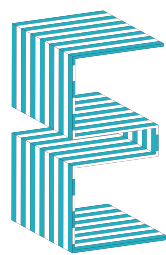
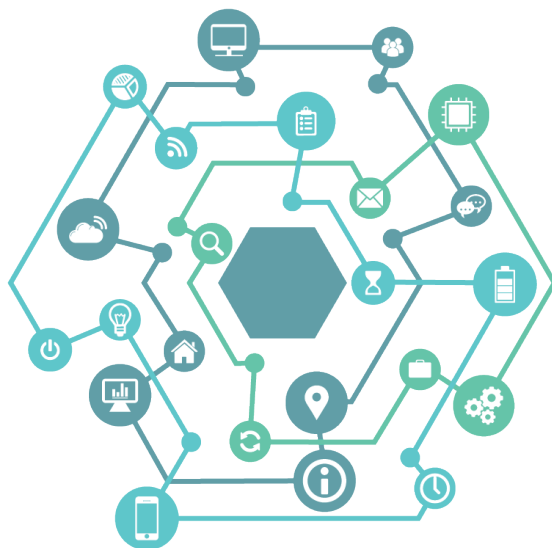


IoT合作伙伴计划

边缘智能 白皮书



dge Intelligence White Paper



目 录

- 1 前 言
- 2 版权声明

第一章 边缘智能概述

- 3 边缘计算产生的背景
- 6 边缘计算问世
- 9 从边缘计算到边缘智能

第二章 业务和技术视角下的边缘智能

- 11 业务场景需求驱动的边缘智能
- 19 技术能力支撑的边缘智能
- 27 主要的边缘智能参考架构

第三章 边缘智能产业生态分析

- 30 边缘智能产业图谱
- 31 边缘智能产业生态主要组成部分
- 38 边缘智能产业发展规模

第四章 边缘智能主要参与者布局

- 41 互联网公司
- 44 通信设备公司
- 45 运营商
- 47 芯片企业
- 49 IT 基础设施供应商

第五章 边缘智能应用案例及商业模式探索

50 边缘智能主要应用案例

55 边缘智能主要商业模式

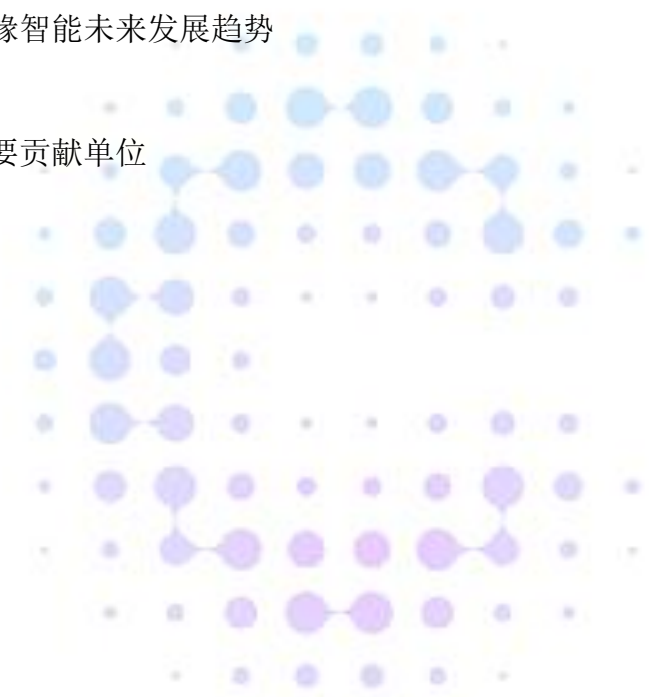
第六章 边缘智能未来发展趋势展望

57 边缘智能处于发展初级阶段

58 边缘计算向边缘智能演进中的挑战

59 边缘智能未来发展趋势

61 主要贡献单位



IoT合作伙伴计划

前 言

由于各类信息技术的发展，尤其是物联网产业进入规模化落地的初期，边缘计算已经提上了产业界议事日程，而随着人工智能在边缘计算平台中的应用，加上边缘计算与物联网“端-管-云”协同推进应用落地的需求不断增加，边缘智能成为边缘计算新的形态，使能物联网应用。

“将在外，君命有所不受”是非信息时代边缘智能的一种表现形式，主要是针对现场瞬息多变的战况产生的。而物联网的各类业务应用场景就像多变的战况一样，直接驱动边缘智能的进步，这方面主要是各类网络传输场景和应用特征产生的场景，对边缘智能形成直接需求；另外，边缘智能产业链上游各参与方投入大量资源进行技术研发，从供给方面给边缘智能打下基础。

边缘智能产业生态架构已形成，主要有两类参与者，第一大类涉及到边缘智能技术、产品、解决方案等核心业务的研发、生产、经营、应用闭环的流程，涵盖边缘载体供应商、边缘业务运营商、服务提供商和最终用户；第二大类主要是为边缘智能这一闭环流程提供研发、标准制定、产业组织等服务，对应的是一些科研机构开展边缘智能各个课题研究，标准化组织推出边缘智能端到端标准和参考架构，以及行业协会、联盟促进整个产业合作共赢，降低产业的碎片化。

目前，边缘智能已经在智能城市、智能工业、智能社区、智能家居、车联网等大量的垂直行业中形成示范应用，给垂直领域带来新的价值，产业链各方也在探索 B2B2C、B2B 等多种类型的商业模式。不过，边缘智能依然处于发展的初级阶段，技术、业务、商业模式等各方面的挑战仍然具有不确定性，接下来需要在标准化、产业联盟、场景驱动、产业链协同、安全隐私等方面做好工作，推动边缘智能的规模化落地。

本报告在物联网的框架和视角下，对边缘智能产业进行解读，希望对业界能够起到一定参考作用。

版权声明

本白皮书版权属于 ICA 联盟

使用说明：未经 ICA 联盟事先的书面授权，不得以任何方式复制、抄袭、影印、翻译本文档的任何部分。凡转载或引用本文的观点、数据，请注明“来源：ICA 联盟”。



第一章 边缘智能概述

近几年，随着云计算、大数据、人工智能等技术的快速发展，以及各种应用场景的不断成熟，越来越多的数据需要上传到云端进行处理，给云计算带来的更多的工作负载，同时，由于越来越多的应用需要更快的反应速度，边缘智能应运而生。未来，随着百亿级别的设备联网，大部分数据都将在靠近数据的一侧完成收集、处理、分析、决策的过程。本章将会从边缘智能产生的背景、发展过程等展开论述。

1.1 边缘计算产生的背景

回顾科技的发展史，一种技术、产品得以出现，主要原因是当下的技术、产品已然不能适应时代的发展。边缘智能也不例外，从我们进入物联网时代开始，联网设备、海量数据、超低延时等需求都对现有的云计算模式提出了挑战，如果沿用现有的技术就会成为万物互联时代的瓶颈，因此需要新的计算模式。

（1）物联网连接数快速增长

全球主要公司、权威机构都给出了各自的网联设备数量预测，根据 Machina Research 给出的数据显示，其预测 2025 年全球物联网连接数将增长至 270 亿个，蜂窝连接个数将达到 220 亿个，大部分将基于 LTE。

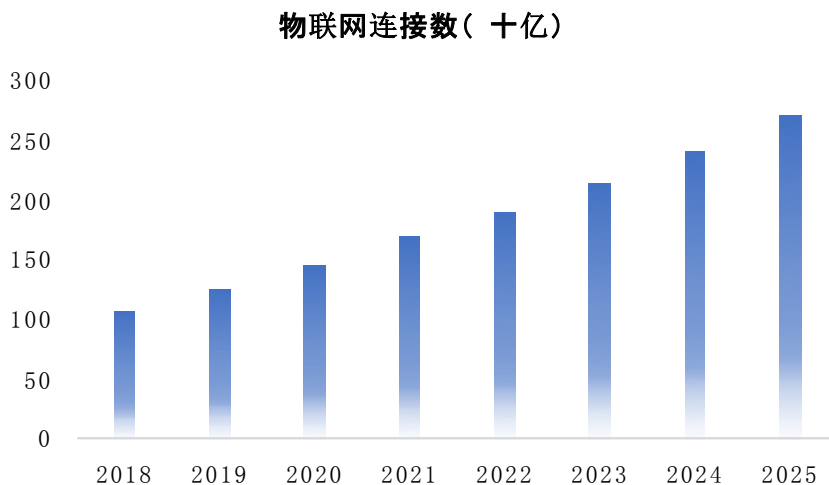


图 1 全球物联网连接数（来源：Machina Research）

如此多的物联网设备都处在远离云计算的边缘侧，物联网设备不仅仅是一个数据收集器，更是执行器，以目前的现状来看，物联网设备将采集到的数据上传到云计算中心，经过一系列的计算与分析之后，再传达到物联网设备，云计算的处理能力尚可。但是，当物联网设备的数量达到百亿、千亿之后，“偏远”的云计算在处理这些数据的时候，其能力就会显得捉襟见肘。

在此情况下，边缘智能可以实现在设备侧、数据源头的的数据收集与决策。这样既可以减轻云计算的计算负载，也能完成某些场景对数据处理与执行的苛刻要求。有研究机构预测，未来会有超过一半的数据在边缘进行处理，甚至更高，当然这并不是说边缘计算会吃掉云计算，我们也不这么认为，云计算和边缘计算的关系应该是互补的。

（2）网络流量呈现持续、快速增长

物联网时代，一切的发展都是建立在数据的快速增长之上，通过对海量数据分析才可以实现各种智能场景。根据思科的预测显示，2021 年，全球网络流量将会达到 278 EB/月，而这一数据在 2016 年还只有 96 EB/月。

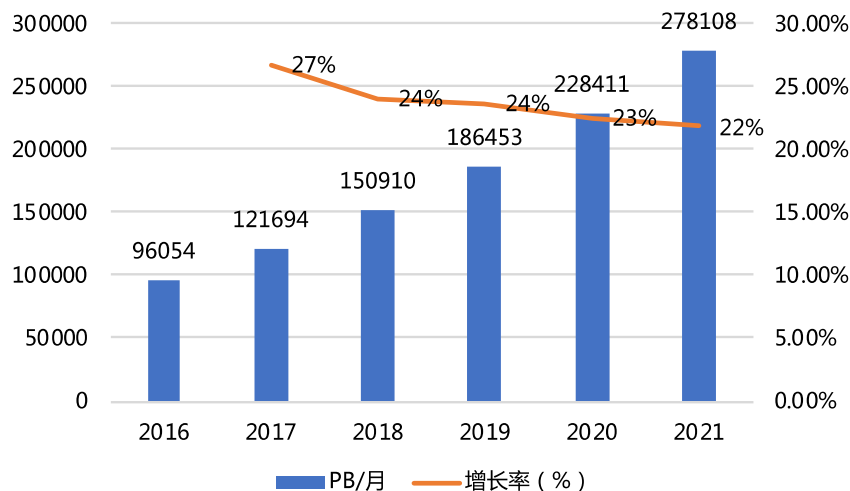


图 2 2016-2021 年全球月均网络流量

2021 年，全球月均网络流量将会达到 2016 年的三倍，年复合增长率为 24%，可以说每天都会产生大量的数据。正如前文所说，物联网时代将会有几百亿的联网设备，因此，其数据将会呈现分散性、碎片化的特点，云计算虽然有强大的数

据处理能力，但是在面对海量的数据以及网络带宽带来的阻碍之时，云计算并不能实现全面的计算覆盖，而边缘计算就可以极大的缓解云计算的压力。

此外，与网络流量持续增长不同，网络带宽呈现阶梯上升的现状，因此，网络带宽的增长速度远远比不上流量、数据的增长速度。而从目前 5G 建设的步伐和预算来看，全面实现 5G 覆盖不是一蹴而就的事情，还需要一定的时间，并且，由于频谱的问题，5G 覆盖的范围比 4G 小，这就需要重建很多 5G 基站，资金成本是一个大问题。综合技术与资金方面的考量，网络带宽带来的瓶颈问题短时间内很难解决。

大量的数据需要处理，很多场景需要实时的决策，云计算并不能完全满足市场的需求，边缘计算在这方面具有得天独厚的优势，即靠近数据侧，又有计算能力。并且，不是所有的数据都需要上传到云端，但是这些数据又对边缘设备的功能执行有着重要的作用。思科在 2015-2020 年全球云指数指出，2020 年全球设备产生的数据中，只有 10% 是关键数据，其余 90% 都是临时数据，无需长期存储。基于以上因素，边缘计算可以极大的缓解网络带宽和云计算中心的压力，增强本地服务的响应效率。

(3) 业务需求对技术提出新的挑战

技术的进步往往是以需求为导向，云计算、边缘计算的产生都是与各类业务的需求息息相关。以智能驾驶为例，汽车对时延的要求以毫秒为标准，从目前的技术发展，以及智能驾驶的需求来看，边缘计算可以在汽车高速移动的前提下提供 IT 服务环境和计算能力，还可以减少对网络资源的占用，增强实时通信能力，在极低时延的情况下完成数据处理和执行服务。

虽然，智能驾驶的实现需要多种技术同时推动，比如定位导航技术、环境感知能力、自动控制技术等，但是作为整合这些技术的边缘计算能力才是实现智能驾驶关键一环。

汽车要实现真正的智能化，就必须时刻对周围的数据进行读取与处理，在高速行驶的状态下，根据早年谷歌在无人驾驶方面取得的数据显示，智能驾驶汽车每秒会产生 1GB 的数据，处理这么多的数据，只靠云计算是不够的。更何况，未来所有的汽车都会实现智能化，面对百万、千万级的汽车数量，只靠数百公里之

外的云计算中心不能同时处理如此多的数据，加之网络阻塞，汽车可能在数秒之后才会获得正确的指令，但为时已晚。这就需要能够在汽车端实现数据处理并执行的技术，由于边缘计算靠近数据源头，又具备轻量级云计算的能力，可以达到汽车智能化的时延要求。

1.2 边缘计算问世

随着物联网连接数、网络流量的快速增长，以及各种场景的需求逐渐增多，正在催生新技术——边缘计算等的不断革新。加之云计算的短板问题逐渐显现，因此科技公司都在各自的领域“嵌入”边缘计算能力，对边缘计算的定义也有着不同的表述，但都大同小异。

1.2.1 边缘计算定义及特点

欧洲电信标准协会（ETSI）给出的定义是，多接入边缘计算是在靠近人、物或数据源头的网络边缘侧，通过融合了网络、计算、存储、应用等核心能力的开放平台，就近提供边缘智能服务，来满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

ARM 官方也曾给出这样的解释，他们认为边缘计算指的是靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在业务实时、业务智能、数据聚合与互操作、安全与隐私保护等方面的关键需求。该定义也被诸多公司、机构认可，比如边缘计算产业联盟，其在其第一版白皮书给出的边缘计算定义就与 ARM 的相同。

当然，不同的参与方会从各自的角度定义边缘计算，除了 ETSI、ECC 给出的上述定义，电信领域也提出了移动边缘计算（MEC）的概念，这里的边缘指的是骨干网络的边缘，如基站等。

本报告认为，边缘计算不仅仅是对操作系统、开发环境、网络协议、外围硬件等软硬件的“边缘化”，更重要的是发现另一种高效的，与云计算形成协同效应的场景化的计算方式，近场计算或许是一种更为贴切的表述方式。基于对边缘

计算定义的理解，以及其在新场景下发挥的功能，我们可以把边缘计算的特点归纳为以下几个方面。

(1) 数据处理实时性

实时性是由于边缘计算天生的能力决定的，由于靠近物与数据源头，或者说其整合了数据采集、处理、执行三大能力，使其能够避免一些数据上传下达产生的时延弊端，可以在业务允许的范围完成对数据、软硬件的适配，提升本地物联网设备的处理能力和响应速度。

(2) 业务数据可靠性

基于安全的数据才会有可靠的业务，众多的边缘计算服务就意味着庞大的服务加密协议，与现有的云计算数据传输状态类似，当数据从一个服务中心传输到另一个服务中心，会有各种协议的支持和数据加密方式的保障。同样，百亿级的边缘计算服务设备之间的数据传输更应该对数据的安全与隐私提出保障。

在数据安全的基础上，业务才会有可靠的表现。由于边缘计算可以在广域网发生故障的情况下，也能够实现局域范围内的数据服务，进而实现本地业务的可靠运行。

(3) 应用开发多样化

我们知道，未来会有一半以上的数据在其源头进行处理，也会有诸如工业制造、智能汽车、智能家居等多样的应用场景。用户可以根据自己的业务需求自定义物联网应用，这就好比我们在安装 office 过程中会有多种的安装选项。此外，需求的多样化必然会带来研发的多样化，现在设备公司、运营商、系统集成商、互联网公司都在从各自的角度，利用自己的能力介入边缘计算。



图 3 边缘计算特点

1.2.2 边缘计算与云计算

对于云计算，维基百科给的这样的解释，云计算是基于网络提供的按需的、共享的、可配置的计算以及其他资源。从计算方式上来讲，云计算是云+端的模式。用户的个人智能客户端通过网络连接到云上，从而与云端的“云”共同形成一个综合的平台。

之所以会出现边缘计算，是由于云计算在应对物联网场景的时候出现服务能力不足的现象。云计算采用集中式的数据管理方式，面对分散的、碎片化的万物互联场景，应用服务需要在低时延、高可靠以及保证数据安全的前提下完成，云计算并不能满足这些要求。

（1）低时延

物联网环境下，边缘设备会产生大量实时数据，这些数据需要实时的处理，由于云计算的数据处理能力和所处的“地理位置”，不能满足这一要求，而随着网络流量的逐渐增加，云计算能力也将达到其瓶颈，进而制约物联网业务的发展。

（2）数据安全

从目前的现状来看，当用户浏览网站购买服务的时候，用户的隐私数据会上传至云端，此外在工业生产中，工业设备采集到的数据也会上传，由于这些数据是集中式的管理，就会增加数据泄露的风险。

