



AI 时代的网络： 网络定义数据中心

白皮书

目录

简介	4
AI 是一个分布式计算问题	5
为 AI 构建网络	5
NVIDIA Spectrum-X: 专为生成式 AI 时代而设计	6
无损网络与 RDMA	6
动态路由、多路径和基于包的负载分担	7
拥塞控制	8
性能隔离与安全	9
NVIDIA Quantum InfiniBand: 针对AI进行了本质优化	11
集合计算能力	11
网络计算	12
NVIDIA Quantum InfiniBand 动态路由	13
NVIDIA Quantum InfiniBand 拥塞控制	14
避免常见的误解	15
新兴AI的持续发展	15
直通式交换和端到端链路速度	15
交换基数和AI可扩展性	16
交换缓冲区架构	17
对网络链路故障的恢复	18
AI云管理	18
结论	19

图列表

图 1	GPU到GPU通信的RDMA实现.....	7
图 2	数据包粒度的 NVIDIA Spectrum-X 以太网动态路由实现	8
图 3	使用交换机和 NVIDIA BlueField DPU 协同工作的 NVIDIA Spectrum-X 以太网拥塞控制示例	9
图 4	与分割缓冲区实现的对比，展示通用共享数据包缓冲区架构的重要性	10
图 5	从单个 GPU，到使用 NCCL 在多 GPU 节点，以及多个多 GPU 节点上进行扩展 ..	12
图 6	左侧是可扩展分层次聚合和归约协议架构（SHARP），右侧是与 NCCL 一起使用时的性能	13
图 7	NVIDIA Quantum InfiniBand 拥塞控制机制	14
图 8	经过优化的 400Gb/s 端到端 AI 云以太网拓扑	16
图 9	与缓冲区大小和缓冲区占用率相比的实际和预测时延	17

简介

数十年来，传统的云数据中心一直专注于为广泛的用户群提供各种资源。基础设施组件虚拟化方面的进步使系统和应用程序能够根据需要快速部署，以满足需求。这些数据中心非常适合支持各种业务的应用程序，且通过企业级以太网连接就足以支持小规模工作负载。虽然以太网包含了广泛和全面的功能集，但它的性能无法保证大规模应用。它也不适合高性能计算。

如今，我们面临着新型数据中心的崛起：AI 云和 AI 工厂，它们需要加速计算和高性能网络来支持人工智能（AI）。因此，当今的超大规模数据中心的部署格局正在发生巨大变化。随着 GPU 加速计算架构的广泛应用，AI 研究人员和从业者可以利用分布式加速计算的强大功能，若没有高性能网络的支持，这样大规模的高性能计算将是不可想象的。

因为数据中心进行分布式 AI 模型训练和生成式 AI，这需要强大的网络连接数量众多的 GPU 节点进行计算，所以，数据中心的网络正在引领着 AI 时代的进步。

AI 是一个分布式计算问题

传统数据中心将所有计算资源（包括服务器、存储和网络）集中在一起集中使用提供服务。对于分布式计算则是利用多个通过网络互连服务器或节点协同工作以执行任务。在此模型中，工作负载分布在各种机器上，并通过高速、低时延的网络连接在一起。

部署生成式 AI 应用程序或训练基础 AI 模型需要大量的计算资源，对于 ChatGPT、BERT 或 DALL-E 等复杂大模型尤其如此。随着数据量和模型大小的增加，我们采用分布式计算来应对这一挑战。它通过在多个互连的计算节点之间分配工作负载来加速训练过程。单个分布式任务的总体运行时间受最慢参与节点的运行时间所制约。

网络在确保消息及时到达所有参与节点这方面就发挥着重要作用。在这种状态下，尾部延迟（即最后参与消息的到达时间）变得非常重要，尤其是在大规模数据中心部署和存在竞争工作负载的情况下，训练大型 AI 模型需要越来越多的计算节点处理大量数据的情况下，需要的网络规模越大，对尾部时延的要求也就越高。

为 AI 构建网络

在评估数据中心采用 AI 的网络架构时，应将其视为统一的端到端解决方案，并将服务分布式计算作为首要考虑因素，兼顾实现数据中心的性能、成本和价值，以及满足分布式计算所需通信库的技术需求。本文将涵盖以下关键领域：

- ▶ 无损网络与 RDMA
- ▶ 动态路由和数据包重排序
- ▶ 拥塞控制
- ▶ 安全和性能隔离
- ▶ 网络计算
- ▶ 避免常见的误解

NVIDIA Spectrum-X：专为生成式 AI 时代而设计

AI 云是一种支持生成式 AI 工作负载的新型数据中心。AI 云整合了传统云的所有核心功能（例如多租户、安全性和对各种工作负载的支持），并增加了对更大规模的生成式 AI 应用程序的支持。生成式 AI 是指一类 AI 算法，它可以基于所训练的数据生成新的输出。与旨在识别模式并做出预测的传统 AI 系统不同，生成式 AI 以图像、文本、音频等形式创建新内容。NVIDIA® Spectrum® -X 是一种革命性的解决方案，可在生成式 AI 时代通过以太网构建多租户、超大规模 AI 云。

