

第60届全球超级计算机TOP500排名及分析

● 陈家慧 上海超级计算中心 上海 201203 jhchen@ssc.net.cn

摘要：

在2022年11月，第60届全球超级计算机TOP500榜单揭晓。本文介绍了TOP10情况及TOP500排名分析，并介绍了GREEN500等其他榜单排名情况。

关键词：超级计算机、TOP500、GREEN500

1. 综述

TOP500榜单的第一个版本出现在1993年6月于德国举行的一个小型会议上。在1993年11月，作者出于好奇重新审视了这个榜单以了解排名发生了怎样的变化。也正是在那个时候，他们决定继续编辑这个榜单，如此形成了现在这个一年两次备受期待、备受关注的活动。2022年11月，TOP500步入了第60届。

2022年11月14日，SC（全球超级计算大会）公布了第60届全球超级计算机TOP500榜单，美国橡树岭国家实验室（ORNL）的Frontier继续占据榜首，并且仍然是唯一一台HPL计算性能达到1Exaflop/s的超级计算机。在上一届TOP500榜单中，Frontier以1.102Exaflop/s的HPL计算性能使得美国重回领头羊地位。

虽然Frontier此次没能将其在2022年6月份达到的HPL计算性能进行提高，不过它还是以三倍于第二名的性能获得了冠军，这是计算机科学的重大胜利。此外，Frontier获得了7.94EFlop/s的HPL-MxP性能，HPL-MxP基准测试用于测量混合精度的计算性能。Frontier基于HPE Cray EX235a架构，采用AMD EPYC 64C 2GHz处理器，拥有8,730,112个内核，能效为52.23Gflops/watt，依靠千兆ethernet进行数据传输。

在TOP500榜单中，日本理化学研究所（RIKEN）的Fugaku以442Pflop/s排名第二，欧洲高性能计算联盟芬兰科学信息技术中心的LUMI排名第三。LUMI之所以能够排名第三要归功于系统的升级，使得机器规模得以翻倍，HPL性能从151.9Pflop/s提高到309.1Pflop/s，目前该机器仍然是欧洲最大的系统。LUMI拥有一个绿色中心，其废热用于满足约20%的城市供热需求。

进入TOP500榜单前10的唯一一台新机器是欧洲

高性能计算联盟意大利CINECA的Leonardo系统，排名第四。该机器由3,000多个Nvidia HGX节点构成，每个节点有4个Nvidia A100 GPU和1个Intel Lake CPU，HPL计算性能达到0.174Exaflop/s。这台具有1,463,616个内核的水冷系统，其节点间通过Nvidia Mellanox HDR 200Gb/s InfiniBand进行互联。

本届TOP500榜单有41个新系统，新系统中有27个Lenovo系统，其中大部分是云/超大规模系统。此次，中国有2台Lenovo制造的新系统进入TOP500，。

目前，TOP500系统的综合性能从6个月前的4.40Exaflop/s上升到了现在的4.86Exaflop/s，每台系统的平均并行规模由6个月前的182,864内核上升到了现在的189,586内核。

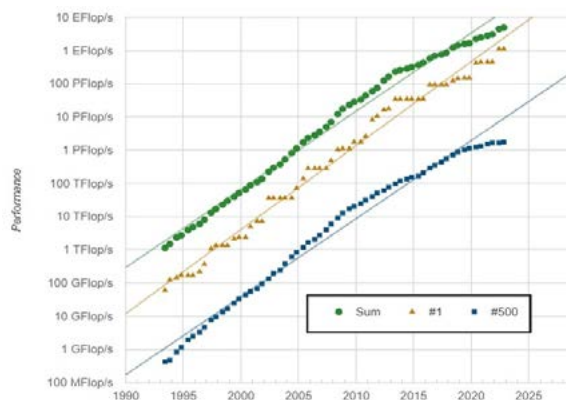


图1 历年TOP500性能发展情况

2. TOP10情况介绍

#1：Frontier，部署于美国田纳西州橡树岭国家实验室。

这台HPE Cray EX系统是美国第一台在HPL基准测试中计算性能超过1Exaflop/s的超级计算机，由DOE（Department of Energy，美国能源部）运营。