（3）能耗

随着云计算中心存储和处理的数据越来越多，为了满足其服务能力，需要大量的能耗，加之维持计算中心温度所产生的能耗比计算服务本身所需要的更多，而降低云计算中心的负载可以达到降低能耗的目的。

当然，云计算所固有的问题并不意味着云计算会被边缘计算取代，二者应该是一种互补的关系，云计算可以在非实时的数据分析方面、数据模型的训练过程中发挥特长，边缘计算可以很好的处理云计算在某些方面所暴露的问题，比如时延、能耗，可以利用云端模型服务本地业务。二者的结合所产生的精细化计算能力可以为未来多样化的物联网业务提供合理的支撑。

1.3 从边缘计算到边缘智能

不论是云计算还是边缘计算，其关注重点都是数据的处理与输出，做个比喻，云计算和边缘计算可以认为是在象牙塔里学到的理论知识，但是理论终究要运用到实践中，实践不是简单的套用理论，更重要的是能够解决生活生产中所遇到的实际问题。

对边缘计算也是同样的道理，与人工智能结合，让每个边缘计算的节点都具有计算和决策的能力。可以这样理解，边缘智能（EI）就是在业务层、终端侧部署人工智能。

边缘智能是边缘计算发展的下一个阶段，边缘计算是打破云计算不足的一种手段，而边缘智能则更注重与产业应用的结合，促进产业的落地与实现，这也是本报告的核心内容。

与边缘计算相比，边缘智能除了拥有更高的安全性、更低的功耗、更短的时延、更高的可靠性、更低的带宽需求以外，边缘智能可以更大限度的利用数据，让数据变得更有价值，与云计算、边缘计算相比，边缘智能可以更进一步的缩减数据处理的成本。

（1）边缘智能让数据变得更有价值

根据麦肯锡的调查发现，虽然某工业现场安装了成千上万的传感器，但是决策时使用的数据却只有 1%。这其中 40%的数据没有保存，剩余 60%的数据也只是离线保存在采集终端，只依靠 1%的数据并不能实时的分析和决策。

（2）边缘智能帮助企业缩减成本

根据某研究机构的研究发现，大部分边缘设备与云端相距很远，当边缘与云端的距离减少到 322 公里的时候，数据处理成本将缩减 30%，当两者的距离缩减到 161 公里的时候，数据处理成本将缩减 60%，而当边缘具备人工智能分析能力的时候，这一数字还有进一步缩减的空间。

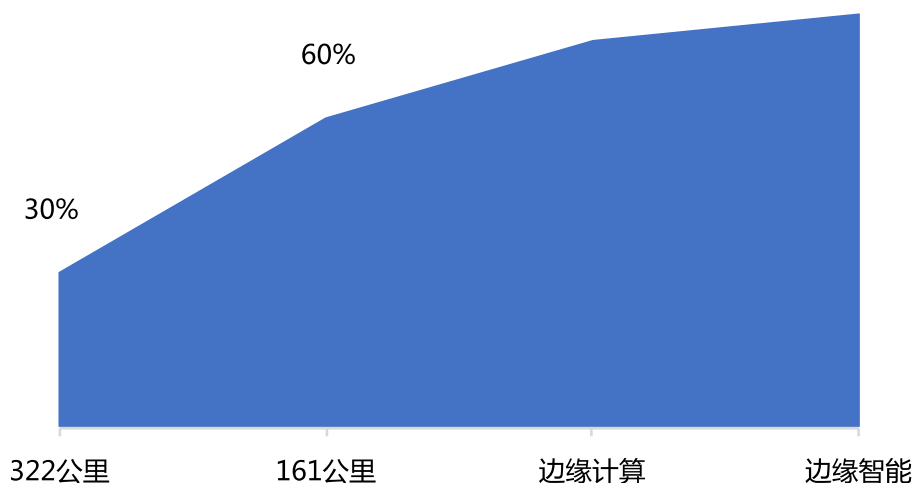


图 4 数据处理成本缩减 (%) 结果

我们可以看到从云计算、分布式计算，到边缘计算，再到边缘智能，计算方式正在从云计算落实到贴地计算，边缘计算将轻量化的云计算与设备端结合，而边缘智能则是将边缘计算与用户、业务结合，边缘智能不是简单的把边缘计算搭建起来，更是对管道能力的整体提升，是物联网应用的使能者。

第二章 业务和技术视角下的边缘智能

边缘智能之所以被业界提上议事日程，很大程度上源于供需双方的各类条件成熟或者已经具备应用落地条件。从需求方来看，由于物联网产业的高速发展，各类创新型业务需要边缘智能的助力才能实现落地；从供给方面来看，一些能够支撑形成边缘智能产品、平台和解决方案相关技术已经成熟，还有针对不少该领域的技术成为业界研发的重点，来满足业务发展带来的需求。因此，业务和技术构成了边缘智能需求和供给的因素，本章对这两方面进行研究。

2.1 业务场景需求驱动的边缘智能

随着移动互联网、物联网产业的高速发展，大量的业务场景对边缘智能已经提出了明确的需求，且开始在应用中落地。万物互联的愿景虽然还未实现，但业界已经有针对性地规划未来的业务场景，根据业务场景的需求来设计边缘智能的各项支撑性技术和方案，可以说业务场景需求是核心导向。总体来说，驱动边缘智能发展的业务场景主要包括两个方面，即网络传输的场景和应用特征产生的场景，从而形成对边缘智能的需求。

2.1.1 网络传输的场景

正如本报告前文所述，物联网业务对各类有线、无线网络需求和依赖性很强，在很多情况下网络传输的场景往往成为业务落地的瓶颈，因此需要针对这些场景部署边缘智能平台和方案。

（1）异构网络的场景

由于面对着复杂的环境，完整的物联网解决方案往往采用了多种网络通讯技术，来保障业务连续性。目前，不存在一种网络技术标准可以同时涵盖各种距离和不同网络性能的要求，即将商用的 5G 网络具有很强的包容性，融合大量不同的通信技术标准，但依然难以涵盖所有物联网应用需要的通信场景。

近年来，无线通信技术的进展为物联网通信层带来了很大活力，我们以网络覆盖要求和网络性能要求两个指标来考察网络需求场景，会形成如下矩阵形态：

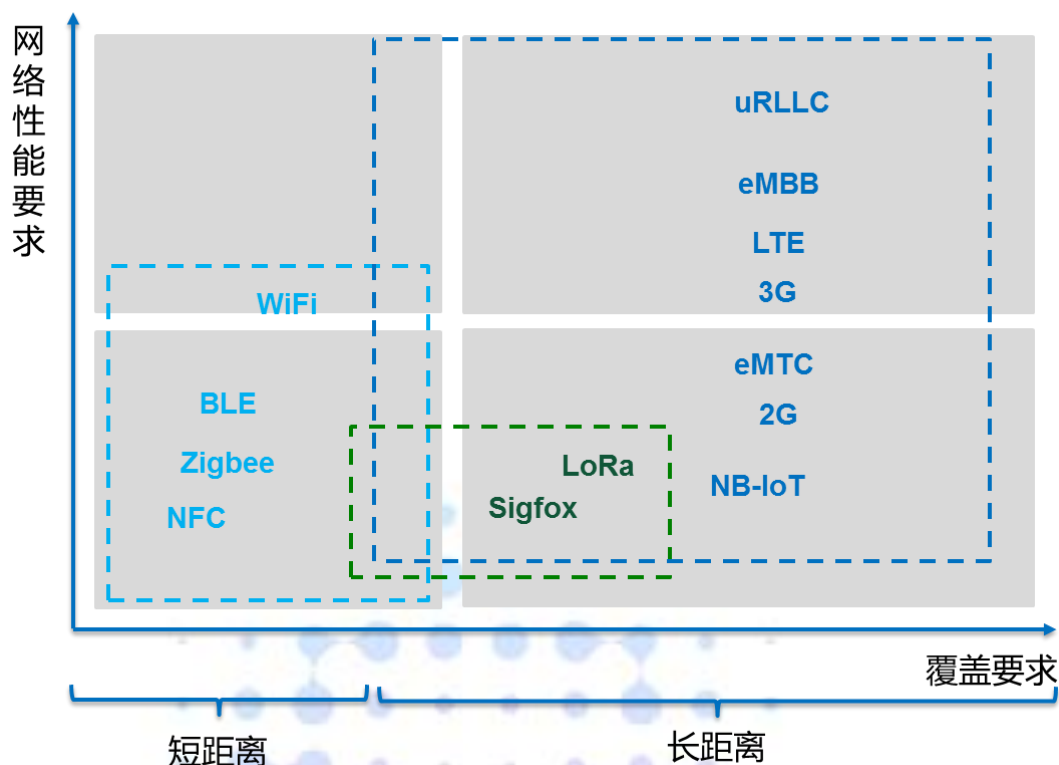


图 5 物联网无线网络场景矩阵

目前，大量物联网场景由于业务局限在小范围内，采用 WiFi、蓝牙、Zigbee 等短距离通信的技术，如智能家居、智能楼宇、智能照明、可穿戴设备等，所有采用短距离通信的物联网终端、传感器等节点均需要通过网关等枢纽类设备进行回传才能到达云端，这些枢纽设备就成为边缘智能平台运行的天然载体。而近年来兴起的低功耗广域网络（LPWAN）则是为广泛分布、免维护、低频小包数据传输场景而生的，不过也存在基于授权频谱和非授权频谱的技术，各类技术构成了传输网环节的差异，而相应设备数据回传至云端还是需要通过基站设备来进行；其他基于授权频谱的蜂窝网络技术，虽然具有统一的技术标准，但所有节点数据仍然需要基站进行回传至云端或服务器，与 LPWAN 类似，无线接入网之间或基站侧可以作为一个数据计算、处理的初步场所，形成边缘智能的载体，这也是移动边缘计算（MEC）的组成部分。

不仅仅是这些常见的无线通信，一些特殊场景会采用有线通讯连接，或自身所在行业通讯协议，如工业场景中最为流行的 Modbus、HART、Profibus 等协议，满足工业现场数据传输的需求，而这些场景中通讯协议更为复杂和碎片化，大量

数据需要在现场进行处理后直接执行操作，且回传至云端前也需要“中枢”类设备进行协议转换，这些中枢类设备也往往成为边缘智能的载体。

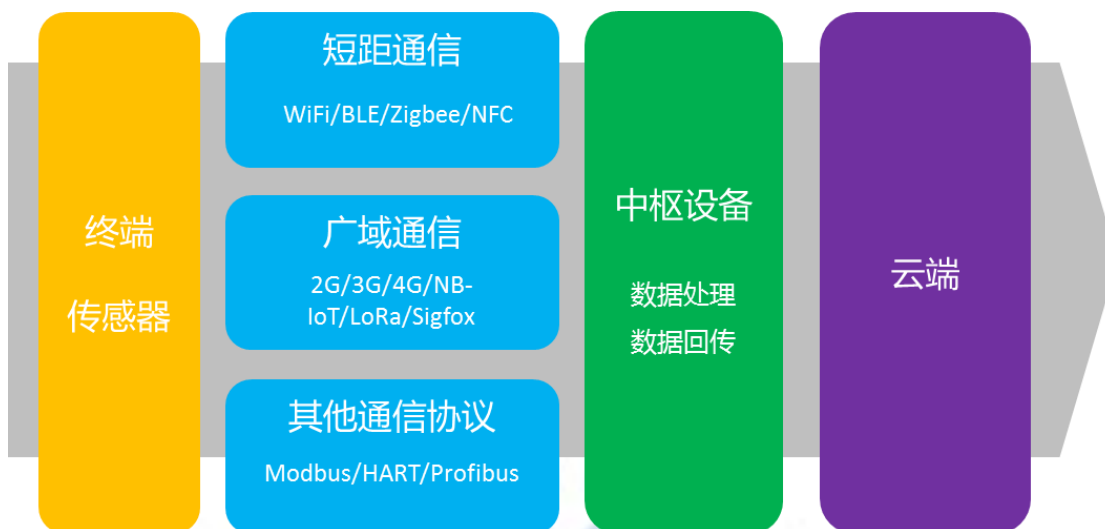


图 6 异构网络通信需要“中枢”设备

从业务需求角度看，有些场景确实融合了多种通信技术，比如一个园区解决方案中对于园区内部工厂内部采用工业通讯方式，而对于楼宇节能管理采用 Zigbee、蓝牙等短距离方案，对园区各类资产管理采用 LPWAN 技术。当需要一个园区整体解决方案时，所有的数据均需汇集到一个平台上，而在汇集到平台之前，通过各类通信技术连接的终端、传感器节点数据之间存在的差异，在靠近数据源的位置部署智能化节点就很有意义。另外，根据 IHS 的数据，当前有 80% 以上的连接是非 IP 类连接，需要网关等边缘智能类设备与 IP 类连接进行数据交互。Gartner 预计到 2020 年，90% 的物联网应用都会用到物联网网关。

所以说，不同通信技术之间需要实现兼容性，需要中间设备、平台以及相关软件技术进行“翻译”。这方面不少工作就放在边缘侧进行，利用边缘侧嵌入式终端的存储、计算、通信能力，实现异构通信技术的数据融合，形成部署边缘智能的必要条件。正如前文所述，各类通信协议数据回传途中，均有相应的软硬件节点作为数据的一个“枢纽”，而这个“枢纽”构成天然的边缘智能部署载体，形成边缘智能的充分条件。因此，物联网的发展形成异构网络的场景直接驱动边缘智能的发展。

（2）网络资源受限场景

网络资源受限的场景并不陌生，普通用户也常常会碰到类似的情况，比如我们在大型体育比赛、演唱会等场所时，因为小区容量有限，短时间内数据上下行需求过高，手机往往没有信号。在物联网时代，一方面海量的连网设备数量，另一方面不少设备产生数据的速度飞快，对网络资源形成压力。总体来说，网络资源受限的场景包括带宽资源不足和突发的网络中断场景。

带宽资源不足和终端产生数据量剧增往往同步发生，互联网业务范围普及，视频业务由高清向超清演进，未来虚拟现实、增强现实等技术给人们身临其境的业务体验，这些业务将带来流量爆炸式增长，业界不少企业用“数据洪流”来描述这一场景。业内预计，未来每辆自动驾驶汽车每天会产生 4TB 数据，每架飞机每天会产生 40TB 数据，而每一家智能工厂每天会产生 1PB 以上的生产视频数据。由于网络带宽和网络容量并没有实现同步的、连续性的爆炸式增长，从而造成带宽资源不足，这些短时间内产生的海量数据如果实时上传至云端，一定会造成网络拥塞。

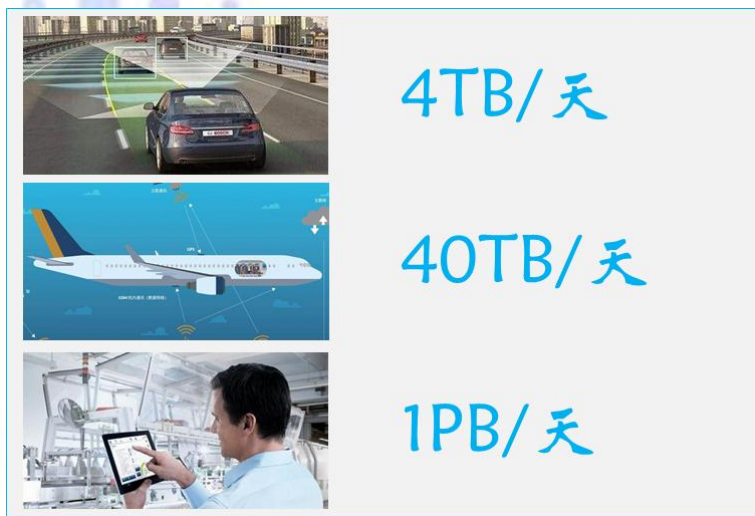


图 7 联网设备产生海量数据

带宽资源和海量数据的不同步增长，一方面网络弹性扩容能力有限，另一方面并非所有的数据需要通过网络上传至云端。一些需要短时间处理或存储周期很短的数据，本身无需占用有限带宽资源上传，而在靠近数据源头进行处理后即可，视频原始数据、工厂机器数据等有相当部分是通过边缘平台处理。麦肯锡曾经对一个海上钻井平台进行过调研，发现该平台上 3 万个传感器采集的数据中，40% 没有被存储，剩余的大部分在本地存储，给边缘智能场景提供数据来源。

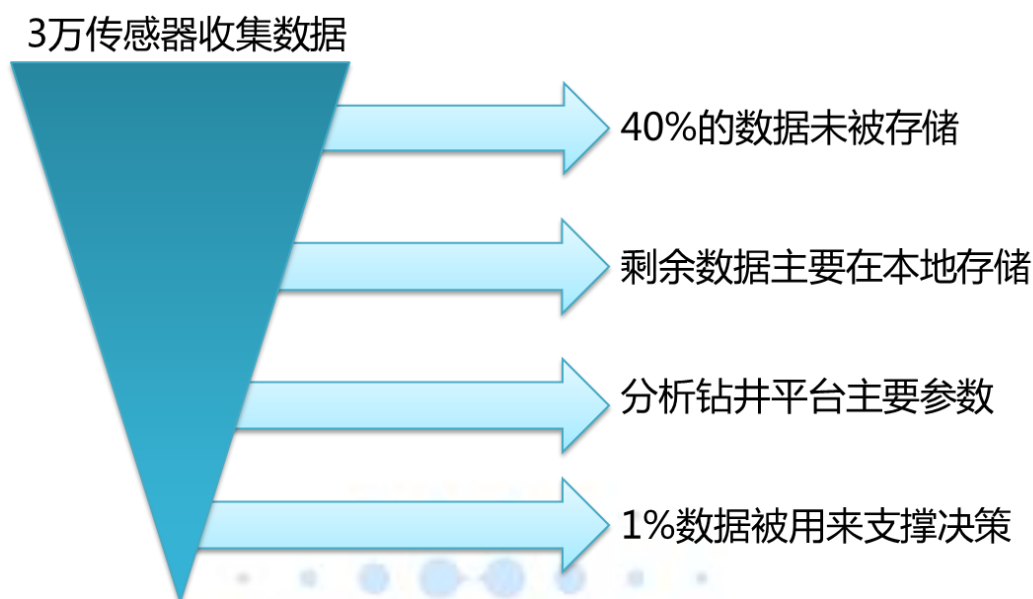


图 8 海上钻井平台数据（来源：麦肯锡）

另一网络资源受限的场景是突发的网络中断。虽然我国 2G 网络已成为全球精品网络，4G 覆盖 99%的人口，超过 95%行政村都接入宽带，中国电信、中国联通已实现全国超过 30 万个 NB-IoT 基站商用，但这些并不能保证物联网所有应用场景中网络没有中断的风险。在很多周边环境复杂的应用场景，突发的事件可能使得传输受到限制，如森林防火、塌方泥石流监控、气象监测等恶劣环境下的物联网应用，一般会考虑到突发网络中断时靠近数据源的缓存、处理来保障业务的连续性。也有一些应用部署在热点区域，在大量设备同时请求上行数据时造成的临时中断。比如，一些共享单车密集区域高峰用车时段可能对该区域的基站形成很大压力，造成上线率低，而运营商除了对这些热点区域的基站设备进行优化外，通过边缘智能的方案对共享单车数据上报形成调节。

