



走向智能边缘

边缘计算和智能化将推动科技与电信行业发展

Chris Arkenberg, Ariane Bucaille, Sanket Nesargi, Dan Littmann, and Jeff Loucks

智能边缘由数十年的仪表化、自动化和连接技术发展而来，正日渐成熟并演进为一系列革命性的技术能力，并推动全球一些最大的科技和通信企业转型发展。对此市场预期迥异，¹德勤预测到2021年，智能边缘的全球市场规模将扩大至120亿美元，且保持35%左右的复合年增长率。²电信企业为5G网络部署智能边缘、超大规模云服务提供商优化其基础设施和服务产品，都是推动这一增长的主要动力。这些高度资本化的企业将率先创建用例和最佳实践，为各行各业的企业迈向智能边缘奠定基础。到2023年，预计将有70%的企业将采用边缘计算执行数据处理。³正如一家领先的GPU制造商所言：“我们将进入一个全新时代，创建一个规模比目前大数千倍的互联网。”⁴

尽管面临种种挑战和阻力，我们仍然相信智能边缘将改变计算领域的格局，并推动全球最大的科技公司实现新一代的连接技术和运营效率。通过让强大的计算能力贴近数据产生和消耗的位置，智能边缘可激发更大潜力，在自动驾驶汽车、虚拟现实和物联网等各个领域实现速度更快、成本更低、更安全可靠的运行，加速推进第四次工业革命。⁵

什么是智能边缘？

智能边缘由先进的无线连接、紧凑的处理能力和人工智能共同组成，并部署部署在使用和生成数据的设备附近。⁶智能边缘代表着在云计算、数据分析和人工智能的加持下，工业监控、自动化生产、效用管理以及电信领域的发展演变与趋势融合。通过将云计算、数据分析和人工智能技术部署部署在需要快速分析并处理数据的设备附近，实现对数据的直接处理，或过滤之后仅将最重要的数据传输至核心。尤其值得一提的是，智能边缘可将云技术引入远程操作，极大地提升操作性能。

人工智能的崛起离不开计算技术的发展，而这两者正是推动半导体行业发生结构性转变的关键动力。⁷图形处理单元（GPU）已经在向数据中心迁移，而专用的人工智能芯片正延伸至边缘（涵盖设备），以即时处理输入的数据。⁸通过先进的连接技术——5G和Wi-Fi 6，往往是两者并用——将上述各项关联起来，再借助虚拟化技术在一个由多种动态组件构成的网络上实现服务从云端到边缘的

无缝运行。由此可见，智能边缘战略的有效规划和实施需要多个生态系统提供者的合作与协调。

人工智能的崛起离不开计算技术的发展，而这两者正是推动半导体行业发生结构性转变的关键动力。

智能边缘的兴起可能将推动服务架构的演变，促使其更注重地点、去中心化并更加分散。智能边缘并不会取代云端或数据中心，而是成为“云端到边缘”整体架构的一个组成部分。⁹就一项服务而言，部分组件将在集中化云端运行，其他的在数据中心运行，更多的则是在传感器阵列、自动驾驶汽车甚至数十亿机器端点的边缘运行。数据操作过程中不同步骤所采用的计算方式、操作地点，以及相关操作对连接技术和速度的不同要求，都有可能改变服务架构，以根据需求来分布组件。

然而，还有诸多挑战有待克服。技术标准和最佳实践尚未形成，互操作性和安全性方面的问题也将日益凸显。目前的智能边缘结合了电信企业、超大规模业者和技术提供商的解决方案，需要跨多个领域进行协调与整合才能有效实施。如何分工？如何让各方充分发挥自己的能力？谁来为市场其他各方提供最佳的端到端解决方案？这些问题的答案可能会影响未来数年的格局。