目前，Frontier拥有8,730,112个内核，性能达到1.102Exaflop/s。该系统基于HPE Cray EX架构，配置有经过优化的适用于HPC和AI的第三代AMD EPYC处理器和AMD Instinct 250X加速器，节点之间通过Slingshot-10 互联。

#2：Fugaku，部署于日本理化学研究所计算科学中心。

Fugaku拥有7,630,848个内核，HPL基准测试性能达到442Pflop/s。

#3：升级后的LUMI，部署于欧洲高性能计算联盟芬兰科学信息技术中心。

目前，LUMI性能为309.1Pflop/s，同样采用HPE Cray EX235a架构。欧洲高性能计算联盟汇聚欧洲资源，以开发用于处理大数据的E级计算机。

#4：Leonardo，部署于欧洲高性能计算联盟意大利CINECA中心。

Leonardo是一台Atos BullSequana XH2000系统，以Xeon Platinum 8358 32C 2.6Hz为主处理器，NVIDIA A100 SXM4 40 GB作为加速器，Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband为互连网络，性能为174.7Pflop/s。

#5：Summit，部署于美国田纳西州橡树岭国家实验室。

Summit由IBM构建，性能为148.8Pflop/s。Summit拥有4,356个节点，每个节点包含两个Power9 CPU，每个CPU有22个内核和六个NVIDIA Tesla V100 GPU，每个GPU具有80个流式多处理器（SM，streaming

multiprocessor）。这些节点通过 Mellanox 双轨EDR InfiniBand网络连接在一起。

#6：Sierra，部署于美国加利福尼亚州劳伦斯利弗莫尔国家实验室。

Sierra架构与No.4系统Summit非常相似。Sierra由 4,320个节点构成，每个节点具有两个Power9 CPU和四个 NVIDIA Tesla V100 GPU。Sierra性能达到了94.6Pflop/s。

#7：Sunway TaihuLight，部署于中国江苏省国家超级计算无锡中心。

Sunway TaihuLight由中国国家并行计算机工程与技术研究中心研制，性能达到93Pflop/s。

#8：Perlmutter，部署于美国劳伦斯伯克利国家实验室。

Perlmutter是基于HPE Cray “Shasta” 平台的异构系统，其配置了AMD EPYC节点和NVIDIA A100加速节点，性能达到了64.6Pflop/s。

#9：Selene，部署于美国NVIDIA公司内部。

Selene是NVIDIA DGX A100 SuperPOD系统，基于AMD EPYC处理器，采用NVIDIA A100加速，Mellanox HDR InfiniBand作为互连网络，性能达到63.4 Pflop/s。

#10：Tianhe-2A (Milky Way-2A)，部署于中国广东省国家超级计算广州中心。

Tianhe-2A由中国国防科技大学研制，性能达到61.4 Pflop/s。

表1 TOP10系统及配置信息

排名	国家	计算机名	系统配置	核心数 (个)	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	power (kW)	制造商
1	美国	Frontier	HPE Cray EX235a、优化的第三代AMD EPYC 64C 2GHz、AMD Instinct MI250X、Slingshot-11	8,730,112	1,102	1,685.65	21,100	HPE
2	日本	Fugaku	A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D	7,630,848	442.01	537.21	29,899	Fujitsu
3	芬兰	LUMI	HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11	2,220,288	309.10	428.70	6,016	HPE
4	意大利	Leonardo	BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband	1,463,616	174.70	255.75	5,610	Atos
5	美国	Summit	IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband	2,414,592	148.60	200.79	10,096	IBM
6	美国	Sierra	IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband	1,572,480	94.64	125.71	7,438	IBM / NVIDIA / Mellanox
7	中国	Sunway TaihuLight	Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway	10,649,600	93.01	125.44	15,371	NRCPC

