

AI 集群 网络基本知识

Question?

- 我搞 AI 集群，跟 HPC 有什么关系呀？为什么要了解 HPC 的组网方案？



Content github.com/Infrasys-AI/AIInfra

AI 系统 + 大模型全栈架构图

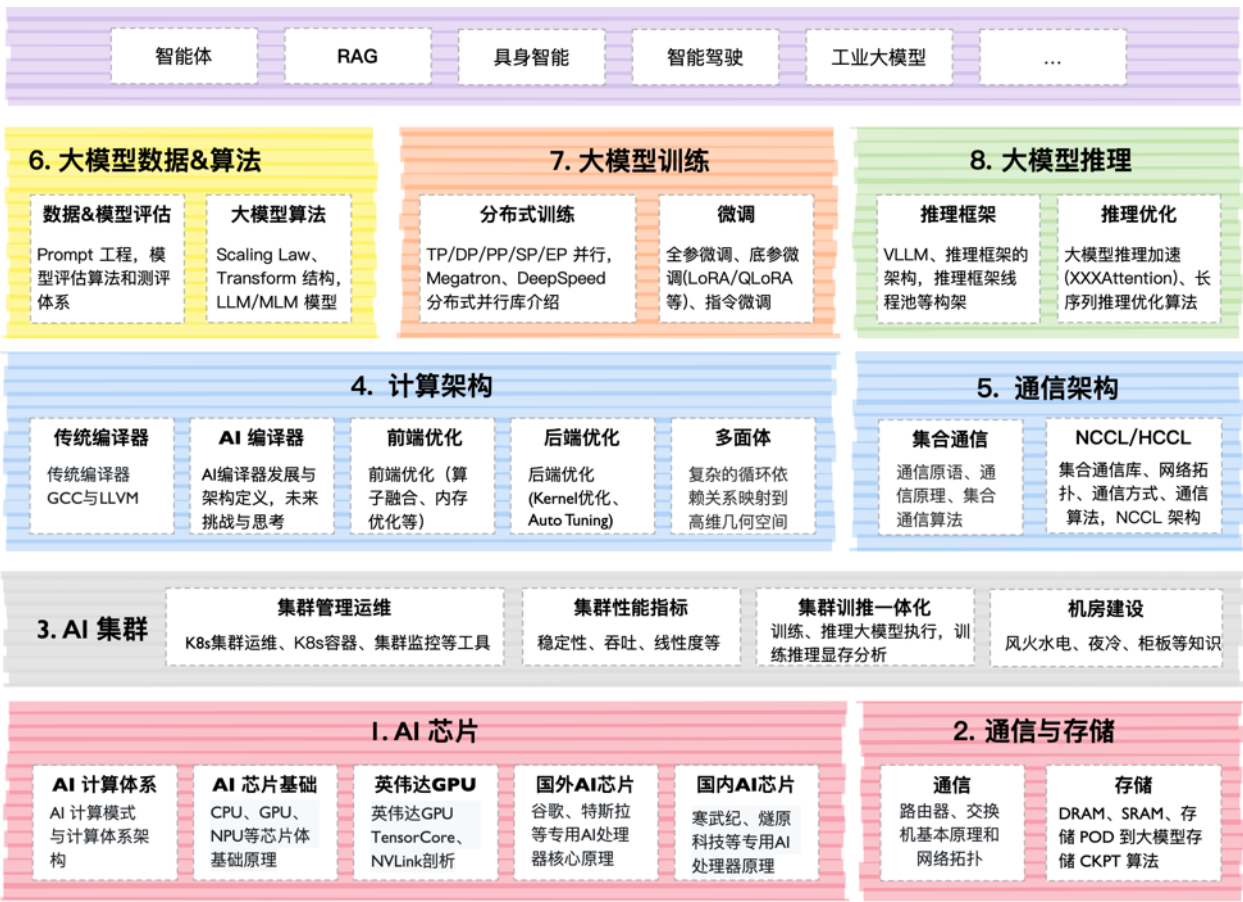


时事
热点

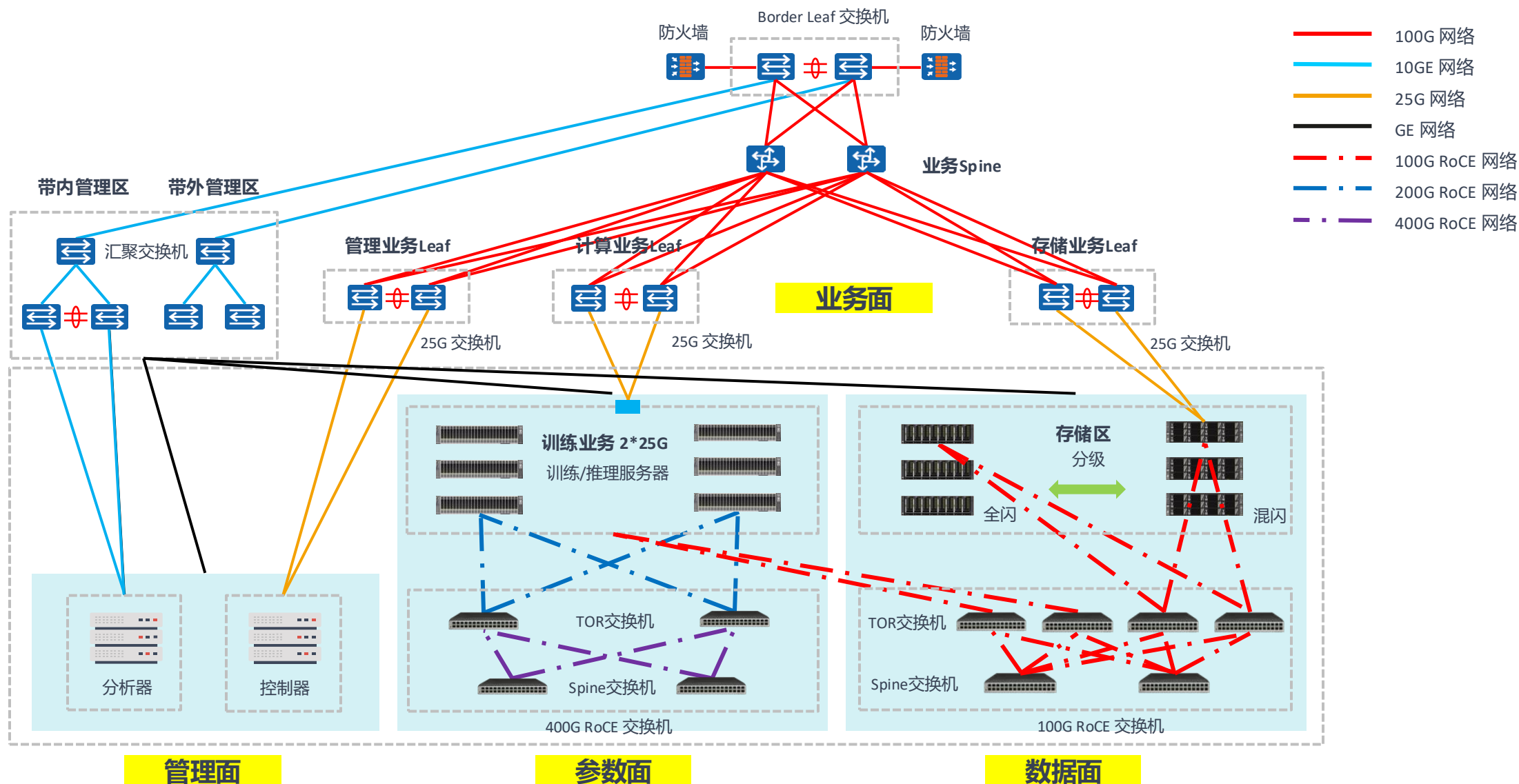
大模型
训推

编译
计算
架构

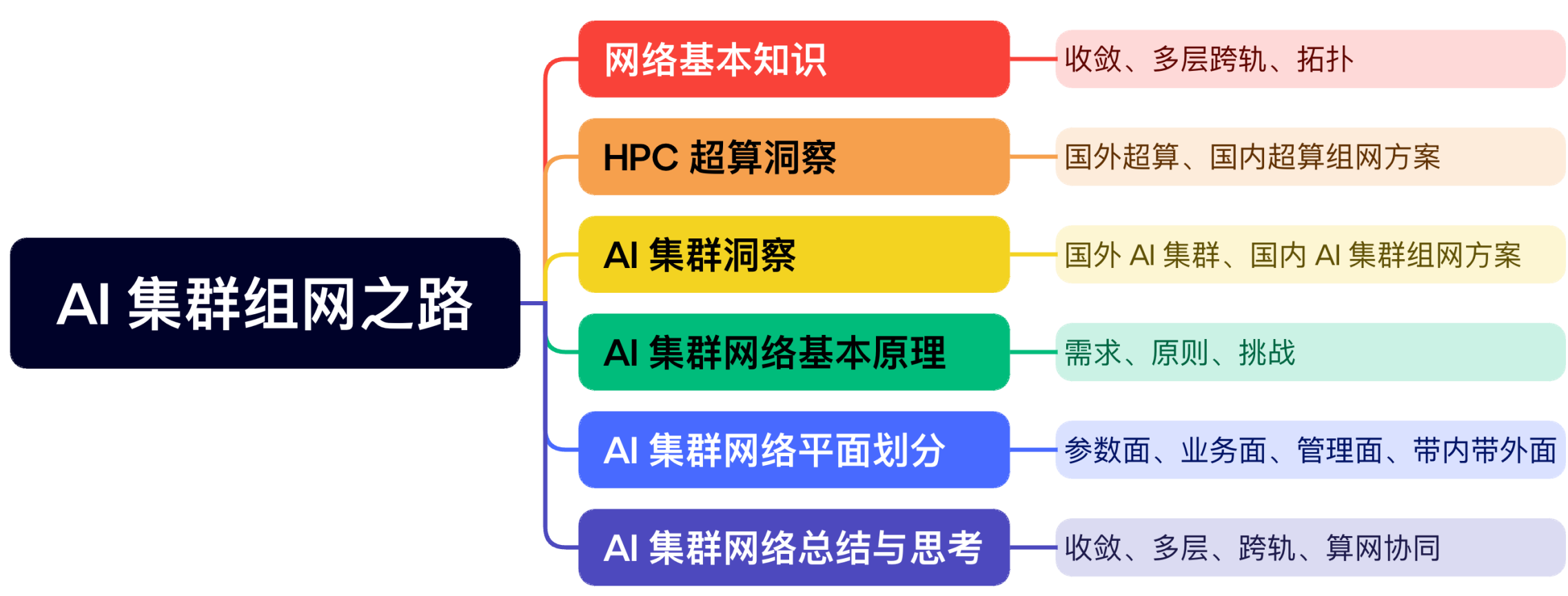
硬件
体系
结构



L2 算力底座：网络



Content



目录

1. 美国 TOP 超算洞察
2. 中国 TOP 超算洞察



01

美国 TOP 超算洞察



TOP500 超算

- <https://top500.org/lists/top500/2025/06/>

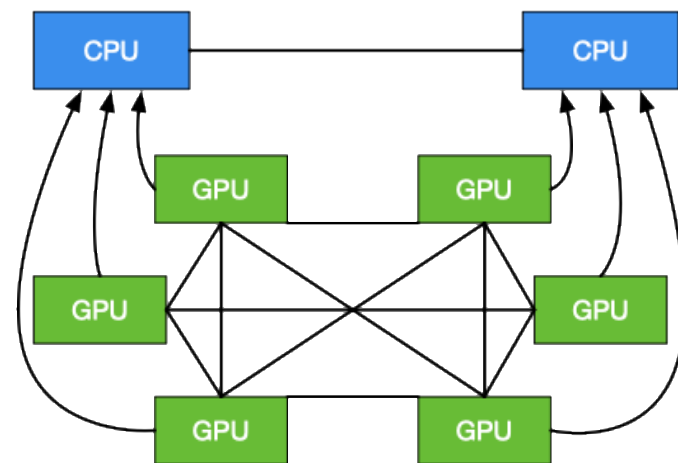
Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	El Capitan - HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC 24C 1.8GHz, AMD Instinct MI300A, Slingshot-11, TOSS, HPE DOE/NNSA/LLNL United States	11,039,616	1,742.00	2,746.38	29,581
2	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE Cray OS, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	9,066,176	1,353.00	2,055.72	24,607
3	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	9,264,128	1,012.00	1,980.01	38,698
4	JUPITER Booster - BullSequana XH3000, GH Superchip 72C 3GHz, NVIDIA GH200 Superchip, Quad-Rail NVIDIA InfiniBand NDR200, RedHat Enterprise Linux, EVIDEN EuroHPC/FZJ Germany	4,801,344	793.40	930.00	13,088

- 2025 年 6 月 12 日, Top500.org 正式发布第 65 期全球 HPC 500 强榜单
- AMD 处理器驱动的超级计算机首次包揽榜单前两位, 成为最大赢家
- 英特尔以 294 套绝对优势保持整体市占率第一, 全球超算市场呈现“双雄争霸” 新格局