（3）端到端低时延的场景

低时延高可靠（uRLLC）是国际电信联盟（ITU）确定的 5G 应用场景之一，标准化组织 3GPP 也为实现该场景进行了大量的标准化工作，今年 6 月份冻结的首个独立组网 5G 标准中就支持大部分 uRLLC 的场景，这一场景也是移动边缘计算（MEC）实现的主要技术之一。

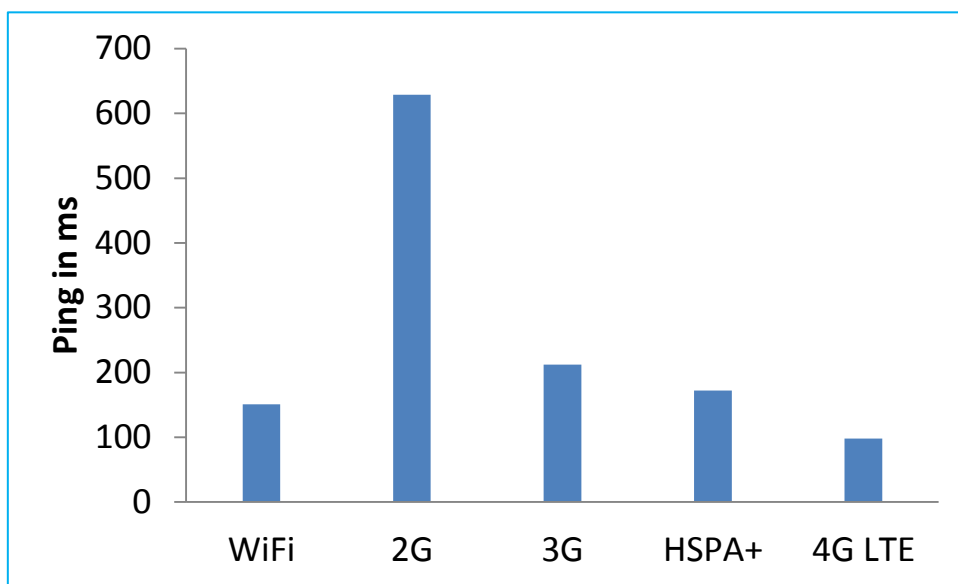


图 9 各类通信技术端到端时延测试（来源：Open Signal）

从网络传输角度看，端到端时延已经成为通信技术供应商为用户提供的服务中关键指标之一。未来智能工业、自动驾驶等应用场景中需要进行监测、控制、执行，往往需要非常低的时延，很多情况下时延要求在 10ms 以下。现有成熟的网络传输方式并不能实现这一要求，根据独立第三方网络测试机构 Open Signal 的测试结果，目前 4G LTE 可以达到 100ms 以下的端到端时延，而其他方案时延均高于 4G LTE，这一结果还不足以支撑智能工厂、自动驾驶的有效应用。而 ITU 所定义的 5G 空口时延为 1ms，可以满足这方面需求，不过这个 1ms 的指标需要边缘智能的协助。

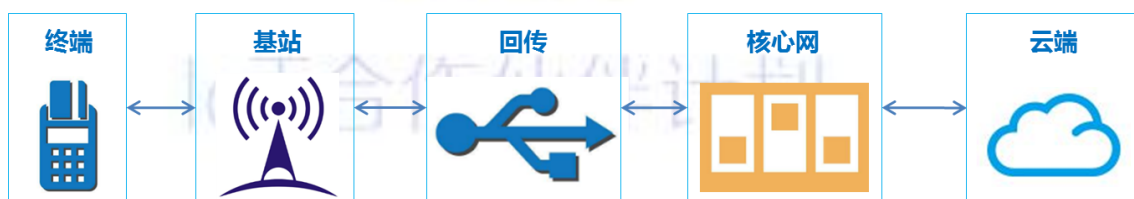


图 10 端到端时延示例

Open Signal 所测试的端到端时延是指终端——基站——回传——核心网——云端的往返时延。而在云端之前，即终端至核心网之间的时延约为 20-30ms，但核心网到云端的物理距离将主要决定了网络时延，由于云端服务器分散在全球各地，物理距离较远，终端数据需要通过光纤连接访问云端，增加了时延。如果需要低时延场景的业务采用终端——云端的往返模式，即使终端——核心网之间

的时延降到非常低的程度，也无法保障其实时性要求，自动驾驶、智能工业等业务无法开展。

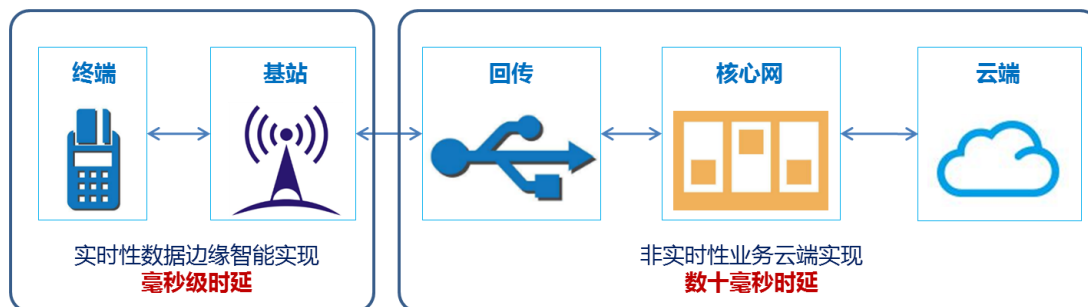


图 11 通过边缘智能实现毫秒级时延

此时，对于边缘智能的需求就非常明显，5G 技术通过将存储、计算、智能资源下沉，在基站侧或无线接入网之间的位置，以边缘智能的方案来处理实时性、短周期的数据，即时回馈给终端去执行，达到 1ms 的时延水平，从而保障业务的正常开展。

2.1.2 应用特征产生的场景

万物互联会产生多样化、差异化的应用，不少应用本身具备的特征直接决定了需要采用边缘智能的方式，尤其是需要提供差异化服务的场景，包括专网类业务场景、营销类业务场景和体验提升的场景等。

(1) 专网类业务场景

大量行业、企业因为业务特殊性、数据保密等原因，采用专网方案，主要业务数据在其专用网络中进行计算处理，不使用公共网络服务。在过去的数十年中，专网类业务规模虽然远不如公网类业务那么大，但政务、公安、民航、铁路、交通、工业等大量行业都在采用专网服务，做到物理隔离来保证数据安全。

专网业务中不少场景对边缘智能有天然的需求，虽然专网用户会自建数据中心或私有云，但面对很多业务数据本地产生、本地终结的特征，并不需要所有数据都存放在其自有的服务器上，通过数据源头平台处理能提升效率，同时也减轻自建服务器的容量压力。

比较典型的专网场景就是企业的工业制造场景。上一节中所述，智能工业本身就有低时延、高可靠的通信场景，需要通过边缘智能助力实现。除此之外，工

业制造现场每天会产生的海量数据，直接在现场就近进行处理，目前很多企业已能够提供成熟的边缘智能软硬件解决方案，在工厂的局域环境下完成。

另一种典型的专网场景是本地视频，由于很多用户的安装的视频设备采集数据也仅限于其专网内部，作为监测、管理手段提升的方式。不过，很多监控视频的大部分时间都是静止场景，不论是从摄像头终端侧或者服务器侧处理都不是很理想的方式。此时，部署边缘智能平台对于这种专网监控视频就很有意义，通过边缘智能平台筛选出监控画面变化的部分或一些有意义的视频片段，对服务器进行回传，而把价值不高的监控内容就地缓存在边缘智能服务器中，保障专网资源留给关键业务。



图 12 专网视频监控边缘智能方案

（2）营销提升业务场景

对于很多移动互联网和物联网场景，通过边缘智能可以更为快速地对终端侧数据和缓存数据进行用户画像刻画，提升营销效果。边缘智能服务器和平台的缓存内容给终端用户提供体验业务，促进用户对业务的了解和购买，在用户订购后，通过端、边、管、云融合的方案为其提供服务；一些专门业务的体验厅、营业厅等场所，在边缘智能助力下给潜在用户带来耳目一新的体验。类似的服务方式可以在各行业中落地，通过与拥有垂直行业渠道资源企业合作，开展联合营销，提升业务质量。比如，在零售领域，边缘智能平台将定位与移动设备通信能力结合，向消费者和商场提供更有价值的信息，在网络中的关键点收集的信息可以作为大数据分析的一部分，以更好地为客户提供服务。

（3）体验提升的场景

体验提升场景是用户采用边缘智能方案最主要的考虑之一。目前，大部分物联网的业务是以整体解决方案的形式提供给用户，而其中关键部分的优化对于整

体方案的体验提升非常重要，在大量场合中，边缘智能的采用会让整体业务体验提升到新的高度。在已成熟的移动互联网场景中，内容分发网络（CDN）已经成为提升业务体验的重要手段，比如很多借助运营商网络提供 OTT 业务的内容和应用供应商，推出和部署了一些 CDN 系统，在移动网络承载能力有限的情况下起到分流作用，可以说是一种边缘智能的方式。新的互联网视频直播、游戏等业务体验的提升也需要边缘智能的进一步成熟，同时形成边缘智能产业生态。

物联网各类碎片化场景中面对着比 OTT 业务更为复杂的情况，新业务的层出不穷也让基于互联网业务的边缘智能系统无法完全承载起来，对新的边缘智能方案的需求就越来越强烈。

VR/AR 是典型的需要体验提升的场景。目前，相应的 VR/AR 已广泛应用于旅游景区、博物馆、体育赛事、演唱会等消费级场所，也有不少行业作业场所借助 VR/AR 设备来完成。此前不少无线 VR/AR 采用终端和云端服务器交互方式，但此类设备产生的图像信息量太大，终端和云端之间反馈时延太长影响体验。一般采用的优化方案是将相应服务器部署在网络边缘侧，有效分担 VR/AR 图像识别运算压力，及时给终端反馈，增强用户体验。类似的体验提升场景非常多，智能物流、智能工业、车联网、智能医疗等需要保证实时性、可靠性的应用都有不断提升用户体验的需求，也是边缘智能能够直接应用的场所。

总体来说，业务场景需求是驱动边缘智能产业发展的最大因素，由边缘计算向边缘智能的发展，也是基于满足业务场景需求而提出新内涵。

2.2 技术能力支撑的边缘智能

随着 IT、CT 和 OT 技术的不断融合，物联网底层共性技术范畴不断扩大，边缘智能也是在各类不同领域技术有新的突破和融合的基础上才能落地。因此，从供给侧的角度来看边缘智能，主要是从边缘智能的支撑技术出发。

边缘智能相关的技术主要包括两类，一类是主要应用于边缘智能的各项软件、平台、系统等 IT 方面的技术，另一类是通信业新的 CT 技术进步给边缘智能落地带来新的机遇。前者主要包括适用于边缘智能的平台/系统，比如 ParaDrop、Cloudlet、PCloud、Firework、海云计算系统等，以及让边缘智能更加高效的技

术，比如计算迁移、存储技术、轻量级函数库和内核；后者则包括支持移动通信发展的新的技术。

2.2.1 边缘智能的平台/系统¹

(1) ParaDrop

ParaDrop 是威斯康星大学麦迪逊分校的研究项目，WiFi 接入点可以在 ParaDrop 的支持下扩展为边缘计算系统，像普通服务器一样运行。其使用容器技术来隔离不同应用的运行环境，在云端的后台服务控制系统上部署所有应用的安装、运行和撤销。

ParaDrop 系统主要由三部分组成，ParaDrop 后端，ParaDrop 网关和开发者 API。ParaDrop 后端集中的管理 ParaDrop 系统资源，维护网关、用户和服务降落伞信息，提供一个服务降落伞商店存储可以部署在网关上的 chute 文件。还提供两个重要的接口 WAMP API 和 HTTP RESTful APIA，前者用于和 ParaDrop 网关通信，发送控制信息，接收网关回复和状态报告，后者用于和用户、开发者、管理者以及网关通信。ParaDrop 网关是具体的执行引擎，给各服务降落伞提供虚拟化的资源环境，包括 CPU、内存和网络资源。开发者 API 使开发者可以通过 API 监测和控制 ParaDrop 系统。

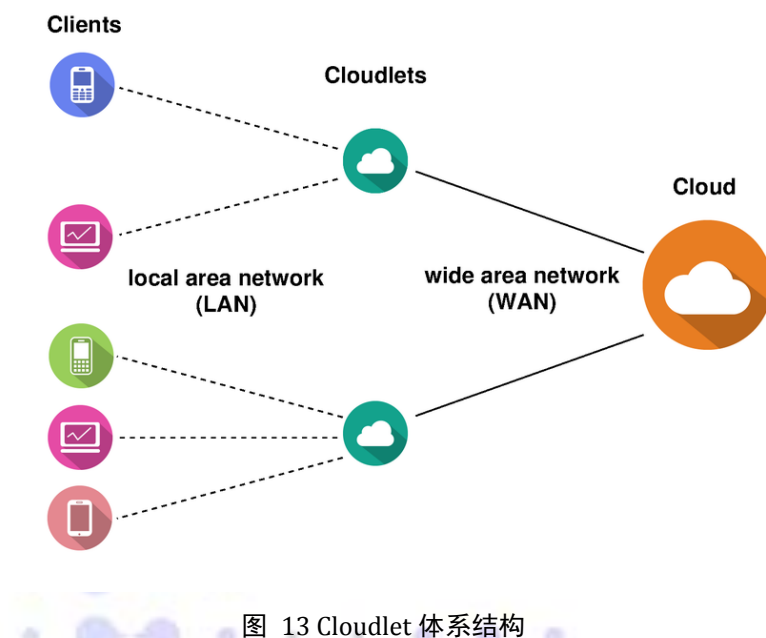
ParaDrop 主要应用于物联网中，特别是物联网数据分析。ParaDrop 的优势主要包括以下几个方面。敏感数据可以在本地处理，不用上传到云端，保护用户隐私；接入点靠近数据源，缩短应用的响应时间；数据按需上传互联网，减少网络负载；在某些无法联网的情况下，部分应用依然可以使用等等。

(2) Cloudlet

Cloudlet 是卡内基梅隆大学于 2009 年提出的概念，是一个可信且资源丰富的主机或机群，部署在网络边缘，与互联网相连，可以被周围的设备访问，为其提供服务。

¹ 本部分参考施巍松、刘芳、孙辉、裴庆祺编著《边缘计算》部分内容

Cloudlet 将原先移动云计算的“移动设备——云”两层架构变为“移动设备——Cloudlet——云”三层架构。可以在个人计算机、工作站或者低成本服务器上实现，可以由单机构成，也可以由多台机器组成的小集群构成。



（来源：Bringing the Cloud to Rural and Remote Areas –Cloudlet by Cloudlet）

作为网络边缘的小型云计算中心，Cloudlet 可以暂时存储来自云端的状态信息，并进行自我管理；其有相对充足的计算资源，可以满足多个移动用户的计算任务；介于云端和用户之间，更加靠近用户，受网络带宽和时延的限制较小。

（3）PCloud

PCloud 是佐治亚大学在边缘计算领域的研究成果，可以将周围的计算、存储、输入/输出设备与云计算资源整合，使这些资源可以无缝地为移动设备提供支持。PCloud 将边缘资源与云资源有机结合，二者相辅相成，优势互补。云计算的丰富资源弥补边缘设备计算、存储能力上的不足，而边缘设备由于贴近用户可以提供云计算无法提供的低时延服务。此外，PCloud 也使整个系统的可用性增强，无论是网络故障还是设备故障都可以选择备用资源。

（4）Firework

Firework（烟花模型）是韦恩州立大学 MIST 实验室提出的边缘计算下的编程模型。Firework 系统中，一个数据处理服务会拆分为多个数字处理子服务，

而 Firework 对数据处理流程的调度，可以分为两个层次。第一层是相同子服务层调度，烟花节点会根据情况与周边具有相同子服务的烟花节点进行合作执行，从而可以以最优的响应时间反应子服务，也可以对周围未提供子服务的且空闲的烟花节点进行调用；第二层是计算流层调度，计算流的烟花节点会相互合作，动态地调度路径上节点的执行情况，以达到最优的情况。