8	美国	Perlmutter	HPE Cray EX235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-10	761,856	70.87	93.75	2,589	HPE
9	美国	Selene	NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR Infiniband	555,520	63.46	79.22	2,646	Nvidia
10	中国	Tianhe-2A	- TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000	4,981,760	61.44	100.68	18,482	NUDT

3. TOP500排名分析

3.1 装机总量

中国和美国在TOP500中占据的席位最多，其中美国有126台机器，中国则从上一届的173台减少为162台。在TOP500榜单中，中国 and 美国的装机量接近2/3，但很明显，其他国家正在努力实现自己的HPC创新。事实上，从整个大陆来看，欧洲在TOP500中占据131席，而在上一届榜单中他们的席位是118台。

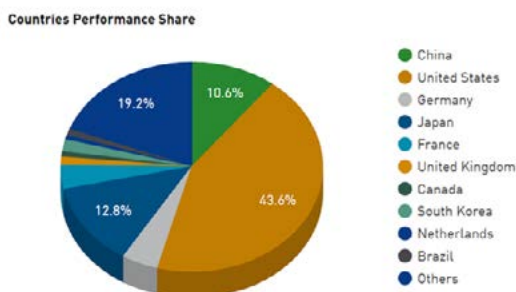


图1 TOP500各国装机量份额图

3.2 处理器

Intel仍然是TOP500系统中最大的处理器厂商，占有率达到75.80%，相较于6个月前的77.60%有所下降。Xeon芯片在TOP500系统中应用普遍，最新入榜的Leonardo采用的就是Xeon Platinum处理器。

AMD处理器也是受欢迎的HPC系统芯片，其占有率从6个月前的18.60%上升到如今的20.20%。TOP500系统中有101个系统采用AMD处理器，例如排名第一的Frontier和排名第三的LUMI。

3.3 加速器/协处理器

在TOP500榜单中，总计有179个系统使用了加速器/协处理器技术，相较于6个月前的169个系统有所上升。这些系统中的84个系统采用NVIDIA Volta芯片，64个系统采用NVIDIA Ampere。

3.4 互连网络

与上一届榜单相比，互连网络略有变化。采用Ethernet互连网络的机器从226台增加到233台，采用Infiniband的机器从196台减少为194台，采用Omnipath的机器从40台减少为36台，采用专有网络的机器从6台减少为4台。

3.5 榜单准入门槛

TOP500的准入门槛提升到了1.73Pflop/s HPL计算性能，本届第500名系统在上一期TOP500排名中位列第460名。TOP100的准入门槛更是提升到了5.78Pflop/s HPL计算性能。

4. 其他排名介绍

4.1 Green500排名

Green500榜单也是每年发布2次，基于LinPack基准测试模型计算出的系统能效，评选出最节能的超级计算机系统。相比TOP500，Green500更加重视超级计算机的能耗问题，而不仅仅追求运算速度。

Henri在Green500排名中位列第一。Henri部署于美国Flatiron研究所，基于Lenovo ThinkSystem SR670，配备Intel Xeon Platinum、Nvidia H100和InfiniBand HDR。尽管在TOP500中排名第405位，但是Henri在能效方面表现出色，其能效为65.09GFlops/Watts，拥有5,920核心，HPL基准测试性能为2.04PFlop/s，理论峰值为5.42PFlop/s。

Frontier TDS (Frontier Test & Development System) 在Green500排名中获得了第二名。Frontier TDS部署于美国ORNL，其能效为62.68GFlops/Watts，总计有120,832核心，HPL基准测试性能为19.2PFlops/s，在TOP500中排名第32位。鉴于Frontier TDS只是一个机架，与实际Frontier系统使用的机架相同，因此有理由相信该机器要比排名第一的Henri系统强大。