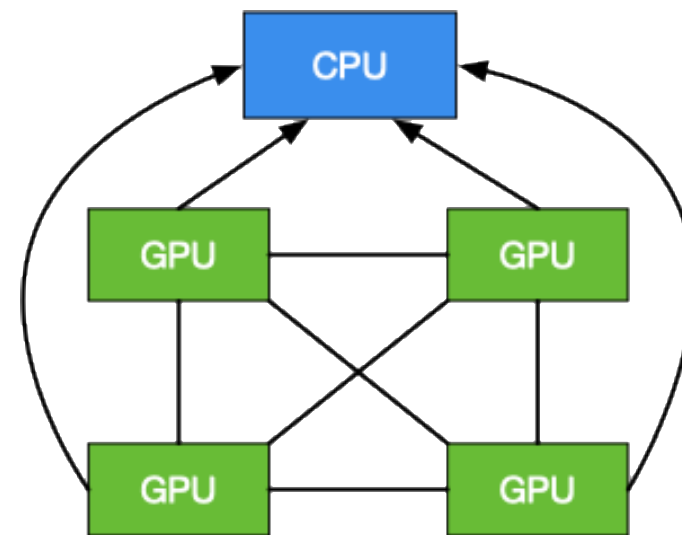
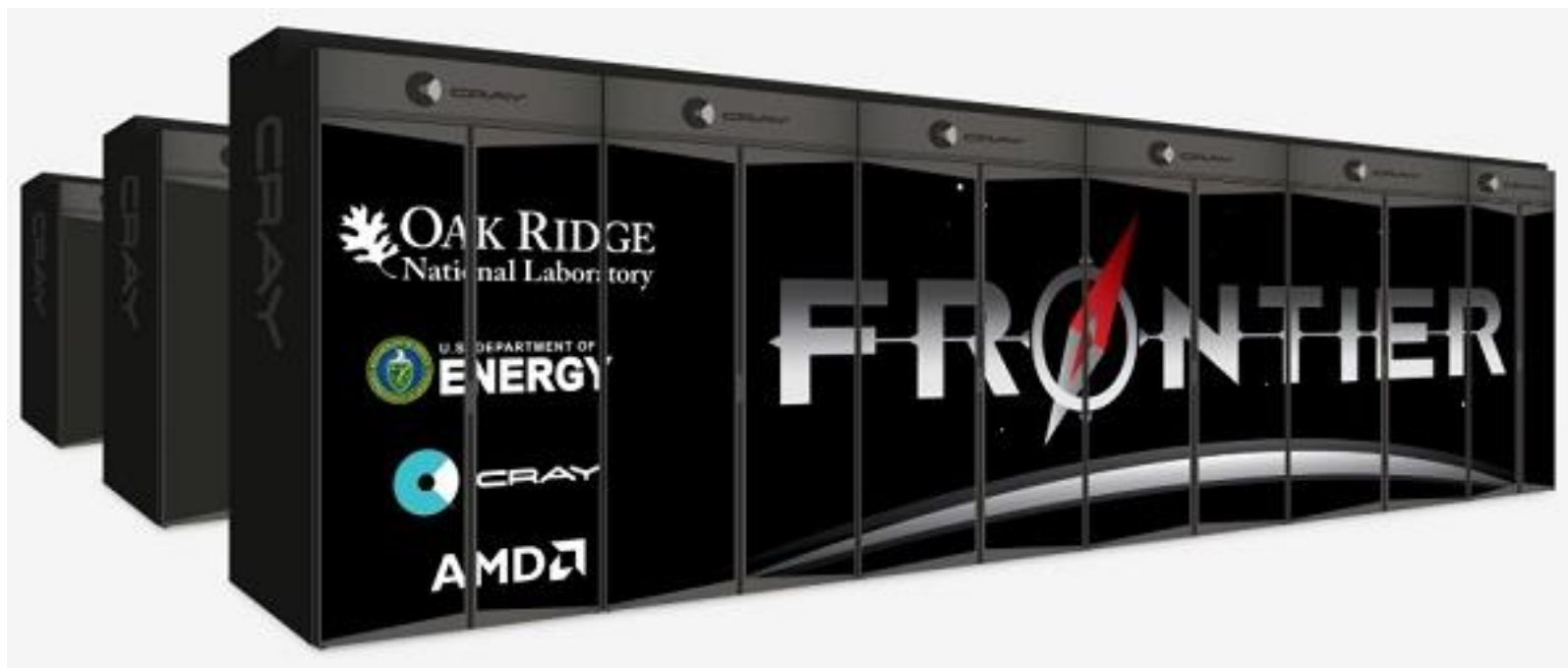
四大 E 级超算架构

- 四大超算均采用 CPU + GPU 架构，GPU 之间 Full Mesh 连接，DF/DF+ 组网
 - **El Captain (AMD)** : 2 CPU + 6 GPU Full mesh、D-D 带宽 256GB/s
 - **Frontier (AMD)**: 1 CPU + 4 GPU Full mesh、D-D 带宽 200GB/s



四大 E 级超算架构

- 四大超算均采用 CPU + GPU 架构，GPU 之间 Full Mesh 连接，DF/DF+ 组网
 - **El Captain (AMD)** : 2 CPU + 6 GPU Full mesh、D-D 带宽 256GB/s
 - **Frontier (AMD)**: 1 CPU + 4 GPU Full mesh、D-D 带宽 200GB/s




四大 E 级超算架构

- 四大超算均采用 CPU + GPU 架构，GPU 之间 Full Mesh 连接，DF/DF+ 组网
 - **Aurora (Intel)** : 2 CPU + 6 GPU Full mesh、D-D 带宽 400GB/s
 - **Jupiter (NVIDIA)**: 4 CPU GPU Full mesh、D-D 带宽 900GB/s



四大 E 级超算架构

- 四大超算均采用 CPU + GPU 架构，GPU 之间 Full Mesh 连接，DF/DF+ 组网
 - **Aurora (Intel)** : 2 CPU + 6 GPU Full mesh、D-D 带宽 400GB/s
 - **Jupiter (NVIDIA)**: 4 CPU GPU Full mesh、D-D 带宽 900GB/s



The diagram shows a server node with two Intel Xeon Scalable Processors (labeled '2') and six XE Architecture Based GPU's (labeled '6'). The GPUs are connected in a full mesh topology. The text highlights the 'Sapphire Rapids' processors, 'Ponte Vecchio' GPUs, and the 'ONEAPI' unified programming model. On the right, it lists key features: Leadership Performance for HPC, data analytics, and AI; Unified Memory Architecture across CPU and GPU; All-to-all connectivity within the node for low latency and high bandwidth; and Unparalleled I/O scalability across nodes with 8 fabric endpoints per node for DAOS.