智能边缘的重要性

对于需要数据驱动用例的企业，智能边缘可提供下列关键能力：¹⁰

- 提高带宽的使用效率和网络可见性，从而降低成本
- 降低对广域网 (WAN) 的依赖将导致连接不良、不可靠甚至丢失，智能边缘可应对此类情况
- 通过将更多数据保留在本地，而无需通过网络将其传输至核心，加强对数据分类、标准化、驻留和隐私的管控
- 支持低延迟用例和快速响应时间
- 提高自动化和数据自治水平

有了上述能力，智能边缘就可以提高各项操作的可见性，支持更快的数据分析和实时响应，提升自动化水平并构建更动态的系统。某些微服务需要很低的延迟和高安全性，例如用于设备访问的面部识别，则可以在边缘执行，而无需去云端。这有助于实现更紧密的决策环，降低网络传输的成本和安全风险：边缘可以向核心发送最重要的数据，核心则可以管控边缘。

智能边缘可以支持大规模的转型解决方案，以此推动制造业、物流业、机器人技术、移动出行和消费类电子产品领域实现重大发展。¹¹以供应链为例，智能边缘可以让其从相对脆弱的线性系统转化为可编程、快速响应和自适应的数字网络，通过自我重塑来应对不断变化的需求和连接中断。¹²另一方面，

公共事业和其他同类机构也可以利用智能边缘来连接人工智能无人机，更快速地识别并解决由基础设施老化导致的风险加剧。¹³ 挪威的一个石油钻井平台已经部署了一种远程自动化机械狗，可以在钻井平台上巡逻，并目测检查是否有气体泄漏等问题。¹⁴ 这些设备可以全天候部署，以核对和监控资产、标记问题，并提醒钻井平台的网络和船员注意潜在风险。

智能边缘在此类操作中具有显著优势。其中一个例子是用自动化无人机来检查管道缺陷。借助云端，无人机可以将管道检查的视频存储在本地，然后返回基站，并将视频上传至远程数据中心。通过网络发送的信息可能多达数千兆字节，需要较长时间。云端将通过机器学习 (ML) 来评估数据以查找缺陷，并在发现缺陷后将相关信息发回对应的管道站点以触发响应：处理缺陷并可能修改管道流向。

有了边缘智能，云端评估视频所采用的人工智能/机器学习推理算法就可以在无人机上直接运行。无人机不需要扫描并分析整个视频，而是在视频中一个接近实时的小型缓冲区上操作，以此识别缺陷。发现缺陷后，无人机可以立即通知附近的工作人员处理问题。只有识别出缺陷的视频帧才会保存在云端，并置入模型和训练集，进而更新现场工作的其他无人机，以更好地识别缺陷。这能最大限度地减少数据分析和传输的负荷，大大缩短检查与处理的间隔时间，并最大程度地实现网络的使用价值——只处理可添加至工具链并提供深入见解和经验的关键信息。

智能边缘的适用对象

智能边缘适用于任何管理基础设施、网络、云端、数据中心和互联端点 (如传感器、执行器和设备) 的企业。智能边缘可以支持对延迟要求非常低的消费者用例，如云端游戏和增强虚拟现实；支持需要在多个运营和客户领域对大量数据进行整合、保护及分析的企业应用；还可以改进用于管控质量、物料及能源使用的工业流程，如监控工厂车间、装配线和物流。

智能边缘适用于任何管理基础设施、网络、云端、数据中心和互联端点 (如传感器、执行器和设备) 的企业。

然而，并非所有企业都能立即在大范围实施智能边缘解决方案。对很多企业而言，需要先投资建设所需的基础设施并建立合作伙伴关系，随后才能从为数不多的用例中实现投资回报。但基础一旦奠定，企业就能在未来获得更多机遇。

智能边缘的驱动因素

我们预期，智能边缘在未来一年将实现初步增长，主要驱动力量包括大型电信企业，以及超大规模服务提供商、内容交付网络（CDN）提供商和科技公司。这些机构同时使用并销售智能边缘解决方案。科技公司会向早期使用者推广智能边缘组件、设备和软件层，同时也借助智能边缘能力来加强自己的制造链和供应链。无独有偶，电信企业、超大规模业者和内容交付网络提供商不仅为客户提供更多的功能，同时也在扩展自己的智能边缘基础设施，以推进实施战略计划。从中期来看，智能边缘将从早期使用者延伸到制造业、物流业和供应链领域。