Adastra系统获得了Green500的第三名。Adastra部署于法国GENCI-CINES，是一台HPE Cray Ex235a系统，配备AMD EPYC和AMD Instinct MI250X芯片，其能效为58.02GFlops/Watts，HPL基准测试性能为

46.1PFlops/s，在TOP500中排名第11位。

Frontier风格系统在Green500中表现出色。在上一届榜单中，该类系统Frontier TDS、Frontier、LUMI和Adastra占据了前四的位置，它们都是由HPE构建，同样配备 AMD Epyc “Milan” CPU、AMD Instinct

MI250X GPU和Slingshot 11网络。今年，这类系统中加入了采用类似架构的 Pawsey's Setonix GPU分区和KTH's Dardel GPU分区。在本届榜单中，Frontier TDS、Adastra、Setonix GPU、Dardel GPU、Frontier和LUMI分列第2到第7位。

表2 Green10系统及配置信息

排名	国家	计算机名	系统配置及制造商	核心数 (个)	Rmax (TFlos/s)	Power (kW)	能效 (GFlops/watts)	TOP500 排名
1	美国	Henri	Lenovo ThinkSystem SR670 V2, Intel Xeon Platinum 8362 2800Mhz (32C), NVIDIA H100 80GB PCIe, Infiniband HDR Lenovo	5,920	2.04	31	65.091	405
2	美国	Frontier TDS	HPE Cray EX235a、优化的第三代 AMD EPYC 64C 2GHz、AMD Instinct MI250X、Slingshot-11 HPE	120,832	19,20	309	62.684	32
3	法国	Adastra	HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 HPE	319,072	46.10	921	58.021	11
4	澳大利亚	Setonix- GPU	GPU - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 HPE	181,248	27.16	477	56.983	15
5	瑞典	Dardel GPU	HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 HPE	52,864	8.26	146	56.491	68
6	美国	Frontier	HPE Cray EX235a、优化的第三代 AMD EPYC 64C 2GHz、AMD Instinct MI250X、Slingshot-11 HPE	8,730,112	1,102.00	21,100	52.277	1
7	芬兰	LUMI	HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 HPE	2,220,288	309.10	6,016	51.382	3
8	法国	ATOS THX-.A.B	BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband Atos	25,056	3.50	86	41.411	159
9	日本	MN-3	MN-Core Server, Xeon Platinum 8260M 24C 2.4GHz, Preferred Networks MN-Core, MN-Core DirectConnect Preferred Networks	1,664	2.18	53	40.901	359
10	法国	Champollion	Apollo 6500, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 80 GB, Mellanox HDR Infiniband HPE	19,840	2.32	60	38.555	331

4.2 HPCG500排名

HPCG (High Performance Conjugate Gradient , 高度共轭梯度基准测试) 采用共轭梯度法求解大型稀

疏矩阵方程组，用于衡量超级计算机解决大规模稀疏线性系统等实际问题的能力。众所周知，HPL是计算密集型的，而HPCG是数据传输基准测试，对系统

内存、网络延迟要求相对更高。HPCG旨在补充HPL基准测试，提供评估超级计算机性能的替代指标，帮助人们更全面的了解机器。

Fugaku在HPCG500排名中继续位列第一位，

其HPCG基准测试性能为16.0PFlop/s，比峰值的3%略多。Frontier以14.054PFlop/s HPCG性能（峰值的0.8%）排名第二，升级后的LUMI以3.408PFlop/s排名第三。