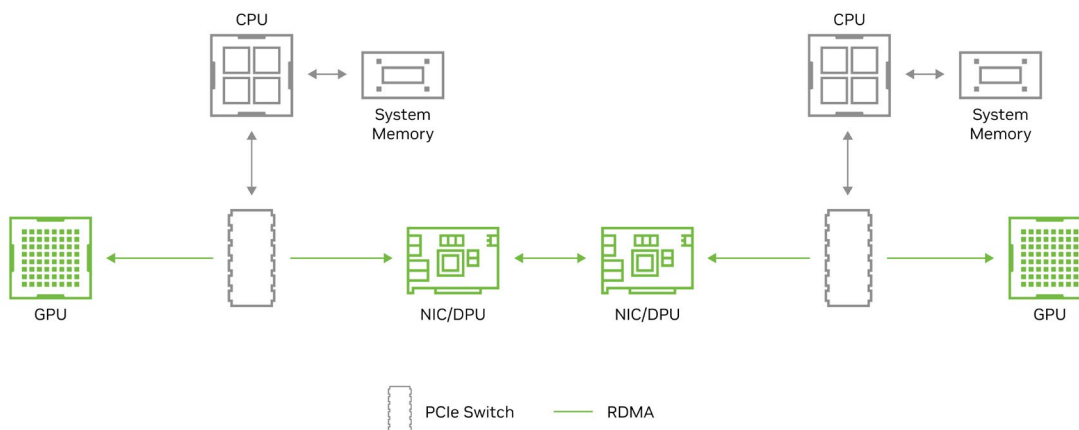
无损网络与 RDMA

在有损网络中，数据传输时随时可能会发生数据包丢失而导致速率下降。网络优先考虑数据传输完整性，而不是性能。为 AI 部署有损网络将在性能、GPU 利用率、功耗等方面带来严重的损害。

在无损网络中，数据传输不会出现任何丢失或损坏。网络可确保所有数据包准确到达目的地，并且在传输过程中不会丢失任何信息。InfiniBand 网络是原生的无损网络，一直是大规模部署的事实标准。虽然本质上以太网是有损网络，但如今，随着在云环境中采用 GPU 计算和大规模 AI 应用的普及，越来越多的应用在基于 RDMA (RoCE) 和优先级流量控制 (PFC) 上的融合以太网上运行，尤其是采用诸如 Spectrum-X 等平台让以太网实现无损网络，以太网可以成为一种实用的解决方案。

远程直接内存访问 (RDMA) 可通过网络实现高速、低时延的数据传输。它允许在远程系统内存、GPU 和存储之间直接传输数据，而无需涉及这些系统的 CPU。在传统网络中，数据传输涉及多个步骤：首先将数据从源系统的内存复制到网络堆栈，然后通过网络发送。最后，在接收端执行多个步骤后，将数据复制到目标系统的内存中。RDMA 绕过这些中间步骤，从而实现更高效的数据传输。

图 1 GPU 到 GPU 通信的RDMA实现

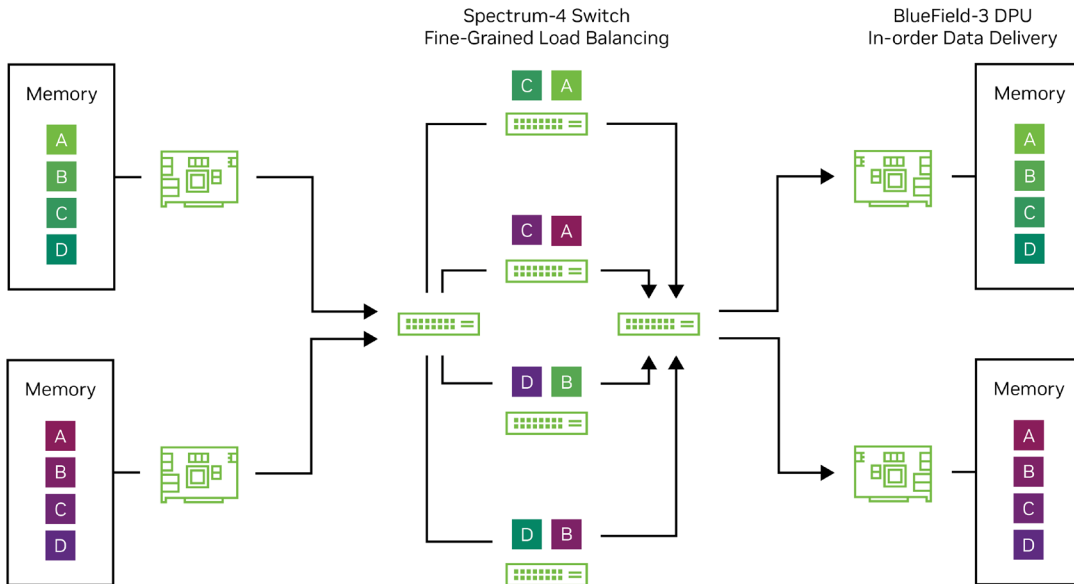


动态路由、多路径和基于包的负载分担

传统的数据中心应用程序往往会生成许多小型数据流，从而可以通过统计求平均值来反映网络流量。这意味着，对于基于流的路由，由交换机实现的简单静态哈希算法足以避免网络流量问题，例如等价多路径（ECMP）。相比之下，AI 工作负载会生成少量的大型数据流，即所谓的“大象流”。这些大型数据流会消耗大量的链路带宽，如果将多个大象流转发到同一链路，则会出现拥塞和高时延。将 ECMP 与 AI 结合使用时，即使使用无阻塞的拓扑结构，发生此类冲突的可能性也非常高。由于 AI 作业性能取决于网络最坏情况下的性能，这些冲突将导致模型训练时间高于预期，并且非常不可预测。

