擎自动定位问题，结合专家经验形成故障知识库，匹配故障预案场景，执行自动化修复。这样简化了运维成本，更大程度上满足边缘极简运维的要求。

## 4. 联想边缘计算行业创新解决方案

### 4.1 基于 5G+边缘计算的智慧园区

本方案以微型 ICT 数据中心下沉到园区机房，解决客户数据实时性传输和处理、数据安全性和保密性的痛点，为园区提供低时延、高带宽、高可靠、数据不出园区的综合管理。

基于 5G 边缘计算的云协同办公和云存储，令企业办公数据不出园区，保证数据的安全和保密性。基于边缘计算的智能安防巡检机器人，解决视频实时性传输时延和带宽的难点，实现实时位置信息自动巡航，完成人脸识别、黑白名单、火情告警。5G 边缘计算还解决了传统视频会议卡顿、延时大的问题，提供低时延、高带宽的超高清视频会议体验。

方案已经部署到京东亦庄园区，打造智慧园区样板间。



图 8：基于 5G+边缘计算的智慧园区方案

### 4.2 基于 5G+边缘计算的智慧商超

该方案针对客户室内定位弱、地下停车难、顾客无法自主引流的痛点，结合智能信标的新型室分天线系统，以及部署在边缘计算平台的应用服务，构建了稳定可靠的室内定位参考系，为商超提供室内定位精准化、地下停车引导自动化、顾客引流智能

化的服务和物联网应用集成能力，打造智慧商超新型商业模式。



图 9：基于 5G+边缘计算的智慧商超方案

5G+边缘计算+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，解决室内定位和地下停车问题。应用结合室内定位技术，采用打折促销及发放电子优惠券等一系列个性化营销手段，实现对顾客的自主引流，开拓新型商业模式。

方案已经在雄安容城县惠友商厦成功试点。

### 4.3 基于 5G+边缘计算的智慧工地

该方案针对传统工地安全管理缺乏有效机制、施工作业人工化程度高、工地安全监管人力成本高的痛点，运用高清摄像头和人工智能分析手段让机器视觉代替人眼提前发现问题，规避可能的危险事故发生，为工地提供管理无人化、监管自动化服务。

视频监控设备可部署在工地现场各处，5G边缘计算解决高清视频回传实时性和带宽限制，边缘计算平台完成实时的计算和处理，实现对工地现场安全和项目进度的远程监测，做到有效信息的及时抓取，形成随时随地可视化协同，提高工地安全性，减少人力监管成本。同时还保护了数据安全与隐私。

方案已经部署到雄安高铁站工地机房，打造智慧工地模型，作为创新型应用被央

视新闻直播间报道。



图 10: 基于 5G+边缘计算的智慧工地方案

#### 4.4 智能化生产线应用管理优化

随着工业互联网的发展，很多企业都在工厂车间的生产线上部署了各种各样的智能应用。例如，基于机器视觉的产品质检、基于 AR 的装配指导、基于声学监测的故障发现等。这些应用的单独部署和维护一方面存在着资源的严重浪费，另一方面也造成了很大的管理难度以及很高的管理成本。