2 INTEL XEON SCALABLE PROCESSORS
"Sapphire Rapids"

6 XE ARCHITECTURE BASED GPU'S
"Ponte Vecchio"

ONEAPI
Unified programming model

LEADERSHIP PERFORMANCE
For HPC, data analytics, AI

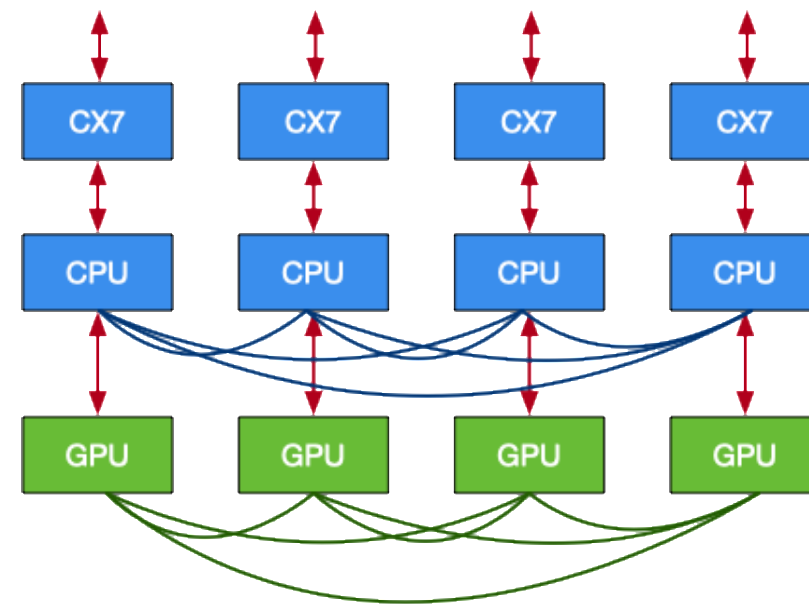
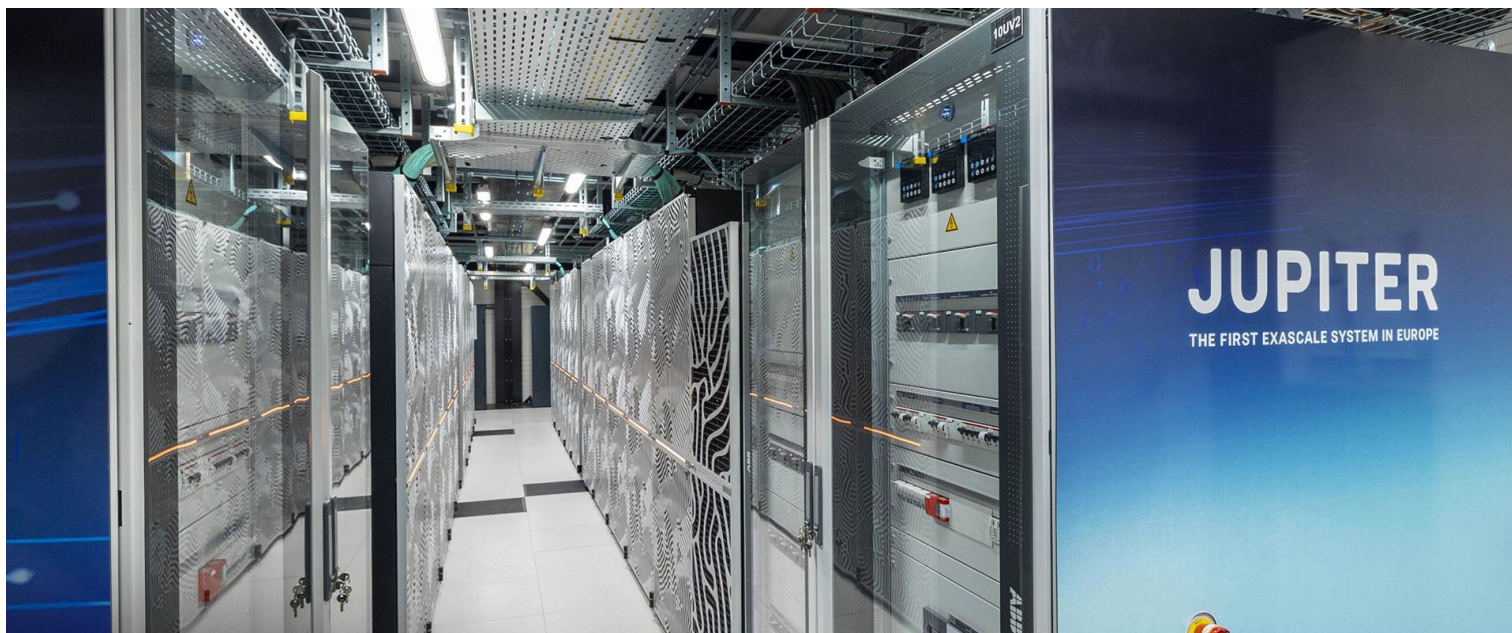
UNIFIED MEMORY ARCHITECTURE
Across CPU & GPU

ALL-TO-ALL CONNECTIVITY WITHIN NODE
Low latency, high bandwidth

UNPARALLELED I/O SCALABILITY ACROSS NODES
8 fabric endpoints per node, DAOS

四大 E 级超算架构

- 四大超算均采用 CPU + GPU 架构，GPU 之间 Full Mesh 连接，DF/DF+ 组网
 - **Aurora (Intel)** : 2 CPU + 6 GPU Full mesh、D-D 带宽 400GB/s
 - **Jupiter (NVIDIA)**: 4 CPU GPU Full mesh、D-D 带宽 900GB/s