因此，需要使用动态路由算法来动态地负载均衡通过网络传输的数据。此外，路由需要非常精细，以避免冲突。如果路由是逐流完成的，仍然有很大统计概率会发生拥塞。然而，当基于包的负载分担时，数据包到达目的地时很可能会乱序。对于基于数据包粒度的动态路由，必须建立灵活的重新排序机制，以便动态路由对应用程序不可见。Spectrum-X 通过将 Spectrum-4 交换机的负载均衡功能与 BlueField-3 DPU 执行的直接数据放置（DDP）相结合来实现这一点，以提供端到端的动态路由。

图 2 数据包粒度的 NVIDIA Spectrum-X 以太网动态路由实现



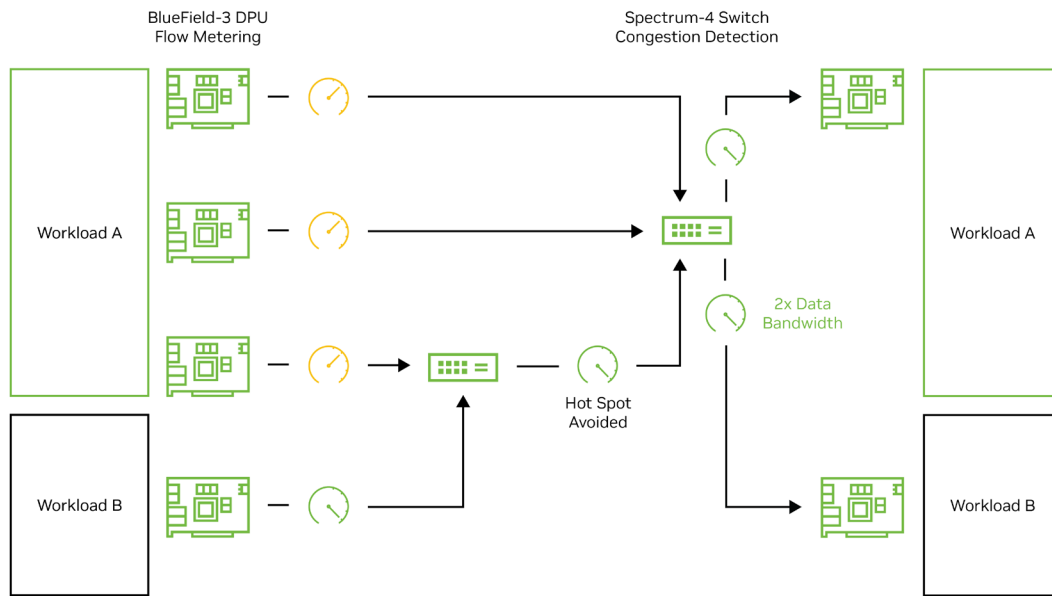
拥塞控制

在同时运行不同 AI 作业的多租户 AI 云环境中，可能会出现网络拥塞。当 n 个发送方尝试将数据传输到一个目的地（或者具有 n 个不同目的地和 n 个发送方的数据流，途径具有来自其他应用程序的后台网络流量的交换机）时，这种情况尤为明显。这种网络拥塞不仅会导致更高的时延和有效带宽的降低，而且网络“热点”的传播和相关的背景流也会受害；也就是说，相邻的租户可能会受到来自另一个租户拥塞的影响。

在部署基于以太网的生成式 AI 时，使用最典型的拥塞控制方法，即显式拥塞通知（ECN）是不够的。最终，为了缓解拥塞，必须对传输数据（网卡或 DPU）的网络设备进行计量。使用 ECN 时，这种计量只有在交换机缓冲区达到特定容量阈值时才会发生。然后，接收方通知发送方测量其吞吐量，直到接收方看到拥塞已得到根治。但是，在大规模 AI 模型常见的突发流量情况下，这种拥塞通信的时延可能过高，导致缓冲区溢出和数据包丢弃。虽然深度缓冲区交换机可以降低缓冲区溢出的可能性，但它们引入的额外时延违背了拥塞控制的初衷。

实现拥塞控制的方法有多种，但成功的设计最终需要交换机和网卡/DPU 协同工作。Spectrum-X 利用来自 Spectrum-4 交换机的生成的遥测数据带内传输，从而通知 BlueField-3 DPU 进行流量计量。而其他遥测方案需要不适合 AI 的深度缓冲区交换机，并且依赖于偏离标准以太网的复杂专有协议。

