

“天河一号”系列超级计算机系统气象领域适用性分析

魏敏 王彬 孙婧 谷军霞 洪文董
(国家气象信息中心, 中国气象局, 北京 100081)

摘要: 世界已经进入千万亿次高性能计算时代。中国国防科技大学研制的“天河一号A”(Tianhe-1A)在2010年11月14日第36届全球超级计算机TOP500排行榜上排名第一,引起了国际关注。Tianhe-1A采用CPU+GPU混合架构,峰值性能达4.701千万亿次, Linpack性能达到2.507千万亿次。介绍了“天河一号A”超级计算机系统的系统结构、性能指标和软件系统,并结合气象应用的特点,对该系统在气象领域的适用性进行了初步探讨。

关键词: 天河一号, GPU, 高性能计算, 异构计算环境

Analysis of the Applicability of Tianhe-1 Supercomputer in the Field of Meteorology

Wei Min, Wang Bin, Sun Jing, Gu Junxia, Hong Wendong

(National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The world has entered an era of petaFlops computing. Tianhe-1A supercomputer located at the National Supercomputing Center (NSCC) in Tianjin, China, was developed by Chinese National University of Defense Technology (NUDT), and ranked No.1 in the world's fastest computers of A Top 500 list issued on Nov.14, 2010 in the United States. Tianhe-1A supercomputer employs a heterogeneous architecture by integrating CPUs with GPUs, and its theoretical peak performance is 4.701 petaFlops, its LINPACK test performance being 2.507 petaFlops. The paper introduces systematic structure, hardware and software systems of Tianhe-1A. The applicability of Tianhe-1A in the meteorological field is also discussed.

Key words: Tianhe-1, GPU (Graphic Processing Unit), HPC (High Performance Computing), heterogeneous computing environment

1 “天河一号”超级计算机系统

1.1 研制背景

我国国产高性能计算机的研制水平近几年取得了突破性的进展。2009年10月29日,中国国防科技大学发布峰值性能为每秒1.206千万亿次的“天河一号”超级计算机,这也是我国第一台千万亿次级的高性能计算机系统,实现了我国自主研发超级计算机能力从百万亿次到千万亿次的跨越,使中国成为继美国之后世界上第二个能够自主研发千万亿次超级计算机的国家。

“天河一号”超级计算机是国家863计划“高效能计算机及网格服务环境”中国国家网格计算主结点,在第34届和第35届全球超级计算机TOP500排行榜上分别排在第五位和第七位,在2009年度中国高性能计算机TOP100组织公布的前100强中排名第一(附表1)。

“天河一号”采用的是Intel Xeon E5540/E5450四核CPU、AMD Radeon HD 4870 X2的GPU和InfiniBand互连网络,总计24576颗处理器核,系统浮点运算峰值

性能达1.206千万亿次每秒, Linpack实测浮点运算性能达到0.5631千万亿次每秒,内存总容量98TB,点对点通信带宽40Gb/s、共享磁盘容量为1PB,综合技术水平进入世界前列。

2010年,国防科技大学在“天河一号”的基础上对系统进行了扩充与升级,新的“天河一号A”系统已经在国家超级计算天津中心(National Supercomputer Center in Tianjin)完成了安装部署。升级后的“天河一号A”超级计算机,将理论运算能力提升至4.701千万亿次每秒,实测运算能力增至2.507千万亿次每秒(附表2)(<http://en.wikipedia.org/wiki/Tianhe-1>)。

超级计算机处于世界高新技术领域的战略制高点,是体现科技竞争力和综合国力的重要标志,各大国均将其视为国家科技创新的重要基础设施。我国首台千万亿次超级计算机系统的成功问世,是我国高性能计算机技术发展的又一重大突破,为解决我国经济、科技等领域重大挑战性问题提供了重要基础平台^[1]。

1.2 系统组成及功能

本小节介绍了“天河一号A”的软硬件系统组成及功能。

收稿日期: 2011年4月21日; 修回日期: 2011年10月9日

第一作者: 魏敏(1976—), Email: weim@cma.gov.cn

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106022);
国家气象信息中心青年基金课题(NMIC_QJ_201007)

1.2.1 “天河一号 A”的硬件系统

“天河一号 A”超级计算机采用CPU和GPU相结合的异构融合计算体系结构，主要硬件系统包括飞腾微处理器计算阵列（飞腾计算结点）、Intel微处理器计算阵列（Intel计算结点）、服务阵列（服务结点）、存储阵列（I/O管理结点和I/O存储结点）、高速互连通信网络和监控诊断网等部分。

