

ISSN 2096-742X
CN 10-1649/TP

文献DOI:

10.11871/jfdc.issn.
2096-742X.2020.
01.002

文献PID:

21.86101.2/jfdc.
2096-742X.2020.
01.002

页码: 18-26

开放科学标识码
(OSID)

2019年中国高性能计算机发展现状 分析与展望

张云泉¹, 袁良^{1*}, 袁国兴², 李希代¹

1. 中国科学院计算技术研究所, 计算机体系结构国家重点实验室, 北京 100190

2. 北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088

摘要: 【目的】本文根据2019年11月发布的中国高性能计算机TOP100排行榜的数据, 对国内高性能计算机的发展现状从总体性能、制造商、行业领域等方面进行了深入分析。【结果】中国TOP100的平均Linpack性能继续保持比国际TOP500平均Linpack性能高的局面, 且TOP100的入门性能门槛仍然超过TOP500。中国TOP100上的超级计算系统依然全部都是国产超算系统, 曙光和联想并列为数量冠军, 曙光、联想和浪潮三强争霸的局面继续保持和加强。【结论】在此基础上, 本文根据十八届排行榜的性能数据, 对未来中国大陆高性能计算机的发展趋势进行了分析预测。根据新的数据, 我们认为: 峰值Exaflops的机器将在2020年到2021年间出现; 峰值10Exaflops的机器将在2022年到2023年间出现; 峰值100Exaflops的机器将在2024年到2025年间出现。

关键词: 高性能计算机; TOP100; 排行榜; 性能; 分析

State-of-the-Art Analysis and Perspectives of China HPC Development in 2019

Zhang Yunquan¹, Yuan Liang^{1*}, Yuan Guoxing², Li Xidai¹

1. State Key Laboratory of Computer Architecture, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China

Abstract: [Objective] Based on the data of China's high performance computer TOP100 rankings published in November 2019, this paper makes an in-depth analysis of the current development status of high performance computers in China from the overall performance, manufacturers, industry status and many other aspects. [Results] The average Linpack performance of TOP100 in China continues to be higher than those of the international TOP500, and the threshold for entry performance of TOP100 still exceeds that of TOP500. China's supercomputing systems on

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFB0200803); 中国科学院战略性先导科技专项(C类)资助(XDC01040100); 国家自然科学基金(61432018, 61521092, 61602443); 北京自然科学基金(L182053); 中科院高效空间天气预报模式科技创新交叉与合作团队

*通讯作者: 袁良 (E-mail: yuanliang@ict.ac.cn)

TOP100 are mostly domestic supercomputer systems designed by Sugon and Lenovo, the tied champion on the number of systems on Top100. The situation of the three strong hegemonies of Sugon, Lenovo and Inspur continues will be maintained and strengthened in the near future. On the basis of this, according to the performance data of the eighteenth ranking list, this paper analyzes and predicts the development trend of high-performance computers in China. **[Conclusions]** According to the new data, we believe that machines with peak Exa-flops will appear between 2020 and 2021; machines with peaks of 10 Exa-flops will appear between 2022 and 2023; machines with peaks of 100 Exa-flops will appear between 2024 and 2025.

Keywords: high performance computer; TOP100; ranking; performance; analysis

背景

在国际上, 自 1993 年起每年都会按 Linpack 的测试性能公布在世界范围内已安装的前 500 台高性能计算机排行^[1], 成为高性能计算机研制生产、市场发展、应用交流和趋势分析预测的重要参考。在 2002 年之前, 我国的高性能计算机未曾向国际申报 Linpack 性能测试结果, 故而未列入国际 TOP500 排行榜。在中国软件行业协会数学软件分会发布首次中国高性能计算机排行榜的 2002 年当年, 就实现了零的突破。在中国 TOP50 排行榜中名列第一的联想深腾 1800 万亿次机群名列 2002 年世界 TOP500 第 43 名, 结束了在世界 TOP500 排行榜没有国产高性能计算机的历史。2003 年, 在中国 TOP100 排行榜中名列第一的联想深腾 6800 万亿次机群名列 2003 年世界 TOP500 第 14 名, 达到了国产高性能计算机的历史新高。2004 年, 在中国 TOP100 排行榜中名列第一的曙光 4000A 更是取得了 6 月份 TOP500 排行榜世界第十的历史性突破, 引起世界关注。2010 年 9 月发布的国产天河一号 A 千万亿次超级计算机通过采用先进的 CPU+GP GPU 的异构混合加速体系架构, 以 2.56PFlops 的 Linpack 性能夺取 2010 年 11 月国际 TOP500 排行榜的第一名, 是中国国产超级计算机首次夺得世界冠军; 我国安装的超级计算机的上榜数量也首次超越日本和欧盟, 排名世界第