图 3 使用交换机和 NVIDIA BlueField DPU 协同工作的 NVIDIA Spectrum-X 以太网拥塞控制示例



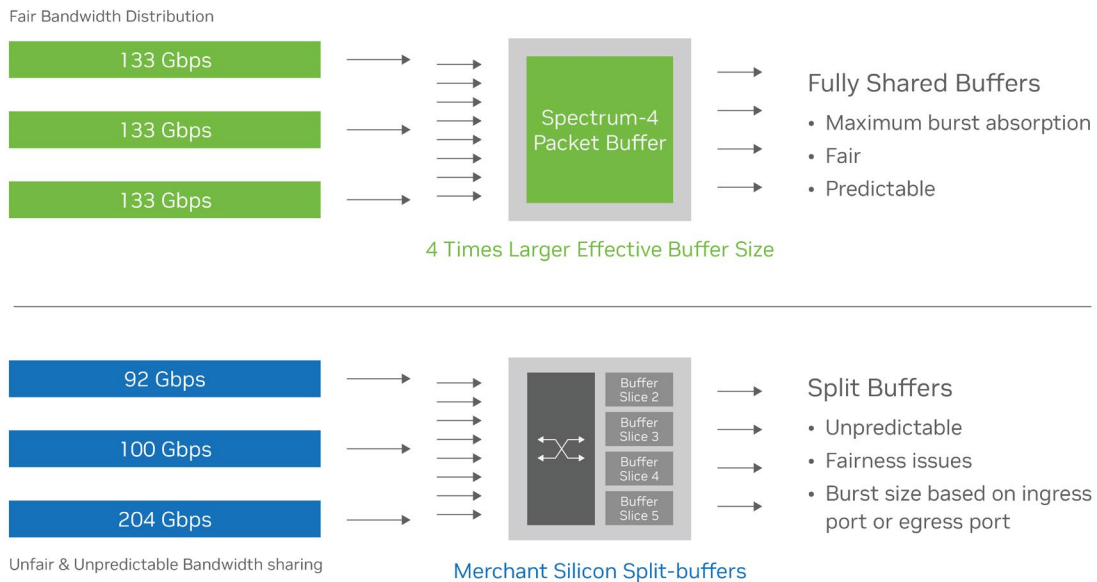
性能隔离与安全

AI 云等多租户环境需要保护，以免受到在同一基础设施上运行的其他作业的影响。许多以太网 ASIC 设计并不具有 ASIC 级别的作业保护。当“嘈杂的邻居”（另一项相邻作业）将网络流量发送到同一目标端口时，这可能会导致某些作业因有效带宽非常低而“受到损害”。

以太网还必须考虑网络公平性。AI 云必须在同一基础设施上支持异构应用程序组合。不同的应用程序可能会使用不同的数据帧大小，如果不进行隔离优化，更大的数据帧将在与较小的数据帧传输到同一目标端口时占用过多的带宽。

共享数据包缓冲区是实现性能隔离、防止嘈杂邻居和网络不公平的关键。通用共享缓冲区可对交换机上的每个端口提供相同的缓存访问，从而为混合 AI 云工作负载提供所需的可预测性和一致的低时延。

图 4 与分割缓冲区实现的对比，展示通用共享数据包缓冲区架构的重要性



除了从有效带宽角度考虑性能隔离之外，还必须认识到性能隔离和零信任安全架构是多租户环境中网络安全的关键。必须使用高效的加密和身份验证工具来保护静态和动态数据，并在不影响性能的情况下提供安全性。BlueField-3 DPU（兼容以太网和 InfiniBand）具有基于硬件信任根的安全启动功能，还支持用于动态数据加密的 MACsec 和 IPsec，以及用于静态数据的 AES-XTS 256/512 加密。

NVIDIA Quantum InfiniBand: 针对 AI 进行了本质优化

毫无疑问，NVIDIA Quantum InfiniBand已经为复杂的分布式科学计算实现了许多大规模超级计算部署。不仅如此，作为具有超低时延、原生 RDMA 架构和网络计算能力的无损网络，它被誉为性能的黄金标准，也是加速当今 AI 主流开发和部署的关键。

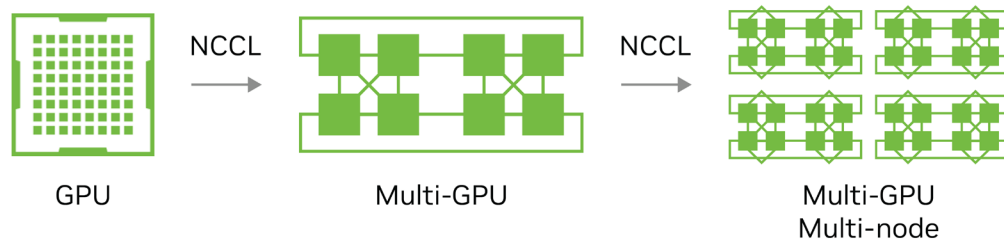
为了更适合于复杂的、大规模的工作流程或大型 AI 基础模型开发，AI 工厂应运而生。随着基础模型成为开发更先进、更复杂模型的起点，这些模型在通过数据中心存储的大量原始数据上进行训练。至关重要的是，AI 工厂的网络能够为在单个应用程序（例如 AI 模型训练）上协同工作的数百或数千个 GPU 提供可扩展的性能。NVIDIA Quantum InfiniBand为开发者和科研人员提供更快的网络性能和额外的可用功能集。这包括用于基于硬件加速的集合通信操作的网络计算，这些功能广泛用于 AI 系统。

