

借助 IP 满足中国不断演变的云呼叫中心 技术需求

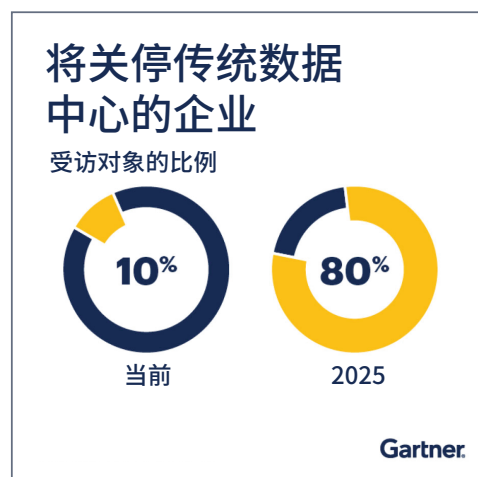
Scott Durrant,

新思科技云业务营销经理

序言

自从云计算技术在将近 20 年前推出以来，应用和计算资源不断从企业数据中心向云环境持续迁移。IT 基础架构向云端的迁移仍在继续，而据 Gartner 预测，到 2025 年，将有 80% 的企业关停传统数据中心，同时，其物理基础架构将完全依赖云提供商而运行（图 1）。随着这一转变的推进，云服务提供商将面临在超大规模云环境中不断提高性能、扩展性和安全性的挑战。为达到所需的服务水平，这些超大规模云服务提供商采用一些工具，包括：

- 增强计算、网络和存储基础架构
- 用于实现可视化计算和人工智能的新技术
- 将某些云服务前移到网络边缘



资料来源: Gartner (2019年2月) ©保留所有权利

图 1: 向云基础架构过渡

本文将探讨中国片上系统 (SoC) 开发人员在满足现代云基础架构需求方面所面临的一些挑战，以及可用于开发高效 SoC 解决方案的工具与技术。

推动云计算发展的主要趋势

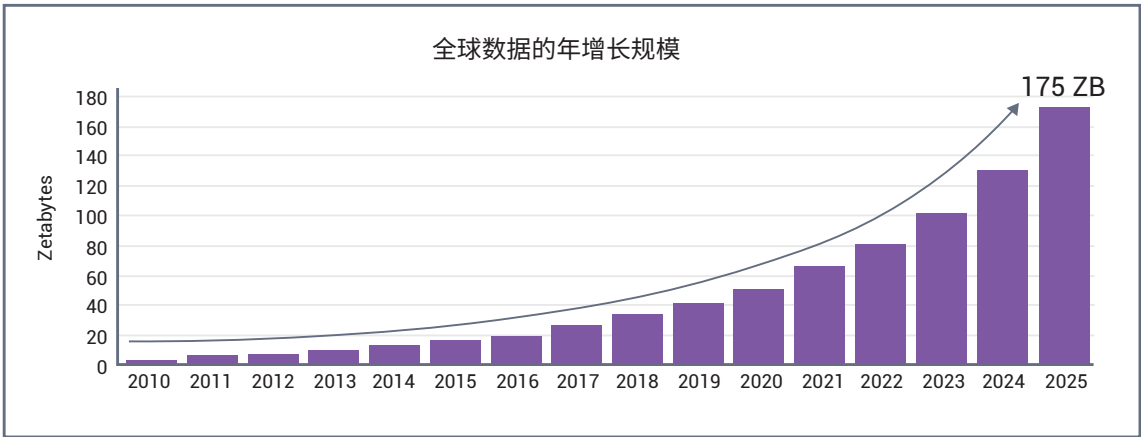
推动当前云计算市场发展的主要趋势有三个，而每个趋势都给 SoC 设计人员提出了挑战：

- 云数据快速增长
- 无处不在地使用人工智能提取数据的含义
- 云服务向网络边缘扩展

我们将在下文依次讨论每一项挑战。

云数据的快速增长

云数据正以指数级不断增长。受互连设备数量快速增长，流视频、社交媒体上共享的内容日益增多、在线增强现实和虚拟现实 (AR/VR) 体验以及 5G 无线网络的推动，IDC 预计，从 2020 年至 2025 年，云数据的数量将增长 3 倍。（图 2）



资料来源：Seagate 赞助的《2025 年的数据时代》调研，数据来自 IDC《全球数据》报告。2018 年 11 月

图 2：2010-2025 年的全球互联网数据增长

数据的增长给 SoC 开发人员带来了几个新的挑战，他们需要在两个方面快速而且有效地搬运大量数据：服务器之间以及服务器内部（即服务器内部设备之间）。这些挑战包括：

- 提高每瓦特的性能，在现有功率 / 热量范围内增强计算能力
- 为设备间的数据访问提供高速、一致的芯片接口
- 在数据中心内部和之间提供低延时的高速联网
- 提供创新的存储方案，以增加容量并使数据更靠近处理器
- 保护数据机密性、完整性和可用性

广泛使用人工智能提取数据含义

云计算的第二个主要趋势是云环境中收集、存储和处理的数据迅速增多。由于数据量大，用于分析和提取数据含义的传统机制已不再能够满足需求。相反，企业纷纷利用人工智能 (AI) 工具分析数据，包括 Web 搜索、语言翻译、电子邮件过滤、产品推荐和语音助手等应用。为了促进将人工智能应用于众多服务中，云服务提供商纷纷在云端部署人工智能加速器。据估计，到 2023 年，大多数云服务器都将包含人工智能加速器。¹

要从云端收集并存储的大量数据中有效获取价值，需要对 SoC 和云基础架构进行多项增强，包括：

- 采用高能力、高性能的人工智能加速器进行基于机器的数据分析
- 利用高带宽内存 / 数据接口为人工智能加速器提供数据
- 通过高速、低延时的加速器互连实现人工智能加速器的扩展和数据传输

向网络边缘扩展

云数据增长的驱动因素之一是连接到云端的物联网设备激增。这些设备中有许多对延时敏感的应用，包括汽车控制系统、图像和语音识别与应答系统、流视频以及增强和虚拟现实应用。为了满足这些应用的最低时延要求，设计人员在边缘的分布式网络中将相关数据和数据处理能力部署到更靠近使用点的位置。

随着云的扩展以满足边缘计算需求，SoC 开发人员必须满足边缘计算的新要求，包括：

- 支持日益增多的机器间通信
- 亚毫秒级应用延时
- 在远程数据中心的功率限制和可变环境条件下运行
- AR/VR 和其它可视化计算应用的加速器

针对每个云数据中心市场的专项增强

前文所述的挑战可通过增强云计算的六个主要功能领域而解决（图 3）：

- 计算服务器
- 网络基础架构设备
- 存储系统
- 可视化计算解决方案
- 电信边缘基础架构设备
- 人工智能 / 机器学习 (AI/ML) 加速器



图 3：云计算的六个主要功能领域

服务器

云数据的增长推动着位于中心的超大规模数据中心和位于网络边缘的远程设施中计算密度不断增加。计算密度的提高需要更节能的 CPU，这样才能在现有数据中心设施的功耗和热量预算范围内提高计算能力。由于对更节能的 CPU 的需求，市场最近对于针对每瓦性能而优化的基于 ARM 的服务器 CPU 再次表现出了极大的兴趣。

