



南開大學
Nankai University

南 開 大 學

計 算 機 學 院

並行程序設計實驗報告

並行體系結構調研：超算

潘濤

年級：2023 級

專業：計算機科學與技術

指導教師：王剛

2025 年 3 月 21 日

摘要

超级计算机自从诞生以来，获得了长足的发展，在医疗、科研、网络安全、天文学等领域发光发热，促进了人类各个领域的发展。从世界上第一台超级计算机的发布，到如今计算速度突破百亿亿次，超级计算机无疑在短短几十年的时间里获得极大的突破与提升。回望超算的发展历史，了解超算的现状，才能够更好的把握超算的未来，更好的洞悉时代的发展方向。本文将由超算的起源出发，了解超算一步一步的发展历程，然后简述当今世界的前沿超级计算机相关，最后展望超级计算机的发展方向和未来使用。

关键字：超级计算机，发展历程，未来展望

目录

一、 概述	1
二、 超算的历史	1
(一) 早期发展阶段	1
(二) 并行处理时代	1
(三) 异构计算和加速器时代	1
三、 超算的现状	2
(一) 中国：神威太湖之光	2
(二) 美国：Frontier	2
(三) 欧盟：LULM	3
四、 超算的未来	3
(一) 技术水平方面	3
(二) 应用场景方面	3
五、 总结	4

一、概述

超级计算机，简称为超算，是一种能够快速对大规模数据进行处理计算机器。与传统的个人主机（PC）相比，超级计算机有两个方面的特点：极大的数据存储容量和极快速的数据处理速度。超级计算机在海量数据处理和密集计算等领域具有显著优势，它可以在多种领域进行一些人们或者普通计算机无法进行的工作。人工智能、大数据、量子计算等技术迅猛发展，超算的应用场景和计算模式在不断更迭，不断朝着更加完善的方向前进。

二、超算的历史

（一）早期发展阶段

超级计算机的概念最早出现在 1929 年《纽约世界报》的一篇报道中。然而，直到 1964 年的 CDC 6600 问世，才标志着世界上第一台超级计算机实体的诞生。CDC 6600 采用了管线标量架构，并使用了由西摩·克雷小组开发的 RISC 指令集 [1]。在这种架构下，CPU 将会交替进行指令的读取、解码和执行，在每个时钟周期只会处理一条指令。自诞生之日起，CDC 6600 便吸引了世界的目光，被评为世界上最快的计算机。这一记录直到 1969 年西摩·克雷设计出第二台超级计算机才被打破。为表彰他对超级计算机的发展做出卓越的贡献，西摩·克雷被誉为“超级计算机之父”和世界上最伟大的程序员之一。

进入 1970 至 1980 年代，这期间的超级计算机主要进行矢量处理，专门用于优化向量数据处理，以提高科学计算的能力，这使得计算机在处理大规模科学计算、模拟和气象预测 [2] 等方面更加高效。以美国的 Cray-1 和 Cray-2 为代表，矢量超级计算机诞生，是当时最强大的计算机，被广泛应用于科学计算、天气预测、军事模拟等领域。

（二）并行处理时代

1990 年以来，科学计算、天气模拟、基因工程等领域对计算机的计算能力的需求激增，简单的单处理器性能已无法满足需求，并行计算开始在超级计算机设计中占领上风。所谓并行计算，也就是说将计算任务分为若干互不干扰的部分，让多个处理器同时进行不同部分工作的处理，由此来说计算效率将得到迅速的提高。这期间推出由美国 Intel 公司推出 ASCI Red 便是一个典型的代表。它是由美国能源部资助的高性能计算项目开发而来，是全球首台性能突破 1 TFLOPS（万亿次浮点运算/秒）的超级计算机，广泛应用于核模拟等高端计算任务。与此同时，超级计算机的应用领域也逐渐扩展到人工智能。1997 年，IBM 研发的 Deep Blue 发布。它采用深度搜索和并行计算技术，成功击败了国际象棋世界冠军加里·卡斯帕罗夫。这一事件标志着超级计算机在人工智能和博弈计算领域的突破，为后续的机器学习和智能算法研究奠定了基础。进入 21 世纪，小规模并行框架已经无法应对其他领域的需求，于是大规模的并行处理计算机应运而生。这时期的主要特点就是大量的处理器核心规模，在数千甚至数百万个处理核心协同计算下，大量计算得以高速运转 [3]。

（三）异构计算和加速器时代

目前，超级计算机已经进入了异构计算时代，Gpu（图形处理单元）和 FPGA（现场可编程门阵列）等加速器被广泛用于提高计算性能。这些加速器可以有效地处理大量并行任务，使超级计算机能够进一步提高基于传统 CPU 处理器计算的速度和效率。异构计算通过使不同的计算单元一起工作来充分发挥各自的优点，从而加快复杂任务的计算速度。