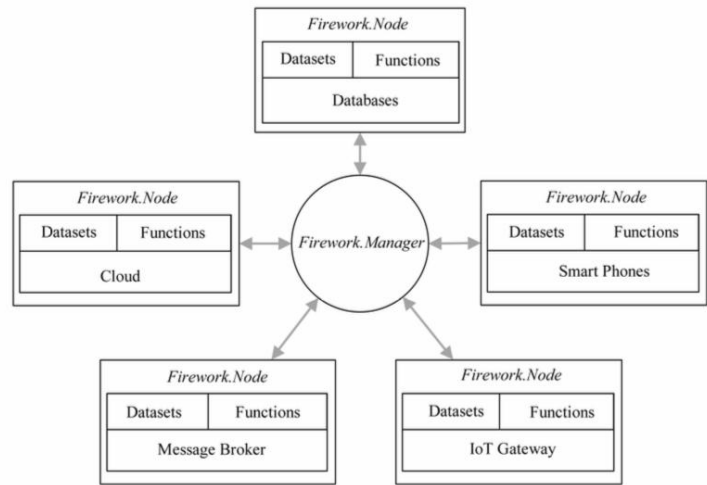


图 14 Firework 模型（来源：边缘计算：万物互联时代新型计算模型）

（5）海云计算系统

海云计算系统是中科院提出边缘计算系统，可以拆分为云计算和海计算理解，云计算是服务端的计算模式，海计算是物理世界的物体之间的计算模式。该系统一共包括四个部分：一个计算模型——REST 2.0，它将 Web 计算中的 REST 架构风格拓展到海云计算中；一个存储系统，其能够处理 ZB 级别的数据；一个高能效数据中心，它能够运行数十亿级别线程；一个高能效的弹性处理器，其能够每秒每瓦特进行万亿次操作。REST 架构为现代 Web 计算和当今许多云计算系统提供通用架构，海端设备通过 REST 接口访问云端，客户端设备将继续使用 REST 接口运行 Web 浏览器或应用程序。

（6）各平台/系统之间对比

从应用领域、服务移动性、虚拟化技术、系统特点四个方面对主要边缘计算系统进行比较分析。

表格 1 边缘计算各系统应用领域对比

系统	应用领域
----	------

Cluodlet	面向计算密集的移动型应用，主要解决的问题是移动设备计算资源、电量受限而无法高效完成计算密集型任务。
ParaDrop	针对数据密集型应用，主要解决大数据传输给网络带来的压力。
PCloud	多层级的架构使其可以方便的支持多类型的应用，如 IoT 数据聚合、数据缓存、数据处理服务。
Firework	针对边缘计算中多数据拥有者数据共享和处理问题，设计并实现计算流的功能，使得数据在上传路径中被计算。
海云计算	针对海端应用，在海端和云端进行多级处理，目的是实现面向 ZB 级别数据处理的能效要比现有技术提高 1000 倍。

表格 2 边缘计算各系统服务移动性对比

系统	服务移动性
Cloudlet	为移动应用的后台服务提供临时部署点，将资源发现、虚拟机配置、资源切换三步结合，并保证实时性。
ParaDrop	不考虑移动服务问题
PCloud	将用户周围的设备与云结合，当用户移动时，周围的设备也可能发生动态变化，PCloud 允许边缘设备的动态加入和退出，但设备退出时不能有正在运行的任务。
Firework	不考虑服务移动性问题
海云计算	不考虑服务移动性问题

表格 3 边缘计算各系统虚拟化技术对比

系统	虚拟化技术
Cloudlet	使用虚拟机技术来虚拟化资源，通过对物理机器的虚拟化可以很好地应对运行环境的变化。
ParaDrop	执行从云端装载的服务或应用，运行环境相对稳定，使用容器技术，具有占用资源少、启动快的优点。
PCloud	使用虚拟机技术来虚拟化资源，便于资源的拆分利用。

Firework	由于可以被部署在任意设备上，因此需要虚拟化技术来屏蔽各种设备的差异，但由于设备不同，使用的虚拟化技术也不同。
海云计算	需要对海端设备资源进行调度，也需要虚拟化技术，不同的场景会选择不同的技术。

表格 4 边缘计算各系统特点对比

系统	特点
Cloudlet	可以看做运行在边缘端的云服务，应用的部分功能在边缘端完成，现有的应用程序基本不需要做改动就可以运行。
ParaDrop	适用于 IoT 应用，开发者通过与云端 ParaDrop-服务器的交互，可以在边缘端对数据进行处理，减少主干网上的数据传输，增强隐私性。
PCloud	把云资源和边缘资源统一管理，利用社交媒体信息，提供基础的授权和访问控制服务。
Firework	通过服务发现和节点功能的联合，可以实现计算流的概念，同时形成分布式的数据处理，或联合云计算和边缘计算形成云-边缘合作的计算模式。
海云计算	目的是实现 1000 倍每瓦性能的优化目标，其设计更关注提升感知、传输、存储和处理能力的提升，以及降低系统能耗。

2.2.2 其他 IT 技术分析

在边缘计算平台/系统的基础之上，由于边缘设备本身不会有较大的数据存储和计算能力，这就需要部署计算系统的边缘设备拥有适当的能力搭配，计算迁移、存储技术，以及轻量级适用于边缘系统的函数库和内核必不可少。

(1) 计算迁移

在云计算模型中，计算迁移是将计算密集型任务迁移到资源充足的计算中心，而对于边缘计算模型来说，计算迁移策略除了将计算密集型任务迁移到边缘设备处执行，也应该注重如何较少的网络传输数据量。

边缘计算的计算迁移策略是将边缘设备采集到的数据进行部分处理或者预处理，并且过滤掉无用数据。此外，就像云计算会在计算能力不足的时候将一些任务迁移到有计算资源的中心，同理，当边缘设备的计算能力不足之时，其可以进行动态的任务迁移、划分。

计算迁移的规则和方式取决于应用模型，迁移的结果应该从能耗、时延、数据处理结果等方面综合考量。

(2) 存储技术

由于边缘设备会实时的、连续的产生数据，而我们部署边缘计算能力的初衷也是为了对实时数据进行处理并得到快速的执行，边缘计算在数据存储方面就需具有较强的实时性。

从高效存储和连续访问实时数据的角度出发，非易失存储介质的读写性能远超传统机械硬盘，可以有效的改善现有存储系统 I/O 受限的问题。但是，传统的存储系统软件栈不能充分的开发非易失存储介质的最大性能，因此未来对存储系统的更新换代应该是首先要解决的问题。

(3) 轻量级函数库和内核

与大型服务器不同，边缘设备由于硬件资源的限制，难以支持大型软件的运行。从目前的处理器速度以及功耗来看，仍不足以支持复杂的数据处理。此外由于不同的边缘设备具有较强的异构性，性能参数差异较大，部署重量级的函数库和内核并不适用于边缘计算模型。

受到系统本身的资源限制，为了占用更少的资源，降低时延，轻量级函数库和内核是边缘计算模型的首选。

2.2.3 通信相关技术

移动通信即将迎来 5G 时代，目前基于独立组网的首个 5G 标准已经冻结，预计 2020 年之前 5G 所有标准将冻结。5G 无线技术创新非常丰富，其中为了实现更大容量、更高带宽和更低时延，在无线接入网侧引入移动边缘计算功能，不少技术创新正是为了实现移动边缘计算而设计的。

(1) 新空口设计

5G 网络在标准规划初期，就注重通过各种已有技术对空口进行新的设计，实现对 5G 应用场景的需求，5G 空口技术主要包括：

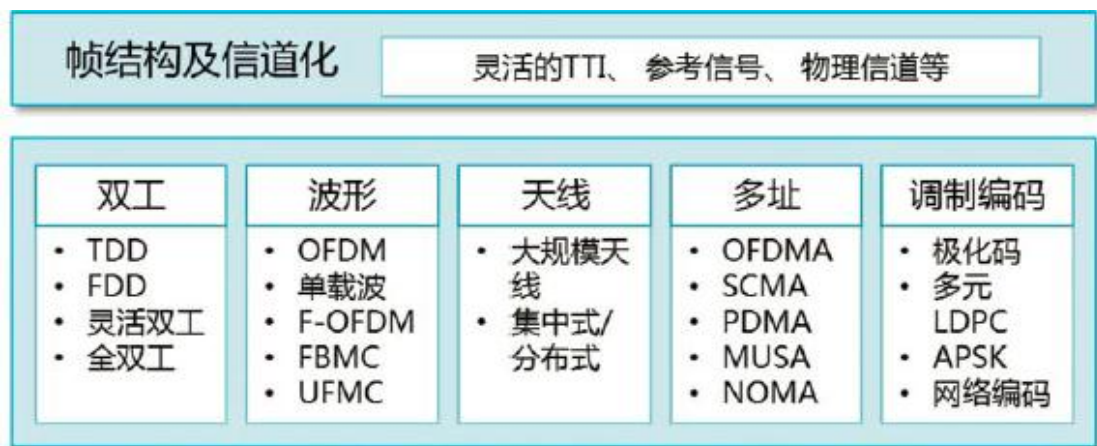


图 15 5G 空口技术框架（来源：《5G 无线技术架构白皮书》）

为了满足低时延高可靠的场景，5G 空口中有一些技术做了针对性的设计，其中一个目标就是大幅度降低空口传输时延，给移动边缘计算打下基础。如：在帧结构方面，采用更短的帧长；在多址技术方面，通过 SCMA、PDMA、MUSA 等技术实现面调度传输，避免资源分配流程。通过核心网功能下沉，移动内容本地化等方式，缩短传输路径，接入网侧引入以簇为单位的动态网络结构，建立动态 Mesh 通信链路，支持设备和终端间多跳通信来缩短端到端时延。

（2）网络架构设计

为了实现移动边缘计算的核心功能，将业务平台下沉到网络边缘，5G 标准中对相关网络架构进行专门设计。根据 IMT2020（5G）推进组发布的《5G 网络架构设计白皮书》，对于移动边缘计算核心功能设计主要包括：

应用和内容进管道，边缘计算与网关功能联合部署，构建灵活分布的服务体系；动态业务链功能，让边缘计算并不限于简单的就近缓存和业务服务器下沉，而且随着计算节点与转发节点的融合，在控制面功能的集中调度下，实现动态业务链技术，灵活控制业务数据流在应用间路由；控制平面辅助功能，即边缘计算和移动性管理、会话管理等控制功能结合，进一步优化服务能力。

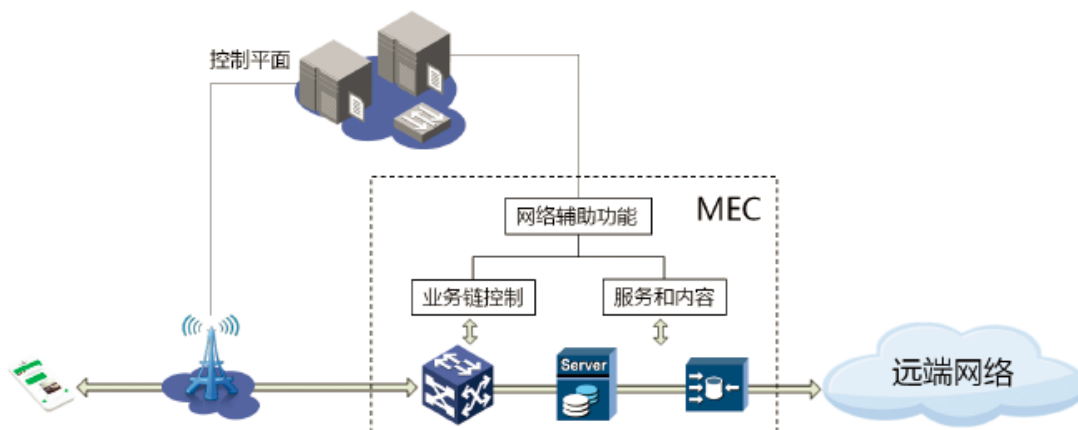


图 16 5G 网络移动边缘计算架构（来源：《5G 网络架构设计白皮书》）

（3）新型基础设施平台

5G 新型基础设施平台的基础是网络功能虚拟化（NFV）和软件定义网络（SDN）技术。IMT2020（5G）推进组发布的《5G 网络技术架构白皮书》认为，通过软件与硬件的分离，NFV 为 5G 网络提供更具弹性的基础设施平台，组件化的网络功能模块实现控制面功能可重构，并对通用硬件资源实现按需分配和动态伸缩，以达到优化资源利用率。SDN 技术实现控制功能和转发功能的分离，这有利于网络控制平面从全局视角来感知和调度网络资源。NFV 和 SDN 技术的进步成熟，也给移动边缘计算打下坚实基础。

2.3 主要的边缘智能参考架构

边缘智能的一些产业联盟及标准化组织作为产业服务机构，会持续推出边缘计算技术参考架构，本节总结主要标准化组织的参考架构。

欧洲电信标准化协会(ETSI) 2016 年 4 月 18 日发布了与 MEC 相关的重量级标准,对 MEC 的七大业务场景作了规范和详细描述,主要包括智能移动视频加速、监控视频流分析、AR、密集计算辅助、在企业专网之中的应用、车联网、物联网网关业务等七大场景。

此外，还发布了三份与 MEC 相关的技术规范，分别涉及 MEC 术语、技术需求及用例、MEC 框架与参考架构。

从第一版到第二版，ETSI 的 MEC 架构的变化主要体现在两个方面，一是资源下沉，将应用服务的内容靠近边缘，核心网的功能进一步边缘化，此举可以更大程度的提升服务的效率、节省资源；二是商业价值的进一步释放，通过垂直行业的多样化、层次化、个性化定制与创新，将边缘智能的能力进一步提升。

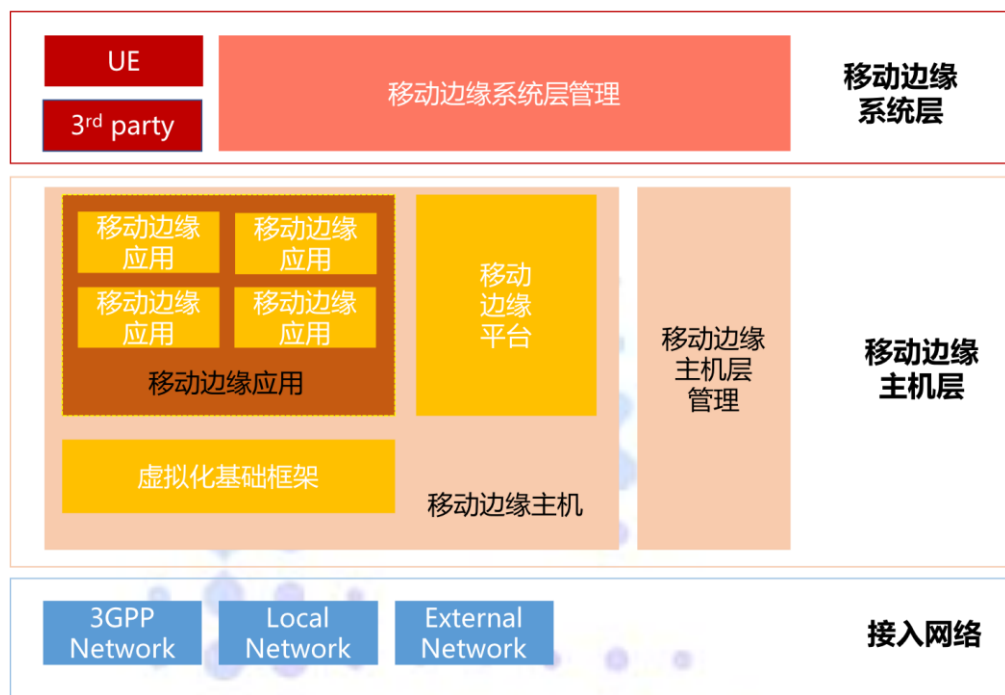


图 17 ETSI MEC 参考架构

边缘计算产业联盟（ECC）的参考架构基于模型驱动的工程方法进行设计，从架构的横向层次来看，具有如下特点：智能服务基于模型驱动的统一服务框架，通过开发服务框架和部署运营服务框架实现开发与部署智能协同，能够实现软件开发接口一致和部署运营自动化；智能业务编排通过业务 Fabric 定义端到端业务流，实现业务敏捷；联接计算 CCF (Connectivity and Computing Fabric) 实现架构极简，对业务屏蔽边缘智能分布式架构的复杂性；实现 OICT 基础设施部署运营自动化和可视化，支撑边缘计算资源服务与行业业务需求的智能协同；智能 ECN (Edge Computing Node) 兼容多种异构联接、支持实时处理与响应、提供软硬一体化安全等。

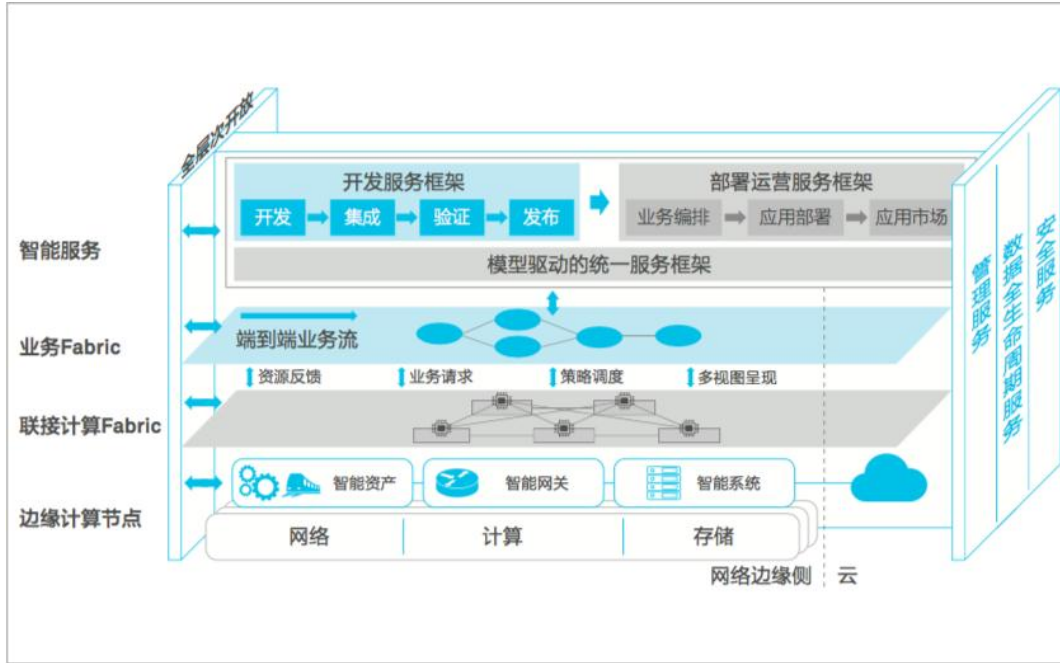


图 18 ECC 边缘计算参考架构 2.0

重庆邮电大学基于学习的 D2D 通信系统（例如社会感知的 D2D 通信系统）与虚拟化的 D2D 通信系统提出了 KCE 架构,该架构可以为用户提供可信的 D2D 接入,以最大化 D2D 设备资源的利用率。