二, 仅次于美国, 标志着我国超级计算机硬件的研制水平达到国际领先水平。2013 年, 我国的高性能计算机科研工作者戒骄戒躁, 刻苦攻关, 勇攀高峰, 于 2013 年 6 月凭借由国防科大研制的天河二号超级计算机, 再次夺取世界 TOP500 第一名。迄今为止, 中国研制的天河系列超级计算机已经七次夺取世界第一, 天河二号更是取得了六连冠的辉煌成绩, 牢牢站稳了中国在世界 TOP500 超级计算机冠军俱乐部中的位置。安装在中国大陆的超算系统在 2016 年 6 月和 11 月的 TOP500 上的数量再创历史记录, 6 月份在历史上首次超过美国, 排名世界第一且 11 月份继续保持与美国持平; 而联想生产的超算系统上榜数更是历史性的首次闯入世界前二强, 仅仅排在第一名美国 HPE 之后。中国的超算系统研制水平和能力经过十多年的快速发展, 已经跻身世界先进水平的行列。2016 年, 中国超级计算系统不仅连续八次夺取 TOP500 世界第一, 连续两次夺取 TOP500 数量冠军, 更是在 SC2016 年首次获得戈登贝尔奖。更为可喜的是, 中国科技大学由安虹教授带领的大学生团队更是代表中国一举夺得世界大学生集群大赛的 Linpack 单项冠军和总冠军, 2016 年对于中国超算界来说, 可以骄傲的称之为“中国超算大满贯年”。2017 年, 中国超级计算系统继续保持上升势头, 太湖之光继续领跑, 与“天河二号”一起连续五年共十次夺取 TOP500 世界第一, 创下新的历史记录。中

国团队在 SC2017 年再次获得戈登贝尔奖。2018 年 11 月公布的 TOP500 榜单中, 我国以 227 台数量远超第二名美国的 109 台。我国联想制造的超算系统达到 140 台, 位列厂商第一, 浪潮和曙光分别以 84 台和 57 台位列二三名, 三家厂商占据 281 台超过一半, 出口 54 台。2019 年 11 月公布的 TOP500 排行榜中, 我国继续以 228 台数量远超第二名美国的 117 台, 其中联想达到 174 台, 较之去年又有大幅提升, 曙光和浪潮以 71 和 66 台位居二三位, 三家单位合计 311 台, 这充分说明了我国超算发展已经牢牢占据领先地位。TOP500 超级计算系统作为计算科学的必备基础设施, 已经成为国家之间的战略必争点和创新转型的利器, 各国都投入巨资争夺世界制高点, 以超级计算机系统为核心的算力经济时代已经到来。经过三十年的快速发展, 中国研制超算系统的能力

已经跻身世界先进水平的行列。美国虽然仍是世界超算的强国, 但是其在 TOP500 上的数量已经降低到不足 25% 的份额, 难以恢复二十年前独霸世界 TOP500 70% 系统的盛况。

此次测评按国际惯例选用 Linpack 测试(HPL)^[2], 2008 年 9 月底发布最新的 2.0 版本。本文给出对中国计算机学会高性能计算专委会于 2019 年 11 月发布的中国高性能计算机性能 TOP100 排行榜^[3]数据的深入分析与展望。文中的图表数据主要来源于中国 HPC TOP100。以下将中国 HPC TOP100 简称中国 TOP100^[3-7]。