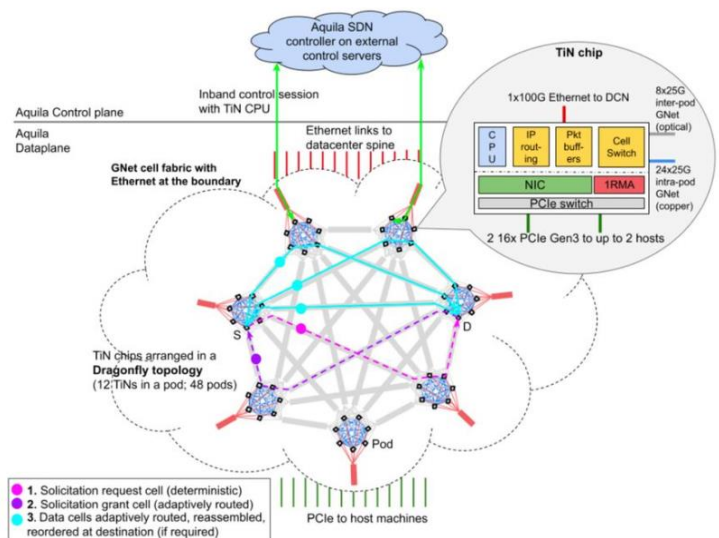


四大超算均采用 DF (Dragonfly) 组网

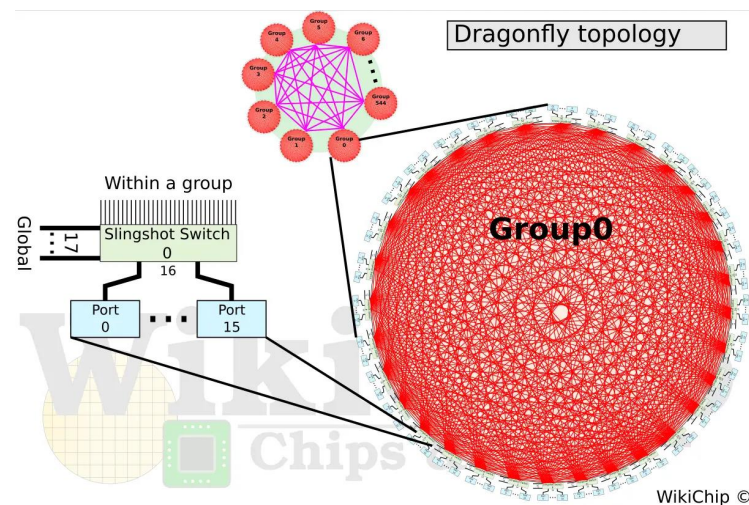
- Dragonfly 拓扑优势:

- 通信时延低:** Dragonfly 拓扑两级全互连, 网络直径低, 平均通信时延低
- 省成本、省功耗:** DF + 拓扑架构相对胖树可节省 50% 全局光纤链路 & 20% 交换机
- 网络吞吐无损失:** DF、DF+、Fat Tree 对于均匀随机流量, 网络吞吐率均为 100%

- Dragonfly & Fat Tree 都需要在拥塞控制 & 动态路径选择下解决更多实际问题

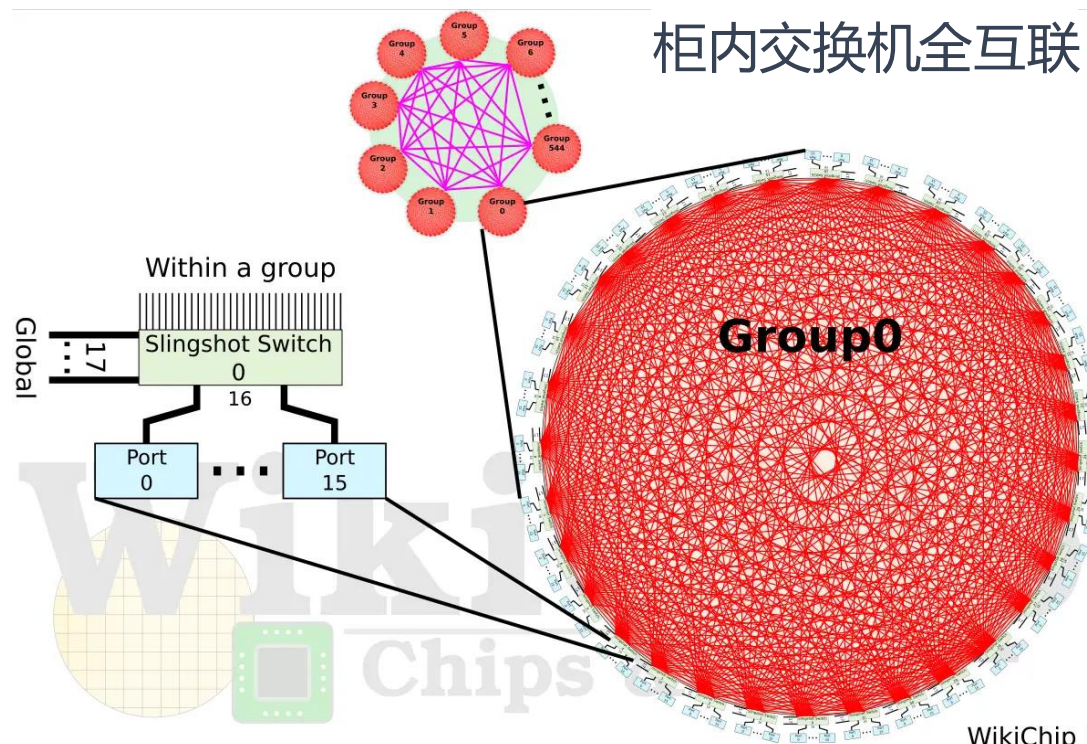
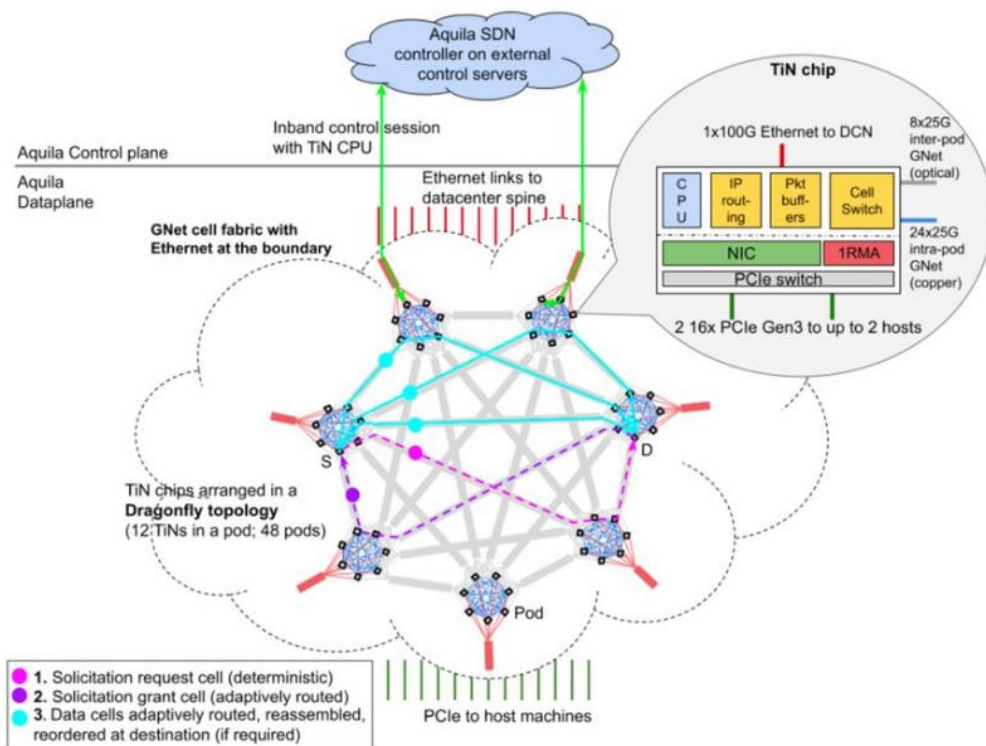


柜内交换机全互联



DF/DF+ 已成业界 TOP 超算标配

- DF/DF+ 拓扑不足：
 - 组间至少一条直达链路，直连带宽低，流量需绕路，增加 3 跳延迟，路由算法要求高
 - 二分带宽为胖树一半，对于对抗性流量吞吐率会下降 50%



柜内交换机全互联

WikiChip ©

Why Dragonfly?