架构分为物理层、知识层与虚拟管理层。在物理层，通过考虑缓存策略与服务容量，研究 UE 的资源分配方法；在知识层，主要聚焦网络结构识别、激励机制及信任管理；在虚拟管理层，重点研究虚拟资源的优化分配方法，以满足不同的用户 QoS 要求。

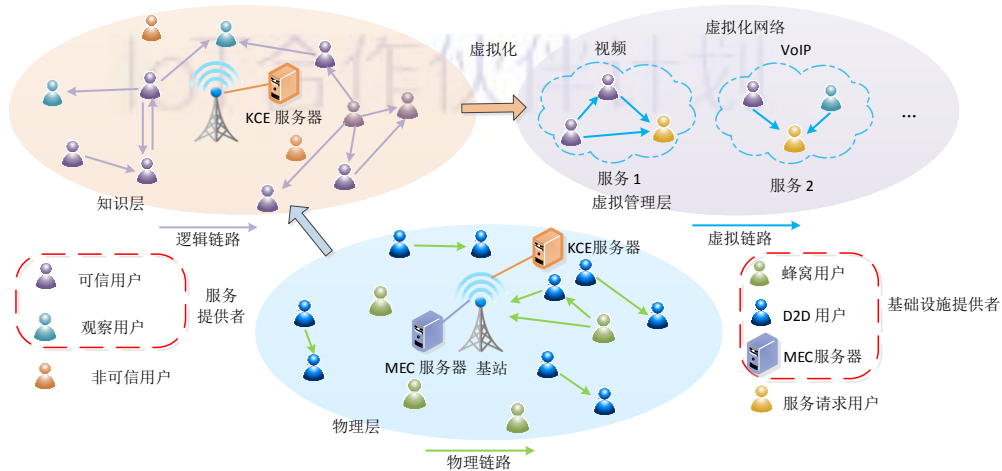


图 19 基于知识为中心的边缘计算体系架构-KCE

第三章 边缘智能产业生态分析

从传统产业链角度看，边缘智能产品、技术、平台和方案部署在终端和网络回传设备之间，与边缘智能相关的产业链只是位于这之间各种软硬件企业；不过，从物联网产业视角看，边缘智能作为物联网的汇聚和控制节点，其涉及到的产业生态不仅仅只是产业链这一小段，而应扩展到对物联网端到端解决方案形成影响的部分，涵盖了硬件、软件、设备、运营商、内容提供者、应用开发者等各个环节。本章以物联网产业的视角，抽象出边缘智能产业生态框架，并对其进行分析。

3.1 边缘智能产业图谱

近年来，边缘智能产业参与者数量越来越多，从这些参与者的角色分布来看，可以绘制出该领域相对应的产业生态框架图如下：

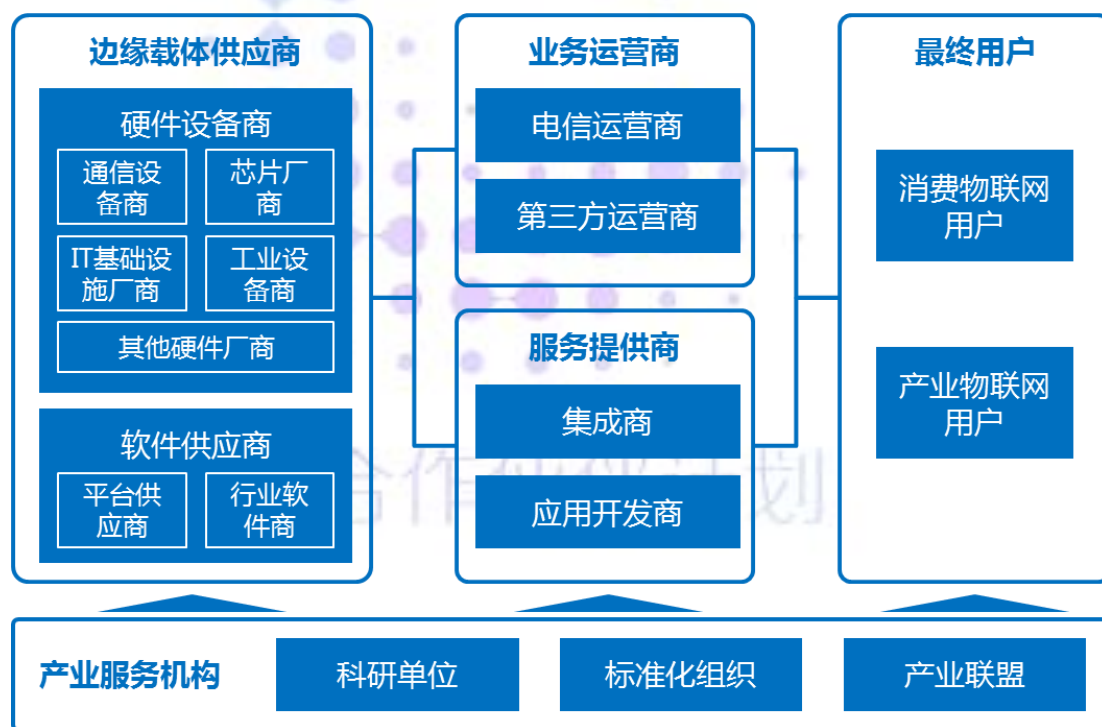


图 20 边缘智能产业图谱

从整个产业图谱来看，边缘智能作为物联网业态中的组成部分，大部分参与者在物联网产业生态中本身也承担着多种角色，而且不少企业和机构布局了多个

环节。本报告按边缘智能主要功能模块抽象出以上产业图谱，基本上可以让业界对所有参与边缘智能产业的各类企业和组织以模块化和结构化的方式进行考察。

总体来说，本报告将边缘智能产业链分为两大类，第一大类涉及到边缘智能技术、产品、解决方案等核心业务的研发、生产、经营、应用闭环的流程，主要涵盖边缘载体供应商、边缘业务运营商、服务提供商和最终用户，每一板块下面又有多个子板块构成边缘智能产业链的分工。其中边缘载体供应商旨在让边缘智能有可运行的软硬件载体，边缘业务运营商拥有这些软硬件载体并承担运营商角色，服务提供商也是在这些软硬件载体上根据用户业务需求推出对应的服务，最终由业务运营商和服务提供商为最终用户提供服务。第二大类主要是为边缘智能这一闭环流程提供标准制定、产业组织等服务，对应的是一些标准化组织推出边缘智能端到端标准和参考架构，以及行业协会、联盟促进整个产业合作共赢，降低产业的碎片化。

3.2 边缘智能产业生态主要组成部分

上节中边缘智能产业图谱是对所有参与者的结构化抽象和梳理，本节主要介绍产业图谱中每一板块的具体内容，以及各板块之间的关系，将该图谱展开研究。

3.2.1 边缘载体供应商

与大部分边缘计算产业研究报告不同，本报告将边缘智能上游参与企业归纳为边缘载体供应商，包括相关的硬件和软件供应商，这一环节所有参与企业的成果是形成边缘智能软硬件平台，这一平台级的产品成为中下游边缘智能业务开展的承载载体，因此成为边缘载体供应商。本报告认为，所有为这一载体的搭建提供产品和服务的厂商都可纳入这一产业板块中，包括但不限于边缘智能硬件基础设施、边缘数据中心、计算能力、电信级能力等方面的供应商，大致可以按照硬件设备商和软件供应商两类。

3.2.1.1 硬件设备商

不论是部署在家庭、办公、商业，还是车联网接入、工业现场等各类场景，要实现边缘智能首先需要部署可见的硬件载体。由于边缘智能是在接近物联网数据源头、贴近用户部署的，而物联网业务场景的多样化和碎片化也使得边缘智能硬件载体呈现多样化的特征，家庭路由器、机顶盒等智能终端，WiFi 接入点、蜂窝网络基站、LPWAN 网关等网络基础设施，以及各类本地和区域小型数据中心等，都可以作为边缘计算的节点，同时也成为边缘智能的载体。这些厂商可以大致分为通信设备商、芯片厂商、IT 基础设施厂商、工业设备商和其他硬件厂商五类，主要硬件设备商列表如下：

表格 5 边缘智能硬件设备代表性厂商

分类	代表性厂商
通信设备商	思科、华为、爱立信、诺基亚、中兴、中国信科
芯片厂商	英特尔、美国高通、ARM、恩智浦
工业设备商	研华科技、施耐德
IT 基础设施厂商	惠普、戴尔、新华三
其他硬件厂商	小米、TP-Link

(1) 通信设备商

近年来，随着通信网络提速的推进，基于互联网的边缘计算、移动边缘计算（MEC）得到快速发展，占据边缘智能领域较大市场规模，在这一过程中，通信设备厂商就承担起了提供边缘智能节点设备的任务。该领域代表性企业是那些传统的通信设备商，这些企业已将边缘智能设备作为其主要产品之一。

移动边缘计算在 LTE 网络向 5G 演进中发挥着巨大作用，其大多为构建在无线接入网（RAN）侧的云端服务，接入网设备供应商就是 MEC 的核心参与者。华为、爱立信、诺基亚、中兴以及刚刚成立的中国信科集团都是通信基站设备的核心供应商，其推出的设备越来越多考虑到边缘智能的需求，尤其是面向未来 5G 网络移动增强宽带、低时延高可靠的场景，支持移动边缘计算成为通信设备厂商

研发的标配。未来，基于蜂窝网络的物联网连接数占据总连接数 20%以上，这一业态肯定离不开此类厂商设备的助力。

互联网和数据传送网络设备供应商也是这一板块的主要参与者，例如思科的路由器、网络管理产品、存储产品、视频系统等设备也是边缘智能的主要载体，由于对于边缘智能的认识，思科也较早提出了雾计算的理念。

除了这些主流通信设备厂商外，由于近年来各类物联网通信技术的发展，很多中小通信设备厂商也开始提供拥有边缘智能功能的设备，包括各种异构通信技术切换的蓝牙、Zigbee 网关、LoRa 网关等，这些分布式设备在物联网各类场景中提供者边缘智能服务。

（2）芯片厂商

芯片厂商已经成为边缘智能领域的积极参与者，边缘节点如何进行设备管理、如何将人工智能用于边缘智能、如何实现数据安全等功能，其硬件设备中都需要嵌入有一定计算能力的芯片。近年来，除了传统的芯片厂商提供边缘智能芯片外，大量人工智能创新企业和互联网企业在芯片领域布局中有很多是提供边缘智能芯片。

对于边缘智能系统，处理器、算法和存储器等都是其中关键因素。对于常规的物联网终端来说，处理器侧主要是一块简单的 MCU，以控制目的为主，运算能力相对较弱。不过，如果要靠近数据源增加边缘智能能力，需要更强计算能力芯片，一种做法是将 MCU 做强，另一种做法是走异构计算的思路，MCU 还是保持简单的控制目的，计算部分则交给专门的加速器 IP 来完成，近年来热门的 AI 芯片其实相当一部分做的就是这样的一个专用人工智能算法加速器 IP。另外，边缘智能往往需要使用新存储器解决方案来实现高密度片上内存，或者加速片外非易失性存储器的读写速度，可能催生出新的内存器件。

主流芯片厂商英特尔、美国高通等企业已经推出相应的边缘智能芯片产品，而在计算机视觉、语音识别等应用中，新的人工智能企业如商汤科技、旷视科技、异构智能等将其人工智能能力应用至边缘智能平台中，近期谷歌推出专门的边缘智能芯片 Edge TPU，作为其 Cloud TPU 的补充，进一步提升计算性能，快速做

出本地实时的决策。在边缘智能芯片供应商领域，已经形成主流芯片厂商、云服务厂商、人工智能创业企业三类主体布局的态势。

（3）工业设备商

工业物联网是边缘智能最主要的应用场景之一，因此工业领域边缘类设备就构成边缘智能的载体，小型嵌入式计算机、工控机、工业 PC、工业级网关等工业现场硬件终端都逐渐承担一定边缘智能的职责。

这一领域的参与者主要是在工业控制、工业通讯等领域有多年经验的厂商，如研华科技、施耐德等厂商。由于工业物联网拥有庞大的市场空间，而工业场景中机器控制器、PLC、HMI、机器视觉设备、数据采集设备、安全控制器等产生数据的设备对于集成到高性能边缘设备的需求很强烈，因此边缘智能给那些工业设备厂商带来新的机遇。

（4）IT 基础设施厂商

在数据源附近部署小型数据中心也是提供边缘智能载体的重要方式，一般有本地化数据中心和区域数据中心，所涉及的硬件参与者主要是 IT 基础设施供应商，他们会提供数据中心设备。

本地的小型数据中心提供一定的处理和存储能力，并且能在现有环境下快速部署。数据中心厂商一般有相对成熟方案，通常会提前做好预设，然后在现场组装；另外也可以提供预制微型数据中心，在工厂组装并在现场使用。区域数据中心虽然也可能靠近数据源头，但一般会形成一定规模，需要更长时间进行规划和构建。

主流的 IT 基础设施厂商惠普、戴尔、新华三等企业，已有各种类型的服务器产品，可以快速搭建本地化和区域小型数据中心。面对数字化转型趋势下业务需求的复杂性，边缘智能需要更灵活、更动态、按需应变的 IT 基础设施，供应商也在不断适应需求变化来优化其产品。

（5）其他硬件厂商

由于边缘智能应用形态多样化，其硬件载体也是多样化的，除了上面四类主要的硬件厂商外，还有大量其他企业提供各种类型设备，能够搭载边缘智能软件

和服务，消费级的机顶盒、路由器、智能音箱等智能硬件产品也构成了边缘智能的载体，生产这些设备的硬件厂商也进入边缘智能硬件设备商的产业生态。

比如，小米近期发布的边缘计算解决方案，就是借助小米路由器在对网络进行感知后，可以判断使用哪些 CDN 节点覆盖能够达到最好效果；同时，路由器基于用户识别请求，还能利用大数据分析 DNS 解析，替换错误 DNS 的服务器，保障网络安全。

3.2.1.2 软件供应商

要形成边缘智能载体，在硬件基础上还需要专门的平台级软件和特种行业软件，形成边缘智能的软件供应商群体。由于边缘智能是在数据源附近提供计算、存储和处理资源，这些资源面对数量众多且空间上分散的各类终端、传感器，边缘智能平台需要一套软件系统进行统一管理和控制，使应用集成商和开发者可以快速开发和部署应用，这样才能构成一个完整的边缘智能基础设施。

根据施巍松教授编著的《边缘计算》教材总结，对于平台级边缘智能系统，一类是作为云端服务的功能考虑，一类是从物联网资源可用性考虑，还有一类是融合云端和物联网资源推出的系统。目前，很多互联网和云服务厂商推出的边缘智能平台级软件考虑了融合云端和物联网资源可用性，包括 AWS Greengrass、微软 Azure IoT Edge 以及阿里云的 Link Edge 等，成为边缘智能软件供应商的主力。

当然，不少边缘智能硬件基础设施供应商不仅仅满足于提供硬件设备，他们在其推出的边缘设备上搭载了相应的平台级软件系统，这些软件系统有些是自身开发的，有些是和大型软件、云服务厂商合作开发。这些平台级软件系统需要实现分布式工作负载、扩展分析、数据源集成等功能，由于边缘智能尚处于发展的初期，这一细分领域的市场参与者较多，市场集中度不高，未来随着物联网业务规模化发展，拥有“云-边-端”协同发展能力的厂商可能会占据较高市场份额。

由于各主要行业场景的客户需求不同，边缘智能基础设施往往在面对主要行业时，需要搭载行业级软件系统，如面向智能城市、车联网、智能家居等行业的边缘智能平台，此时需要引入一些能够提供行业级边缘智能系统的软件厂商，也构成边缘智能载体供应商的一部分。

3.2.2 业务运营商

运营商一般是将边缘智能基础设施平台作为其核心产品，为各类集成商、内容供应商、服务开发商提供快速部署应用和服务的支撑，收取相应的功能和运营费用。本报告认为，边缘智能业务的运营商包括电信运营商和其他第三方运营商两大群体，双方已经初步形成相应的商业模式。

3.2.2.1 电信运营商

涉及到移动通信的物联网领域，电信运营商是边缘智能产业链的核心，他们可以根据不同场景，采用软硬件厂商提供的边缘智能载体，部署移动边缘智能网络来提供基础服务。一般第三方应用开发商和内容供应商可以利用电信运营商开放的接口调用所需要的边缘智能资源，快速部署行业应用，电信运营商也可以和产业链上下游企业合作，借助电信级能力和边缘智能平台接口，共同推出车联网、智能城市、视频监控、智能工业等应用。

当前，国内外主流电信运营商均开展了边缘智能的布局，包括中国移动、中国电信、中国联通三大国内运营商。由于电信运营商在产业中的特殊性，其提供的边缘智能方案运营的角色一方面面临着同行业其他运营商的竞争，另一方面第三方边缘智能平台运营商也对其有一定程度的冲击。

3.2.2.2 第三方运营商

由于各家云服务供应商将平台和计算能力下沉至网络边缘侧，云服务的运营模式也在一定程度上对边缘智能服务形成重要的参考。大型云服务厂商都具有提供边缘智能系统平台的能力，构建边缘智能基础设施，在此基础上他们作为这一基础设施的运营主体，直接向大量的开发者、内容供应商提供边缘智能能力，参考云服务按需收费模式，成为第三方边缘智能运营商群体。