在这种架构下，超级计算机在处理深度学习、大数据分析、人工智能（AI）、气候模拟、基因组学等方面取得了重大进展。例如，位于美国橡树岭国家实验室的 Summit 超级计算机是世界上最快的超级计算机之一，它采用了 NVIDIA Tesla V100 GPU 加速器和 IBM Power9 处理器。它的强大计算能力已经促进了药物开发、材料科学、气候变化建模等方面的突破。Summit 在人工智能方面的应用，尤其是在处理大规模深度学习模型时，表现出了其极其强大的计算能力优势。

未来，超级计算将继续向更高效、更智能、更节能的方向发展，量子计算、人工智能融合、高效能低功耗架构等技术将引领新一轮计算革命。

三、超算的现状

进入 20 世纪以来，超级计算机在各国都取得了极其巨大的成就，其运算速度不断取得突破，中国，美国，欧盟等国家和地区都相继研发出了前沿的超级计算机。我们以中国，美国，欧盟的超级计算机为代表，进行深入的了解，依次来认识当今世界的超算发展现状，更好地展望未来的发展。

（一）中国：神威太湖之光

神威·太湖之光超级计算机是全球首台峰值运算能力超过每秒 10 亿亿次（即 10 exaflops）、拥有千万级核心的超级计算机。它由国家并行计算机工程技术研究中心自主研发，安装于国家超级计算无锡中心，并被广泛应用于中国的多个重大科技项目。作为中国国内首台全部采用自主研发的国产处理器“申威 26010”的超级计算机，神威·太湖之光代表了中国在高性能计算领域的重大突破，成为世界领先的超级计算机之一。

它由 40 个运算机柜和 8 个网络机柜组成。每个运算机柜的大小稍大于家用的双门冰箱，内部分布着 4 个由 32 块计算插件组成的超节点，每个插件又包含 4 个运算节点板，而每个节点板上配有 2 块“申威 26010”高性能处理器。这样，单个运算机柜内就拥有 1024 块处理器。整台神威·太湖之光超级计算机总计配置了 40960 块“申威 26010”处理器，这使得它能够处理海量数据并进行高效的并行计算。

如此庞大的计算平台可以说是对复杂科学计算问题的非常重要的帮助。无论是航空航天、气候气象、生命科学等，使得人们在各种数据分析和场景模拟上有了更加先进的手段，以突破各种科技创新和技术难点。尤其是对中国的高性能计算领域而言，神威·太湖之光的出现打破了我国此前一直依赖外国高性能计算机的局面，有助于促进我国自主高性能计算技术和设备的快速发展与应用，并助力国家实现一系列重点科研项目的科学研究的领先地位。

（二）美国：Frontier

美国的超算 Frontier 同样也是世界上最强的超级计算机之一，拥有超越 1exaFLOP(64 bit FLOPs) 的运算能力（相当于每秒 1.1 quintillion（百万亿）次浮点运算），成为了历史上第一台能够突破 1 exaFLOP 计算水平的超级计算机。Frontier 具有由 HPE Cray EX 构成的架构，结合使用 AMD EPYC 和 AMD Instinct GPU 等设备，可以提供超强的计算力、数据处理能力以及图形运算能力。

目前 Frontier 会主要用于巨大的科学与模拟方面，比如用于能源领域、气候变化领域的研究，应用在量子物理学、材料科学研究，还可以用在医疗健康上等等各方面的计算任务和研究领域上面，将被广泛应用在各个不同的科研领域中。加速各种复杂的课题进展，例如在全球气候的大规模模拟、有关核能的研究课题，还有关于癌症的研究等多种不同领域的研究工作等等。而这

样一台巨型高性能计算机构建并投入使用，则为相关的科技工作者们提供了一个强有力的高性能数据分析的工作环境，在这环境下则可加快科学家们的各类研发进程，快速推进人类科技进步与发展！可以说 Frontier 这个世界霸主将会巩固美国现有的在超级计算机硬件技术上的优势力量，同时也标志着整个超算时代的一个新时代已经到来，其未来不可限量。

（三） 欧盟：LULM

2020 年，LUMI 项目作为欧洲高性能计算联合企业的一部分，由芬兰牵头，联合包括芬兰在内的 10 个欧洲国家共同投资与建设。它的设计基于 HPE LULM Cray EX 架构，这是一个高度集成且高度可扩展的平台，专为处理大规模科学计算和数据分析任务而设计。LUMI 超级计算机的核心计算单元采用 AMD EPYC “Trento” 系列处理器。每个节点搭载一个这样的处理器，拥有 64 个高性能核心，支持多线程技术和大容量高速缓存，提供强大的浮点运算能力和高并发处理能力。作为欧洲高性能计算联合体项目的一部分，它旨在为欧洲提供强大的计算资源，支持各类科学研究、技术开发和创新项目。LUMI 主要服务于科学家、研究人员和企业，支持包括人工智能、量子模拟、气候建模、健康和药物研发等各类高性能计算应用 [4]。