- 为什么 HPC 都主要采用 DF/DF+ 的网络拓扑?
- 主要因其在 大规模扩展性、成本效率、低延迟和高带宽 之间实现了业界公认的最佳平衡
- 对网络拓扑的最终选择，本质上是在 工程成本、通信效率、故障容忍度 之间的最优决策



02

中国 TOP 超算洞察



中国超级计算中心

- 2025 年 6 月 12 日，全球超算排名：中国不再参与更新，神威太湖之光掉至 21 名
- 中国国家网格已经接入8个国家 HPC：无锡中心、天津中心、济南中心、深圳中心、长沙中心、广州中心等。

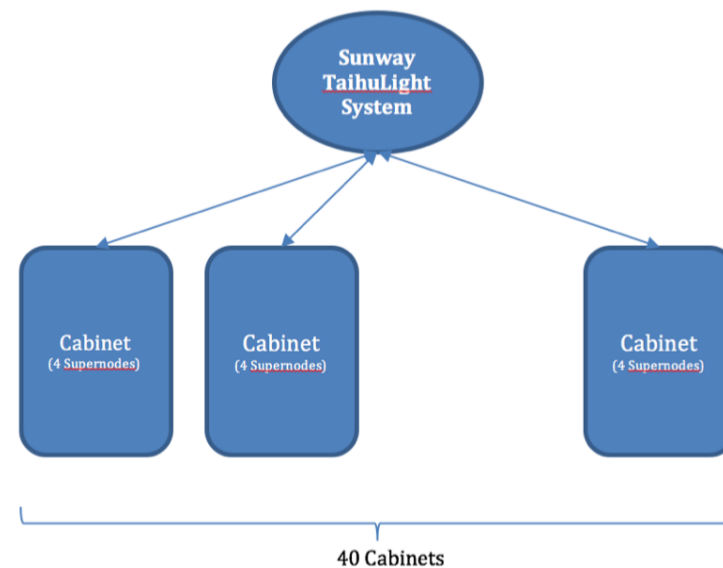
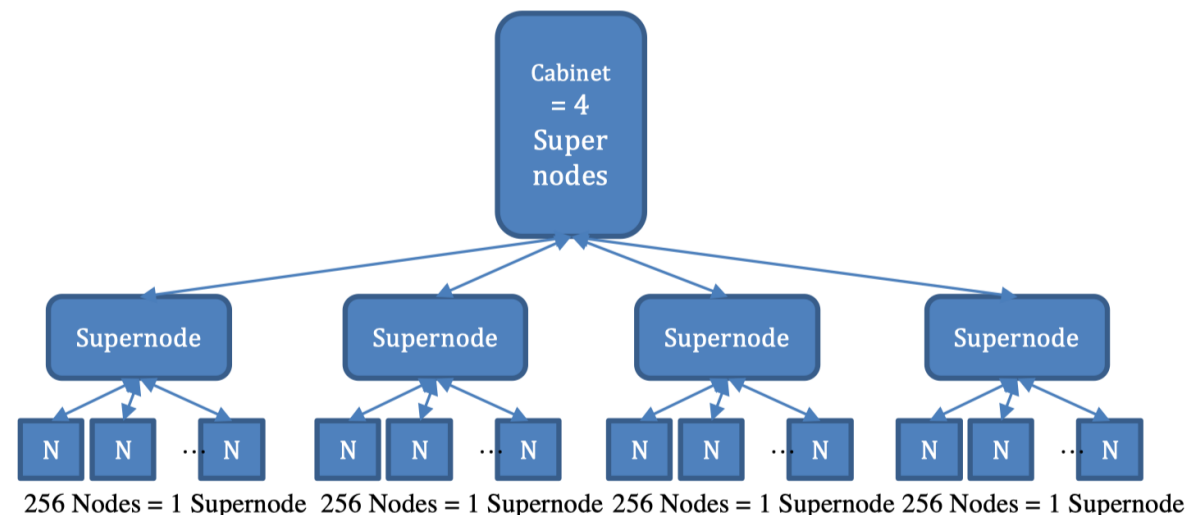
15	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93.01	125.44	15,371
24	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000, NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61.44	100.68	18,482



神威，太湖之光

- 四层胖树，4:1 收敛，256 超节点

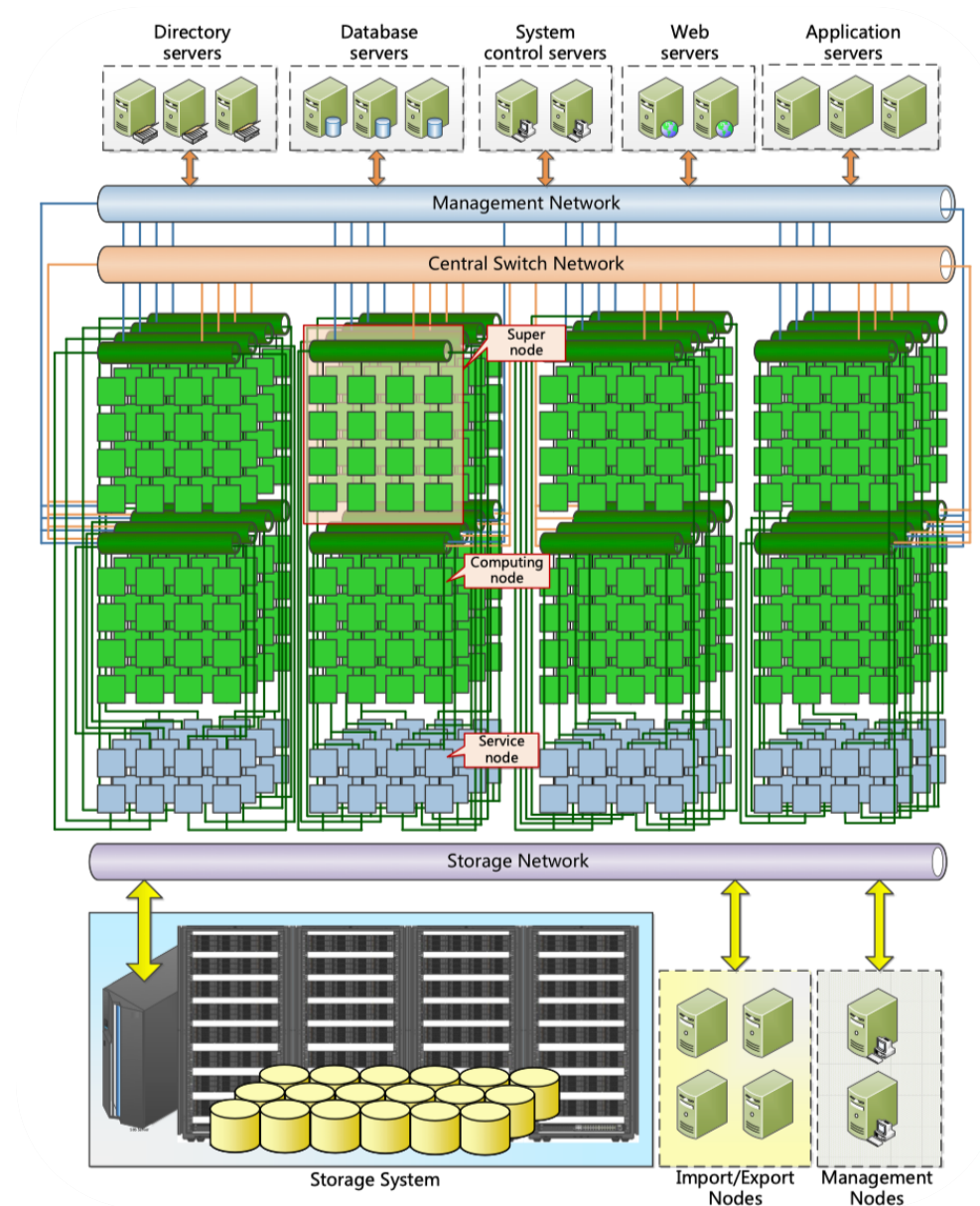
1. 互连网络使用 Mellanox HCA 网卡 + 36 口 EDR 交换芯片，物理结构采用胖树拓扑
2. 超节点内 16x16 全交换网络，每个超节点上联 64 条链路，下联 256 节点，通过核心交换网络



