

大模型训练亟待突破哪些瓶颈?

本报记者 姬晓婷

AI大模型发展 仍遵循尺度定律

当前, AI大模型的发展呈现三大技术趋势。从规模来看, 大模型的技术发展总体上遵循尺度定律(Scaling Law), 参数规模从千亿扩展到万亿, 业界已出现多个万亿参数模型, 十万亿模型即将出现。随着参数量的增大, 大模型处理问题的能力也随之增强。例如, GPT-4 (1.8万亿参数量) 在处理复杂任务方面的能力已经远超 GPT-3.5 (1750亿参数量)。

从模型泛化程度来看, 模型结构在原有 Transformer 的基础上, 引入了扩散模型、MoE(混合专家模型), 使得模型的泛化能力增强、性能提升, 大模型从支持自然语言的单一模态下的单一任务, 逐渐发展为支持语音、文字、图像、视频等多种模态下的多种任务。

从架构来看, 模型架构正在从资源密集的稠密结构向资源节约的稀疏结构转变, 通过只激活部分神经元, 展现出与稠密结构相媲美的性能。

对于大模型企业而言, 能否搭建起大算力的基础设施, 成为能否实现大模型创新落地的关键。由此, 国内外大型科技公司正在积极建设万卡集群算中心。例如, OpenAI 用 25000 张 A100 GPU 训练 GPT-4。

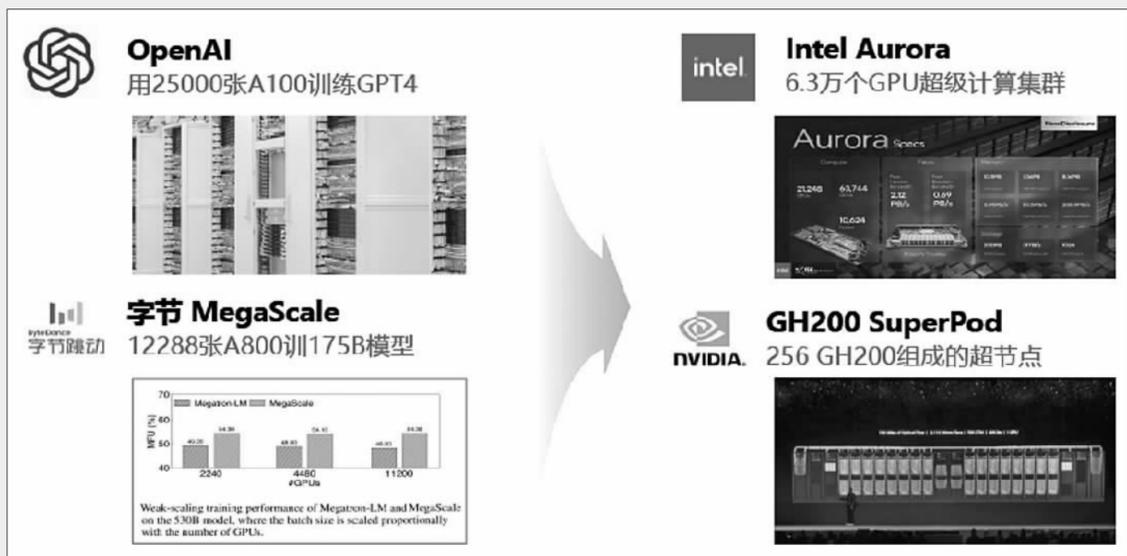
万亿参数模型 对卡间互联提出更高要求

大模型训练参数量的提高引发了业界对支撑该训练所需智算设备形态的思考: 新一代智算设备需要具备更高密度的算存硬件、高性能无阻塞的网络连接以及更高并行度的训练策略和通信范式。

首先, 万亿模型对卡间互联性能提出了更严苛的要求。

千亿模型的通信将服务器作为节点, 单节点的通信要求集中在 8 卡以内。而在万亿参数量模型中, 网络节点成为由百卡组建的“超节点”, 同时 MoE(混合专家模型) 及并行策略被引入 AlltoAll 通信, 其特征是单次通信

人工智能大模型训练对算力基础设施的要求从单卡拓展到了集群层面, 这对大规模卡间互联的兼容性、传输效率、时延等指标提出了更高的要求。近日, 中国移动研究院网络与 IT 技术研究所主任研究员陈佳媛在公开演讲中盘点了大模型发展的最新趋势, 万亿参数大模型对于计算集群和互联技术的最新要求, 并提出全向智能互联(OISA)的设计方案, 以突破大规模卡间互联的技术瓶颈。