目前，对边缘计算和智能化投入资金的主要是美国的电信和通信服务提供商。¹⁵随着越来越多的设备在线上 and 线下移动，以及更加多元的带宽需求涌现，这些网络提供商面临着与日俱增的管理挑战。他们正利用智能边缘技术来改造和加强自己的基础设施，例如将交换中心扩展为下一代数据中心和边缘枢纽，实现5G和多接入边缘计算（MEC）所需的高密度及动态连接，¹⁶使用开放式无线接入网等解决方案构建更多虚拟化网络。这些都能为他们的核心业务提供支持，从而向订阅用户提供更优质的服务，并向企业客户销售网络。

超大规模云和服务提供商也在迅速行动，将智能边缘能力引入其由数据驱动的各项业务，包括用例驱动型解决方案，例如需要低延迟、高冗余能力的自

动驾驶汽车和移动机器人；以及在后疫情时代亟需提升透明度和韧性的制造供应链。随着针对数据主权与合规性的监管制度开始出现，智能边缘应对此类要求的能力将被更多机构看重。有了智能边缘，就可以将数据安全保存在本地，留在收集数据的区域之内，而无需发送到国外云平台。¹⁷这将吸引更多社交媒体平台进行投资，以借助智能边缘能力，帮助平台遵守GDPR等监管制度的要求，包括在本地匿名处理个人信息。¹⁸

最后，制造业和移动出行行业（如汽车制造商和代驾服务）日益增长的需求将促进打包方案和托管服务的开发。这将使更多企业更容易获取智能边缘能力。新冠危机的出现加快了向云端迁移的步伐，正在开展第一阶段云转型的企业可以设计出最能满足其用例需求的“云端到边缘”解决方案。¹⁹

智能边缘生态系统的参与者

任何一家服务提供商都无法独自创建一个有效的智能边缘解决方案。电信企业、超大规模业者、内容交付网络提供商和科技公司各自提供了解决方案的一部分，对实施智能边缘发挥着重要作用。但对这些不同的部分进行协调并非易事：每家机构都力图实现各自的战略目标，合作往往伴随着竞争。因此，了解这些参与者各自发挥的作用、提供的产品及其如何应对竞争格局，有助于企业更好地掌握智能边缘能力。

电信企业：助推互联网扩张

电信企业在许多智能边缘部署中发挥着关键作用。²⁰越来越多的大型电信企业开始销售自己的边缘计算和物联网解决方案，以及企业内部私有网络。作为边缘生态系统内的服务提供商，电信企业可以为其企业客户及合作伙伴提供有线和无线网络的端到端连接，涵盖光纤、电缆、4G/LTE和Wi-Fi，以及针对5G和Wi-Fi 6的高级解决方案。电信企业还出租一些能直接接入回程的网络，并提供场地将边缘设备和数据中心放置在交换中心。蜂窝基站也可以出租基站场地用于放置边缘设备，基站通常直接连接光纤。²¹

电信企业面临的一个重大挑战在于，尽管每年花费数十亿美元提高网络的现代化水平，却仍难以保持在网络连接和通信领域近乎垄断的地位。许多通信服务提供商通过IP网络提供服务，但越来越多的超大规模业者和内容交付网络提供商正在搭建自己的网络基础设施。虽然如此，但电信企业能将回程、5G、Wi-Fi 6和智能边缘结合起来，增强托管连接服务能力，从而在提供服务质量更高的下一代网络方面占据竞争优势。

超大规模业者：实现全球连接

一些全球最具价值的企业——又称“超大规模业者”——提供端到端技术解决方案，涵盖云服务、企业产能及消费者生活体验等方方面面。这些企业高度数据驱动，一方面以此优化并扩展内部运营，