1 总体性能分析

本节图 1 和表 1 分别给出的是中国 TOP100 的总体性能发展趋势图以及 TOP10 计算机情况的列表。

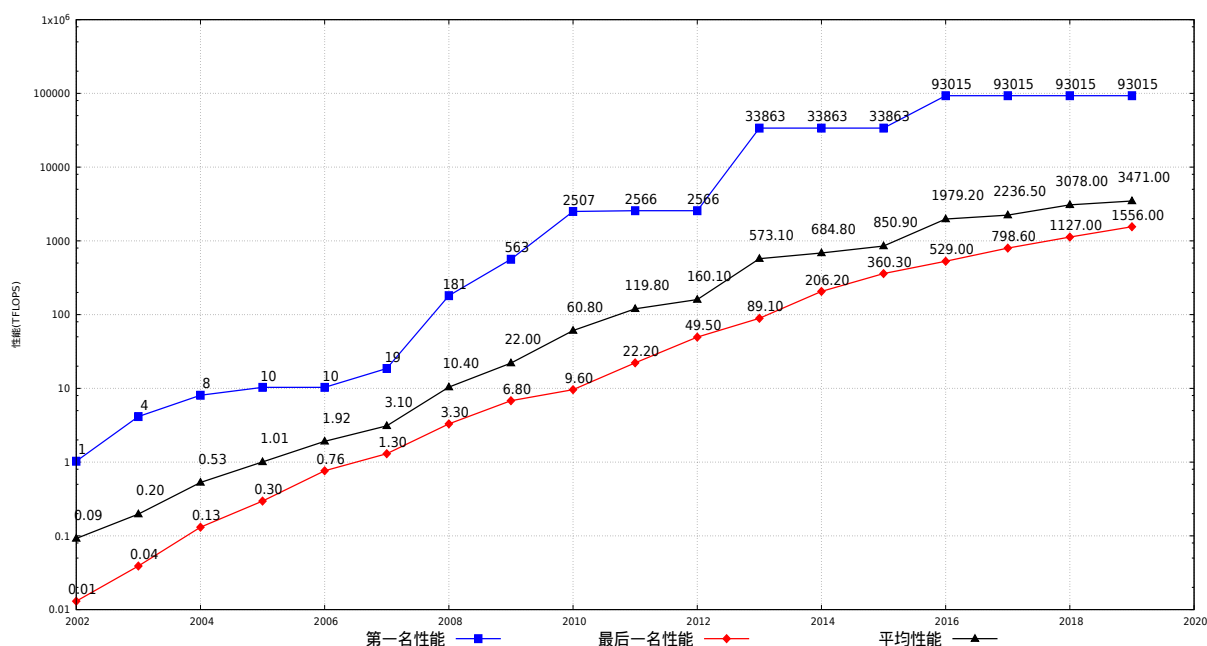


图 1 中国高性能计算机年度性能发展趋势 (2002-2019)

Fig.1 The performance trend of HPC TOP 100 (2002-2019)

表 1 中国 TOP100 排行榜 TOP10 (2019.11)

Table 1 The top 10 systems (2019.11)

序号	系统/型号	研制厂商/单位	安装地点	应用领域	Linpack值 (Tflops)	峰值 (Tflops)
1	神威·太湖之光,40960*Sunway SW26010 260C 1.45GHz,自主网络	国家并行计算机工 程技术研究中心	国家超级计算 无锡中心	超算中心	93,015	125,436
2	天河二号升级系统(Tianhe-2A),TH- IVB-MTX Cluster + 35584*Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz+35584*Matrix- 2000,TH Express-2	国防科大	国家超级计算 广州中心	超算中心	61,445	100,679
3	深腾8800系列,3800*Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5GHz,25GbE	联想	网络公司	互联网/大数据	3,089	6,080
4	深腾8800系列,3680*Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5GHz,25GbE	联想	网络公司	互联网/大数据	2,994	5,888
5	深腾8800系列,3600*Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5GHz,25GbE	联想	网络公司	互联网/云计算	2,932	5,760
6	深腾8800系列,3400*Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5GHz,25GbE	联想	网络公司	互联网/视频	2,780	5,440
7	深腾8800系列,612*Intel Xeon Gold 6240 18C 2.6GHz,EDR	联想	信息中心	科学计算	2,745	5,201
8	深腾8800系列,3200*Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5GHz,25GbE	联想	网络公司	互联网/云计算	2,621	5,120
9	天河一号A,14336*Intel Hexa Core Xeon X5670 6C 2.93GHz,私有高速网络80Gb	国防科大	国家超级计算 天津中心	超算中心	2,566	4,701
10	神威E级原型原型系统,1024*SW26010+ 260C 1.5GHz,SW-Net	国家并行计算机工 程技术研究中心	国家超级计算 济南中心	超算中心	2,556	3,130

和 2019 年 11 月发布的世界 TOP500 高性能计算机的情况相比较, 可以看到:

(1) 2019 年 11 月世界 TOP500 总 Linpack 性能达到了 1646PFlops, 是 2018 年 1414 PFlops 的 1.16 倍, 增速较之去年的 1.67 倍有较大幅度降低; 根据 2019 年中国 TOP100 排行榜的数据, 中国 TOP100 的总 Linpack 性能是 347.1PFlops, 是 2018 年 307.8PFlops 的 1.13 倍, 增速从去年的 1.37 倍速降低到 1.13 倍速。这说明世界超级计算的发展速度有所降低。