1.2.2 “天河一号 A”的软件系统

“天河一号 A”超级计算机软件系统主要包括操作系统、编译系统、并行程序开发环境、科学计算可视化系统4个部分。

(1) 操作系统包括异构协同支持，高效能支撑扩张，基础服务内核，全局并行文件系统。

(2) 编译系统支持 C、C++、Fortran77/90/95，支持 OpenMP、MPI 并行编程，支持编译优化。

(3) 并行程序开发环境提供一体化图形用户界面，支持应用程序的调试和性能分析。

(4) 科学计算可视化系统包括海量数据服务模块、并行绘制与显示模块和可视化映射与操作模块。

1.3 性能指标及系统特点

本节介绍了“天河一号 A”的性能指标，并分析了“天河一号 A”系统特点。

1.3.1 “天河一号 A”的主要性能指标

“天河一号 A”采用了14336颗Intel Xeon X5670

表 1 “天河一号 A”的主要性能指标

指标	参数
Intel CPU	型号 Intel Hexa Core Xeon X5670@2.93GHz
	数量(颗) 14336
飞腾CPU	型号 Octal Core FT-1000@1GHz
	数量(颗) 2048
GPU	型号 Nvidia Tesla M2050@1.15GHz
	数量(颗) 7168
CPU+GPU总核数	202752
内存总容量	262TB
共享磁盘总容量	2 PB
硬件系统	飞腾微处理器计算阵列、Intel微处理器计算阵列、服务阵列、存储阵列、高速互连通信网络、监控诊断网
互连网络	私有高速网络，链路双向通信带宽160Gbps
软件系统	操作系统、编译系统、并行程序开发环境、科学可视化系统
机柜(个)	计算机柜 112
	存储机柜 14
	通信机柜 6
	服务机柜 8
峰值(Pflops)	4.701
Linpack值(Pflops)	2.507
效率	0.533
系统能效	620.54MFlops/W
系统总能耗	4040kW
单机柜能耗	28.9kW

2.93GHz六核处理器、7168块NVIDIA Tesla M2050高性能计算卡，该机还配有2048颗我国自主研发的飞腾 FT-1000八核处理器，总计20多万颗处理器核，同时还将在InfiniBand互连网络更换为专有互连网络。“天河一号 A”的主要性能指标如表1所示。

1.3.2 “天河一号 A”系统特点

“天河一号 A”具有高自主、高性能、高效等特点。“天河一号 A”自主研制了3款大规模集成电路芯片、4类结点、2套网络和15种PCB电路板，自主研制了操作系统、编译系统、并行程序开发环境与科学计算可视化系统，具有较高的自主性；系统浮点运算峰值性能为4.701千万亿次每秒，持续性能2.507千万亿次每秒，列2010年11月TOP500第一位，具有高性能的特点；系统能效620.54MFlops/W；操作系统符合B2级安全标准，提供基于隔离的用户安全工作环境；提供统一的全系统资源管理视图，友好的系统管理使用界面，一体化的并行应用集成开发环境和虚拟的网络计算环境。

“天河一号 A”中包含多项技术创新，如表2所示。其中，大规模使用GPU的异构融合体系结构和基于高阶路由的高速互连通信是“天河一号 A”获得高性能的两个主要因素。

然而，“天河一号 A”的实测浮点性能并不理想，进行标准的Linpack基准测试，其运行效率为53.3%。根据2010年11月全球超级计算机排名Top500

表 2 “天河一号 A”的主要技术创新列表

项目	创新
异构融合体系结构	大规模的CPU和GPU相融合的高效并行计算体系结构
	协同计算效率较高
64位多核多线程自主飞腾-1000 CPU	多核多线程体系结构：8核64线程
	片上并行系统(PSoC)设计技术：片内集成DDR3存储、PCIe 2.0 I/O接口和CPU直连接口
	主频1GHz，峰值性能8Gflops SPECint_rate2000值为37.7，SPECfp_rate2000值为41.6
基于高阶路由的高速互连通信	自主设计高阶路由芯片NRC和高速网络接口芯片NIC
	光电混合的高阶胖树互连结构
	链路双向通信带宽为160Gbps，延迟1.57μs 单背板交换密度为61.44Tbps
多级并行编译优化	优化资源利用的多核多线程调度机制
	多级并行的动态负载均衡算法
	全程序过程间分析与优化
	剖视指导的反馈式优化 高精度浮点计算专用优化
高性能虚拟计算域	提供用户数据、信息的安全隔离
	支持面向用户需求的运行环境定制
	提供细粒度服务质量保证 性能开销仅为2.4%
软硬一体的低功耗控制	软硬件结合的一体化能耗管理框架
	自反馈节点冷却调节
	处理器、内存动态调频调压
	基于作业状态的自适应结点能耗状态转换