表3 HPCG10系统及配置信息

排名	国家	计算机名	系统配置及制造商	核心数 (个)	Rmax (TFlops/s)	HPCG (TFlops/s)	TOP500 排名
1	日本	Fugaku	A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D Fujitsu	7,630,848	442.01	16004.50	2
2	美国	Frontier	HPE Cray EX235a、优化的第三代AMD EPYC 64C 2GHz、 AMD Instinct MI250X、 Slingshot-11 HPE	8,730,112	1,102.00	14054.00	1
3	芬兰	LUMI	HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11 HPE	2,220,288	309.10	3408.47	3
4	美国	Summit	IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM	2,414,592	148.60	2925.75	5
5	意大利	Leonardo	BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband Atos	1,463,616	174.70	2566.75	4
6	美国	Perlmutter	HPE Cray EX235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-10 HPE	761,856	70.87	1905.44	8
7	美国	Sierra	IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband BM / NVIDIA / Mellanox	1,572,480	94.64	1795.67	6
8	美国	Selene	NVIDIA DGX A100, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR Infiniband Nvidia	555,520	63.46	1622.51	9
9	德国	JUWELS Booster Module	Bull Sequana XH2000 , AMD EPYC 7402 24C 2.8GHz, NVIDIA A100, Mellanox HDR InfiniBand/ParTec ParaStation ClusterSuite Atos	449,280	44.12	1275.36	12
10	沙特阿拉伯	Dammam-7	Cray CS-Storm, Xeon Gold 6248 20C 2.5GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, InfiniBand HDR 100 , HPE	672,520	22.40	881.40	21

4.3 HPL-MxP排名

HPL-MxP（以前称为HPL-AI）用于评测超级计算机的混合精度计算性能，利用现代硬件的新型混合精度算法求解线性方程组，强调高性能计算（HPC）和基于机器学习及深度学习的人工智能

（AI）工作负载的融合。传统HPC使用64位浮点运算，如今的硬件则提供多级别的浮点运算精度，例如32位、16位甚至是8位。HPL-MxP基准测试表明在计算期间使用混合精度可以获得更高的性能，并且与直接64位精度相比，混合精度技术通过数学方法

表4 HPL - MxP排名前5系统及配置信息

排名	国家	计算机名	核心数 (个)	HPL - MxP (Eflop/s)	HPL Rmax (Eflops/s)	HPL - Mxp相对 HPL加速	TOP500 排名
1	美国	Frontier	8,730,112	7.942	1.1020	7.2	1
2	芬兰	LUMI	2,174,976	2.168	0.3091	7.0	3
3	日本	Fugaku	7,630,848	2.000	0.4420	4.5	2
4	意大利	Leonardo	1,463,616	1.842	0.1682	11.0	4
5	美国	Summit	2,414,592	1.411	0.1486	9.5	5

可以计算相同的精度。

在HPL - MxP基准测试中，Frontier性能达到了7.9EFlop/s，排名第一。LUMI以2.2Eflop/s排名第二，Fugaku以2.0EFlop/s排名第三。HPL - MxP排名前五的系统如表4。

5. 小结

TOP500榜单始于1993年，是对全球已安装超级计算机进行排名的知名榜单，每半年发布一次。在2022年11月发布的榜单中，Frontier继续位于榜首，中国则有2台超级计算机进入前10。

发展至今，TOP500对超级计算机的评价更为全面。TOP500最初使用Linpack程序对超级计算机进行基准测试，取前500个最优秀系统进行排名并对外公布。如今的榜单则包括了高性能共轭梯度（HPCG）

等基准测试结果，并且Green500项目的数据收集和管理已与TOP500项目整合。相比TOP500，Green500更加重视超级计算机的能耗问题，而不仅仅追求运算速度。在云和超大规模的发展趋势下，超级计算机需要计算性能和绿色节能兼备，才能更好地掌握HPC领域的主动权。

从TOP500看，由CPU和加速器共同组成的异构算力是上榜计算机的主流选项，加速器/协处理器技术的应用越来越普遍。异构多元算力是超级计算机在从传统的高性能计算向HPC与AI并重转变的具体体现，揭示了当今超级计算机的应用领域不仅仅是高性能计算，还涵盖了人工智能以及其他更为广泛的领域，并且具有研究与商业兼具的特点。可见，应用领域的拓展影响着超级计算机的发展，二者相辅相成。

参考文献：

[1] TOP500，<https://www.top500.org>

[2] HPCwire，<https://www.hpcwire.com>