中国研制的“神威·太湖之光”超级计算

机, 以 93PFlops 的 Linpack 性能, 蝉联了四次世界 TOP500 冠军, 使得中国研制的国产超级计算机在世界 TOP500 的冠军位置上保持的次数达到了历史性的十次! 2018 年美国制造的两台超算系统 Summit 和 Sierra 超过神威太湖之光, 其中 Summit 峰值达到 200PFlops, Linpack 性能首次突破百 P 达到 143PFlops, Sierra 仅以微弱优势超越神威太湖之光获得亚军。2019 年神威太湖之光依然继续保持世界季军的位置。

(2) 进入 2019 年 11 月份, 世界 TOP500 机

器的 Linpack 性能都超过了 1142Tflops; 进入 2019 年, 中国 TOP100 机器的 Linpack 性能都超过了 1556TFlops, 中国排行榜的上榜门槛再次超过世界 TOP500。中国 TOP100 中有 98 个系统是机群, 机群体系架构的数量继续保持绝对数量优势。其中采用异构加速体系架构的机器数量达到了 27 套, 且由过去的集中在前几名和比较大的机器, 变为分散在 TOP100 中, 这样的变化表明随着深度学习等大数据应用的普及, GPU 加速的异构体系结构获得了更广泛的应用。

(3) 世界 TOP500 中 TOP 10 的最低性能都超过 18PFlops; 其中 2 台由 Cray 公司制造, IBM 为 3 台, 国家并行计算机工程中心、国防科大、日本富士通公司、联想和 DELL 各 1 台。高端能力超算 (TOP10) 的研制呈现出几家独大的局面, 中美日欧都在积极占领制高点, 且都发布了 2021 年左右的 E 级超级计算机研制计划, 抢占下一个制高点。中国 TOP100 中, TOP 10 的最低性能大于 2.56Pflops, 其中国防科大 4 台、神威 2 台、联想 6 台。

(4) 世界 TOP500 上的 474 套系统使用 Intel 处理器, 依然保持 94.8% 的高比例。采用异构加速体系架构的系统数量再次上升, 从 2018 年的 138 套上升到 145 套。中国 TOP100 的趋势与 TOP500 一致, 2019 年有 27 套系统采用了 GPU/MIC 加速, 与 2018 年的 30 套基本持平, 其中主要归因于深度学习算法在互联网公司的成功应用, 使得 CPU+GPU 的异构加速集群成为当前互联网公司进行 AI 训练的首选体系架构。

(5) 亚洲国家在世界 TOP500 上的机器数量继续保持较高占比, 从去年的 276 台降为 274 台。排行榜中有来自中国大陆的 228 套系统, 总数排世界第一。虽然中国上榜的数量排名世界第一, 但我们应该清醒的认识到, 其中大部分的机器并非应用在传统的科学计算应用, 而是新兴的互联网云计算和大数据应用。

(6) 目前中国 TOP100 排行榜中机器的平均

Linpack 性能 3.47Pflops, 是 2018 年 3.07Pflops 的 1.13 倍, 增速有所降低。2019 年国际 TOP500 排行榜中机器的平均 Linpack 性能为 3.29Pflops, 国内和国际排行榜的平均性能双双首次超过 3.2Pflops。我国发布的“神威·太湖之光”和天河二号两台超级计算机的 Linpack 性能就占到了中国 TOP100 的总性能的接近一半! 如何用好“神威·太湖之光”和“天河 2 号”, 发挥其巨大的计算能力, 做好中国的超级计算应用软件和系统, 成为未来 2~3 年中国超级计算行业面临的挑战性问题。

2 制造商分析

我们在图 2 中给出了中国 TOP100 制造商的上榜机器数量份额图。

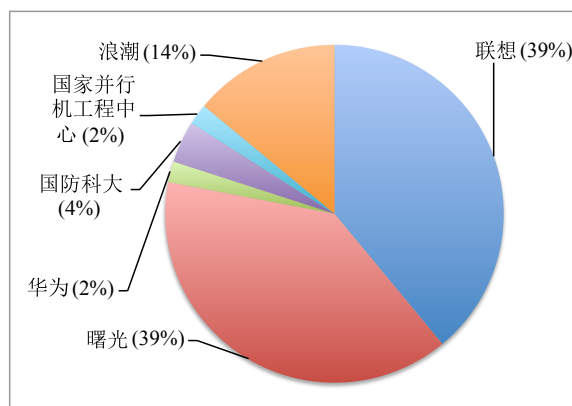


图 2 中国 TOP100 制造商机器数量份额图 (2019.11)

Fig.2 Vendors system share (2019.11)