数据量的增长对更快的服务器接口提出了需求，因为在服务器内部和服务器之间需要搬运大量数据。服务器内的数据移动可能是主要的瓶颈，也是延时的根源。通过最大限度地减少数据移动，并在数据需要移动时提供高带宽、低延迟接口，这对于最大程度提高性能、减少延时和功耗至关重要。要提高性能，所有内部服务器接口都在进行升级：

- DDR5 接口的速度提高到 6400 Mbps
- 当 PCIe 接口从 16GT/s 的 PCIe 4.0 过渡到 32GT/s 的 PCIe 5.0，再到 64GT/s 的 PCIe 6.0 时，其对带宽的需求翻了四倍。由于 PCIe 4.0 未广泛普及，某些设备的带宽会增加更多，因此，某些设备将直接从 PCIe 3.0 (8GT/s) 转到 PCIe 5.0 或 PCIe 6
- NVMe SSD 正从 PCIe 3.0 转向 PCIe 5.0，使带宽增加 4 倍
- Compute Express Link (CXL) 提供了在 PCIe 电接口上运行的缓存一致性接口，并允许多个处理器 / 加速器有效共享数据和内存，从而减少系统中需要移动的数据量
- 通过采用 PAM4 编码并支持多种协议的 56Gbps 和 112Gbps 新型高速 SerDes 技术，可在包括晶片、芯片、加速器与背板的设备之间提供更快的接口

除了上面列出的接口之外，多种类型的内存还可以满足不同用例的容量、功耗和性能要求。如果内存容量是主要考虑因素，DDR5 则是必选的内存类型。如果内存带宽是最重要的考虑因素，HBM2E 则可提供对内存中数据的高速访问，如图 4 所示。

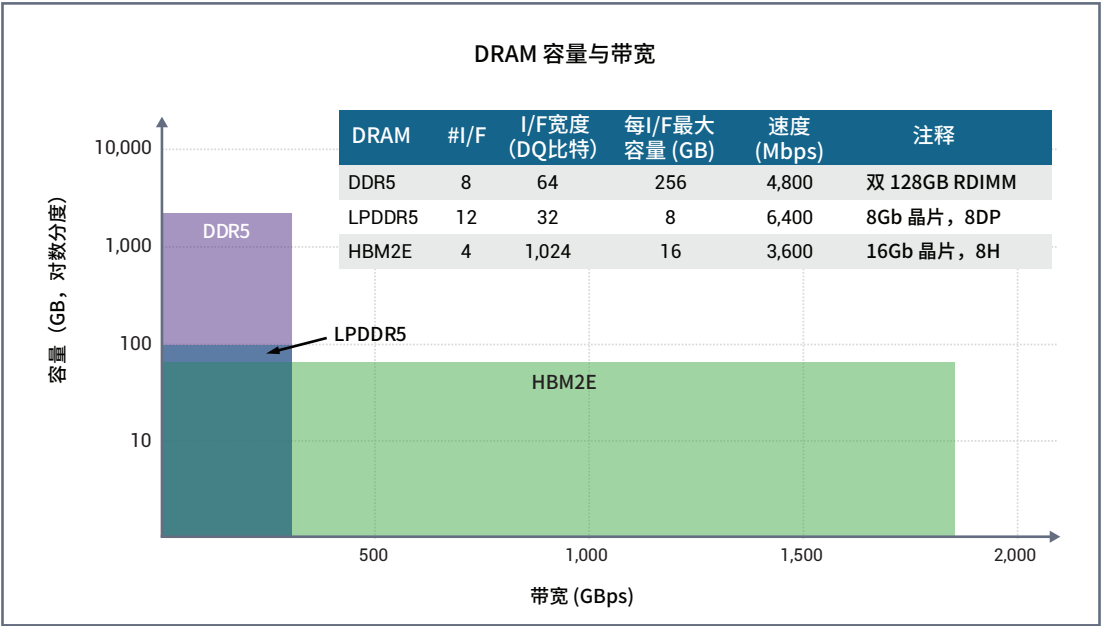


图 4：多种内存类型的容量与最大带宽对比

举例来说，图 5 显示了一个服务器的典型框图，该服务器分别配备采用 CXL 和 PCIe 的一致性和非一致性 I/O 接口，以及一个大容量 DDR5 内存接口。

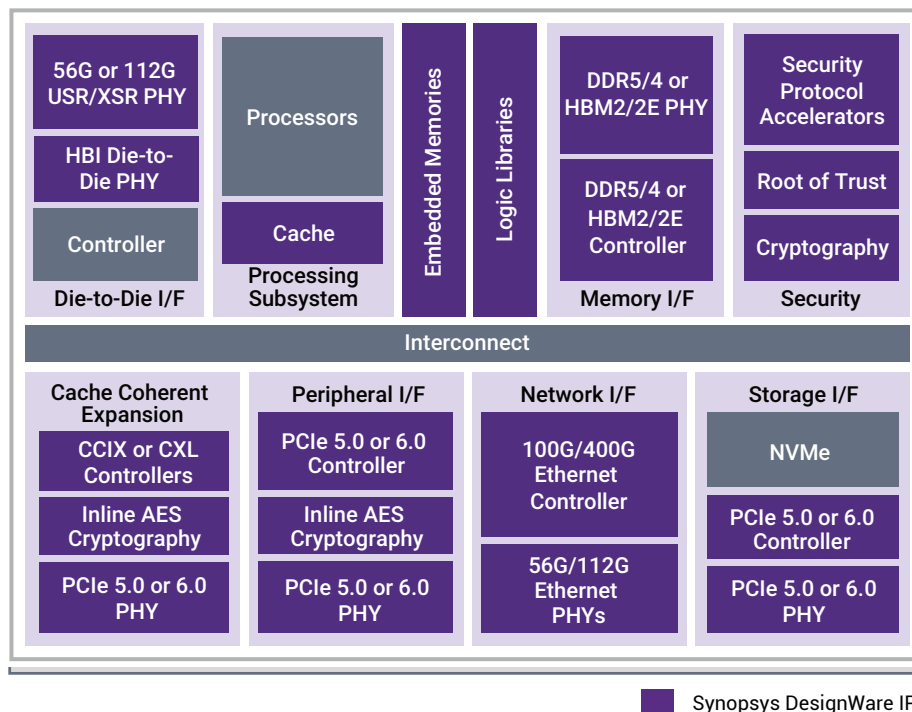


图 5：典型云服务器框图

为了在处理服务器之间传输的数据时提高性能和效率，许多服务器现在都整合了“智能 NIC”，它包含 NIC 上的嵌入式处理器，用于减轻主机 CPU 上的网络协议、安全功能，SDN 和其他功能的处理负担。智能 NIC 有助于以更高的性能对网络数据包进行处理，同时为应用的处理保留主机 CPU 带宽。具有代表性的智能 NIC 的实施框图如图 6 所示。