四、 超算的未来

当前超级计算机的发展已经取得了巨大的突破，广泛使用在各个领域，极大程度地满足了人类对于大规模计算的需求。不久的将来，科学技术水平持续发展，这就意味着超级计算机的发展也会持续精进，不断进步。我坚信超级计算机未来将会趋向更高的技术水平，其应用场景也会越来越广阔。未来的超级计算机不仅将在传统的科学计算中发挥巨大作用，同样将在人工智能、量子计算、大数据分析等前沿技术中担任核心角色。[5]。我认为未来超级计算机的发展将会集中以下几个方面。

（一） 技术水平方面

其一，量子计算时代来临，或将彻底改变超级计算机运算方式。量子计算机利用量子比特处理信息，在某些专门的计算任务中可以完胜普通计算机。量子计算机的核心优势便是极快的计算能力，将量子计算的原理运用于超级计算机的设计中，将有利于传统计算机突破物理层面的限制，向着更加高速的发展。尽管处于实验阶段，但势必影响未来的发展趋势。因此，相信未来的超级计算机将会融合量子计算资源来助人解决某些传统计算机无法应对的复杂问题。

异构计算架构同样可以作为未来超级计算机的发展方向。异构计算是指使用不同类型指令集和体系架构的计算单元组成系统的计算方式，诸如多块 CPU、GPU、TPU 等不同类型处理芯片的组合，可以让超级计算机在处理多任务及大规模并行计算时变得更加高效。与目前的同构超算相比，异构超算存在编程麻烦、效率低的问题，但更加好的性能功耗比使其同样占据重要的地位。在未来如果能够着手解决相关的问题，那么异构计算机将会依托于更好的扩展性和高利用率在超级计算机领域取得长足发展。

（二） 应用场景方面

超级计算机的应用场景在未来会得到巨大的提升，将会有效的提高研究者的科研水平，普通人的生活水平。总之，超级计算机的影响是方方面面的，将会切实的反哺到我们的日常生活和一些高科技中。在医疗，气候，航空领域我们将会看到这些变化。

在医疗科学领域，超级计算机将由简单的数据处理工具，变为科研探索的有力助手。海量的基因测序数据、详尽的临床病历记录以及复杂的药物反应信息，对于人类来说显得纷繁复杂，但

在超级计算机的帮助下将会变得轻松。凭借着其强大的并行处理能力和高效的算法模型，科研人员将会得到前所未有的计算支持，解决各项疑难杂症的解决。

另外，超级计算机将利用其高精度的数值模拟能力，全面模拟地球系统的运行过程，为科学家提供详尽而准确的数据支持。这些模拟数据将帮助政策制定者更加准确地预测未来几十年的气候变化趋势，评估极端天气事件的频率和强度，为应对全球变暖等环境问题提供科学依据，从而制定出更加有效的应对策略。

在航空航天领域，超级计算机也有着及其重要的作用。由于外太空复杂的环境，因此在对航天器的适应性检验方面有着严格的要求，而有了超级计算机的辅助，科研人员可以轻松的模拟外太空的环境，对各种困难的因素进行测试和分析。庞大的测试数据和信息，在超级计算机的计算和处理下，将会变得清晰而有条理，实验人员将会更加轻松的发现数据背后隐藏的奥秘。

五、 总结

超级计算机，是人类科学进步的成果，同样是推动人类科学进一步取得突破的有力助手，在科学研究、工业生产、人工智能等领域发挥重要作用。超级计算机的不断发展进步，不断向着更加高速，更加精确，更加宏大的方向发展，具有无法预估的光明前景。超级计算机与其它领域相互融合更是时代的发展趋势，这将会推动世界各国各行各业的数字化进程，从而加快构建高度信息化的新时代。

参考文献

- [1] 司宏伟 and 冯立昇. 世界超级计算机之父: 西蒙·克雷. **自然辩证法通讯**, 40(07):127–133, 2018.
- [2] 赵立成, 沈文海, 肖华东, 王彬, 孙婧, 魏敏, 李娟, and 沈瑜. 高性能计算技术在气象领域的应用. **应用气象学报**, (5):9, 2016.
- [3] 方粮. 超级计算机发展现状及趋势分析. **智能物联技术**, 3(05):1–8, 2020.
- [4] 颜欢. 欧盟积极发展超级计算机. Technical report, 人民日报, 2024-01-19.
- [5] 司宏伟 and 冯立昇. 世界超级计算机创新发展研究. **科学管理研究**, 35(04):117–120, 2017.