另一方面则通过了解客户和用户来提供更好的服务并促成持续互动。超大规模业者通过实施智能边缘，将其超大规模能力部署部署到更靠近观察对象和服务企业的位置，从而达成上述两个目标。

超大规模业者面临的重大挑战在于，如何与连接服务提供商进行合作并维持自己对数据的管控。超大规模网络可能间接地侵蚀通信服务提供商，尤其考虑到他们将通过自身平台提供连接服务。然而，构建高质量网络难度巨大、成本高昂，大规模网络则更甚，因此与连接服务提供商合作可行性更高。²²

随着超大规模业者推进智能边缘部署，他们将创建新的概念验证和用例，从而进一步推动整个市场采用智能边缘。例如，一些超大规模业者将语音人工智能作为所有消费者服务的关键界面情景。²³这样就能在设备（智能手机、智能扬声器或汽车）上运行自然语言处理，而无需返回云端，可以减少延迟、防范连接故障和安全漏洞，并在提高服务质量的同时将数据留存在监管辖区内。

对于部署智能边缘能力的企业，超大规模业者可提供公共云、在公共云上运行的IT服务和管理解决方案，以及人工智能。一些超大规模业者甚至管控着自己的内容交付网络。他们开发并销售这些智能边缘解决方案，从而支持自己在云服务、支付、医疗保健、交通、媒体和娱乐等领域不断扩大业务范围。

内容交付网络提供商: 力争成为超大规模业者。内容交付网络的开发宗旨就是将内容转移到更靠近消费者的位置,以加速早期网络的发展。从这一点看,内容交付网络提供商具有与生俱来的优势。²⁴一些内容交付网络提供商正积极寻求并推广智能边缘解决方案,为此既要与电信企业和超大规模业者合作,又将与之竞争。²⁵

内容交付网络提供商与许多企业关系密切,并拥有业界最高的质量、冗余、安全性和交付能力。当更多企业需要强大的交付服务能力时,智能边缘有助于加强交付网络并提高服务质量。但一些超大规模业者和电信企业已经拥有自己的内容交付网络,目前推动智能边缘发展的领域可能并不需要外部的内容交付网络提供商。此外,内容交付网络公司与下一批可能采用智能边缘的行业(如制造业和汽车业)并没有密切的关系。

技术提供商: 提供硬件及托管服务

“云端到边缘”价值链需要难以计数的硬件组件和软件层为其提供支持。因此,技术提供商有巨大的增长机遇,可将其产品和服务销售给数据中心、网络、内部设施,以及工厂车间、智能建筑、计算机和汽车等端点。

其中,对数据中心设备和无线网络连接的需求可能特别高。一项预测表明,到2025年,边缘数据中心的市场规模将达到近160亿美元。²⁶技术提供商可以帮助电信企业将交换中心改造为现代化数据中心,帮助制造企业增强内部设备能力,并为企业客户提供智能边缘设备和微型数据中心。技术提供商还能提供中间件和治理层,将混合云嵌入无缝结构之中。从这个意义上说,边缘也可以部署混合云。

此外,并非所有智能边缘解决方案都需要5G,更多的可能是针对用例开发包含Wi-Fi、LTE和5G在内的混合网络。这意味着,一些科技公司可以获得更多无线网络方面的服务机遇。最新一代的无线网络Wi-Fi 6可提供带宽切片、更好的电源管理,并能支持更多设备,²⁷从而实现更加稳健和动态的本地网络。本地私有网络则可以帮助一些企业减少对云服务提供商和电信企业的依赖。

尽管如此,技术提供商在智能边缘市场的地位仍会受到挑战,例如一些大型客户(包括超大规模业者和电信企业)在不断构建自己的组件,以及通过去物质化将硬件变为软件的行业趋势。但随着市场不断成熟,技术提供商也可以着眼于第二批使用者——他们没有能力创建自己的解决方案。这一转变可能是迈向工业4.0的又一个里程碑,而工业4.0时代的新一代“云端到边缘”架构也将更加标准化和商品化。