2019 年中国 TOP100 排行榜上厂商的上榜机器数量份额与去年类似, 国外厂商制造的机器数量不再出现在榜单中, 这说明国产超算在国内市场已经占据绝对主导地位。国产机器的市场份额主要被曙光、联想和浪潮三家瓜分, 曙光和联想今年并行第一, 浪潮以 14 台位列第三。值得一提的是, 本年度 DELL 公司提交一台安装在武汉大学超算中心的异构系统, 但是 Linpack 性能为 1403TFlops, 未能上榜。

图 3 给出的是从 2002 年到 2019 年中国 TOP100 国内外厂商系统份额的趋势变化情况。

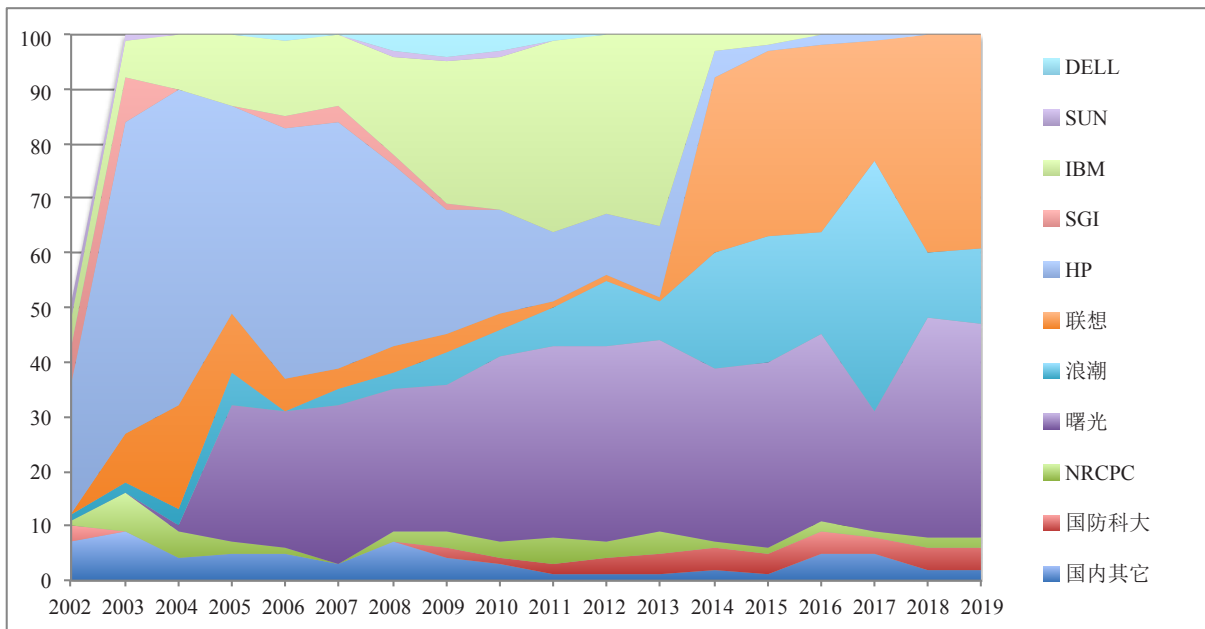


图3 中国 TOP100 国内外厂商系统份额趋势 (2002 - 2019)

Fig.3 Trend of the Vendors system share (2002 - 2019)

从装机数量上，前三名分别是曙光（39%）和联想（39%）并列第一，失去连续保持三年的第一名宝座的浪潮（14%）位列第三。华为公司作为 HPC 厂商继续出现在 2019 年的 TOP100 上，并继续占据 2% 的份额。浪潮、曙光和联想公司虽然夺得机器总数量的前三名，且总数量达到惊人的 92 台，但其机器总性能远低于神威和国防科大的机器性能总和，说明其机器规模仍然属于中小规模。浪潮公司在曙光和联想的激烈竞争之下，失去了其去年数量份额第一名的传奇，作为第一家以 HPC 为主营业务上市的高科技厂商，如何在上市后，能够继续保持主业的竞争优势而不迷失，成为一个值得思考的问题。在三强大战中，如何重新夺取领先的位置，值得引起浪潮高层的反思。联想公司通过对 IBM 公司 X86 HPC 产品线的并购，第六次在机器数量份额上取得与曙光并列的成绩，但是如何保持良好的发展势头并持续大力投入，是联想公司需要解决的问题。目前的中国超算市场初步形成了浪潮、曙光和联想三足鼎立的格局，且占据 90% 以上的份额，国外厂