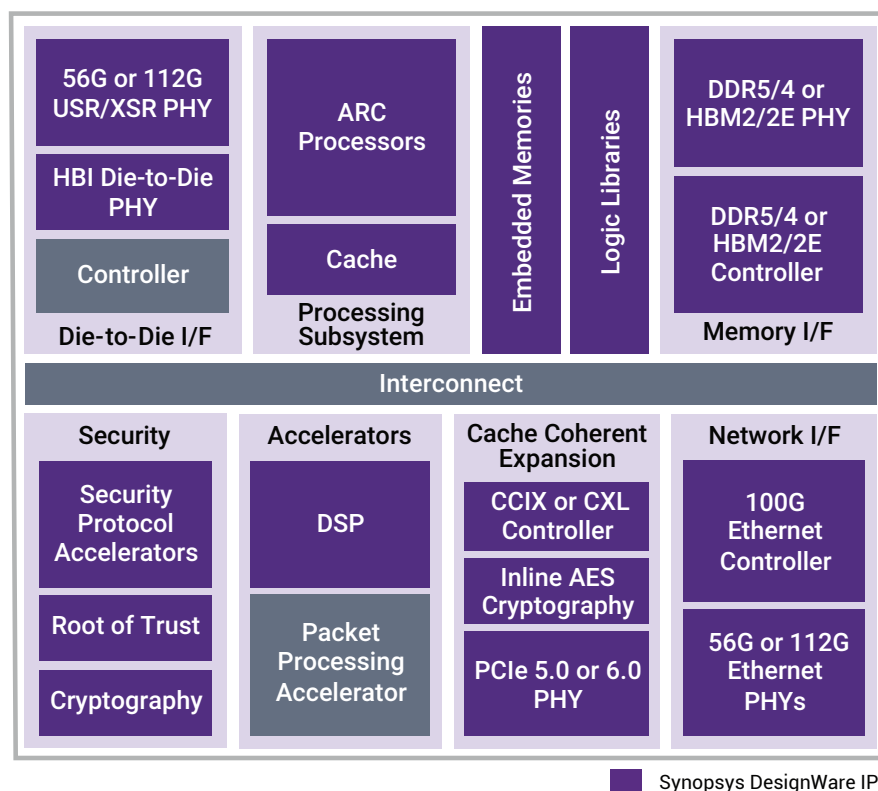


图 6：智能 NIC 框图

除了更快的接口和更高效的存储器外，保护数据对于云计算同样至关重要。随着数据在云端传输和存储的价值不断提高，数据的不当访问和滥用等方面的威胁也在增加。为了适当地保护授权用户可访问的数据的机密性、完整性和可用性，标准化机构纷纷将安全要求纳入数据接口协议中。要在这些高速接口中实施必需的安全算法，需要用于数据加密和解密的高质量加解密 IP、用于实施高速安全协议的安全协议加速器 IP，以及用于提供信任根和安全密钥管理的可信执行环境。为了避免在各个数据路径中产生瓶颈，用于实现这些功能的 IP 必须能够保持原数据路径速率运行。

数据中心计算服务器市场规模

在过去几年间，全球数据中心市场呈现温和增长的态势，IT 支出从 2017 年的 1810 亿美元将增长到 2021 年预期的 2120 亿美元（复合年增长率为 4.0%）。如图 8 所示，约三分之一的支出用于服务器系统。截至 2019 年第四季度，按收入计算的前 5 位供应商包括 HPE / New H3C Group 和 Dell Technologies，分别拥有约 16% 的市场份额，IBM、浪潮和联想进入前五名。值得指出的是，华为的服务器提供商地位不断增强，由于中国的“一带一路”基础设施项目的推动，有望很快跻身前五名（图 7）。

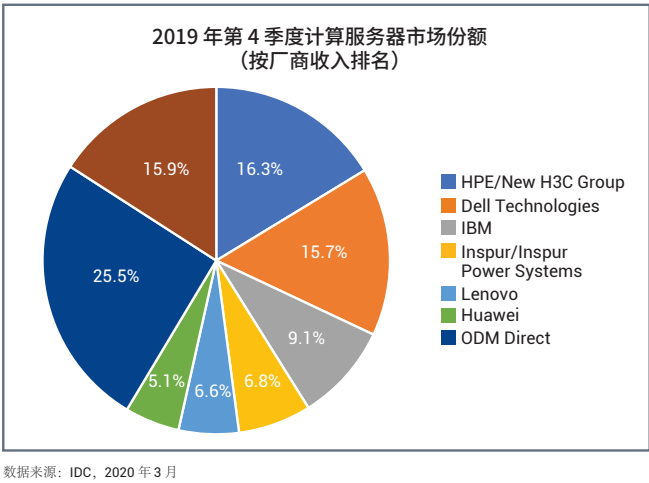


图 7：按厂商收入排名的 2019 年第 4 季度数据中心服务器市场份额

在经历了 2019 年的些许下降之后，到 2023 年，服务器市场收入预计将以每年 6% 的速度增长，如图 8 所示。但应该注意的是，图 8 中的数据是在新冠肺炎疫情爆发之前预测的结果。IDC 在 2020 年 3 月曾预测，疫情对经济的影响之一是 2020 年全球最终用户的服务器支出同比减少 3.4%，随后将恢复增长，在 2019 年至 2024 年的整体复合年增长率为 4.9%。²