主流的云服务厂商如阿里云、AWS、Azure 等已经基于其边缘智能平台开展运营，随着边缘智能产业的发展，其他云服务厂商也会加入其中，加上一些专注于某些行业边缘智能平台系统厂商，边缘智能运营商群体也较为丰富，未来的竞争格局是着眼于如何提升“云-边-端”协同竞争力。

3.2.3 服务提供商

服务提供商主要直接为最终用户提供基于边缘智能的物联网应用。这一群体借助边缘智能基础设施载体，以及运营商提供的各类开发接口，开发用户直接可采用的个性化应用方案。服务供应商包括业务集成商和应用开发商两类。

3.2.3.1 集成商

集成商并不是一个独立存在的角色，类似于企业信息化中的集成商角色，这一类厂商将边缘智能相关软硬件基础设施和终端、网络、云平台等融合起来，为最终用户提供端到端的解决方案。在物联网产业中，那些面向最终用户的集成商都可能成为边缘智能产业生态中的集成商，只要他们所提供的集成化解决方案需要边缘智能相关元素。

3.2.3.2 应用开发商

一些 CDN 应用厂商以及第三方应用厂商，在边缘智能平台基础上开发满足下游用户业务场景的具体应用。应用开发商群体非常丰富，既有专业的工业级应用开发者，也有智能生活应用开发者，还有大量个人开发者，因此是一个市场集中度非常低的细分领域。

3.2.4 最终用户

边缘智能载体、运营商、服务商面对的最终用户就是各类物联网用户，既有个人、家庭的消费物联网用户，也有国民经济各行各业有转型升级需求的产业物联网用户，这些用户分布非常广泛，需求碎片化普遍，正好适合基于分布式架构的边缘智能为其提供服务。边缘智能最终用户采用相关方案后，最终结果会反馈给上游服务商、运营商以及边缘智能软硬件提供商，进一步提升边缘智能服务水平，形成闭环流程。

3.2.5 产业服务机构

为支撑边缘智能主生产流程的有效进行，各类科研机构、标准化组织和产业联盟等第三方机构纷纷针对边缘智能设立研究课题、推动业界合作。

针对边缘智能，国内外各类科研机构积极开展前瞻性研究，中国信息通信研究院、中科院沈阳自动化研究所以及大量高校持续关注边缘智能的进展，设立各类研究课题，并积极推动产学研的合作。

边缘智能的标准化组织和产业联盟往往有很多重合之处，不少产业联盟类机构会成立专门的标准化研究分支机构，联合业界核心企业开展标准研发。其中包括欧洲电信标准化协会（ETSI）成立的多接入边缘计算组织（ETSI MEC），思科、ARM、微软等发起的 OpenFog 联盟，3GPP 标准化组织也明确把边缘计算纳入到了 5G 架构的关键课题中。在国内，比较知名的是 2016 年 11 月成立的边缘计算产业联盟（ECC）以及 IoT 合作伙伴计划（ICA 联盟），其中 ICA 联盟专门设立了边缘计算标准组。在产业界的推动下，一些开源社区也发布了专门发布了边缘智能项目，让更多开发者可以参与到这一领域中。

3.3 边缘智能产业发展规模

边缘智能的产业规模随着物联网产业的发展不断壮大。由于边缘智能更多是物联网整体解决方案的一部分，直接抽取专门针对边缘智能的市场总量和收入并不容易，不过可以采取对比不同模式成本的方式，预计边缘智能给产业带来的较高的产业关联效应。

3.3.1 从一个试验看边缘智能的经济价值

Wikibon 分析机构的 CTO 曾用一个试验分别对采用边缘智能和没有采用边缘智能的方案进行成本对比，从中发现边缘智能带来的成本大幅度节约。

具体来说，该试验通过一个配有 100 个传感器和两个视频流的风电场站点的案例来进行研究。这个解决方案比较了三种不同架构的管理和实施总成本：

- （1）使用专用网络传输至云端处理
- （2）使用蜂窝网络回传至云端处理
- （3）使用专用网络+边缘计算+云计算

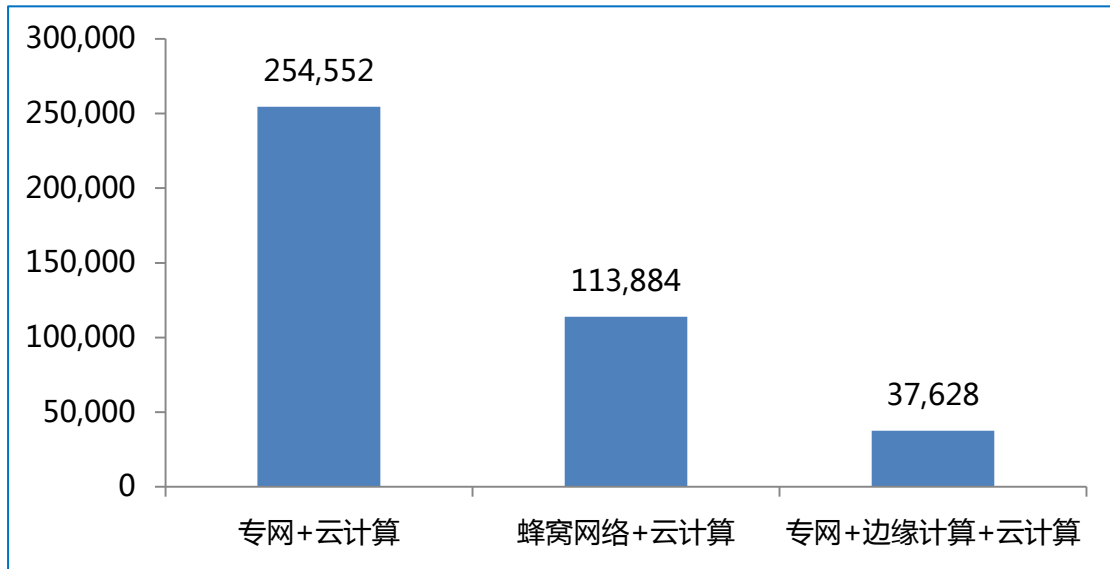


图 21 三类部署模式成本对比（单位：美元） 数据来源：Wikibon

在第一种仅使用专用网络传输至云处理的情况下，最终计算出传输数据的三年成本，加上云计算和设备成本，平均每年需要 254,552 美元；而基于蜂窝网络虽然无需专网成本，但需要基于 Sim 卡的硬件成本，最终平均成本每年达到 113,884 美元；相比之下，采用专用网络+边缘计算+云计算的模式，每年只需 37,628 美元。可以看出，虽然蜂窝网络回传能够大幅降低专网+云计算的项目部署成本，但增加边缘智能的方案则成本下降幅度更大，这一试验项目中仅为专网+云计算方式的 15%左右。

3.3.2 边缘智能产业规模

虽然以上试验中 85%成本的下降不一定在其他物联网项目中具有普适性，但可以肯定的是通过边缘智能的实施，大部分原来使用云的方案成本会有明显下降，规模化实施后总体成本节约更加明显。以此来预估整体市场规模，边缘智能带来的间接经济价值巨大。

从连接数来看，未来产业物联网中有大量设备会直接连接至边缘智能平台。根据 BI Intelligence 发布的报告预测，到 2020 年估计有超过 5.63 亿政府和企业级物联网设备连接至边缘智能平台。

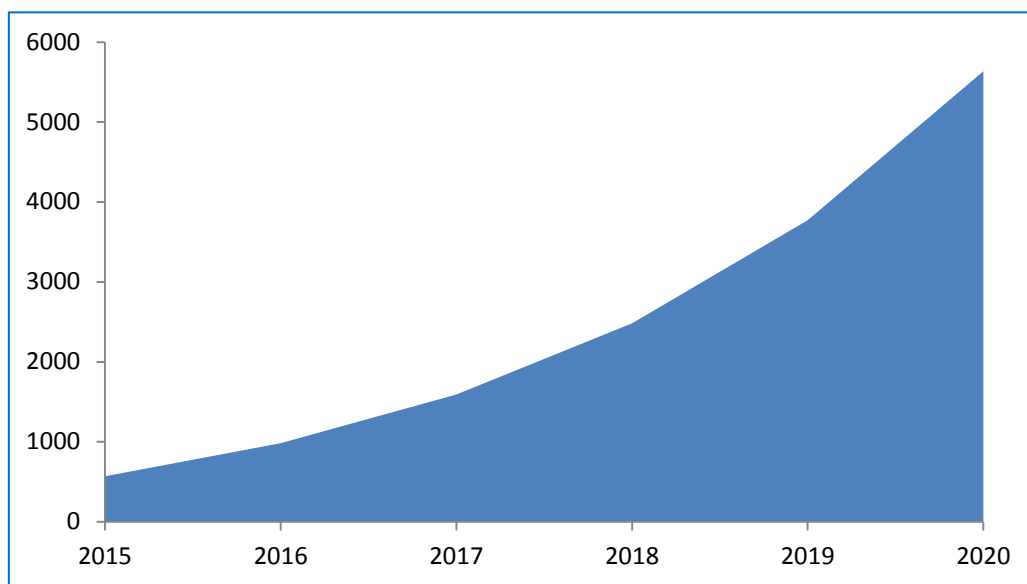
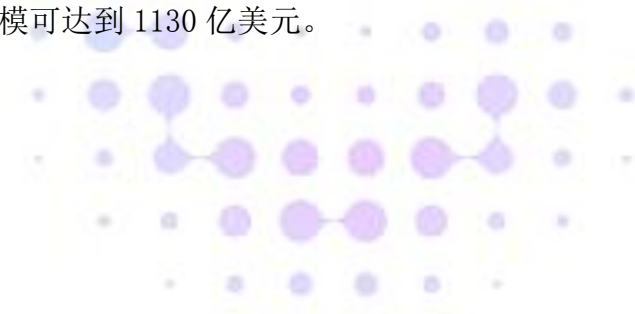


图 22 政企物联网连接至边缘智能平台数量（单位：百万） 数据来源：BI Intelligence

以上数据仅为政府和企业级物联网项目的连接数，大多为产业物联网项目，而消费物联网项目中预计也有大量会采用边缘智能方案。市场研究机构 IDC 预测，到 2021 年，全球云计算市场的规模将达到 5650 亿美元，这其中约有 20% 为边缘云，市场规模可达到 1130 亿美元。



IoT合作伙伴计划

第四章 边缘智能主要参与者布局

边缘设备的种类和数量都非常多，带来的市场效应必然也会具有很大体量。各类公司从硬件、软件等方面切入边缘智能市场，从目前主要的参与者情况来看，大体可以分为互联网公司、通信设备公司、运营商、芯片企业以及 IT 基础设施供应商等。

其中，互联网公司主要包括阿里巴巴、亚马逊、微软等，通信设备公司以华为、思科、中兴为主，运营商包括中国移动、中国联通、中国电信等，芯片企业包括 ARM、Intel、NXP 等，而 IT 基础设施供应商则以 IBM、戴尔、惠普为主等。



图 23 边缘智能参与者

4.1 互联网公司

4.1.1 阿里巴巴

阿里云从 2014 年就开始对外提供 CDN 服务，拥有 1300 多个全球 CDN 加速节点，覆盖北欧、北美、东亚、东南亚等地 70 多个国家和地区，业务涵盖视频、金融、电商、医疗、直播等多个领域，全球带宽总量超过 85 Tbps，99% 的华人所在地都可以享受到阿里云的 CDN 服务。

2018 年 3 月，在云栖大会·深圳峰会上，阿里云宣布 2018 年将战略投入边缘计算技术领域，并推出首个 IoT 边缘计算产品 Link Edge，将阿里云在云计算、大数据、人工智能的优势拓宽到更靠近端的边缘计算上，打造云、边、端一体化的协同计算体系。

借助 Link Edge 开发者能够轻松将阿里云的边缘计算能力部署在各种智能设备和计算节点上，如车载中控、工业流水线控制台、路由器等，支持包括 Linux、Windows、Raspberry Pi 等在内的多种环境。可为为用户提供设备接入、就近计算、数据清洗等服务。

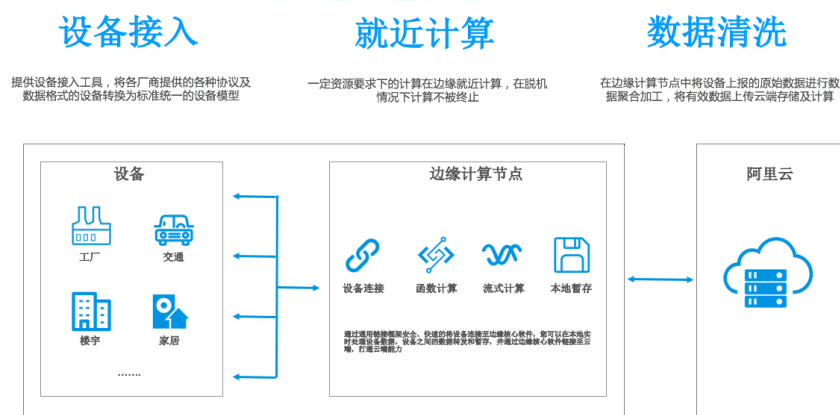


图 24 Link Edge 功能定位

Link Edge 专注于提供物联网安全防护下的设备连接服务、设备管理服务、设备联动服务，赋能各类物联网场景和行业开发者，实现云到边缘的辐射。



图 25 Link Edge 用户定位

Link Edge 的优势还体现在提升 AI 的实践效率，开发者可将深度学习的分析、训练过程放在云端，将生成的模型部署在边缘网关直接执行，优化良率、提升产能。基于在云计算、大数据、人工智能等方面的优势，可将语音识别、视频识别能 AI 能力下沉至设备终端，让设备拥有“天然”的智能，即使断网也可运行。

4.1.2 亚马逊

亚马逊的边缘计算服务 AWS Greengrass 是一种允许用户以安全方式为互联设备执行本地计算、消息收发和数据缓存的方案。

Greengrass 将 AWS 无缝扩展至设备端，以使用户更加轻量的在本地操作其产生的数据，同时，制造商仍然可以使用云端进行管理、分析以及展开其他应用服务。借助 Greengrass，即使在无法连接到云平台的状态下，Greengrass 设备仍然可以通过本地网络，进行数据的通信与处理，待连接恢复依然可以把数据同步到云端。

根据诺基亚实验室对 AWS Greengrass 的测试结果显示，93%的数据可以在边缘处理，与以往集中式的云平台相比，往返时间减少了 28%，延迟时间降低了 39%。

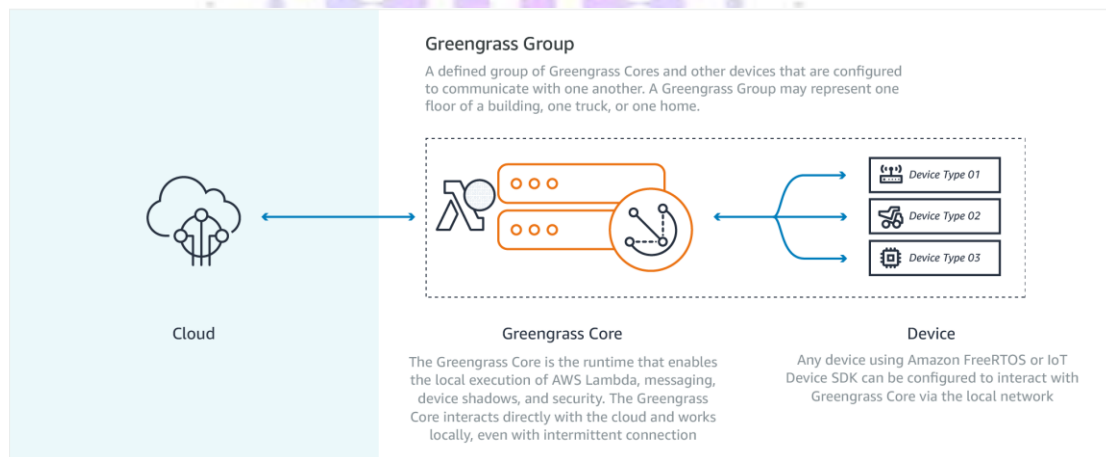


图 26 亚马逊边缘计算服务 Greengrass

4.1.3 微软

微软将“边缘”定义为用户与云进行交互的所有东西。在微软的定义中，边缘设备可以是任何虚拟现实/混合现实设备、无人机、本地化的个人电脑和服务器等。

微软 Build 2017 大会上，微软宣布正在进入一个智能云(Intelligent Cloud)与智能边缘(Intelligent Edge)的世界。而世界也将会出现两个变化，一是用户体验与交互上的变化，同样的体验会普及到各个设备中，比如 PC、手机、汽车等；二是计算能力边缘化，这主要是由于物联网终端数量越来越多，这就对计算能力下沉提出了要求，意味着 AI 和计算都要广泛分布。

在 Build 2017 和 2018 大会上微软先后发布了 Azure IoT Edge 服务和开源 Azure IoT Edge Runtime，Azure IoT Edge 可以在本地计算设备上计算，节省时间；Azure IoT Edge Runtime 是可以在每个物联网边缘设备上运行的软件部分，用于管理部署到每个设备的模块。未来，微软还将发布“Project Kinect for Azure”，推出一系列前端设备传感器。

4.2 通信设备公司

4.2.1 华为

MWC2017 上，华为发布了基于边缘计算的物联网 EC-IoT(Edge Computing IoT, 边缘计算物联网)解决方案，将边缘计算和云管理引入物联网领域，基于 SDN 的敏捷控制器及具有边缘计算能力的物联网关（AR 500 系列产品）就近提供智能服务，在靠近设备或数据源头的网络边缘侧，部署融合网络、计算、存储、应用核心能力的边缘计算网关，为边缘计算提供包括设备域，网络域，数据域和应用域的平台支撑。



图 27 华为边缘计算层级架构

4.3 运营商

4.3.1 中国移动

2017 年 11 月，中国移动 5G 联合创新中心发布《移动边缘计算》报告，报告分析了移动边缘计算（MEC）的发展背景和市场需求，并对业务场景的规划和应用，在本地分流、数据服务、业务优化三大领域进行了分类和研究。从关键技术、标准化、发展趋势方面，对移动边缘计算技术进行了探索。