数据量小, 但通信频繁, 对高带宽、低时延的要求更为迫切。陈佳媛认为, 服务器的发展方向是 TP(张量模型并行)效率提升, 实现数据在所有的 GPU 之间充分计算。

其次, 万亿模型需要包含交换芯片的互联拓扑。

当智算中心向百卡级别的全互联方向演进, 传统的直连拓扑结构不再适用, 迫切需要转向更高效、更先进的互联拓扑设计。在十亿参数或中等模型中, 互联拓扑以桥接的形式实现, 可以支持至多 4 卡的互联, 单卡最大吞吐量为 3 个端口; 在千亿参数模型中, 国内主流方案是互联拓扑通过直连拓扑, 以 Cube Mesh 或全互联方式实现, Cube Mesh 支持通信需求从 4 卡拓展到 8 卡, 单卡最大吞吐 4~6 个端口, 全互联方式则可实现 8 卡全互联, 单卡最大吞吐为 7 个

端口, P2P 带宽为几十个 GB; 而英伟达则通过 8 卡交换全互联方式实现, 可将 P2P 带宽提升到百 GB 级别。

最后, 万亿模型需要异构芯片之间构建大容量统一内存池。

模型规模的增长带来了 GPU 显存容量需求的提高, 单颗芯片往往难以满足对超大显存的需求。AI 业务如搜索引擎、广告投放和推荐系统等, 涉及大量数据处理、复杂算法计算和精密系统控制, 这要求 CPU、GPU 等多个芯片能够高效协同作业。原有异构芯片连接基于 PCIe 实现, 数据搬运速度慢, 同时带宽受限, 因此需要建立多异构芯片统一内存池, 既在运行流程上实现多处理器内存一致性访问, 又实现近 TB/s 级带宽能力。通过多异构芯片的互联实现统一内存池, 能够提高显存性

能、提升开发效率, 促进 CPU、GPU 等有效协同。

突破 GPU 卡间互联技术瓶颈

当前, 单芯片算力还跟不上生成式 AI 爆发性的需求。为满足需求, 各半导体厂商纷纷推出性能更优的服务器芯片及更新的互联技术; 行业标杆英伟达陆续推出超级芯片 GH200 和 GB200; Intel Gaudi2 采用 8 卡全互联拓扑, 每个 Gaudi2 芯片通过 21 个 100Gb RoCEv2 端口与其他 7 个芯片互联; AMD MI300X 通过 7 个 AMD Infinity Fabric 链接组建 8 卡全互联拓扑。相比英伟达, 尽管上述两款芯片具有较强的 GPU 互联能

(上接第 1 版) 现在位于美国雷德蒙德的卫星工厂月产能已经达到 120 颗; 欧洲 One Web(一网公司)借鉴了空客飞机制造流水线提高商业卫星量产能力, 产能平均每周 8 颗, 未来目标一天产出 2 颗。

发展商业航天, “卫星制造”是首先要过的一关, 研制生产需要满足大批量、低成本、短周期等特点。近年来, 我国卫星制造企业利用国内工业体系开拓商业化供应链, 构建柔性智能卫星生产线, 使得卫星成本大幅降低, 卫星从过去的“科研产品”变成了“工业品”。

我国商业卫星制造“独角兽”——银河航天(北京)科技有限公司的做法是通过改变构型, 采用平板堆叠式, 实现层层堆叠式发射, 极大提高了火箭整流罩的有效利用空间, 降低了单颗卫星发射成本; 同时该构型利于实现大规模低成本量产, 还能搭载更多载荷。

在航天科技集团五院 510 所党委书记、副所长王润福看来, 还需要从多星甚至星座的角度一体化考虑卫星和产品的设计、制造、测试、试验等工作, 既要突出功能化、模块化、智能化设计, 又要统筹质量和进度要求, 构建全新的商业航天卫星产业化发展体系。

银河航天相关负责人向《中国电子报》记者透露, 公司正在研制一种外形酷似“太空飞毯”的下一代卫星, 全部展开可形成一个超过 100 平方米的相控阵天线, 实现卫星和手机直连的宽带通信, 在提高信号接收和发射增益的同时, 让卫星在传输信号时功能更强。