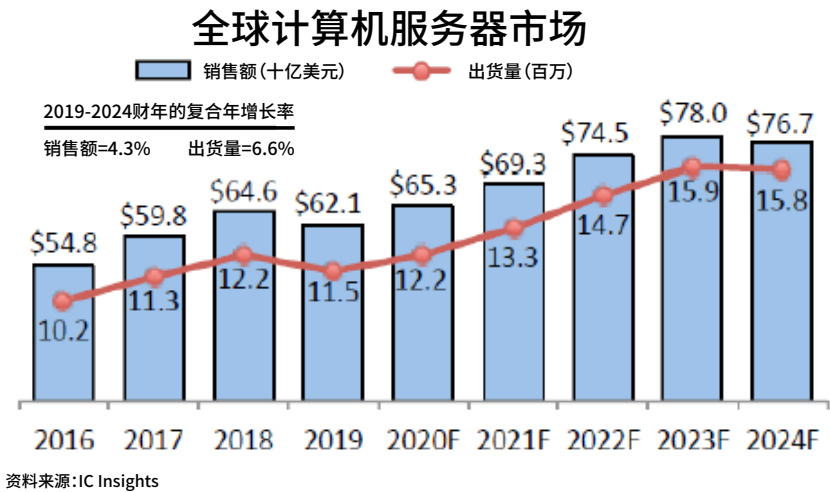


图 8：2016 – 2024 年全球计算机服务器市场（估计）

中国地区的服务器出货量增长势头强劲，2017 年出货量达到 262 万台服务器，预计到 2022 年，年均增长率达到 12.5%（图 9）。

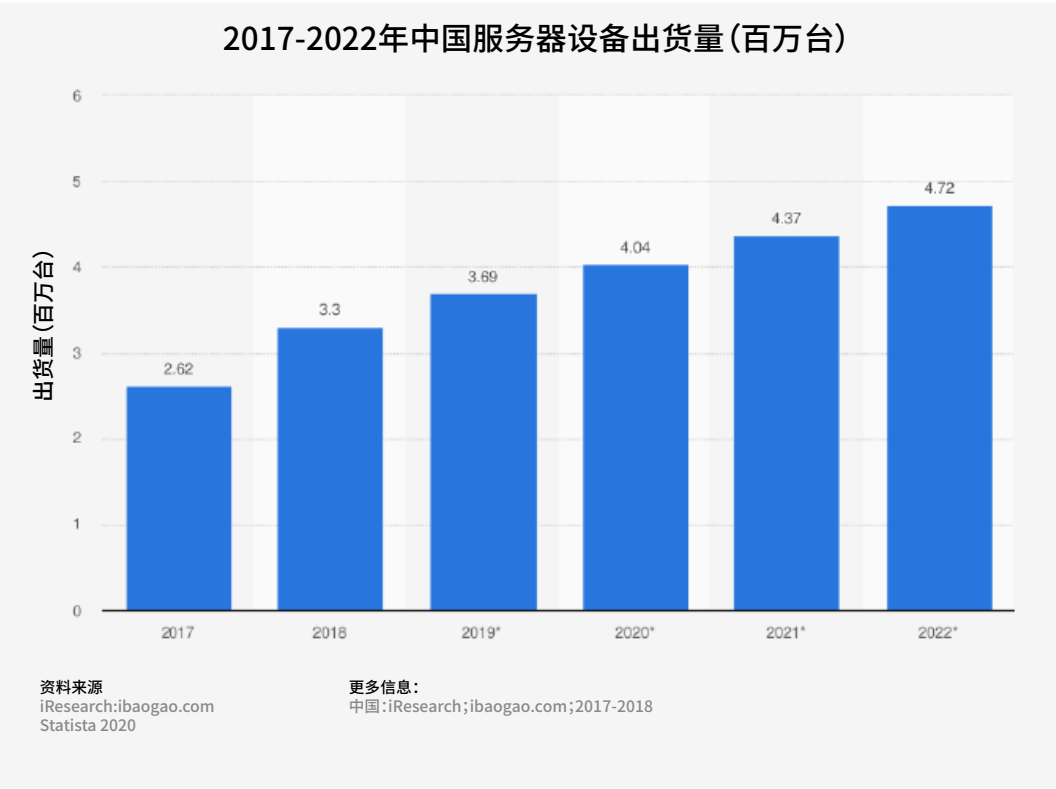
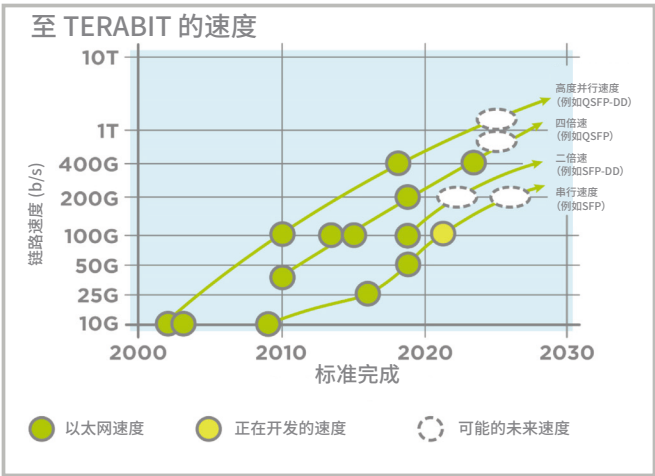


图 9：2017-2022 中国服务器设备出货量

网络基础架构

如前文所述，数据增长对网络速度提出了更高的要求。许多数据中心正在将从服务器到架顶 (ToR) 交换机的网络接口速度从 25GbE 提高到 100GbE。在从 ToR 交换机到分支交换机和主干交换机的链路上以及数据中心设施之间安装了 400GbE 基础架构。领先的以太网交换机厂商已经在开发基于 112G SerDes 的 800Gbps 交换机，而且随着数据量的持续增长，未来几年可能会推出 1.6Tbps 以太网（图 10）。



资料来源:以太网联盟, 2019 年

图 10：以太网路线图

支持 400Gbps 以太网端口的基础架构交换机可采用 56G x 8 或 112G x 4 SerDes 电接口，如图 11 所示。

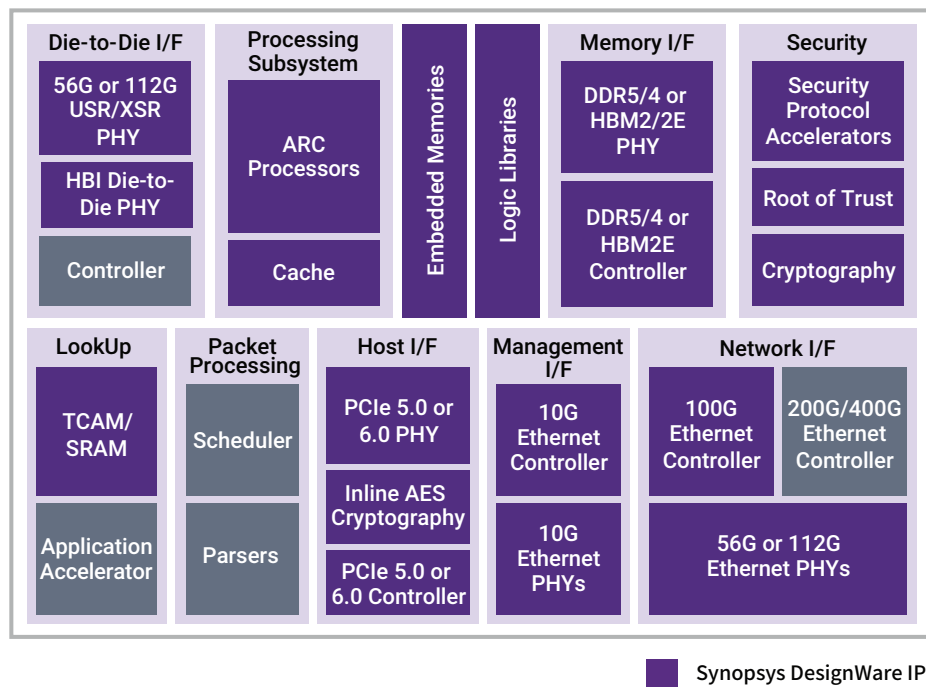


图 11：以太网交换机 SoC 框图

数据中心网络基础架构市场规模

2019 年，数据中心网络基础架构（主要以全球以太网交换机和路由器市场为代表）与 2018 年相比略有增长，实现总收入 443 亿美元（以太网交换机为 288 亿美元，路由器为 155 亿美元）。华为和 Arista Networks 是前五名企业中在 2019 全年相对于 2018 年实现市场份额增长的仅有两家供应商。³ 图 12 显示了全球前五名以太网交换机厂商各自的市场份额。