半导体企业: 势头仍在

在轻量级边缘设备上运行人工智能需要专用的计算解决方案,如定制化现场可编程门阵列(FPGA)和特殊应用集成电路(ASIC),以及提升设备、边缘设施和微数据中心人工智能算法速度的GPU。对边缘人工智能芯片的市场需求已显著增长,并且在未来几年还可能大幅提升。²⁸为满足这一需求,越来越多的半导体企业正在加快生产边缘人工智能芯片。²⁹其中一些正在寻求重大的并购交易机会,以巩固自己在下一波机器智能和计算发展浪潮中的地位。³⁰超大规模业者也在设计自己的专用芯片,支持其实现最大规模的运营。芯片制造厂和芯片设计公司也积极应对,以满足数据中心、人工智能和持续进行的工业系统数字化带来的需求。

存在的潜在阻力

随着智能边缘市场日渐成熟，挑战也随之而来。新冠危机就是其中之一：需求被扰乱、供应链受阻、盈利下滑、企业成本上升、市场前景不明。此外，持续的贸易战也导致供应的不确定性上升，增加了打通供应商网络的复杂性、成本和时间。在这种环境下，需求难以挖掘，供应变得不可靠。这些情况将导致对新兴技术的资本支出更为保守。因为企业可能认为，与实施智能边缘相比，增强现有的云能力风险更小，尤其在需要更多远程和连接服务的危机时期。³¹ 在短期内，构建云迁移的基础架构会是许多企业的目标，而边缘开发则主要由大型服务提供商进行。

此外，虽然智能边缘的发展机遇日益明显，但许多企业可能仍将其视为一种前瞻性的战略投资，而非推动当前业务发展的具体途径。实施智能边缘颇具挑战且成本高昂，通常需要在多个提供商之间进行协调。与此同时，标准尚在制定之中，最佳实践尚不明确，众多边缘端点的安全性也无法保障。³² 在经济严重受限的时候，只有规模最大、最持久的企业可能对未来进行投资，而即便是这些企业也需要在各个服务提供商之间周旋。

因此，2021年进军智能边缘领域的将主要是已经占据市场主导地位的科技行业和领先电信企业，以进一步巩固他们在即将来临的变革浪潮中的竞争优势。这些早期使用者在未来一年的努力将有助于证明智能边缘的价值。而未来两年内，市场即可能筛选出最佳实践，建立标准和互操作性，并有可能产生早期企业领导者，使小型企业更容易采用智能边缘能力。

结语

智能边缘生态系统中的每一方——电信企业、超大规模业者、内容交付网络提供商和技术提供商——都与智能边缘及下一代“云端到边缘”架构和服务的成功息息相关。这是一个年轻而充满活力的领域，却已在数十年间仪表化、监控及自动化的计算和网络发展中积蓄了蓬勃的动力。随着数字化、连接技术和数据分析的迅速成熟，智能边缘已经开始改变一些全球最大的物理系统。

正如之前大规模基础设施升级中看到的，随着智能边缘应用的扩大，可能会出现无数意想不到的创新。企业高管应积极参与制定“试水计划”，实现明确的业绩和战略价值；同时应越过智能边缘的表面含义，着重关注用例、标准和结果；最重要的在于，“边缘”和“智能”只是全面解决方案的组成部分，方案将有助于实现更快的数据处理、更大的数据自主权和透明度，建成灵活性更高、适应性更强的企业。