为攻克星座组网中微波数传链路速度较慢的难题, 长光卫星技术团队经过数年攻关, 全面掌握了星地、星间激光高速通信技术。“如果把传统微波通信回传速率比作单车道的话, 那么采用激光通信手段, 则可以把单车道扩展成十车道, 甚至百车道。”长光卫星信息与通信技术研究室主任邢斯瑞说道。在保证卫星性能指标不下降的前提下, 该公司部分卫星已从 400 千级降至 20 千级, 研制成本和发射成本均大幅下降。

打造“航班化”运输能力

数据显示, 2023 年我国轨道级航天发射总量达 67 发, 刷新了纪录, 占全球发射总量的三成, 位居全球第二。然而, 民营火箭共发射 13 次, 仅占中国总发射任务的 20% 左右。相比之下, 位于首位的美国发射总量达 116 发, 其中 Space X 就发射了 98 发, 且发射

载荷质量达 1200 吨左右, 占全球发射质量的 80% 左右, 无论是发射载荷还是次数都独占鳌头。

如果说运输能力决定了航天活动的舞台, 那成本可控制则是火箭高频次发射的基本要求。

Space X 是成本控制的“模范生”。赛迪智库无线电管理研究所空天信息研究室主任孙美玉在接受《中国电子报》记者采访时表示, Space X 强调关键部件的重复利用与通用化。猎鹰-1 火箭 80% 的部件设计都基于重复使用, 同时在动力系统选择、箭体设计、导航控制等方面做到后续产品通用。

可回收火箭的商业前景广阔, 它可以在地球表面和太空之间自由飞行, 甚至能长时间在轨道上停留, 是实现载人航天、货运航天的关键, 也是环境友好发展的必然选择。

在推动可重复使用火箭发射方面, 近期我国商业火箭公司“捷报频传”, 推动火箭成为“航班化”的运载工具。

垂直回收是商业火箭公司可重复使用火箭发射后的主流做法, Space X 和蓝色起源走的都是这路线。2013 年, Space X“蚱蜢”火箭成功实现垂直起飞垂直降落, 在测试中空升 744 米后准确降落到发射台上。10 年后的 2023 年, 星际荣耀双曲线二号可重复使用液氧甲烷验证火箭在我国酒泉卫星发射中心开展飞行试验, 第二次试验飞行高度 343.12m, 目标横向位移 50m, 火箭着陆平稳精确。

“总体来看, 我国商业火箭技术落后 Space X 大约 10 年的时间, 但相对进展速度一直在与 Space X 对齐刻度, 甚至有些方面我们稍微‘超前’一些。”星际荣耀副总经理姜沂告诉《中国电子报》记者。

火箭重复利用的实现, 液体燃料是绕不过去的技术选择, 是商业火箭“可重复使用”发展的大方向。2023 年 4 月, 北京天兵科技有限公司首枚液体发动机运载火箭成功入轨; 7 月, 蓝箭航天空间科技股份有限公司成功发射了全球首枚液氧甲烷运载火箭, 还尝试使用了不锈钢作为可重复使用火箭的箭体材料, 这在全球范围内尚不多见; 11 月, 星际荣耀成功研制并验证了液氧甲烷可重复使用火箭发动机。

“中国商业火箭行业即将走完‘从 0 到 1’阶段的第一个十年, 2025 年会是一个大分水岭, 下一步是比拼硬实力的时代。”蓝箭航天董事长兼 CEO 张昌武说道。其公司的朱雀三号火箭预计于 2025 年具备首飞能力, 该火箭是以液氧甲烷为燃料的可重复

使用运载火箭, 其一子级可重复使用次数可达 20 次。

姜沂透露, 公司正在全力攻关中大型可重复使用运载火箭——“双曲线三号”, 目标将在 2025 年实现首飞。目前, 该火箭正在开展详细设计和投产工作, 今年将完成各系统的地面试验, 重复使用次数设计指标不少于 20 次, 重复使用情况下发射价格有望降到 3000 美元/千克。

按照 Space X 创始人马斯克的设想, 该公司研制的重型全重复使用火箭“星舰”如果成功后全面投入市场, 发射成本可降至每次 200 万美元, 每次可将 100 人送上太空, 如同火箭“快递”。但前不久, “星舰”第三次试飞成功升空后失联。这意味着, 该火箭想要作为太空旅游航班的计划, 尚存有一定的距离。