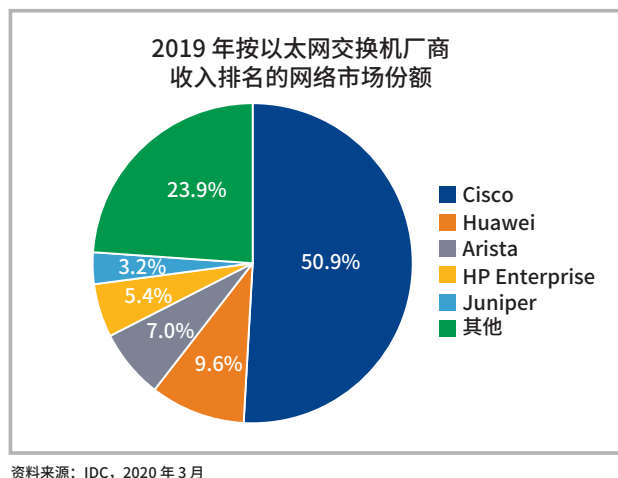
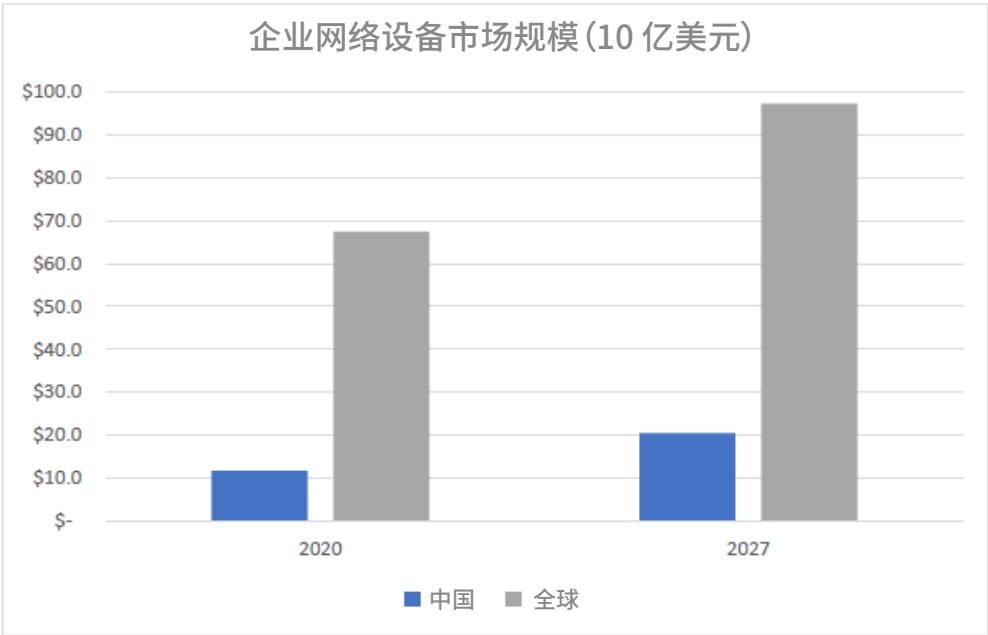


图 12：2019 年按以太网交换机厂商收入排名的网络市场份额

目前，中国是仅次于美国的全球第二大云基础架构市场，三家大型云服务提供商占据主导地位：阿里巴巴的云基础架构服务支出超过 46%，腾讯占 18%，百度 AI Cloud 占 8.8%。在 2019 年第四季度，中国云基础架构市场呈现 66.9% 的强劲增长势头，达到 33 亿美元，占全球市场的 10.8%。⁴

据 Global Industry Analysts 公司的数据表明,在 2020 年至 2027 年,中国企业网络设备市场将达到 8.4% 的复合年增长率,到 2027 年,市场规模将达到 205 亿美元。凭借在该细分市场的强劲增长,到本预测周期结束时,中国的企业网络设备市场在全球的份额将达到 21.1%。⁵



资料来源:Global Industry Analysts 公司

图 13：2020 - 2027 年中国与全球企业网络设备市场规模对比

存储

存储行业的最新进步要求管理不断增长的数据量,并使用加速器来处理数据。这些进步包括使用计算存储、存储类内存、与持久性存储器连接的缓存一致性接口,以及适用于更高数据传输速度的下一代 NVMe 接口。

计算存储系统是智能存储系统,在存储服务器内完成应用处理任务,旨在最大程度减少从存储服务器到计算服务器的网络数据传输。计算存储系统可以查询本地数据库,并且仅将结果集发送到应用 / 数据库服务器,而不是将大量原始数据发送到应用 / 数据库服务器进行处理。通过仅发送结果集,计算存储系统可以减少网络负载,使应用处理器能够执行其他任务。

存储类内存 (SCM) 为增强服务器性能提供了一种相对低成本、高性能、持久内存解决方案。SCM 可以根据应用的需求以多种方式部署。例如,使用 SCM 作为附加内存层可以在数据库服务器上实现在内存中进行数据处理,与 NAND 闪存驱动器相比,数据读写性能提高 10 倍或更多 (图 14)。

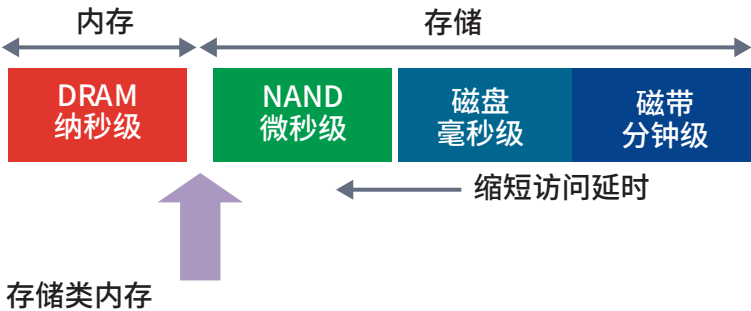


图 14：内存和存储层及相对延时

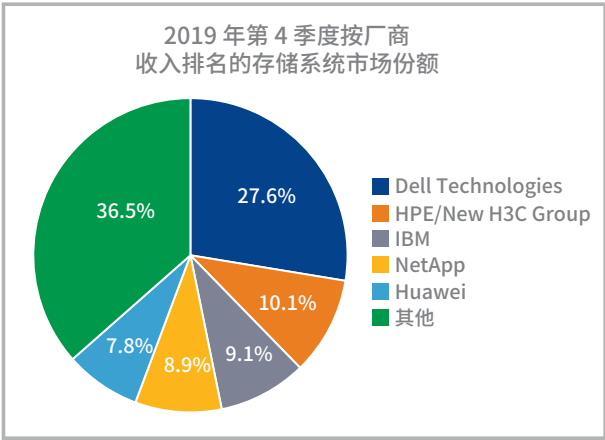
在存储应用中使用缓存一致性接口可以使多个设备在共享内存时保持缓存一致性，从而提高性能，并减少数据移动。Compute Express Link (CXL) 就是这样一种接口。基于 PCIe 5.0 的 CXL 1.1 以 32GT/s 的速度为缓存、内存和 I/O 设备提供数据传输。