2018 年初，中国移动杭州分公司联合华为公司率先实现基于移动边缘计算技术的网络部署。在活动现场，某市民体验了由移动边缘计算支撑的 VR 短片，基于边缘计算技术，可是实现网络超低时延，消除卡顿，提高流畅度，为用户提供更佳的服务体验。

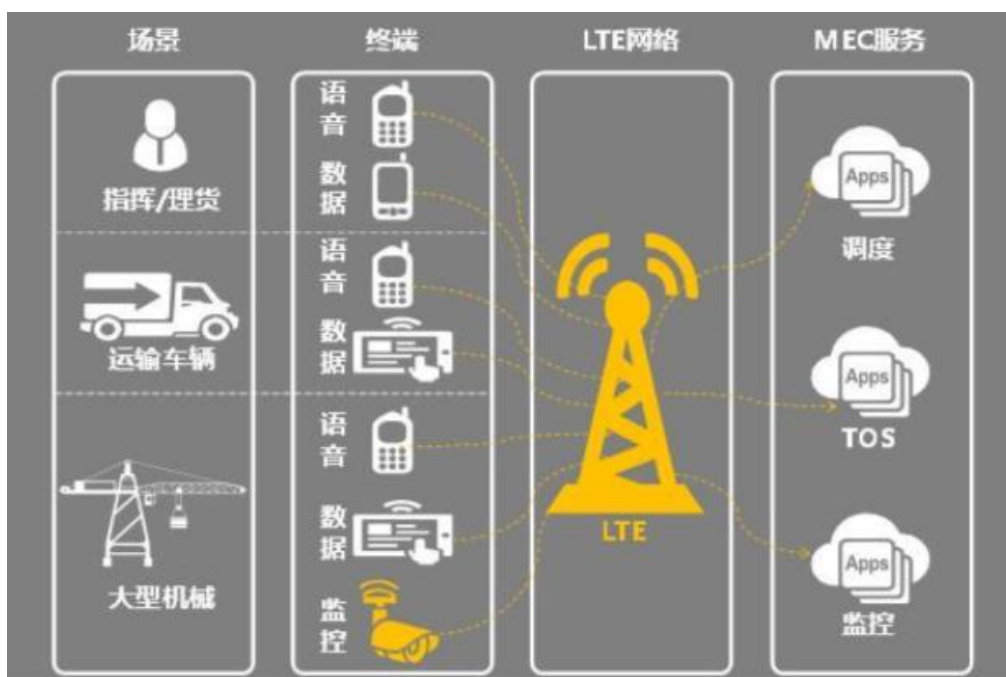


图 28 中国移动布局移动边缘计算

4.3.2 中国联通

在 2018 年 1 月份的 ITU-T SG20 WP1 全会上，中国联通主导的《IoT requirements for Edge computing》国际标准项目成功立项，这是 ITU-T 在 IoT 领域的首个边缘计算立项。

在其 2017 年发布的《中国联通边缘计算技术白皮书》中，认为移动边缘计算服务器有两种形态，一是作为基站的增强功能，通过软件升级或者新增版卡，与基站集成的内置方式；二是作为独立设备，部署在基站后或网关后的外置方式。而 MEC 可以将无线网络和互联网技术有效融合在一起，并在无线网络侧增加计算、存储、处理等功能，在 VR、视频、智慧社区等领域应用前景广阔。

2017 年，中国联通已经在天津、浙江、上海、成都、广东、重庆等多个省市开展了业务多样的边缘数据中心或计算平台的试点启动工作。未来几年，中国联通将计划建成 6000 个边缘数据中心，打造以区域、本地、边缘数据中心为基础的弹性网络，驱动 5G 网络重构。

2017 年底，中国联通联合英特尔、中兴通讯、腾讯视频等合作伙伴在天津建设成规模较大的边缘数据中心 (Edge Data Center) 测试床，并正在推进边缘 vCDN、边缘解码以及边缘智能等多种边缘业务的部署和测试工作。

4.4 芯片企业

4.4.1 Intel

英特尔从边缘计算概念萌发之时起，就是其技术创新和产业协作的重要参与者和推动者，一直致力于提供开放架构的软硬件平台、输出边缘计算技术。

基于对未来海量传感器、网络带宽限制、实时响应、数据隐私保护以及自治系统需求的理解，英特尔的目标是构建面向 5G 的边缘计算，并认为边缘计算会经过三个发展阶段，即互联、智能、自治。

英特尔积极参与相关标准与联盟组织，来不断推动边缘计算产业的发展。2016 年英特尔联合华为以及沈阳自动化研究所等单位在国内率先成立了边缘计算产业联盟，其成员目前已经达到近 200 家。2018 年边缘计算产业联盟在欧洲成立了分部，其在边缘计算领域的影响力进一步扩大。早在 2014 年 ETSI 首次成立移动边缘计算规范工作组时，英特尔就是发起者之一，也是 5GAA (5G Automotive Association) 联盟的发起者和董事会成员。2017 年 8 月，英特尔还联合爱立信、丰田汽车与日本 NTT 等公司成立汽车边缘计算联盟。

英特尔积极开发用于边缘智能的软硬件产品，涵盖 CPU，FPGA 和英特尔 Movidius 视觉处理单元（VPU）。2018 年英特尔发布了 OpenVINO 工具套件，支持开发者在诸如 Caffe，TensorFlow，MxNet 等开放深度学习框架上为异构平台开发高性能计算机视觉和深度学习应用。

基于硬件资源池化及软硬件解耦的思路，英特尔推出了 NEV SDK (网络边缘虚拟化套件)，可协助边缘计算领域的合作伙伴加速开发面向电信领域的相关应用。除聚焦基础设施平台能力外，NEV SDK 还可为边缘计算应用开发者提供基于 IP 业务的、具备丰富 API 接口及高性能转发能力的基础软件环境。它为开发者屏蔽了复杂的电信网络控制，即使开发者对繁琐的电信网络不够了解，也能快速进行应用开发。

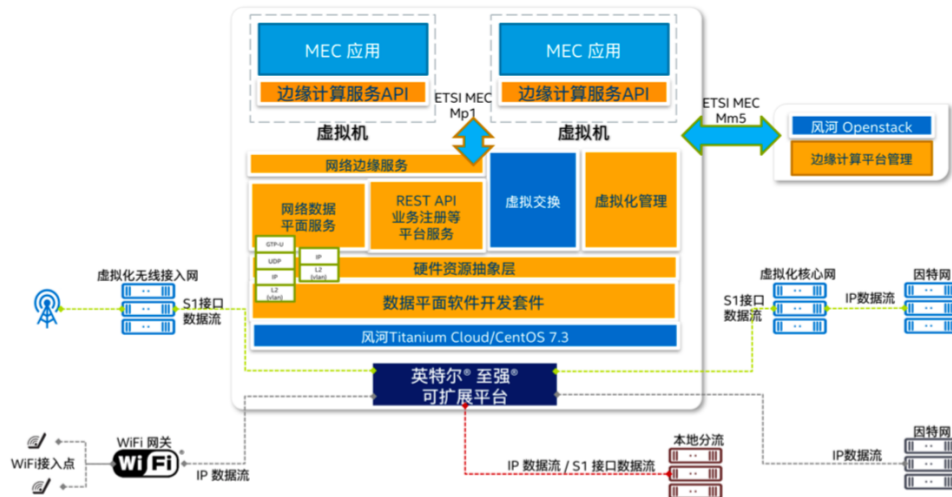


图 29 英特尔 NEV SDK

4.4.2 NXP

恩智浦（NXP）推出了用于安全的边缘计算管理套件——EdgeScale。该套件提供了一套基于云的工具和服务，用于物联网和边缘计算设备的安全制造与注册。为开发人员提供了一套安全机制，供他们在应用中利用主流的云计算框架，远程部署和管理无限数量的边缘设备。

基于 Layerscape 的平台采用 EdgeScale 将云架构与边缘节点、传感器和设备联接起来，EdgeScale 套件可自动向远程嵌入式设备配置软件和软件更新，以代替当前繁琐的手动流程。有助于 OEM 和开发人员在 Layerscape 设备上使用 AWS Greengrass、Azure 物联网以及 Aliyun 等云计算框架。



图 30 EdgeScale 特点

4.4.3 ARM

2017 年 11 月，ARM 推出针对物联网安全的通用框架 PSA 及强化边缘管理的 Mbed Edge，Mbed Edge 主要是透过物联网闸道器让使用者能将 Mbed Cloud 装置管理功能进一步拓展，包括对装置进行导入 (Onboard)、控制及管理等领域。

Mbed Edge 主要有以下三大优势：协议转换：许多传统连网设备使用的通信协议与 IP 网络协议不兼容，比如 Modbus 和 BACnet，Mbed Edge 可以转换这些协议，使得这些设备与基于 IP 网络协议的设备一样由 Mbed Cloud 管理起来。

网关管理：Mbed Edge 的一系列新特性可以提升物联网网关的持续服务能力，最大程度缩短代价高昂的停机时间。关键性能包括预警通知，流程、资源和接口管理，还有详细本地诊断能力。

边缘计算：Mbed Edge 将提供本地应用执行环境以及相关的计算资源，从而在网关上即可进行规则运算和数据处理。如此，即使本地网络与外网断开连接，本地业务仍然可以持续进行，降低对生产力的影响。

4.5 IT 基础设施供应商

4.5.1 戴尔

2015 年 10 月，戴尔推出专为楼宇和工厂自动化而设计的全新 Edge 网关 5000 系列。Edge 网关 5000 包含工业级外形设计、扩展的输入输出接口以及广泛的操作温度范围，提供了一个有望替代目前昂贵的专有物联网产品的边缘计算解决方案。

Edge 网关位于网络的边缘(靠近设备和传感器)，通过本地分析和其它中间件来接受、聚合和中继数据，然后通过只把有用数据发送到云或数据中心而尽可能少地占用昂贵的带宽。

此后，戴尔又推出的边缘网关 3000 系列，拥有实时智能化处理能力，占用空间小，适应恶劣环境，丰富了戴尔边缘网关 5000 系列和嵌入式箱 PC3000/5000 系列等边缘计算产品线。

第五章 边缘智能应用案例及商业模式探索

5.1 边缘智能主要应用案例

5.1.1 智能城市

从 2009 年 IBM 提出“智慧地球”开始，此后全球开始了智慧城市的建设大潮。现如今，大量的传感器服务于城市里的各个领域。海量的设备会产生海量的数据，在处理这些数据的时候，云计算会是重要的一环，但是海量的数据除了会给云计算中心带来负荷之外，还会使网络变得拥堵，此外当涉及到实时性和隐私性之时，云计算的能力就会显得捉襟见肘。

面对遍布城市各处的监控、照明设备，边缘设备、边缘智能是解决实时城市管理，减少云计算负荷绝佳选择。

海康威视的智慧安防

2017 年 10 月，海康威视发布“IOT-基于神经网络的认知计算系统—海康 AICloud 框架”，将 AI 算力注入边缘，赋能边缘智能。AICloud 框架由云中心、边缘域、边缘节点三部分构成，边缘节点侧重多维感知数据采集和前端智能处理；边缘域侧重感知数据汇聚、存储、处理和智能应用；云中心侧重业务数据融合及大数据多维分析应用。

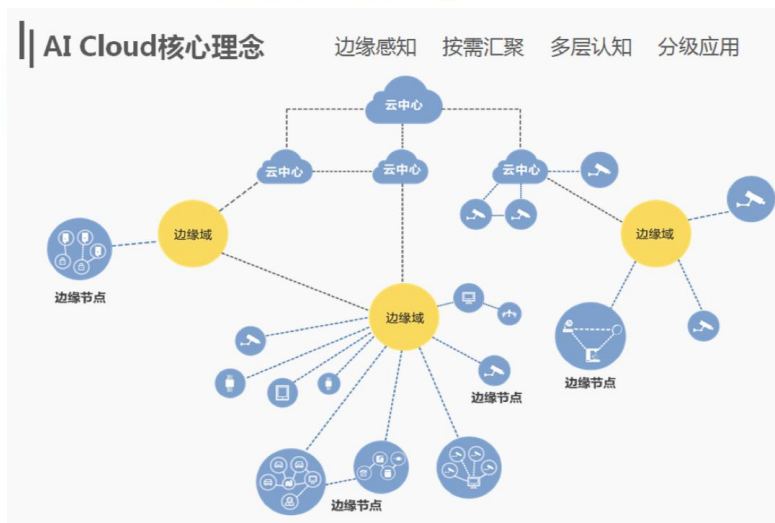


图 31 海康威视 AICloud 框架



图 32 海康威视 AI Cloud 产品家族

在此基础之上，海康威视发布了海康深眸、海康神捕、海康超脑、明眸等一系列 AI 智能边缘设备，搭载高性能 GPU 芯片和深度学习算法，在接近数据源的边缘侧实现人体、车辆等信息的提取和建模。

以海康明眸人脸识别通道为例，其能够支持 10000 人脸库，人脸识别通道可完成 1: N 的人脸识别和 1:1 的认证比对，比对时间不到 1 秒，准确率超过 99%。通过先进的人脸识别设备，让楼宇通道变得更高效智能。

5.1.2 智能工业

根据 2018 年 5 月发布的《全球智能制造发展指数报告（2017）》结果显示，中国名列智能制造发展“先进型”国家行列，综合排名全球第 6 位。美国、日本和德国名列第一梯队，是智能制造发展的“引领型”国家；英国、韩国、中国、瑞士、瑞典、法国、芬兰、加拿大和以色列等位列第二梯队。

智能制造系统的本质特征就是个体单元的“自主性”与系统整体的“自组织能力”，基本格局就是分布式多自主智能系统。因此，边缘智能与智能制造有着密切的关系，具备工业互联网接口的制造系统本身就是一种边缘计算设备。

(1) 阿里云边缘智能在智能工业应用案例

阿里云目前提供了一系列工业物联网解决方案，客户可通过阿里云 Link 物联网平台，将机器设备在生产过程中产生的数据收集起来，实现实时监控、数据可视化、能源管理、良品率提升等，帮助企业实现降本增效。

LinkEdge 承担工厂数字化的任务，接入工控设备、打通 MES 系统，实现云端制订排产计划，边缘同步监控执行；依托 IPC 摄像头结合 LinkEdge 提供的视频分析能力实现对工厂生产监控，LinkEdge 作为工业现场的小脑，南向连接设备，北向连云，中间承担数据存储、分析、业务计算的功能，从而提高生产效率，赋能传统制造业实现节能增效，转型升级。

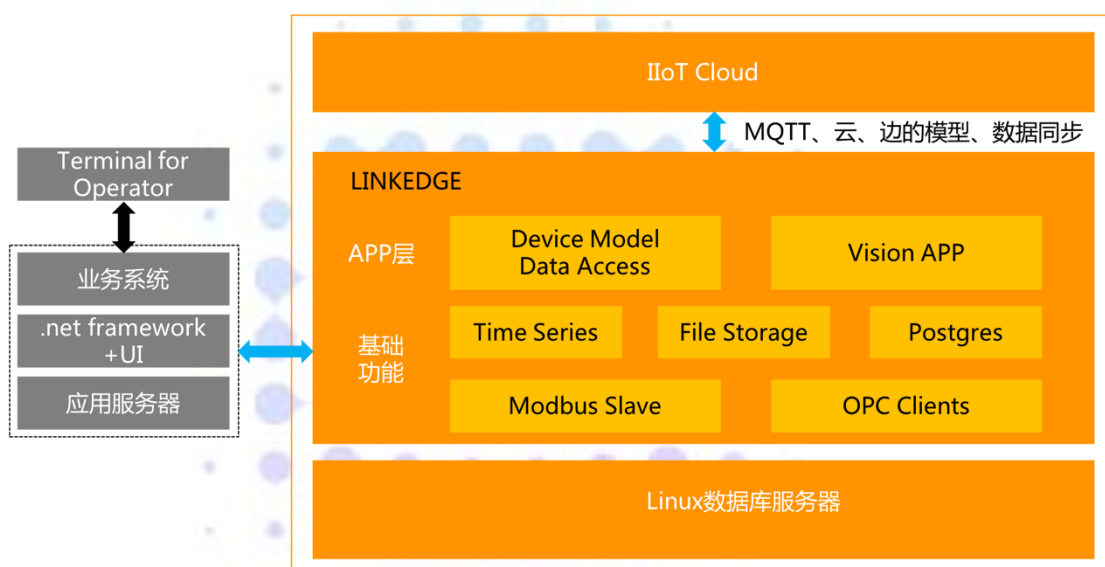


图 33 阿里智能工厂现场部署

日前，阿里云与西门子达成协议，并计划于 2019 年推出部署于阿里云的数字化操作系统 MindSphere 平台。合作达成后，西门子首先会把 MindSphere 工业物联网操作系统的底层架构搭建在阿里云的服务器上面。部署于阿里云的 MindSphere 将为中国内地企业提供服务，以帮助他们利用先进的工业解决方案进行创新。

（2）研华科技的边缘计算解决方案

研华科技在 2016 年就发布了一系列边缘智能服务器软硬整合解决方案——Edge Intelligence Servers，可以用在工厂、零售、物流等行业中。IoT 边缘智能服务器（Edge Intelligence Server, EIS）可以把不同工业协议收集起来的数据转换成 MQTT 协议传输到云端，然后再做数据分析或应用的处理。简

单的说，研华 IoT 边缘智能服务器（EIS）=物联网网关+小型数据库+轻量计算与分析。

研华还与 ARM、Microsoft、Acronis、IntelSecurity 等公司携手合作在线软件商店 WISE—PaaSMarketplace。这个软件商店集结了多家软件厂商的产品，用户通过在线选购能快速组建出各式各样的物联网软件和云端解决方案。