商在 HPC 领域已经淡出中国市场。国产厂商在逐渐获得国内市场的垄断优势之后，开始纷纷布局国际市场，开启国际化的征程，其中的华为和联想公司，因为本身公司已经是跨国公司，具备先发优势。而浪潮公司和曙光公司 2018 年在国际市场也开始有所斩获，传出好消息。从 TOP500 数据看，我国以 228 台数量远超第二名美国的 117 台。联想制造的超算系统达到 175 台，位列厂商第一，曙光和浪潮分别以 71 台和 66 台位列二三名，三家厂商占据 312 台超过一半，出口 84 台。这充分说明了我国超算发展已经牢牢占据领先地位，超级计算系统会成为中国继高铁之后，另外一个可以出口的中国制造高科技产品。

3 行业领域分析

为便于分析，我们在图 4 给出了 2019 年中国 TOP100 中的行业应用领域系统数量份额图。

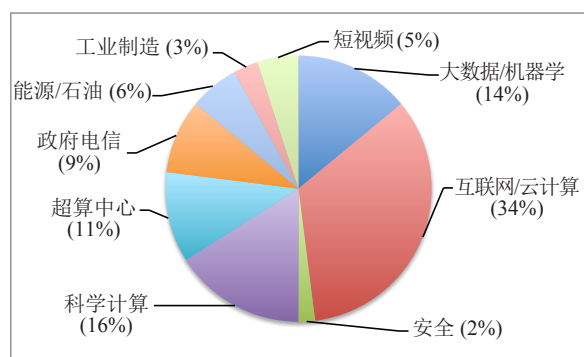


图 4 中国 TOP100 行业应用领域机器系统份额图 (2019.11)

Fig.4 Area system share (2019.11)

从 2019 年 11 月发布的中国 TOP100 的行业应用领域来看, 2019 年国内高性能计算主要分布在互联网大数据 / 深度学习、互联网 / 云计算、网络安全、科学计算、超算中心、政府电信、能源石油、工业制造和短视频九个领域, 领域数量比去年多一个短视频。互联网大数据 / 深度学习占比较之去年的 27% 下降为 14%, 而互联网 / 云计算占比 34% 成为份额排名第一的领域。这与中国互联网公司的云计算应用快速崛起和大数据中的深度学习算法的广泛应用有很大关系, 互联网公司通过深度学习算法重新发现了超级计算机特别是 GPU 加速的异构超级计算机的价值, 纷纷投入巨资建设新系统。国内的几

大主要应用领域是互联网大数据 / 深度学习、互联网服务 / 云计算、科学计算和超算中心等。国内最为突出的特点是互联网服务云计算和大数据应用特别是深度学习应用异军突起, 两者的份额之和超过 48%, 较之去年的 47% 基本持平。

综合来看, 目前的互联网大数据 / 深度学习、互联网服务 / 云计算、科学计算、超算中心等领域是高性能计算的主要用户。互联网大数据特别是 AI 领域增长强劲。

根据历年积累的数据, 我们在图 5 中给出了中国 TOP100 从 2002 年到 2019 年的应用领域趋势图。

4 展望

综合从 2002 年开始的中国大陆高性能计算机 TOP100 排行榜的第一名 Linpack 性能、第一名峰值性能和总性能, 我们得到了图 1 中的中国高性能计算机性能发展趋势图 (2002-2019)。从图中的数据可以看出, 中国高性能计算机的研制和生产也是有一定规律的。我们可以看到, 从 2002 年到 2005 年, 中国超算的发展经历了一次快速发展期, 这个发展期维持到 2005 年 (4 年), 然后在 2005 年开始进入一个平稳发展期。而 2007 年排行榜第一名性能的小幅增长, 是