神威，太湖之光

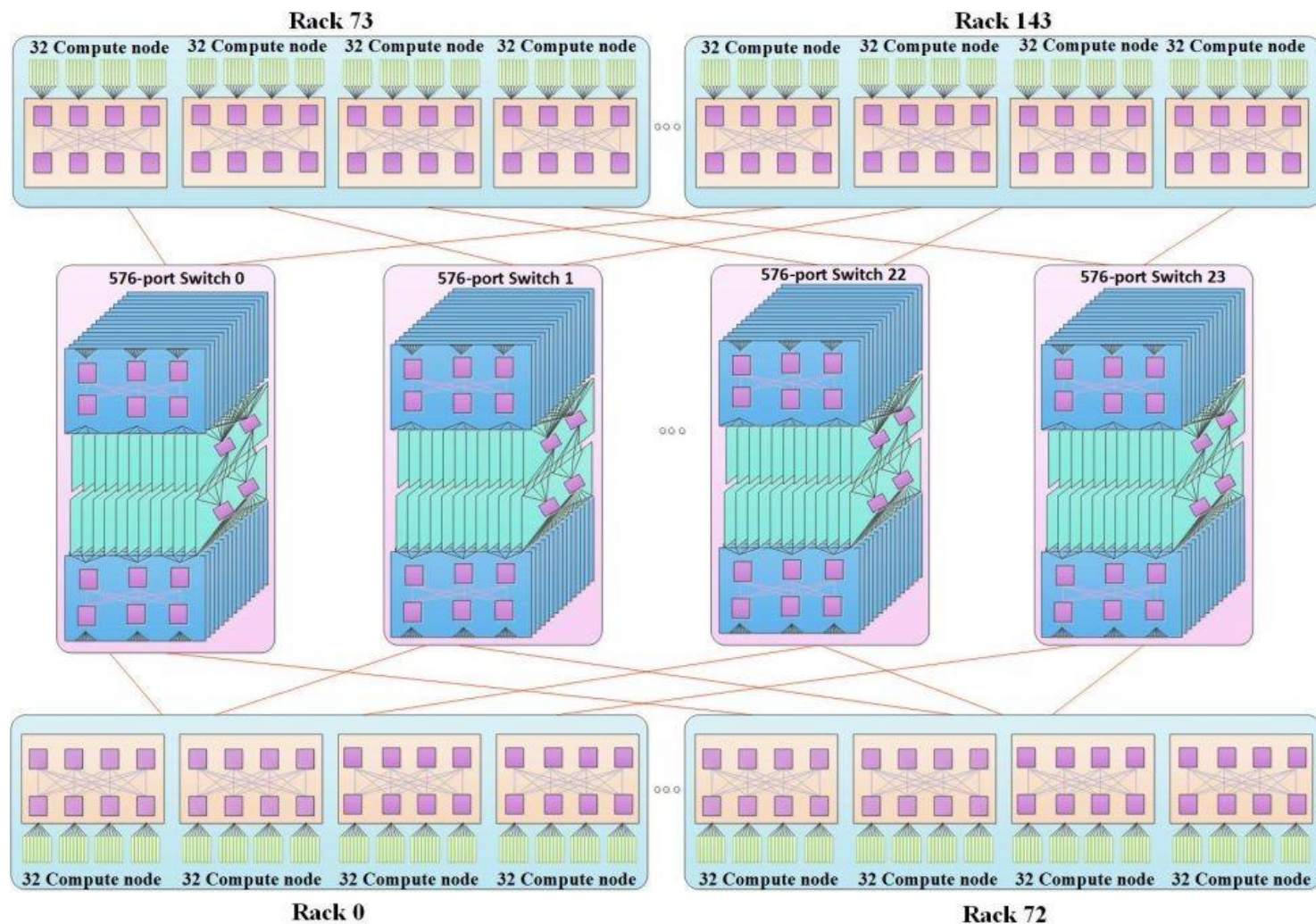
- 四层胖树，4:1 收敛，256 超节点

1. 互连网络使用 Mellanox HCA 网卡 + 36 □ EDR 交换芯片，物理结构采用胖树拓扑
2. 超节点内 16x16 全交换网络，每个超节点上联 64 条链路，下联 256 节点，通过核心交换网络