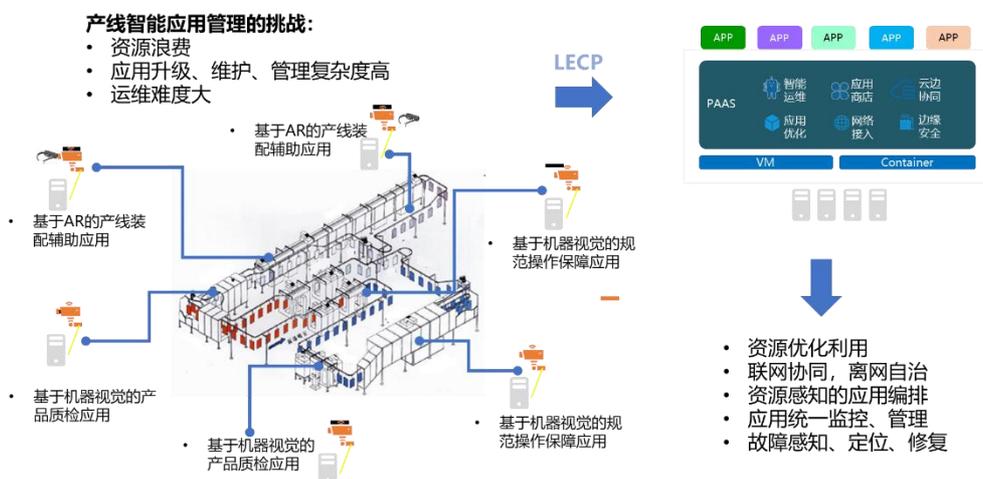


图 11: 智能化生产线应用管理优化方案

将边缘计算应用到这个场景，对已有硬件资源进行全面整合，基于轻量虚拟化技术将计算、网络、存储和 AI 加速能力开放给上层应用，同时对全部应用进行全生命周期管理，实现透明的弹性伸缩和智能的故障发现及修复。从而提高了资源的利用率，

降低了应用管理的成本。

方案成功部署到联想工厂，目前已经接入多个不同类型的产线智能应用。前拍后检应用通过摄像头获取台式机背面和内部图片，对背面的 PCIE 卡位进行识别，智能判断卡位安装顺序是否正确，对背面电源接口螺钉进行识别，智能检测螺钉有无，并保留内部图像，方便人工查看元件连接情况。螺丝锁付检测通过高精度三维激光扫描仪获取精确三维数据，深度自主学习智能算法，实现针对螺丝浮高、歪斜、漏锁、螺丝头拧花的缺陷自动检测，解决人工检测困难、检出质量不稳定性的难点。内观检测通过摄像头获取笔记本产品内部图片，对产品 8S 条码进行识别与解析；对产品的安装螺钉进行识别，智能判断固定安装位置螺钉有无；对产品上散落螺钉进行检测，智能判断产品表面有无散落螺钉。

#### **4.5 5G 边缘云化 AR/VR**

AR/VR 可应用到沉浸式游戏、工业设备巡检、产线装配指导、互动式教学等众多垂直行业应用场景。传统 AR/VR 眼镜由于体积、重量、功耗的限制，制约了实时算力，束缚了应用。本方案基于 5G 网络切片打造“端-边-云”协同的 AR/VR 系统，包含大量轻量化 AR/VR 眼镜及配套的 5G 通信处理单元、多套分布的 MEC 平台和应用软件。系统基于软硬件一体化的轻量级虚拟化架构，搭载针对应用的快速接入、灵活编排和弹性资源管理和支撑，以及云边交互，GPU 调度等核心技术能力。AR/VR 应用借助于 5G 的低时延、大带宽、高可靠性，将渲染任务卸载到联想边缘计算平台上，可在移动端获得高质量的 3D 渲染，让使用移动芯片的 AR/VR 设备也能显示出顶级的画质。这将直接改善 AR/VR 设备的形态和重量，增强用户的真实感体验。

方案主要包含三大创新：

一是“5G MEC 边缘渲染平台”：靠近设备终端提供融合的网络计算资源，GPU 虚拟化技术加上 5G 的高带宽、低时延，共同支撑高质量的交互式体验。

二是“AR/VR 边缘云渲染引擎”：以 3D 可视化应用的核心组件，支撑 3D 场景的交互和立体双目渲染。另外还包括：实时渲染，复杂 CAD 数据模型；以及多用户互动等。

三是“低延时和高带宽传输”：异步并发执行 3D 实时渲染和编码，配合分片编码和传输，动态更新编码码率，实现低延时视频帧传输。

5G 边缘云化 AR 设备将更加小型化，续航更长，显示出顶级的画质，增强用户的真实感体验。方案已经成功部署到国产大飞机制造厂。



图 12: 5G 边缘云化 AR/VR 方案

#### 4.6 基于联想超能云桌面的端-边-云一站式教育解决方案

联想超能云桌面解决方案是基于联想边缘计算平台构建的云边端一体化安全办公解决方案，满足行业用户对 Windows 终端设备统一部署、数据安全、集中管控等核心需求。对比传统云桌面技术，联想超能云桌面具有卓越体验、集中管控、安全可靠、兼容性好等多种优势。