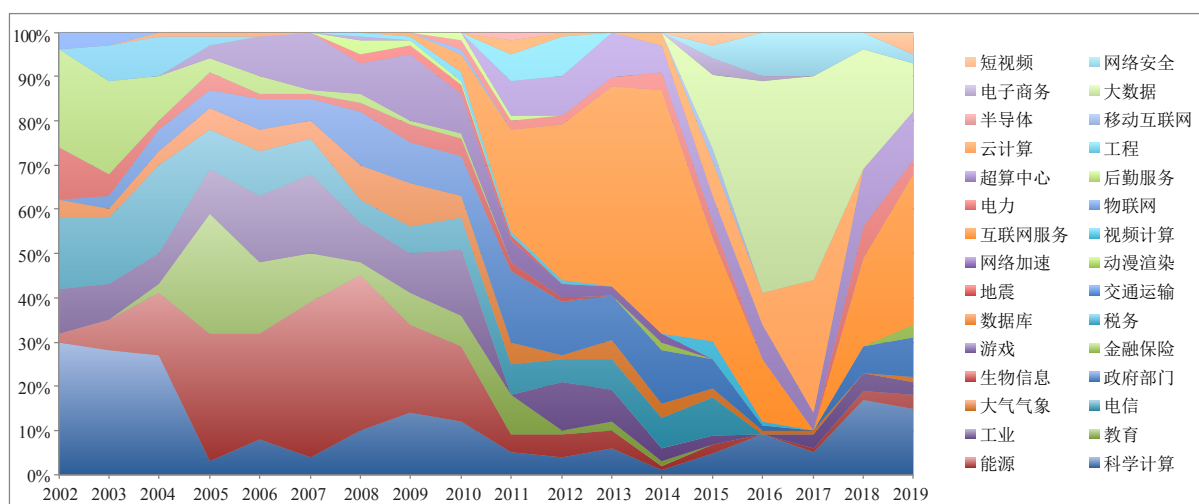


图 5 中国 TOP100 应用领域趋势 (2002-2019)

Fig.5 Trend of Area system share (2002 - 2019)

一个信号,说明大陆地区开始走出平稳发展期,进入新一轮快速发展期。2008 年百万亿次机器的出现,证实了我们的观察。2009 年千万亿次天河一号的提前横空出世,颠覆了我们之前的 2010 年底或 2011 年初发布峰值千万亿次国产机器的预言。2010 年 11 月,天河一号 A 登顶世界 TOP500 第一名,将作为这个从 2008 年开始的超算发展活跃期的一个休止符。直到 2012 年天河一号 A 再夺国内 TOP100 第一,标志着我国超算的研制仍然维持在平稳发展期,这个周期在 2013 年被天河 2 号的出现结束。2013 年 6 月,天河 2 号帮助中国再夺世界第一且连续六次蝉联世界第一和连续三次蝉联中国 TOP100 第一,说明中国超算发展在短暂进入活跃期后,再次进入平稳发展期。这个平稳发展期本来应该在 2015 年结束,但是由于限售时间的影响,而推迟到 2016 年结束。果然,中国超算在 2016 年以超算排行榜连续第八次夺取冠军、首次获得总数量第一名且总性能几乎与美国持平、国产超算应用在国产神威太湖之光超级计算机获得戈登贝尔奖和中国科技大学大学生团队在美国 SC 大会比赛获得单项和总冠军等最强音,将 2016 年定格为中国超算的大满贯年。2017 年开始,中国超算再次不可避免的进入一个新的平稳发展期,没有新的大机器发布,三家超算研制单位将在获得科技部的资助后专心研制新的 E 级超级计算机。2018 年,三台 E 级原型机均已部署到位,将正式决定哪几家获得最后的 E 级系统的研制资格。新的快速发展期将最早在 2020 年重新启动。与此同时,美国的超级计算机将迎来一轮活跃期,美国的几台 100PFlops 超级计算机将陆续发布,为美国重新夺回世界第一的位置。

从第一名的峰值性能趋势预测可以看出,根据新收集的数据,可以得到的新预测结果是:峰值 Exaflops 的机器将在 2020 年~2021 年间出现^[8-10]。峰值 10Exaflops 的机器将在 2022 年~2023 年间出现。峰值 100Exaflops 的机器将在 2024 年~2025 年间出现。这些预测整体上偏向乐观趋势,预计比实际的发布时间都要早 1 到 2 年。

综上,2019 年中国 TOP100 排行榜主要体现了

以下几个主要趋势:

- (1) 神威太湖之光继续蝉联中国 TOP100 第一名;
- (2) 曙光和联想公司并列中国 TOP100 数量份额第一名;
- (3) TOP100 总体性能接近 350PFlops,中国高性能计算市场的增速有所降低;
- (4) TOP100 平均性能突破 3.4PFlops,继续领先国际平均水平;
- (5) 入门系统性能门槛继续大幅提升,达到 1556TFlops,再次大幅度超过国际 TOP500 的入门系统性能 1142TFlops;
- (6) 98 套系统采用机群结构,计算机体系结构创新形势依然严峻;
- (7) 上榜高性能计算机制造商为 6 家,继续保持全国产,市场份额进一步集中在曙光、联想和浪潮三家厂商,占据 92% 的数量份额;
- (8) 应用领域新增短视频,高性能计算应用特别是在大数据和云计算领域呈现快速发展的局面。大数据、超算中心、互联网服务/云计算和网络安全等是高性能计算主要用户。

展望 2020 年,各国 E 级计算机计划的发展是 2020 年值得关注的大事。我国三套 E 级原型系统的研制均已顺利完成,最后的 E 级系统研制任务花落谁家,更值得关注。随着美国 E 级超级计算机系统研制计划的提前和中国 E 级超级计算系统研制计划的可能延后,中美两个超级计算大国之间,谁能在 2020 年夺取世界第一的位置,充满了变数。

利益冲突声明

所有作者声明不存在利益冲突关系。

参考文献

- [1] Hans Meuer, Horst Simon, E. Strohmaier, Jack Dongarra. TOP500 Supercomputer Sites[OL]. <http://www.top500.org>.
- [2] Antoine Petit, Clint Whaley, Jack Dongarra, Andy Cleary. HPL Benchmark 2.0[OL]. <http://netlib.org/benchmark/hpl/>.