尾注

1. Charles McLellan, "Edge computing: the state of the next IT transformation," ZDNet, October 1, 2018.
2. 预测基于第三方市场调研及德勤自己的评估。德勤评估的市场对象涵盖硬件、应用程序, 以及直接面向边缘计算和智能化需求的服务。鉴于市场范围太大, 相关预测为方向性预测而非精准预测。
3. Robert Clark, "Telcos need to get in shape for the rush to the edge," LightReading, September 17, 2020.
4. Patrick Moorhead, "It's official- NVIDIA acquires Arm For \$40 billion to create what could be a computing juggernaut," Forbes, September 13, 2020.
5. Klaus Schwab, "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond," World Economic Forum, January 14, 2016.
6. George Leopold, "Edge computing seen transitioning to 'intelligent edge,'" Enterprise AI, September 10, 2020.
7. Patrick Moorehead, "It's official - NVIDIA acquires Arm for \$40 billion to create what could be a computing juggernaut."
8. Mark Casey, Jeff Loucks, Duncan Stewart, and Craig Wigginton, Bringing AI to the device: Edge AI chips come into their own, Deloitte Insights, December 9, 2019.
9. Ken Carroll and Mahesh Chandramouli, Scaling IoT to meet enterprise needs, Deloitte Insights, June 20, 2019.
10. Ibid.
11. Chris Arkenberg, Naima Hoque Essing, Sanket S. Nesargi, and Jeff Loucks, Unbundling the cloud with the intelligent edge: How edge computing, AI, and advanced connectivity are enabling enterprises to become more responsive to a fast-moving world, Deloitte Insights, September 8, 2020.
12. Rafael Calderon, Amit Sinha, Ednilson Bernardes, and Thorsten Wuest, "Digital supply networks," Deloitte, July 2020.
13. John McCormick, "California utilities hope drones, AI will lower risk of future wildfires," Wall Street Journal, September 11, 2020.
14. Charlotte Jee, "Boston Dynamics' dog robot Spot is going to patrol an oil rig in Norway," MIT Technology Review, February 13, 2020.
15. Technology Business Research, Inc., "Telecom edge compute market landscape," June 11, 2019.
16. Dr. Song Jun, "Challenges & key issues of constructing 'MEC-ready' 5G bearer networks for carriers," telecoms.com, January 20, 2020.
17. Pablo Valerio, "To comply with GDPR, most data should remain at the edge," IoT Times, October 31, 2018.
18. Sam Schechner and Emily Glazer, "Ireland to order Facebook to stop sending user data to U.S.," Wall Street Journal, September 9, 2020.
19. Aaron Tilley, "A cloud surge lifts Amazon, Microsoft, and Google's results," Wall Street Journal, July 31, 2020.
20. Mike Robuck, "Verizon and IBM take their talents to the enterprise edge with IoT and 5G," Fierce Telecom, July 16, 2020.

21. Mike Dano, "SBA, American Tower double down on edge computing opportunity," LightReading, August 4, 2020.
22. Rich Miller, "The AWS cloud extends to the edge, with likely boost for colo providers," Data Center Frontier, December 20, 2019.
23. Technology Business Research, Inc., "Webscale ICT market landscape," Third Calendar Quarter, 2019.
24. Chris Arkenberg, Mark Casey, and Craig Wigginton, Coming to a CDN near you: videos, games, and much, much more, Deloitte Insights, December 9, 2019.
25. Matthew Prince, "The edge computing opportunity: it's not what you think," The Cloudflare Blog, July 26, 2020.
26. Preeti Wadhvani and Saloni Gankar, "Edge data center market size worth over \$20 billion by 2026," Global Market Insights, press release, October 5, 2020.
27. Paul Gillin, "How three wireless technologies will soon ignite the edge computing revolution," SiliconANGLE, January 26, 2020.
28. Casey, Loucks, Stewart, and Wigginton, Bringing AI to the device: Edge AI chips come into their own.
29. Patrick Moorhead, "Intel quietly becoming a player on the 'edge'," Forbes, April 13, 2020.
30. Don Clark, "Nvidia buys Arm from SoftBank for \$40 billion," New York Times, September 13, 2020.
31. Mike Robuck, "Report: Despite Covid-19 disruption in 2020, data center capex poised to hit more than \$200B over next five years," Fierce Telecom, July 24, 2020.
32. Pete Bartolik, "Edge computing frameworks abound—with none yet dominant," IoT World Today, January 14, 2020.