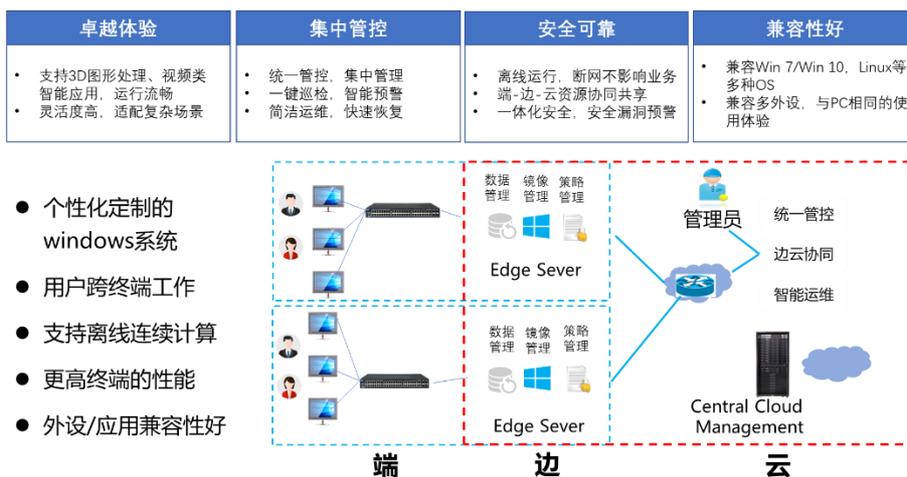


图 13: 端边云协同的联想超能云桌面

基于联想超能云桌面的端-边-云一站式教育解决方案，在端侧可以通过超能云桌面自动实现学校教室内设备的集中管控和互联，教师可以通过账号登录不同的终端，课堂学生用机可动态批量部署刷新。在边侧提供教学课件与云桌面一体封装，可按时间段、教师和学生群推送定制化超能云桌面，实现应用和数据的定向服务等。在云侧可通过端-边-云协同实现跨校区计算、数据和服务漫游，教学资源按需调度，最大化实现教育资源的协同共享和不断更新升级。

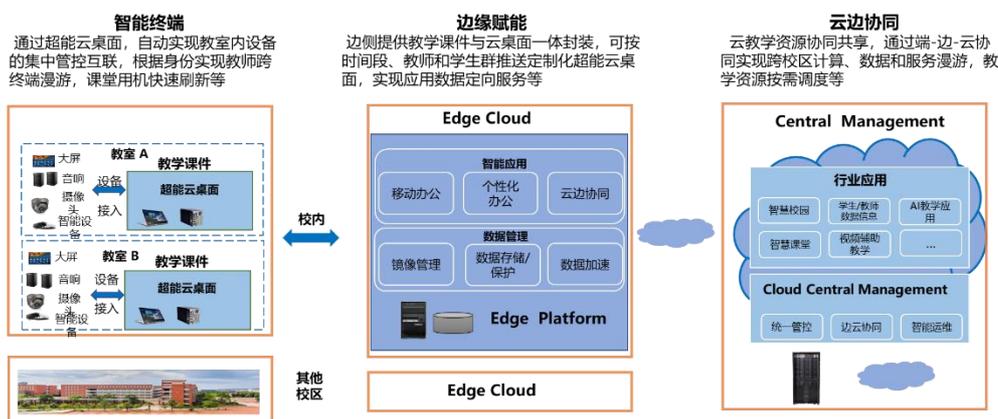


图 14: 基于联想超能云桌面的端-边-云一站式教育解决方案

## 5. 总结和展望

随着行业数字化转型的不断深化及 5G、人工智能、物联网等技术的不断发展，边缘计算的概念已经深入人心，边缘计算的意义也得到了充分的认识。人们普遍认识到边缘计算在低延时、大带宽、泛连接、数据隐私类型的业务场景下，有着无可替代的作用。边缘计算和云计算互相补充，为行业数字化转型的诸多场景提供更优化、更经济有效的赋能。

边缘计算市场现在还是一片蓝海，未来的增长潜力巨大。据 Linux 基金会的预测，到 2028 年全球边缘计算市场将达到 8000 亿美元。来自行业客户、运营商、云厂商、ICT 厂商、应用开发商、开源社区等不同阵营的力量正在以不同的路线共同推动边缘计算的快速发展。边缘计算的产品形态五花八门，应用生态也在逐渐形成中，多个行业的应用场景还待探索。