万亿元级应用市场可期

在距离地球 200 至 2000 公里的低空轨道上, 一场激烈的“卡位战”正在进行。截至今年 4 月, Space X 总计规划 4.2 万颗的“星链”已成功发射超 6000 颗卫星, 陆续服务了 72 个国家和地区, 用户数突破 230 万。据马斯克称, 星链在去年年底已经开始赢利; 计划部署超 3200 颗卫星的亚马逊卫星互联网项目“柯伊伯计划”, 也在发射前的准备中, 第一批量产卫星预计于今年上半年发射。

低轨空间容量有限, 卫星互联网的商家空间却无限。根据世界银行发布的数据, 地球上仍有超过 70% 的地理空间, 涉及 30 亿人口未能实现互联网覆盖。而传统地面通信骨干网在海洋、沙漠及山区等苛刻环境下铺设难度大且运营成本高。因此, 商业航天已不仅是一种商业行为, 而是通过商业化运作来推动国家战略的实施。

在中国信科副总经理、总工程师陈山枝看来, 目前低轨卫星的单星下行通信容量在 20G 比特/秒左右, 商用价值除了为世界上偏远地区的居民提供连接服务, 更大的价值还在于服务各行各业。

他在接受《中国电子报》记者采访时表示, 未来随着行业应用需求扩展, 低轨卫星有望为行业勘探、环保监测、低空经济、科学考察、海事边防、灾害预警、应急及救援通信等行业应用场景提供有力支持。据他统计, 仅在我国, 边疆地区的渔民、牧民、护林员等对低轨卫星互联网有需求的人群加起来大概 2000 多万用户。

这一形势也呼唤着中国版“星链”提速建设。早在 2021 年, 一家新央企中国卫星网

络集团有限公司成立, 并规划了一个“GW 星座”计划, 即在 2035 年之前进行大约 12900 颗卫星组网。位于上海松江的 G60 产业基地计划了一个总数达 1.2 万颗的卫星互联网计划, 计划于 2024 年发射并运行至少 108 颗卫星, 提供初步的商业服务, 全部建成后可满足覆盖全球宽带网络需求。

今年 1 月, 工信部等七部门印发《关于推动未来产业创新发展的实施意见》, 提出布局 6G、卫星互联网、手机直连卫星等关键技术研究, 构建高速泛在、集成互联、智能绿色、安全高效的新型数字基础设施。

中国电信卫星公司联合产业链合作伙伴进行的手机直连卫星产品技术攻关已经启动了近 2 年, 该业务于去年 9 月正式上线商用, 在全球尚属首次。此后, 华为、OPPO、荣耀等一众手机厂商相继推出双向卫星通信功能, 打通地面 4G/5G 移动通信网络与天通卫星网络融合。此外, 卫星通信“上车”的脚步也已迈开。长安、极氪、吉利银河、小米等汽车企业也传来了车载卫星通信技术成果或最新专利等进展。

中国电信相关负责人告诉《中国电子报》记者, 下一步将聚焦“5G+卫星基站”“5G IoT+卫星”等重点产品应用, 为客户提供天地一体、云网融合、万物互联的智能综合信息服务。

卫星应用市场起势, 意味着政策和资本之外, 商业航天发展的内生动力已被激活。星河动力董事长刘百奇算过一笔账, 假设国家发射 1 万颗卫星, 低轨通信卫星目前国内平均造价为 3000 万元, 硬件投入已超千亿元。以业内经验性的“10 倍理论”来看, 卫星形成的应用市场规模通常是硬件投入的 10 倍以上, 因此下游应用理论上可以轻松实现“万亿级市场规模”。

只不过, 这一市场空间未能得到充分释放。在中国科学院空天信息创新研究院研究员顾行发看来, 现在的商业航天产业链规模如同一个“哑铃”, 两头分别是上游制造和下游应用, 中间的服务转化较为薄弱, 限制了下游应用发展。现在商业航天出圈的更多是火箭、发射台和卫星, 这说明发展所需的“原料”有了, 要想完全发挥其商业价值, 还应同步构建卫星数据普及等信息增值服务产业链, 释放下游市场空间, 将哑铃状变为喇叭状。

需要政策资本多方支持

2 个月前, 上海垣信卫星科技有限公司完成了 67 亿元 A 轮融资, 创下中国商业航天

力, 但由于缺少交换芯片, 组建更大规模的纵向扩展集群面临挑战。

为解决这一问题, 陈佳媛提出四个攻关方向:

第一, 突破交换芯片性能瓶颈。提高卡间互联带宽, 提升端口数量以满足集群算力纵向扩展升级需求; 降低通信延迟, 减少 GPU 通信跳数, 优化数据传输路径。

第二, 实现超百卡大规模物理连接。统筹单层、分层的网络拓扑结构, 提高 GPU 间高速通信设计的点对点连接能力, 实现 P2P 连接; 优化 GPU 内存管理、计算和通信的重叠, 实现软硬件协同。

第三, 提升协议层面的互联效率。在算法层面, 兼顾流量控制和拥塞控制条件下, 实现低时延的传输性能; 在协议层面, 使主流协议满足传输需求; 在数据包结构层面, 保证数据包格式同时满足多种 AI 应用需求。

第四, 要保持智算纵向扩展过程中的生态开放, 其中包括保持遵循开放的行业标准, 实现跨行业的广泛合作和建立开放的信息共享机制。

陈佳媛由此提出全向智能互联的设计, 其内涵包括: 全方位连接, 使 GPU 可以与任何一张 GPU 实现对等通信; 优化的报文格式, 采用对 GPU 友好的报文格式以提高网络利用率, 设计具备动态规模感知和简化机制的协议; 实现高效物理传输, 优化解串器、控制器等物理层组件, 引入共封装光学技术降低功耗并提高信号完整性; 灵活扩展, 当需要增加更多 GPU 以提升计算能力时, 新的 GPU 可以无缝融入现有互联网络中。

陈佳媛将这种设计架构称之为 OISA——全向智能互联。其关键技术特征在于架构、物理、链路、事务等几个核心优化点。在架构层面, 优化拓扑结构, 引入高性能交换芯片和 GPU 交换 IP 来提升 P2P 带宽和研发效率。在物理层面, 改进信号传输技术, 减少噪声和干扰, 提高信号质量和完整性, 采用更先进的物理介质来提高数据传输效率, 优化高速高效的电互联接口解串器 IP。在链路层面, 优化错误检测和快速恢复技术, 减少数据传输中的丢包和重传, 采用多个物理链路提供更高的带宽和冗余路径。在事务层面, 精简协议, 提高数据处理速度, 重定义报文头, 增加 GPU 标识以提高传输效率。

行业融资纪录, 反映出投资机构对中国商业航天行业未来发展的信心和期待。

这两年, 商业航天赛道的创业和融资热度持续走高。数据显示, 2023 年商业航天领域新增企业数量为 11.3 万家, 相较 2022 年同比增长 29%; 2023 年商业航天赛道的融资金额为 103 亿元, 融资数量为 66 笔。

“商业航天属于研发周期相对较长、经费投入较大的行业, 需要大量、持续的资金投入。同时也需要整合上下游优质资源和技术创新, 吸纳更多研发人才。”姜沂告诉记者。

商业航天成高额融资“香饽饽”, 也与国家政策的支持和行业发展趋势密切相关。2023 年中央经济工作会议提出, 打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业。今年全国两会期间, 商业航天又作为“新增长引擎”首次被写入政府工作报告, 提出“大力推进现代化产业体系建设, 加快发展新质生产力, 积极培育新兴产业和未来产业, 积极打造生物制造、商业航天、低空经济等新增长引擎”。

中科创新创始合伙人米磊发现, 2024 年以来商业航天的投资人大多数是“国字头”基金和地方政府的产业基金。早期阶段, 支持商业航天的资本主要是风险投资基金。

作为海南自贸港的重点园区之一的文昌国际航天城, 承担着“建设航天领域重大科技创新基地。海南在《海南省高新技术产业“十四五”发展规划》中提出文昌国际航天城将瞄准国际标准, 以航天科技为主导, 重点发展航天发射及配套服务、航天高端产品研发制造、航天大数据开发应用、国际航天交流合作以及其他“航天+”领域。

政府产业基金跑步入场。为建设百亿级航空航天卫星产业集群, 3 月, 郑州航空港经济综合实验区发布了郑州航空港产业投资引导基金关于公开征集子基金管理机构的公告, 提到产业类子基金原则上围绕航空航天卫星等产业领域及其细分赛道设立各类产业类投资基金。

《上海市促进商业航天发展打造空间信息产业高地行动计划(2023—2025 年)》明确提出, 完善从专项资金、产业基金到扶持政策全方位保障的产业生态。构建多结构产业基金, 完善相关产业扶持政策。

以火箭研发为例, 过程中不可避免会经历坎坷甚至失败, 希望社会对创新和失败有一定的包容性和耐心, 而不是在有发射失利后就敬而远之, 思维的转变是产业蓬勃发展的需要。