NVMe 存储设备纷纷采用 PCIe 5.0 接口，将 SSD 吞吐量提高到每个 PCIe 通道 4GB/s。与 PCIe 3.0 相比，这一速度提高了 4 倍，目前，x86 服务器中一般都实施了 PCIe 3.0。

企业级存储系统市场规模

2019 年，企业级外部存储系统 OEM 排名前五位的公司是分别是戴尔、HPE/New H3C Group、IBM、NetApp 和华为（图 15）。在 2019 年第 4 季度价值 79 亿美元的全球市场上，戴尔在存储系统市场上的份额遥遥领先，达到 27.6%，而其他四家厂商则占据 7.8% 至 10.1% 的份额。⁶

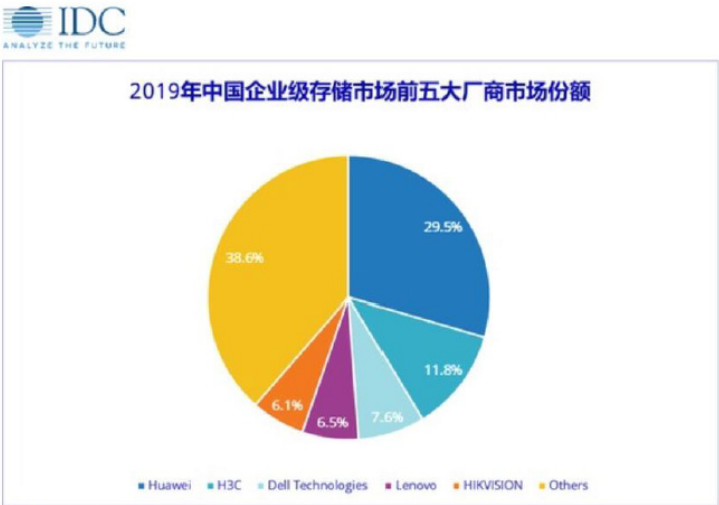
2020 年，由于新冠肺炎疫情，外部企业级存储系统的支出将下降 5.5%，而据 IDC 预测，2019-2024 年，该市场的整体复合年增长率为 1.3%。⁷



资料来源：IDC，2020 年 3 月

图 15：2019 年第 4 季度按厂商收入排名的存储系统市场份额

在中国市场，企业级外部存储销售额在 2019 年达到 40.1 亿美元，同比增长 16.8%。据 IDC 预测，到 2024 年，该细分市场的规模将增长到 63 亿美元⁸，复合年增长率为 9.46%。图 16 显示了 2019 年中国排名前五的企业级外部存储厂商及其各自的市场份额。



资料来源：IDC 中国，2020 年

图 16：2019 年中国企业级存储市场前五大厂商市场份额

可视化计算

随着云应用不断演进，出现了更多可视化内容，对可视化计算的支持已经成为云基础架构的一项额外功能，包括用于商业应用（包括在线协作）和娱乐（例如电影）的流视频、AR/VR 和图像分析（例如 ADAS、安全和其他需要实时图像识别的应用）。可视化计算的激增导致高性能 GPU 集成到云服务器中，并通过高速加速器接口连接到主机 CPU 基础架构，如图 17 所示。

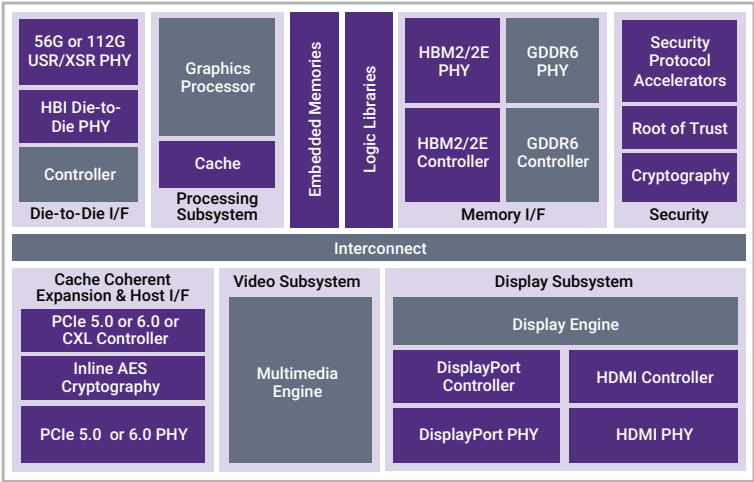
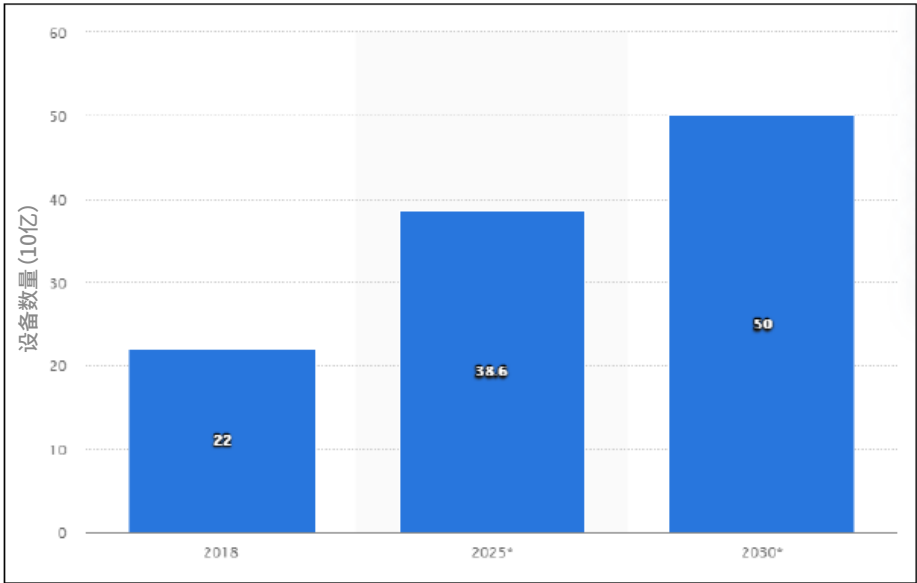


图 17：基于服务器的图形加速器框图

边缘基础架构

云与边缘的融合将使云服务更靠近最终用户，从而提供更丰富、更高性能和更低的延时体验。同时，随着云服务提供商和电信提供商急于推销本地化、高响应性的服务，这将为他们创造新的商机，因为这些服务过去只能从云核心提供。

在过去几年中，连接到互联网的设备数量一直在迅速增加，并且在未来几年中将以更快的速度增长。据 Statistica 估计，2018 年有 220 亿个联网设备，到 2025 年，这一数字将增长到 380 亿以上（图 18）。