集合计算能力

集合通信算法有助于在 AI 模型训练期间确保分布式节点之间高效、协调的通信。这些算法允许有效训练大规模模型，提高训练速度，减少通信开销，并实现分布式训练，以利用多个节点的集合计算能力。这有助于加速模型收敛并增强性能。

为深度学习框架而开发的集合通信库，可在节点内和节点间来充分利用 GPU 数据传输带宽。NVIDIA 集合通信库（NCCL）是此类库的一个示例，它实现了 all-reduce、all-gather、reduce、broadcast、reduce-scatter 以及任何基于发送/接收通信模式的通信算法。它经过优化，可在任何使用 PCIe 或 NVLink 的平台上实现高带宽传输，并可使用 NVSwitch、InfiniBand 或以太网在多台机器上进行扩展。

图 5 从单个 GPU，到使用 NCCL 在多 GPU 节点，以及多个多 GPU 节点上进行扩展

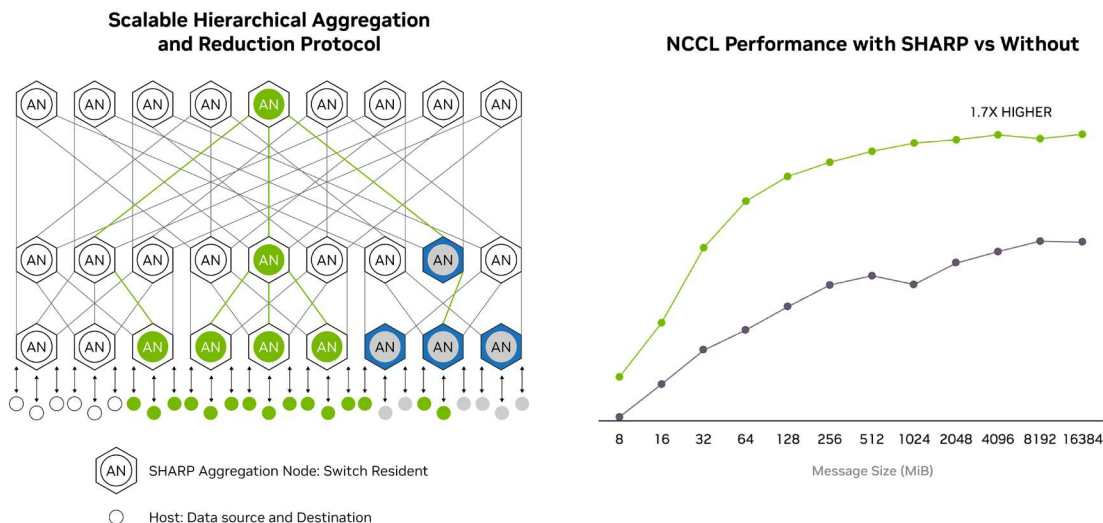


网络计算

网络计算是专为 InfiniBand 架构开发的提高性能的独特功能。此功能使网络内基于硬件的计算引擎能够大规模卸载复杂的运算。网络计算在 NVIDIA Quantum InfiniBand 交换机上以 NVIDIA 的可扩展分层次聚合和归约协议（SHARP™）进行实现。

作为一种基于网络树的聚合机制，SHARP 支持多个同步集合操作。启用 SHARP 后，交换机将被识别为聚合节点，并将执行此类数据归约。NCCL 在跨多个多 GPU 节点执行通信算法时利用了此项功能。由于仅发送一次数据来执行操作，它能有效地将数据归约，从而实现带宽翻倍。因此，在使用 SHARP 的端到端 NVIDIA Quantum-2 400Gb/s InfiniBand 网络上运行的 NCCL 性能将比不使用 SHARP 的 400Gb/s 端到端网络表现得更好。