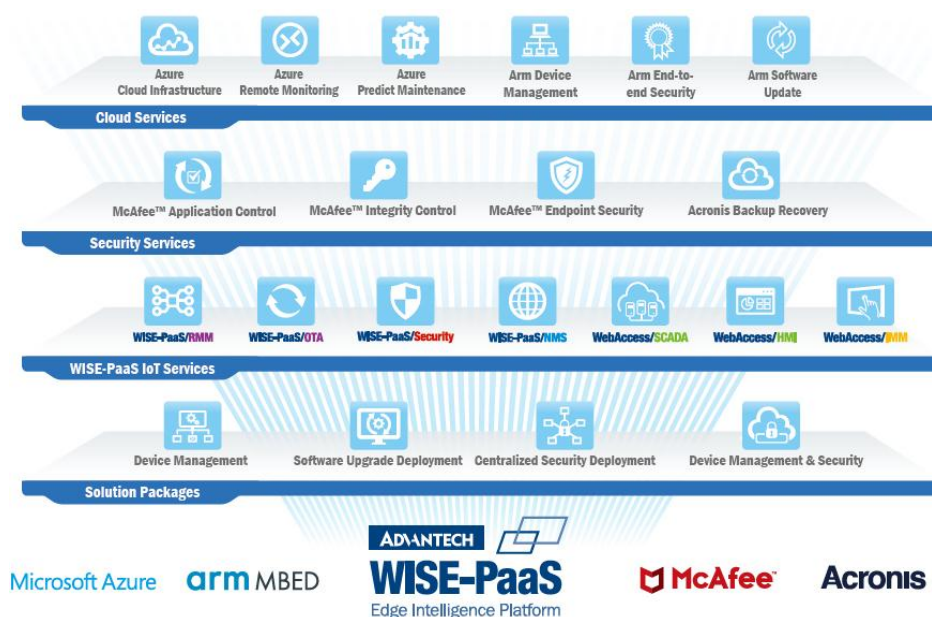


图 34 WISE—PaaS 生态圈

研华 IoT 边缘智能服务器旨在加速物联网实施，提供的集成解决方案包括工业无风扇计算机、WISE-PaaS 软件包、物联网开发工具、预配置云服务，并可以其灵活特性通过 WISE-PaaS Marketplace 添加更多软件模块，从而实现物联网连接、数据管理和分析。

5.1.3 车联网

中国联通借助云化技术构建的边缘计算平台 Edge-Cloud 可以实现灵活的网络功能部署，实现车内、车与人、车与车、车与路、车与服务平台的全方位网络连接，提升汽车智能化水平和自动驾驶能力，构建汽车和交通服务新业态。

中国联通已经在重庆开启 V2X 现网试点，实现的应用验证包括基于关联模型的交通信息推送应用、基于 MEC 边缘云平台的车辆列队行驶应用开发、智能交通调度以及大数据分析。

中国联通在 C-V2X 的试点过程中选取了两江新区开发路段进行实验,该实验全长 9.6KM,覆盖空旷路口、人流密集路口、复杂交通路口等 12 种不同类型的典型路口及道路,从无线覆盖、优化、车载信息收集、MEC 数据分析复杂度而言都具有复杂性和典型性。此次基于 Edge-Cloud 边缘业务平台的 C-V2X 试点在该路段实验了信号交叉口闯红灯预警、信控交叉口辅助驾驶、交叉路口防碰撞提醒、信控交叉口车速引导、应急车辆预警、信号灯控制参数优化、行人穿行预警、编队行驶模拟等多个场景。

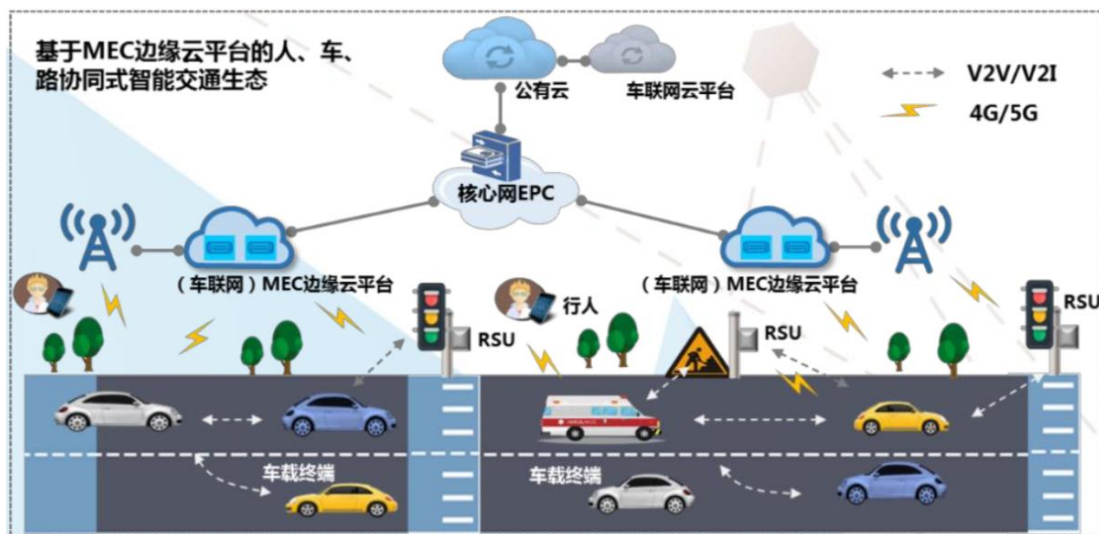


图 35 中国联通基于 Edge-Cloud 的 V2X 解决方案

5.1.4 智能酒店

智能酒店方面, LinkEdge 主打刷脸入住, 无卡通行。接入并打通了 7 类设备, 包括人脸采集、酒店 PMS 管理系统、自动入住机、门锁、RCU 控制器等, 涉及 116 间客房, 356 个终端设备。通过 Edge 实现上述智能设备/系统的管理、调度、应用, 以边缘智能为核心, 实现一体化的智能酒店系统。



图 36 阿里未来酒店智能模式

5.2 边缘智能主要商业模式

边缘智能是物联网整体解决方案中的有机组成部分，在不少情况下并没有直接面对用户，不过其对于物联网业务的体验性提升、成本降低起到巨大作用，我们可以提炼几类商业模式进行研究。

5.2.1 最终用户收入分成模式

向最终用户直接收费的商业模式适合于能为用户提供标准化产品的方式，由于边缘智能作为整体解决方案中的嵌入式模块，很难提炼成标准化的产品，不过在很多情况下由于能够使业务提供方一些具体场景，业务提供方对最终用户收费，边缘智能运营方对该收费进行分成。

中国移动 5G 联合创新中心发布的《移动边缘计算》报告中对此类模式进行过分析，以赛事直播为例，运营商为 VR 直播服务商提供边缘智能平台支持，用户通过向服务商购买 VR 直播门票获得直播服务，运营商由于提供直播所需网络接入和边缘智能平台，可以与服务商进行共享收入分成。

5.2.2 业务平台功能费模式

此类模式主要适合为集成商、应用开发商直接提供边缘智能能力的情况，边缘智能运营商不参与端到端解决方案的设计，只是提供使能作用。作为边缘智能运营商，包括电信运营商和云服务厂商，会面对大量 to B 类客户，提供边缘智能平台的开发接口，根据调用情况和使用量收费。

虽然边缘智能商业模式还在探索中，但这一模式可能成为一种主流模式。目前，各类边缘智能运营商在尝试这种方式，借鉴云服务的收费模式，量化业务平台使用量。如阿里云、AWS、Azure 等云服务厂商推出边缘智能平台中，就针对云产品资源、网关软件、设备软件、消息传输、增值应用等多个服务组合设置标准化的收费模式。当然，这一收费模式仍在试验和探索中，经过一段时间成熟后，就成为一种普遍的商业模式。

5.2.3 业务优化提升模式

此类模式不会直接体现边缘智能平台直接服务费用收入，而是着眼于整体端到端解决方案中边缘智能发挥的价值，适用于边缘智能运营商也参与到物联网方案设计的情景中。电信运营商、云服务厂商等边缘智能运营商有时也承担着物联网集成商、解决方案商的角色，或者是和集成商深度合作，此时边缘智能就是整体方案中有机组成部分，对物联网解决方案的优化带来直接效果。

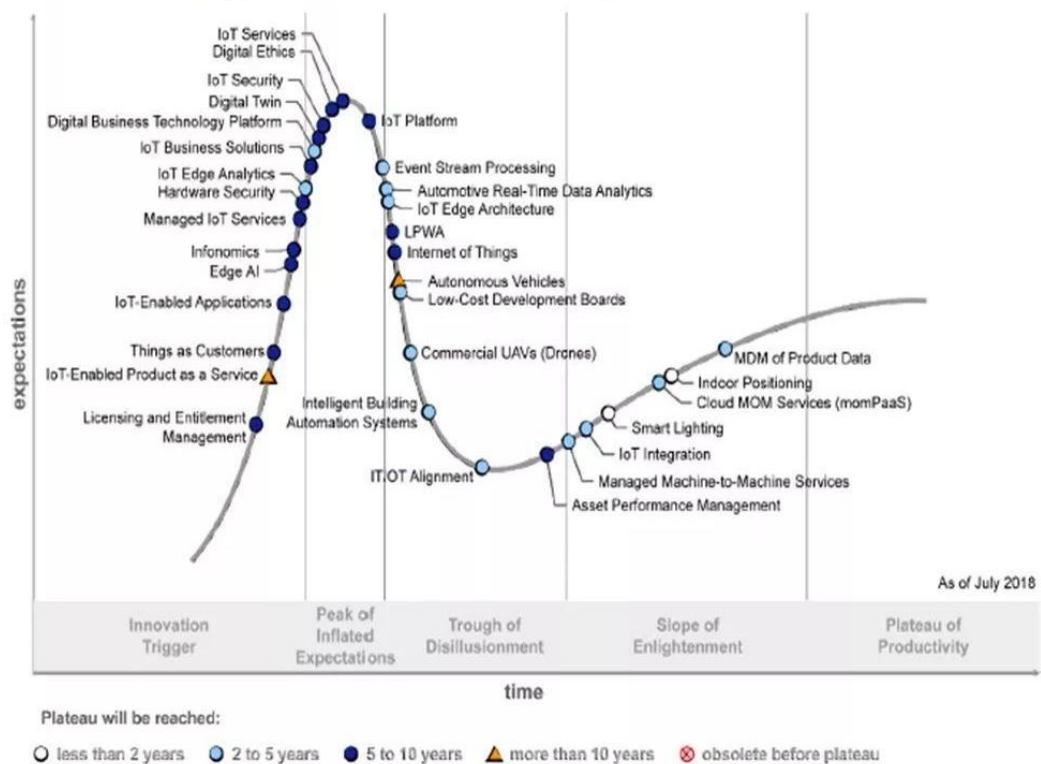
IoT 合作伙伴计划

第六章 边缘智能未来发展趋势展望

边缘计算虽然已提出多年，但还没有形成大规模落地实施的态势，边缘智能作为进一步演进，还需突破多项挑战，并与物联网产业的规模化发展相伴而行。

6.1 边缘智能处于发展初级阶段

根据 Gartner 最新发布的物联网技术成熟度曲线（Hyper Cycle），与边缘计算相关的边缘人工智能（Edge AI）和物联网边缘分析（IoT Edge Analytics）尚处于最初的触发期（Technology Trigger），物联网边缘架构（IoT Edge Architecture）处于炒作峰值向泡沫后低谷期转化的阶段。根据这一曲线，边缘智能仍处于发展的初级阶段，技术、业务、商业模式等各方面的挑战仍然具有不确定性。



Source: Gartner (July 2018)

图 37 物联网技术成熟度曲线（来源：Gartner）

6.2 边缘计算向边缘智能演进中的挑战

边缘智能更着眼于如何使能物联网业务场景的落地，并将人工智能应用于边缘计算中，在这一过程中需要克服多方面挑战。

6.2.1 碎片化向规模化发展的挑战

物联网的终端、传感器处于海量的碎片化场景中，边缘智能部署在这些设备数据源头附近，同样具有多样化和分布式的特点，面对的也是碎片化场景。解决产业碎片化向规模化发展就是产业面临的一大挑战，如何利用边缘设备的软硬件解耦实现产品的通用性，而且边缘设备需要增加哪些标准化功能也需要考虑，从而解决行业碎片化问题是业界重要研究方向。

6.2.2 产业链协同的挑战

与物联网产业链各环节类似，边缘智能相关参与者需要开放、合作来实现落地。由于边缘智能平台作为物联网数据源头的首个入口和中枢，承上启下的作用更加明显，用户和产业链合作伙伴对其技术、产品、安全性等方面的要求较高，给边缘智能产业与产业链各环节协同提出挑战。产业链协同的挑战中，安全和隐私保护的挑战最为明显。作为数据中枢，接触的一手数据量很大，数据泄露、隐私保护等工作需要和合作伙伴、客户共同来实现；另外，存储设备、网络、应用等各环节需要端到端的安全防御。

6.2.3 供给和需求匹配的挑战

物联网产业发展的一个典型的挑战就是供需双方之间存在一定断层，物联网技术、产品、方案供应商对下游用户的生产经营流程理解不够，下游用户对智能化场景理解不足，使物联网规模化落地推进较慢。边缘智能也具有类似的挑战，相关的各类技术不断推陈出新，边缘智能产业链上游企业作为供给方积极投入大量资源来布局，但相对来说，对用户需求的理解并不深入。

6.3 边缘智能未来发展趋势

在边缘智能发展初期,面对各项的挑战,边缘智能各方参与者将在场景需求、标准化、产业生态、技术协同以及安全隐私等方面发力,推动产业成熟。

6.3.1 业务场景和需求驱动为主

业务场景和需求将成为边缘智能产业发展的核心驱动因素。当前阶段,边缘智能主要是供给方推动为主,不断推出典型案例和示范应用来教育下游各行业;在技术进步和市场教育充分的情况下,未来更多是需求方为主来推动。下游各行业对数据分流、实时可靠、用户体验等方面的需求,直接驱动边缘智能上游企业的产出。

6.3.2 标准化被业界认可

边缘智能参与者众多,且异构标准数量庞杂,最终趋势是在多个层面形成一些标准,包括信息模型、设备管理、协议转换、通信管理、安全防护等各方面。相关标准化组织以市场需求为导向,以企业为主体,强调标准的研究制定与应用结合,对边缘智能标准进行市场化推广,形成市场上的事实标准,最终被产业链大部分企业所认可。

6.3.3 产学研用生态组织作用凸显

目前,国内外已有多个边缘智能相关产业联盟组织成立,且有效地开展标准化、产业生态建设等工作,给联盟参与企业带来不少机遇。未来产、学、研、用各方参与的产业联盟组织的作用更加凸显,通过构建这些组织,解决产业界共同关心的问题,推广示范应用案例,提供开放试验环境,加速边缘智能的商业化落地进程。

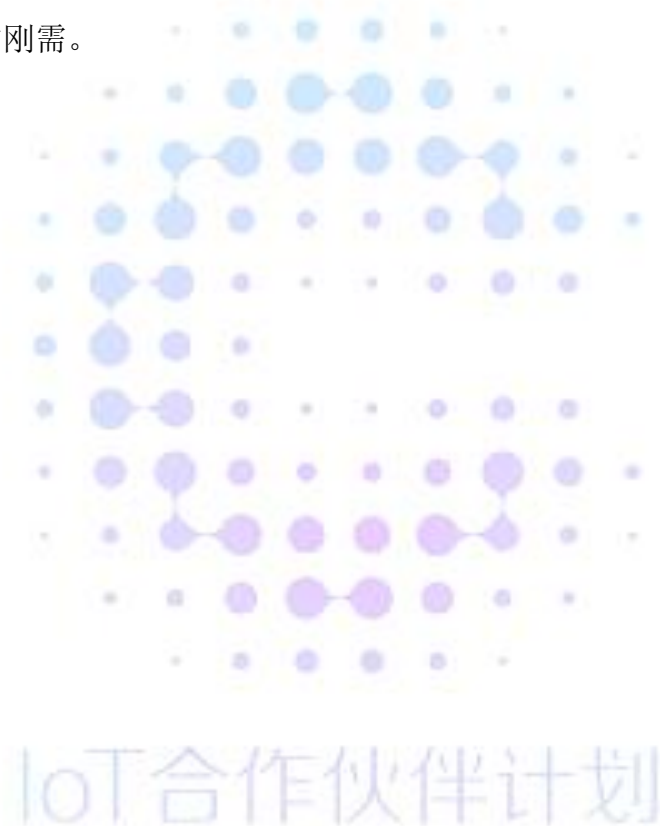
6.3.4 边缘智能与终端-通信-云端深度协同

作为物联网方案中的组成部分,边缘智能一定需要与终端、通信、云计算形成协同效应,做到各环节不存在短板,才能给下游用户直接交付端到端的解决方

案。对于边缘智能平台提供者和运营者来说，对在“端-管-云”方面有广泛的布局、有大量深度的合作伙伴，则是提升其边缘智能的竞争力的重要砝码。

6.3.5 端到端安全成为刚需

面对边缘智能平台，攻击路径可以通过本地无线网络或者物理篡改进行，由于边缘智能平台面对大量碎片化场景，安全保护的巨大压力。根据 360 相关研究，边缘智能需要进行分层的安全应对，包括设备域、网络域、数据域和应用域提供针对性的应对方案。在未来产业发展中，这种端到端的安全应对方案成为边缘智能落地中的刚需。



主要贡献单位

编写单位：阿里云 IoT 事业部、物联网智库

支持单位：中国信息通信研究院西部分院、英特尔（中国）有限公司、恩智浦半导体公司、施耐德电气(中国)有限公司、研华科技(中国)有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、重庆市物联网产业协会、重庆邮电大学

本报告在编写的过程中参考了以下单位相关成果，ICA 联盟对此表示感谢（排名不分先后）：中国移动通信集团公司、微软(中国)有限公司、亚马逊网络服务公司、Advanced RISC Machines（ARM）、戴尔(中国)有限公司、欧洲电信标准化协会（ETSI）等

IoT合作伙伴计划