资料来源：Statistica，2020 年 2 月

图 18：2018 年、2025 和 2030 年全球物联网设备数量

在这些联网的设备中，很多都是传感器，用于收集数据并将其上传到云端，以分析并确定立即或将要采取的行动。信息安全、交通和物料流管理以及自动驾驶汽车是众多控制系统中的几个例子，而且这些控制系统已经或即将会通过互联网交换信息。特别需要指出的是，对于控制系统，数据必须可靠地传送，而且从收集数据到基于这些数据发出命令几乎不能有延时。换句话说，这些类型的应用需要延时极低的基础架构。

要实现对控制系统和其他对延时敏感的应用的快速响应，最佳方法也许是使数据收集、存储和处理基础架构更靠近使用点，即网络边缘（图 19）。因此，我们看到越来越多的云服务提供商与电信公司合作，在多访问边缘计算 (MEC) 平台中提供云服务。Microsoft Azure⁹ 和 Google Cloud¹⁰ 已与 AT&T 合作，在 AT&T 的多访问边缘计算站点部署了云基础架构。另外，AWS 与 Sprint¹¹（现为 T-Mobile）和 Verizon¹² 合作，通过各自的基础架构部署 AWS 云服务。

然而，在边缘基础架构中部署云服务要求运行云服务的设备能够容忍边缘环境，因为边缘环境不一定拥有与典型云数据中心相同的物理空间、环境控制或电力供应。因此，允许的延时越短，服务就越需要部署到边缘，而且允许的功耗也可能越低。

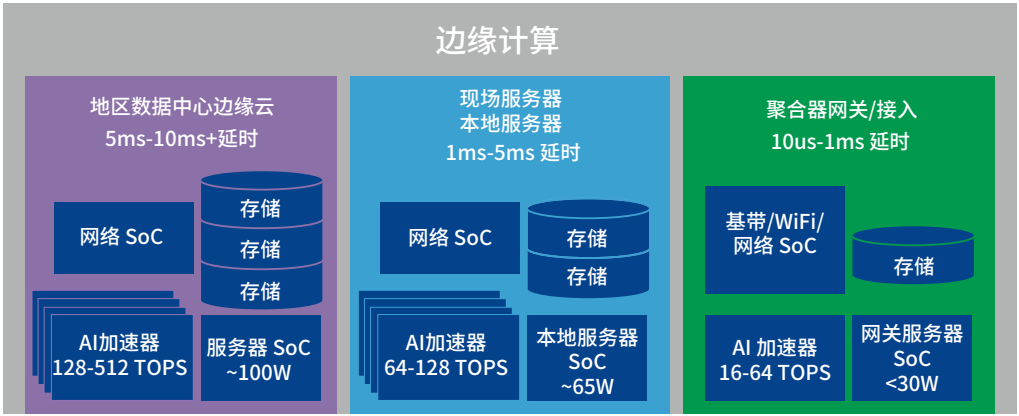


图 19：边缘计算分层

人工智能

最后，用于数据分析的人工智能已成为云数据中心的重要功能。人工智能加速器在设备和云端无处不在。人工智能加速器支持执行卷积、递归、尖峰和其他深度神经网络，以支持大量应用。针对云环境的人工智能加速器一般针对 TOPS 进行了优化，以提供最高的性能。这些加速器的设计支持扩展，以缩短训练时间并适应最复杂的人工智能算法（支持超过 80 亿个参数）。由于人工智能加速器倾向于处理大量数据，因此，内存接口通常是瓶颈所在，这使得高带宽内存对于这些设备特别有益（图 20）。

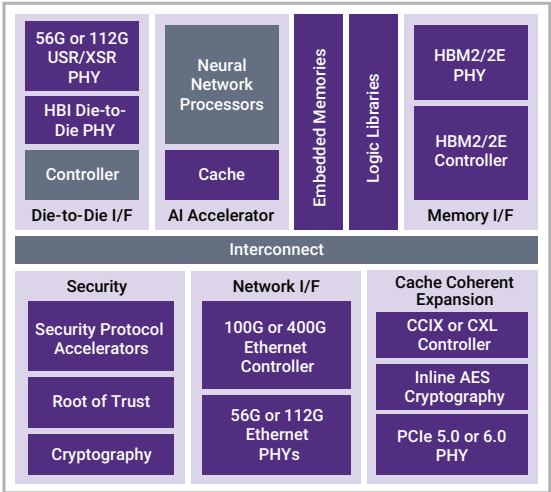


图 20：有代表性的云托管式人工智能加速器框图

针对边缘计算（尤其是聚合器和网关应用）的人工智能加速器通常针对每瓦性能 (TOPS/W) 进行了优化，以解决边缘基础架构和服务的功耗与延时问题。这些设备具有较高的计算能力和相对简单的软件模型，能够提供快速响应能力。它们往往为实现低成本和低功耗而进行了优化，而这通常会要求使用低功耗 DDR (LPDDR) 内存。

为了支持人工智能解决方案的扩展，加速器必须包含一个高速接口，例如 56Gbps 或 112Gbps SerDes 或 HBI。芯片间的高速接口提供了加速器缩放和扩展能力，可满足苛刻的人工智能应用的需求。

开放计算项目 (OCP) 组织正在推动芯片间互连的标准化（开放计算项目 - ODSA 子项目，2020 年）¹³，旨在简化并改善加速器扩展接口的互操作性。这一工作的目的是为异构“小芯片”提供一个通用接口，从而使用通用功能构块来开发 SoC。如果被业界采用，这项工作可缩短这些 SoC 的开发时间，降低开发和制造成本，从而简化加速器 SoC 的开发流程。

适用于云基础架构的 IP 解决方案

新思科技提供了高质量且经过硅验证的全面 IP 产品组合，使设计人员能够开发支持当前和未来云计算应用的 SoC。新思科技的 DesignWare® 接口 IP、处理器 IP、安全 IP 和基础 IP 针对高性能、低延时和低功耗进行了优化，同时支持从 16nm 到 5nm FinFET 的先进处理技术。新思科技针对云 SoC 的全面 IP 产品组合包括：