图 6 左侧是可扩展分层次聚合和归约协议架构（SHARP），右侧是与 NCCL 一起使用时的性能



NVIDIA Quantum InfiniBand 动态路由

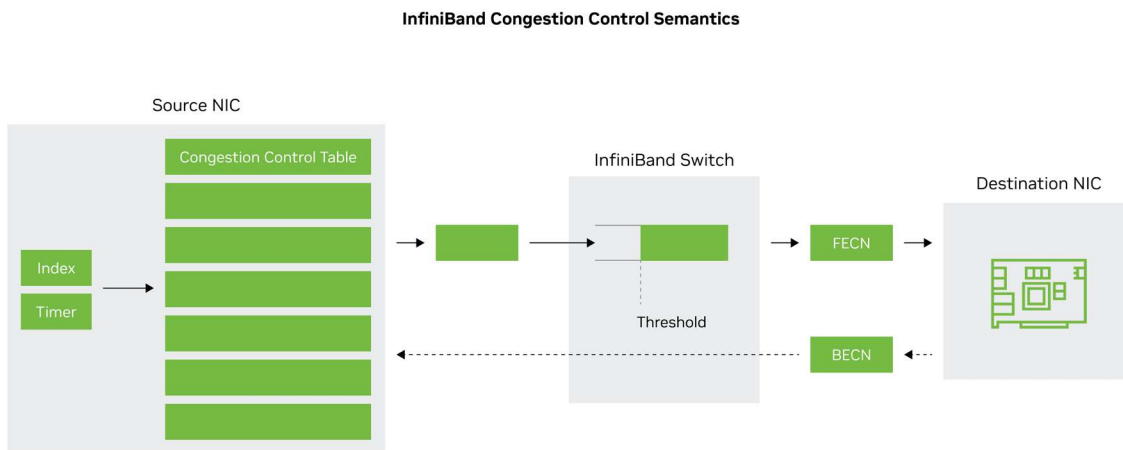
NVIDIA Quantum InfiniBand 是完整的软件定义网络（SDN），由称为子网管理器（SM）的管理软件对网络进行管理。以集中式方式对交换机配置，交换机 ASIC 可以从一组输出端口中根据网络状况选择负载最小端口作为的输出端口，以在整个网络中实现最佳性能。不同传出交换机端口之间的选择基于一种分级机制，该机制考虑了出口端口队列深度和路径优先级，其中最短路径具有更高的优先级。InfiniBand 的动态路由通过将流量分散到所有网络链路，并提高链路利用率和均衡，从而优化链路带宽，并实现更大限度地提高整体性能。需要指出，动态路由可能会导致网络数据包无序到达目的地。然而，作为一种端到端解决方案，InfiniBand 已经实现了管理乱序数据包到达的硬件功能。

NVIDIA Quantum InfiniBand 拥塞控制

NVIDIA Quantum InfiniBand 包含全面且可扩展的服务质量 (QoS) 功能，可使用基于信用的流控制机制来调节发送端和接收端之间的数据流，从而确保确定的带宽和时延。

InfiniBand 实现了拥塞控制架构 (CCA)，这是一个管理拥塞事件的三阶段过程。当交换机检测到拥塞时，它会在数据包报文头中做标记，称为前向显式拥塞通知 (FECN)。当数据包到达目标网卡时，它会在数据包报文头中使用另一位做标记，称为后向显式拥塞通知 (BECN) 来响应源。当发送端的源网卡收到 BECN 时，它会调整其数据包的发送速率。

图 7 NVIDIA Quantum InfiniBand 拥塞控制机制



避免常见的误解

在网络设计方面，避免常见的误解至关重要。一个普遍的误解是，改变端到端链路速度对于 AI 部署来说可能是可以接受的，但在现实中，这可能会导致时延增加和性能损失。在为 AI 构建网络时，其他误解包括：

- ▶ 新兴 AI 的持续发展
- ▶ 交换机基数是否关键
- ▶ 浅层和深度缓冲区架构
- ▶ 网络弹性技术

底层网络最终定义了数据中心的运营级别以及预期的性能和效率水平；因此，必须消除这些误解，并采用性能均衡、具备安全性和灵活性的整体方法，以符合数据中心的使命，无论是 AI 云还是 AI 工厂。

新兴 AI 的持续发展

InfiniBand 满足了 GPU 加速器、服务器、存储系统和其他组件之间对更快、更高效的可扩展通信的日益增长的需求。InfiniBand 的架构允许引入新的特性和功能，而无需对技术进行彻底的改造。这种适应性使得出现新技术和技能成为可能，使其非常适合应对未来技术格局的挑战和要求。

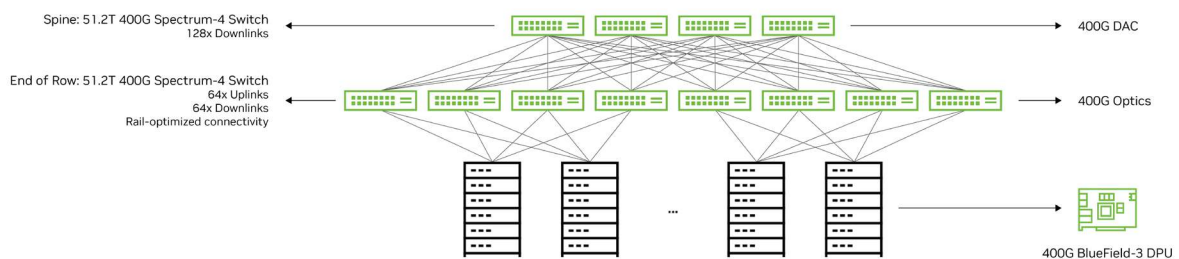
直通式交换和端到端链路速度

以太网采用两种数据处理模式：存储转发交换和直通式交换。

存储转发交换机在发送数据之前会等待接收整个数据帧，而直通式交换机会立即将数据发送到目的地。对于 AI 工作负载，首选直通式交换。

直通式交换需要相同的端到端链路速度。改变链路速度（例如从主机到叶交换机的 4 x 100Gb/s，到从叶交换机到脊交换机的 400Gb/s）的网络设计需要流量拆分和存储转发交换。这会带来时延损失，在处理 AI 训练中常见的大型数据帧时，时延损失变得更加严重。Spectrum-X 使用端到端直通连接来优化 AI 网络。