(附表3), 排名第2的美国克雷公司研制的Jaguar计算机实际处理能力为1.759千万亿次每秒, 运行效率为75.5%, 排名第5的克雷公司研制的Hopper计算机运行效率为81.8%, 而第7的IBM公司的“走鹃”计算机, 可以在75.7%的有效水平上达到每秒1.042千万亿次的运算。与之相比, “天河一号A”的运行效率较低。而未来对高性能计算机系统性能优劣的评价在很大程度上是由高运行效率决定的, 不仅仅是追求系统的峰值性能。

2 “天河一号”系列超级计算机系统在气象领域的应用分析

2.1 气象应用的特点

目前, 用于天气预报业务的数值模式主要包括: T639、T213、GRAPES、WRF、MM5等, 用于气候变化模拟和气候预测的主要数值模式包括: BCC_AGCM、BCC_AVIM、MOM4_L40、SIS和中国气象局新一代气候系统模式BCC_CSM等。其中, BCC_CSM气候系统模式采用MPMD (Multiple Program Multiple Data) 的并行编程模型实现, 大气、海洋、陆面、海冰四个分量模式采用SPMD编程方式实现, 周期性耦合器交换数据, 这种编程模型相对复杂, 对计算机系统的整体性能要求很高。由于并行程序每个进程承载的计算量和各进程之间的通信量都很大, 对高性能计算机系统计算、通信及I/O的性能要求都很高^[2]。

用于气象预报的数值模式具有其极高的实时性, 必须在指定的时间内完成运算。用于气候模拟的数值模式, 需要完成几十年、几百年甚至上千年的长期积分, 对系统的稳定性有很高的要求。气象部门在设计高性能计算机系统时, 应选择成熟度较高的商用高端计算机系统, 为实时业务提供可靠、稳定的运行平台。

2.2 GPU 的应用

基于GPU (Graphics Processing Unit) 的高性能计算是近年来新兴的高性能计算模式。将GPU作为计算加速器为基于CPU的通用计算平台提供高性能的科学计算能力补充, 这样可以在现有通用计算平台的基础上实现高性价比的高性能计算解决方案。在常规集群计算机系统的节点上配置GPU (一般集群计算节点是不配置图形卡的), 可以大幅度提高集群系统的整体计算性能, 并实现低功耗。2007年6月, NVIDIA推出了计算统一设备架构CUDA (Compute U-nified Device Architecture), CUDA是一种将GPU作为数据并行计算设备的软硬件体系, 为应用人员有效利用GPU的强大性能提供了基础条件^[3]。

与常规CPU不同的是, GPU中大部分晶体管被用来进行数据处理, 只有少量被用做数据缓存和指令流控制。因此, 特别适合运行单程序多数据流的数据并行处理任务, 即主要支持SPMD (Single Program Multiple Data) 并行计算模式。气象应用核心程序大都要求双精度计算, 运行时具有占用内存大, 通信密集, I/O频繁等特点。目前, GPU的单精度计算性能很高, 但双精度计算性能还有待进一步提高。

现有气象应用采用的主要是CPU编程, 使用GPU的气象应用样例很少。根据调研情况, 下面列举了使用GPU的气象应用样例。

(1) 美国NCAR的John Michalakes等使用将Fortran程序转化为C程序后运行的方法, 对WRF v3.0的计算密集型WSM5模块 (占总程序量的0.4%) 进行改写, 该程序块性能提高了20倍。他们期望将来在理想状态下整个程序应用性能提高25%~30%。

(2) 东京工业大学以多GPU并行计算使新一代气象模型的模拟高速化。在日本气象厅为今后的气象预报而开发的新一代气象模型“ASUCA”的模拟中, 由GPU进行全部时间步长的运算。WRF作为用于同样目的新一代气象模型已在全球普遍使用, 但WRF由许多人参与开发, 单独大幅改变计算用源代码很困难, 所以此次采用了ASUCA。设置在东京工业大学的超级计算机“TSUBAME”使用120个GPU并行计算时, 单精度浮点运算性能达到了3.22TFLOPS。据介绍, 可在70分钟内完成覆盖日本全境、间隔2km的3164×3028×48计算网格的6个小时气象模拟。

由以上应用实例可见, 气象应用具有程序量大、结构复杂的特点。在气象领域使用GPU时, 必须基于GPU芯片架构对现有的应用软件进行重写, 并需要通过大量的程序优化来保证气象应用的时效性。而代码的重写及性能优化工作量很难确切估计。

2.3 异构环境的应用挑战

GPU的使用是“天河一号”性能提高的一个主要因素。我们之前使用的都是纯CPU系统, 如何高效地实现基于CPU的代码向GPU的移植、程序调试和性能优化, 基于GPU的可编程性、可靠性等技术问题将是使用“天河一号”系统遇到的主要困难之一。