联想在 ICT 领域有突出的传统高质量、高可靠、全面覆盖的算力硬件优势，近年来加速深耕以软件定义和云原生为代表的云计算、边缘计算及云网融合等新兴 ICT 技术，同时具备丰富的工业互联网、教育、零售等行业客户与经验，以及遍及全国的服务网络以及深厚的行业客户关系。联想依托传统优势，以边缘计算作为“新 IT”架构中的核心抓手，深度融合端、云、网侧创新，以“创造客户价值”为导向，与客户一起创新行业专属的智能解决方案。联想的新型行业智能解决方案具有软硬融合的特点，具有深度行业优化属性，能以一体化的形式，提供客户各类应用的计算、存储和网络边缘运行环境，包括各类轻重边缘计算形态，同时满足云边端应用-数据协同、5G 等的多网络接入、场景特定的技术创新、端到端 SLA 保障以及远程智能运维等需要，为各行各业的智能化转型保驾护航。

联想积极投入开放的边缘计算平台建设，平台可以灵活适配客户所需的联想轻、重边缘硬件，高效接入、管理并赋能合作伙伴的各种人工智能、大数据、AR/VR 等多种形态的行业应用，共同构建更加完善和可靠的边缘计算生态。

## 6. 参考文献

1. Gartner: Exploring the Edge: 12 Frontiers of Edge Computing, 2019
2. Forrester: AI 和 5G 驱动边缘计算的发展
3. IDC: Worldwide Edge Compute and External Storage Systems Infrastructure Market 2021-2025, 2021.09
4. IDC: PRC Edge Computing Server, 2H2020
5. 艾瑞咨询: 2021 年中国边缘云计算行业展望报告
6. Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, et al. Edge Computing: Vision and Challenges[J]. IEEE internet of things journal, 2016, 3(5). 637-646.

## 一般法律告知

本文件是为中国大陆地区提供的产品和服务而拟定的。联想可能未在其他国家或地区提供本文件中提及的产品、服务或功能。联想可能随时停止某特定产品或服务的供应。产品和服务信息可能会被随时修改，恕不另行通知。本文件内容仅供参考，不构成联想的承诺或要约，我们将对文件内容尽合理努力进行审核，但不能排除文件可能仍然存在编辑或印刷错误。联想按“现状”提供本文件，不附带任何保证，无论是明示的还是默示的，包括适销性和适用于特定用途的默示保证。如可适用法律不允许排除某些类型交易中的明示或默示的保证，则此时上述排除可能不适用于您。

本文所述技术、产品及内容会不时更新，联想研究院可能会随时对本白皮书内容相应进行补充和修改，请读者关注最新版本。如有任何意见或建议等请按本白皮书提供的联络方式与我们联系。

未经联想事先书面授权，任何人士不得以任何方式对本文件的全部或任何部分进行复制、抄录、删减或将其编译为机读格式，以任何形式在可检索系统中存储、在有线或无线网络中传输，或以任何形式翻译为任何文字。

本文件图示及功能描述仅为说明目的提供，仅供参考，产品均以实物为准。本文件提及的某些部件、功能和特征仅用于说明目的，可能仅适用于某些特定型号的产品。除非另有明确指明，否则本文件的任何内容都不是对产品具体规格和配置的描述。如需了解产品规格和配置，请查阅产品的相关规格文件或向产品销售商咨询。本文件的任何内容均不构成对联想产品保修政策的修改。提及的技术性能指标基于特定环境测得，在其他运行环境中获得的指标数据，可能会因设置和环境有差异。标称存储容量仅代表规格，因功能占用，实际可用容量低于标称值。

所提及的软件及互联网服务根据相关许可和/或服务协议使用。使用网络功能可能消耗数据流量并发生服务费，由网络服务商根据其标准收取。产品某些基于网络的功能可能由第三方网络服务支持，此类第三方服务包括其内容非由联想提供、保证和支持，并可能随时终止或变更。使用第三方服务受第三方服务条款及隐私权政策的约束，此类条款可能与联想的规定不同，使用相关功能和服务前，请仔细阅读该第三方条款。

第三方服务及其内容不受联想控制，联想对其不承担任何责任。

## 权利声明

以下文字及徽标是联想集团所属企业的商标。

“联想”、“Lenovo”

提及的其他商号、产品或服务名称可能是联想或其他公司的商标并由其各自权利人拥有。

版权所有©2021 联想集团所属企业和/或其许可方，保留所有权利。