图 8 经过优化的 400Gb/s 端到端 AI 云以太网拓扑



交换基数和 AI 可扩展性

交换机基数，即交换机可以支持的逻辑 MAC 数量，传统上一直被用作交换机可扩展性的代表。对于给定数量的网络层次，交换机基数越大可以连接更多主机。

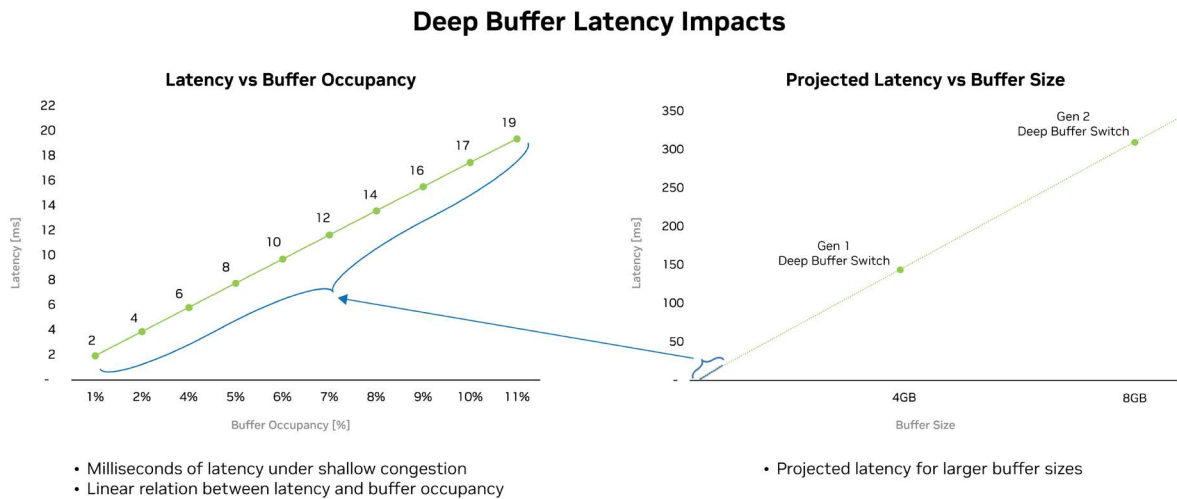
随着 AI 的发展，这种范式已经发生了改变。有效带宽、时延和尾部延迟对于性能至关重要，而与基数无关。较高基数的交换机可以将在相同数量的网络层次中连接更多数量的 GPU，从而降低网络价格，但其代价是应用程序性能降低和投资回报率降低。NCCL All-to-All 等集合操作需要在网络的每一层使用相同的高速率，因此不建议拆分流量以利用基数规模。

交换缓冲区架构

虽然 InfiniBand 交换机在设计上是“浅层”缓冲交换机，但以太网交换机可以大致分为“深度”或“浅层”缓冲交换机。深度缓冲交换机的缓冲区大小以 GB 为单位，而浅层缓冲交换机（例如 Spectrum 以太网交换机）的缓冲区大小以 MB 为单位。深度缓冲交换机最初是为不同的目的而设计，例如路由和 WAN；因此，它们的架构与传统的浅层缓冲区以太网交换机非常不同。深度缓冲区交换机系统通常采用模块化设计，具有更大的机箱交换机，并安装了线卡。

虽然深度缓冲区交换机功能丰富，并且支持数据中心互连（DCI）和电信网络所需的规模，但并未针对 AI 网络进行优化。深度缓冲区交换机可容纳额外的数据流量，并对微突发不太敏感，但较大的数据容量会导致更高的尾部延迟，从而导致平均时延增加和高抖动。这直接影响到依赖于最差时延的 AI 工作负载，从而延长作业完成时间，并增加训练时间。

图 9 与缓冲区大小和缓冲区占用率相比的实际和预测时延



对网络链路故障的恢复

NVIDIA Quantum InfiniBand 交换机具有独特的自我修复功能。得益于这种自我修复自主性，在链路发生故障时，可以快速进行通信校正，从而节省由于链路故障而导致昂贵的数据重传的通信成本。

与通常在以太网上运行的传统应用程序工作负载不同，AI 会生成异构流量，这种流量具有突发性，并且对网络故障高度敏感。例如，当从叶交换机到脊交换机的链路发生故障时，这会影响多个机架中的多个 GPU 节点，并显著降低 All-to-All 的性能。流行的基于以太网的冗余措施（例如 EVPN Multihoming 或 MLAG）无法解决性能问题。

Spectrum-X 为需要双轨/多轨主机设计（即用于实现完整硬件冗余的额外网卡端口）和交换机智能（根据链路故障检测调整负载均衡）的 AI 工作负载提供出色的恢复能力。Spectrum - X 提供最佳环境，以满足对时延敏感场景的需求。