- [3] 张云泉,孙家昶,袁国兴,张林波.2019中国高性能计算机TOP100排行榜[OL]. <http://www.hpc100.cn>.
- [4] 张云泉,孙家昶,袁国兴,张林波.2018中国高性能计算机TOP100排行榜[OL]. <http://www.hpc100.cn>.
- [5] 张云泉,孙家昶,袁国兴,张林波.2017中国高性能计算机TOP100排行榜[OL]. <http://www.hpc100.cn>.
- [6] 张云泉,孙家昶,袁国兴,张林波.2016中国高性能计算机TOP100排行榜[OL]. <http://www.hpc100.cn>.
- [7] 张云泉,孙家昶,袁国兴,张林波.2015中国高性能计算机TOP100排行榜[OL]. <http://www.hpc100.cn>.
- [8] Jack Dongarra.An Overview of High Performance Computing and Challenges for the Future[OL].San Diego, CA, USA: SIAM.[2008-07-07]. <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/SLIDES/siam-0708.pdf>.
- [9] Yunquan Zhang, Jiachang Sun, Guoxing Yuan and Linbo Zhang. A Brief Introduction to China HPC TOP100: from 2002 to 2006[C].Workshop on High Performance Computing in China: Solution Approaches to Impediments for High Performance Computing, Supercomputing 2007,10-16,Nov.,2007,Reno,NV,USA,32-36.
- [10] Zhang Yunquan,Sun Jiachang,Yuan Guoxing, and Zhang Linbo. Perspectives of China's HPC system development: a view from the 2009 China HPC TOP100 list[J]. China: Frontiers of Computer Science in China, 2010 : 437-444.

收稿日期: 2019 年 11 月 30 日

张云泉, 中国科学院计算技术研究所计算机体系结构国家重点实验室, 博士, 研究员, 博士生导师, 国家超级计算济南中心主任, 主要研究领域为并行算法与并行软件。



本文承担工作为: 论文整体架构和布局, 论文撰写。

Zhang Yunquan, a full professor and PhD Advisor of SKL of Computer Architecture, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences in Beijing, China. He is also appointed

as the Director of National Supercomputing Center at Jinan.

He undertakes the following tasks in this paper : paper structure organizing and writing.

E-mail: zyq@ict.ac.cn

袁良, 中国科学院计算技术研究所计算机体系结构国家重点实验室, 助理研究员, 主要研究方向为并行计算模型, 并行算法设计与程序优化。



本文承担工作为: 论文数据整理和分析。

Yuan Liang, is an assistant Professor of SKL of Computer Architecture, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences in Beijing, China.

He undertakes the following tasks in this paper: data analysis.

E-mail: yuanliang@ict.ac.cn

袁国兴, 北京应用物理与计算数学研究所, 研究员, 研究方向为大规模科学与工程计算的方法与软件。



本文承担工作为: 论文布局。

Yuan Guoxing, is a research fellow at Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Chinese Academy of Sciences in Beijing, China. His research interests include large scale scientific and engineering computing methods and software development.

He undertakes the following tasks in this paper: paper structure organizing.

E-mail: ygx@iapcm.ac.cn

李希代, 中国计算机学会高性能计算专委会助理秘书长。

本文承担工作为: 数据收集与整理。

Li Xidai, is an assistant Secretary, TCHPC, CCF.



She undertakes the following tasks in this paper: data collecting.

E-mail: lixidai@ict.ac.cn

引文格式: 张云泉,袁良,袁国兴,李希代. 2019年中国高性能计算机发展现状分析与展望[J].数据与计算发展前沿,2020,2(1):18-26.DOI:10.11871/jfd.issn.2096-742X.2020.01.002.PID:21.86101.2/jfd.2096-742X.2020.01.002.

Zhang Yunquan, Yuan Liang, Yuan Guoxing, Li Xidai . State-of-Art Analysis and Perspectives of China HPC Development in 2019 [J].Frontiers of Data & Coputing,2020,2(1):18-26.DOI:10.11871/jfd.issn.2096-742X.2020.01.002.PID:21.86101.2/jfd.2096-742X.2020.01.002.