- DDR5/4 内存控制器和 PHY：提供一流的性能，数据速率高达 DDR5-6400，引入了 DDR5 相位感知调度引擎，与竞争对手相比，面积减少了 15%，功耗降低 10%
- HBM2/2E 内存 PHY：具有业界领先的面积和功耗，并且功耗比竞争对手的 IP 低 80%
- 112G 多协议 SerDes：以 <5.5pJ/比特的速率支持多种数据速率（1.25 至 112 Gbps）
- 112G USR/XSR SerDes 和 HBI 接口：针对芯片间接口进行了面积优化
- 400G 和 800G 以太网解决方案为超大规模数据中心、网络 and AI SoCs 提供真正的长距离性能
- 新的 PCIe 6.0 IP 和当前的 PCIe 5.0 IP 解决方案：经过硅验证，并已被 90% 的领先半导体公司使用
- CXL 解决方案：基于新思科技经过硅验证的 PCIe 5.0 IP 而构建，可降低集成风险，其中包括用于验证 I/O、内存访问和一致性协议功能的 VC 验证 IP
- ARCHS 处理器：提供从 1 到 12 个 CPU 内核的业界领先的扩展性，并支持多达 16 个用户硬件加速器，以适应极端工作负载
- 高效 CCIX PHY 和最低延时的控制器
- USB 3.0、USB 3.1、USB 3.2 和 USB4 解决方案：具有行业领先的低功耗和小面积实施能力，在数百万 SoC 中提供了经验证的互操作性，并且降低设计风险
- 高质量、经过硅验证的基础 IP：包括内存编译器和非易失性存储器 (NVM)、逻辑库、通用 I/O (GPIO) 和测试解决方案，使片上系统 (SoC) 设计人员能够降低集成风险，并加快产品上市速度
- TCAM 和多端口内存：支持用于网络和其他应用的高速、低功耗网络解决方案
- ASIP Designer：通过基于 C/C++ 编译器的高效软件开发套件而开发定制加速器，该套件可自动适应每种体系架构的变更，并自动生成针对功耗和面积而优化的可合成的 RTL
- 安全 IP：包括安全协议加速器、加密加速器、PCIe/CXL IDE 和信任根 IP，可为云计算和其他市场中的多种产品提供最高效的芯片设计和最高的安全性新思科技 DesignWare® IP 产品组合是市场上最广泛的产品组合，涵盖大多数云 SoC 芯片中的绝大多数 IP。

采用 DesignWare IP 保证流片成功

新思科技 DesignWare IP 已被部署到数千种设计中，可帮助设计人员缩短全球云计算应用投入生产运行的时间。

选择 DesignWare IP 作为云环境 SoC 的关键构件的领先公司包括 Habana Labs（英特尔旗下公司），该公司采用新思科技 DesignWare 控制器和 PHY IP for PCI Express 4.0 实现其 Goya 推理处理器 SoC 的首次流片成功。Habana Labs 的首席业务官 Eitan Medina 表示：“经过全面的评估，我们选择了新思科技领先的 16 GT/s DesignWare IP for PCI Express 4.0，这是因为该产品在业界口碑良好，并且拥有最苛刻的数据密集型 SoC 所需要的先进功能。”

Starblaze Technology 也使用 DesignWare IP 实现了 STAR1000 SSD 控制器的首次流片成功并投入批量生产。使用 DesignWare ARC 处理器、基础 IP、安全 IP 和接口 IP，Starblaze 能够将功耗和 I/O 延时减少 50%，使 SoC 面积减少 7%，并通过最佳的功耗、性能和面积组合实现了最高的安全性。Starblaze Technologies 首席执行官 Sky Shen 表示：“新思科技广泛的 DesignWare IP 产品组合使我们能够获得所需的全部 IP，从而保证我们的 SSD 控制器实现首次流片成功。”

AMD 通过新思科技的 DesignWare IP 产品组合交付了 Ryzen 和 EPYC 处理器。AMD 公司 I/O 和电路技术高级总监 Rolands Ezers 表示：“通过选择具有定制功能的 DesignWare IP，我们能够按时完成计划，而且使我们的路线图得以实现。” DesignWare IP 使 AMD 凭借 EPYC 服务器和 Ryzen PRO 桌面处理器击败竞争对手。它还提供了标准和定制的 IP 解决方案，而且这些解决方案提供了我们所需的功能、性能、功耗和面积。此外，新思科技经验丰富的设计团队还可以帮助 AMD 工程师满足紧张的开发和测试期限要求，支持其按原计划交付产品。

展望下一代协议，Achronix 和 Astera Labs 等公司已经宣布，它们已将 DesignWare PCIe 5.0 用于高性能云的设计。

总结

云计算的演进为 SoC 开发人员带来了许多新的机遇和挑战。这种技术引发的一些关键变化包括互联网中传输以及云端存储或使用的数据量快速增长，云服务向网络边缘的扩展，以及为处理海量数据并从中获取洞察而广泛部署的人工智能。

随着机器间的通信、流视频、增强现实和虚拟现实以及其他应用生成越来越多的数据，云基础架构必须不断增强，以最大程度减少需要移动的数据，并最大程度加快从一个位置向另一位置传输数据的速度，无论是长距离传输，还是服务器内部的一个芯片传输到另一个芯片。

随着互联网用户和联网设备数量不断增多，互联网上数据的快速增长要求采用新的机制而减少数据移动，并加快数据从一个位置向另一位置的传输。

借助高质量、经过硅验证的 IP 构件，设计人员能够开发用于高端云计算解决方案的 SoC，包括服务器、网络、存储、可视化计算、边缘计算和人工智能加速器应用。

- [1] “深度学习处理器指南”，The Linley Group，2019 年 1 月。
- [2] IDC 全球季度服务器跟踪，2020 年 3 月 26 日。
- [3] [IDC 全球季度以太网交换机和路由器跟踪显示 2019 年第四季度市场疲软](#)，2020 年 3 月 11 日
- [4] [Techcrunch，这个云基础架构市场 2019 年第 4 季度创收 33 亿美元，2020 年 3 月](#)，2020 年 3 月 18 日，2020 年 4 月 16 日引用。
- [5] [Global Industry Analysts 公司](#)。“企业级网络设备全球市场发展与分析”，2020 年 6 月 29 日引用。
- [6] IDC，“据 IDC 调查，2019 年第 4 季度，全球企业级外部 OEM 存储系统市场收入下滑 0.1%”。2020 年 3 月。
- [7] IDC 全球季度企业级存储系统跟踪，2020 年 3 月 26 日。
- [8] “华为在中国企业级存储市场排名第一” 2020 年 4 月。
- [9] “AT&T 与 Microsoft 宣布结成战略联盟”，<https://about.att.com/story/2019/microsoft.html>。2019 年 7 月 17 日，2020 年 4 月 14 日引用。
- [10] “AT&T 与 Google Cloud 携手推动企业采用网络边缘 5G 计算解决方案”。<https://cloud.google.com/press-releases/2020/0305/google-cloud-att-collaboration>。2020 年 3 月 5 日，2020 年 4 月 14 日引用。
- [11] “Amazon Web Services 将其云服务与 Sprint 的 Curiosity IoT 平台集成，向网络边缘提供可行的智能”，<https://newsroom.sprint.com/amazon-web-services-to-integrate-its-cloud-services-with-sprints-curiosity-iot-platform-to-bring-actionable-intelligence-to-network-edge.htm>。2019 年 2 月 25 日，2020 年 4 月 14 日引用。
- [12] “AWS 与 Verizon 携手提供 5G 边缘云计算”，<https://www.verizon.com/about/sites/default/files/AWS-Verizon-Press-Release-Dec-3.pdf>，2019 年 12 月 3 日，2020 年 4 月 14 日引用。
- [13] 开放计算项目，ODSA 子项目，2020 年 6 月 19 日引用。