AI 云管理

为数千用户提供服务的 AI 云数据中心需要依赖定制的云管理平台（CMP）来管理和自动化云基础设施，以确保高效的运营、监控、安全和资源分配。虽然该管理和配置生态系统通常是基于原生以太网的，但也可以与 InfiniBand 一起开发和集成，同样部署在 AI 工厂。

部署 AI 云不一定需要重新投资生态系统来进行资源调配、工作负载编排和用户访问控制。大部分情况下，重用支持虚拟化管理、跨云基础设施编排容器和服务，以及监控资源运行状况和性能等的生态系统通常很实用。在为以 AI 作为数据中心基石的情况下而选择网络类型时，通常会考虑这种方法。

结论

AI 工作负载为数据中心网络架构带来了新的挑战和要求。网络定义了数据中心，并承担了 AI 基础设施的支柱功能。在为生成式 AI 和基础模型部署数据中心时，必须考虑网络的能力和端到端的实现。

Notice

This document is provided for information purposes only and shall not be regarded as a warranty of a certain functionality, condition, or quality of a product. Neither NVIDIA Corporation nor any of its direct or indirect subsidiaries and affiliates (collectively: "NVIDIA") make any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of the information contained in this document and assumes no responsibility for any errors contained herein. NVIDIA shall have no liability for the consequences or use of such information or for any infringement of patents or other rights of third parties that may result from its use. This document is not a commitment to develop, release, or deliver any Material (defined below), code, or functionality.

NVIDIA reserves the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and any other changes to this document, at any time without notice.

Customer should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete.

NVIDIA products are sold subject to the NVIDIA standard terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, unless otherwise agreed in an individual sales agreement signed by authorized representatives of NVIDIA and customer ("Terms of Sale"). NVIDIA hereby expressly objects to applying any customer general terms and conditions with regards to the purchase of the NVIDIA product referenced in this document. No contractual obligations are formed either directly or indirectly by this document.

NVIDIA products are not designed, authorized, or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space, or life support equipment, nor in applications where failure or malfunction of the NVIDIA product can reasonably be expected to result in personal injury, death, or property or environmental damage. NVIDIA accepts no liability for inclusion and/or use of NVIDIA products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at customer's own risk.

NVIDIA makes no representation or warranty that products based on this document will be suitable for any specified use. Testing of all parameters of each product is not necessarily performed by NVIDIA. It is customer's sole responsibility to evaluate and determine the applicability of any information contained in this document, ensure the product is suitable and fit for the application planned by customer, and perform the necessary testing for the application in order to avoid a default of the application or the product. Weaknesses in customer's product designs may affect the quality and reliability of the NVIDIA product and may result in additional or different conditions and/or requirements beyond those contained in this document. NVIDIA accepts no liability related to any default, damage, costs, or problem which may be based on or attributable to: (i) the use of the NVIDIA product in any manner that is contrary to this document or (ii) customer product designs.

No license, either expressed or implied, is granted under any NVIDIA patent right, copyright, or other NVIDIA intellectual property right under this document. Information published by NVIDIA regarding third-party products or services does not constitute a license from NVIDIA to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property rights of the third party, or a license from NVIDIA under the patents or other intellectual property rights of NVIDIA.

Reproduction of information in this document is permissible only if approved in advance by NVIDIA in writing, reproduced without alteration and in full compliance with all applicable export laws and regulations, and accompanied by all associated conditions, limitations, and notices.

THIS DOCUMENT AND ALL NVIDIA DESIGN SPECIFICATIONS, REFERENCE BOARDS, FILES, DRAWINGS, DIAGNOSTICS, LISTS, AND OTHER DOCUMENTS (TOGETHER AND SEPARATELY, "MATERIALS") ARE BEING PROVIDED "AS IS." NVIDIA MAKES NO WARRANTIES, EXPRESSED, IMPLIED, STATUTORY, OR OTHERWISE WITH RESPECT TO THE MATERIALS, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ALL IMPLIED WARRANTIES OF NONINFRINGEMENT, MERCHANTABILITY, AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. TO THE EXTENT NOT PROHIBITED BY LAW, IN NO EVENT WILL NVIDIA BE LIABLE FOR ANY DAMAGES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY DIRECT, INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, PUNITIVE, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, HOWEVER CAUSED AND REGARDLESS OF THE THEORY OF LIABILITY, ARISING OUT OF ANY USE OF THIS DOCUMENT, EVEN IF NVIDIA HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, NVIDIA's aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the Terms of Sale for the product.

Trademarks

NVIDIA, the NVIDIA logo, NVIDIA Spectrum, BlueField, and Scalable Hierarchical Aggregation and Reduction Protocol Architecture (SHARP), are trademarks and/or registered trademarks of NVIDIA Corporation and/or its affiliates in the U.S., and other countries. Other company and product names may be trademarks of the respective companies with which they are associated.

Copyright

© 2023 NVIDIA Corporation & Affiliates. All rights reserved. SEP2023