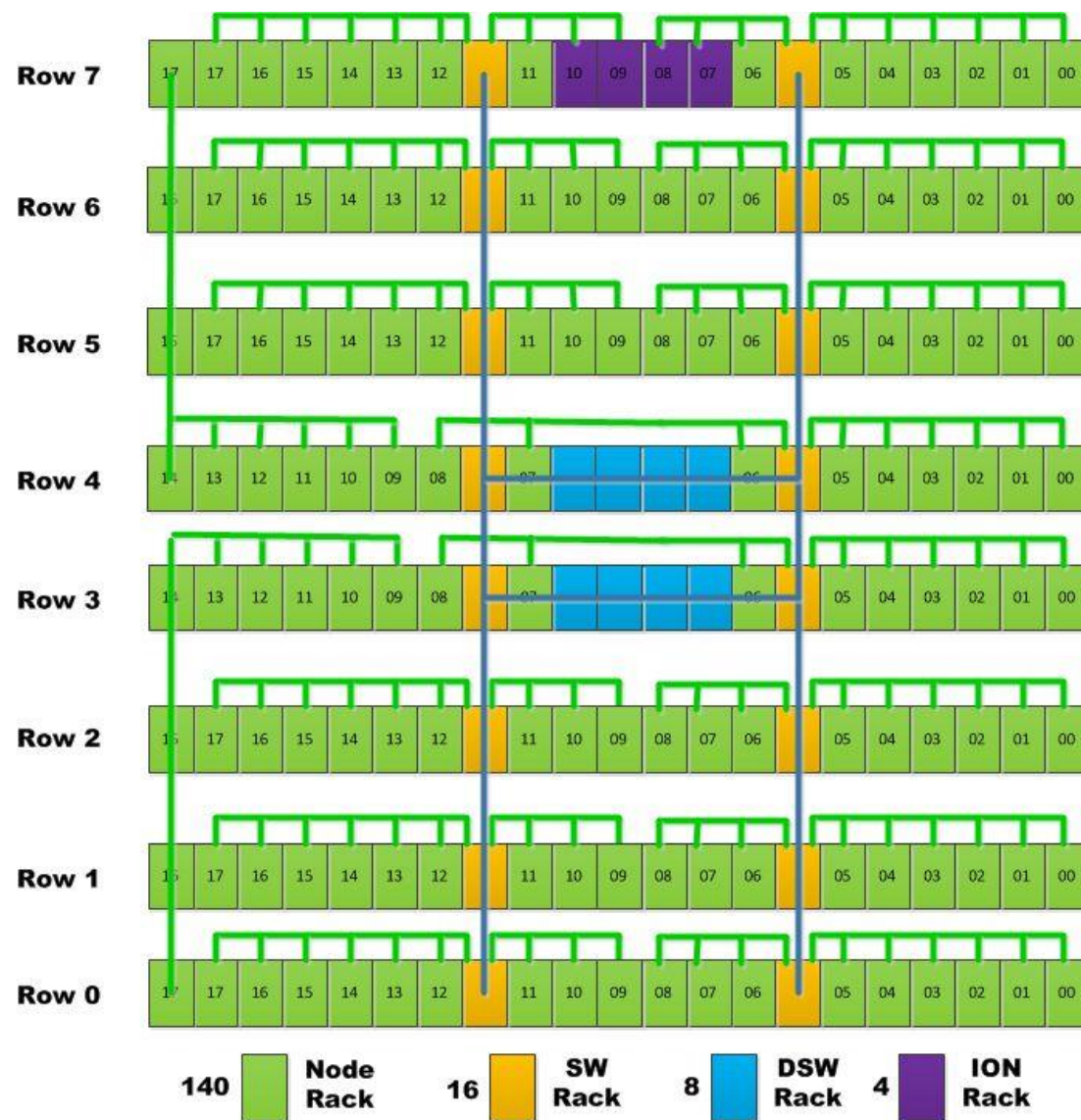
天河 2

- 32 个计算节点构成一个计算帧 (compute frame), 计算帧之中节点通过一个 32×32 的交换板进行通信。
- 4 个计算帧构成一个计算机架 (compute rack), 计算机架通过 24 个顶级的交换机进行通信, 每个交换机有 576 个端口, 计算机架与交换机通过有源光缆进行连接。



天河 2

- 计算节点的高速互连网络是自主研发，通过两个面向应用的集成电路实现：NIC 和 NRC(Network router chip)。
- NIC 和 NRC 都针对带宽、延迟、可靠性和稳定性进行了优化，使得链路速率高达 14Gbps。一共有 168 个机柜，其中 139 个为计算机柜 (compute cabinets)，4 个离子柜，24 个通信柜，一个空柜。



Why Fat-Tree?

- 为什么国内 HPC 都主要采用胖树结构的网络拓扑?
 1. 中国多数超算中心节点规模 1K~10K 节点，此规模下胖树总成本仍低于 Dragonfly
 2. 新一代中国 E 级超算已在探索超越传统胖树的路线，基于胖树 + 光互连，组内引入 3D Torus 优化通信
 3. 胖树是 InfiniBand / Ethernet 网络工业标准拓扑，可最大限度利用 国产可替代组件，降低关键依赖





总结与思考



Question

- 为何说 AI 超节点是借鉴 HPC 设计?
- 本质是复用 HPC 高速互连网络设计和通信优化经验，以应对大模型对分布式训练的严苛需求。

1. 通信密集型负载相似

- HPC CFD 计算流体力学、分子动力学等应用需频繁跨节点同步数据；
- AI 大模型分布式训练严重依赖 All-Reduce、All-to-All 等集合通信；



Question

- 为何说 AI 超节点是借鉴 HPC 设计?
- 本质是复用 HPC 高速互连网络设计和通信优化经验，以应对大模型对分布式训练的严苛需求。

2. 硬件架构技术迁移

- GPU 显存带宽远超传统网络，需 HPC 级高级互连带宽，以保证大规模节点间的高吞吐量；
- AI 超节点采用超算式全互联，本质是胖树或 DF/DF+ 在单机柜的缩影；



Question

- 为何说 AI 超节点是借鉴 HPC 设计?
- 本质是复用 HPC 高速互连网络设计和通信优化经验，以应对大模型对分布式训练的严苛需求。

3. 工程经验复用

- HPC 超算已解决的 Scale-Up、资源池化等核心问题被 AI 超节点直接采用；
- HPC 常用的网络拓扑可以被直接应用于AI集群；
- HPC 中的定制化网络接口卡与 GPU 直连，降低数据搬运开销，直接 AI 超节点继承；
- 现在做 AI Scale UP/Scale Out 的工程师，大部分是 HPC 转型过来的；





Thank you

把 AllInfra 带入每个开发者、每个家庭、
每个组织，构建万物互联的智能世界

Bring AI Infra to every person, home and
organization for a fully connected,
intelligent world.

Copyright © 2025 [Infrasys-AI](#) org. All Rights Reserved.

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. [Infrasys-AI](#) org. may change the information at any time without notice.



ZOMI

GitHub github.com/Infrasys-AI/AllInfra

Book infrasys-ai.github.io



引用与参考

1. <https://cloud.tencent.com/developer/article/1523140>
2. <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E7%A5%9E%E5%A8%81%C2%B7%E5%A4%AA%E6%B9%96%E4%B9%8B%E5%85%89>
3. <https://web.archive.org/web/20200125041705/http://engine.scichina.com/doi/10.1007/s11432-016-5588-7;JSESSIONID=111d0493-4679-4ef8-9d25-5d88c0f33bf1>

PPT 开源在: <https://github.com/Infrasys-AI/AllInfra>