“天河一号”系统自主研发了操作系统、编译系统、并行程序开发环境与科学计算可视化系统。我们目前使用的软件、程序代码能否在该系统中使用, 也成为系统应用的主要问题之一。

CPU+GPU异构环境的问题具体体现在系统工具软件、平台软件、遗留软件的重用以及新型应用的开发等方面。

2.3.1 工具软件

由于GPU在初始阶段的设计思想和功能实现只适用于图形处理领域，近期逐渐向通用计算方向发展，适用于GPU的软件开发工具还不能很好地满足用户需求。

具体体现在，如何基于CPU+GPU混合体系架构整体考虑建立能够充分发挥硬件能力的，灵活、高效、协调的并行算法，建立适用于异构环境的编程模型；如何结合不同的底层体系架构，开发建立统一的程序编译运行环境，对同一个程序软件能够采用功能强大的，基于高层次抽象的编译器生成高效的可执行代码；如何在程序软件开发过程中，能够满足用户对程序的动态调试、诊断功能；如何对已有程序软件在异构系统的运行性能数据进行及时、准确地获取和有效分析，为程序运行效率的提高提供有效的数据支撑；如何降低由异构体系结构带来的编程困难，使用户学习使用新的编程环境相对容易，并为用户提供高效、稳定、通用、兼容的科学计算工具及函数库。

2.3.2 平台软件

高性能计算机系统的部署、运行、维护和管理是非常复杂的系统工程。平台软件的设计思想、构建方法、功能是否齐全，使用是否方便及其运行方式将直接影响到高性能计算机系统是否能够安全、稳定、高效的运行。由于异构系统规模不断扩大，体系结构配置环境日趋复杂多样，全系统作业的调度直接影响到计算系统的任务分配和资源管理。系统负载是否平衡，是否能充分有效的利用系统整体资源，成为一个值得关注的技术问题。

2.3.3 遗留软件的重用

GPU可以有效提升系统的细粒度、并发度，可编程的GPU已经发展成为一种高度并行化、多线程、多核的通用处理平台。原有程序软件基本都采用MPI并行方式，为了充分利用GPU的特性优势，需要对这些程序软件在算法上进行重新设计，基于原有的MPI任务粗粒度并行的基础上，通过GPU进行更细粒度的线程级并行，提高程序软件的运行效率。这项工作是非常复杂和耗时的，对原有程序软件的算法设计是否成熟和实现

方式是否完善是一个考验，同时如何将新的并行特性引入已有的程序中，使两者紧密结合，充分发挥其作用也将是十分关键的技术。

2.3.4 新型应用的开发

在异构的高性能计算环境中，设计新型的CPU+GPU的异构计算模式应用也将是一个具有挑战性的工作。要求用户对GPU的硬件特点，底层API方法，新的编程工具如CUDA、OpenCL等技术有详细的了解。对气象专业领域算法的应用程序进行新的算法设计也将非常困难。由于GPU通用计算技术还处在发展阶段，相应的程序开发标准也有待进一步规范和完善。

2.4 国外气象领域高性能计算机

气象行业的高性能计算机更新速度快，欧美国家的气象用机一般每两至三年就会更新一次。目前，国外气象部门用于天气和气候应用领域的高性能计算机系统主要采用Cluster集群架构和MPP架构。各气象部门主要高性能计算机系统统计见表3^[4]。

3 总结与建议

通过以上分析，初步得到以下结论和建议：

(1) “天河一号A”系统的实测运算能力达到2.507千万亿次，夺得了第36届全球超级计算机五百强排行榜榜首，成为中国国产高性能计算机中首个排名世界第一的超级计算机系统。

(2) “天河一号A”系统是CPU+GPU异构融合计算机系统采用GPU数量最多、协同计算效率国际领先的超级计算机之一，自主研发了基于高阶路由的高速互连通信网络，链路双向通信带宽达到

表3 国外气象部门主要高性能计算机系统统计

部门	目前能力			未来发展
	安装时间	系统	峰值 (TFLOPS)	
欧洲中期天气预报中心 (ECMWF)	2009	IBM pSeries Power 575	152.75	2015年，计算能力提高8倍左右，达到2.4PFLOPS
	2009	IBM pSeries Power 575	152.75	
德国气候与地球系统研究高性能计算中心 (DKRZ)	2008	IBM pSeries Power 575	148.05	N/A
德国气象局 (DWD)	2007—2009	NEC SX-9	22.90	N/A
法国气象局 (Meteo France)	2007	NEC SX-8R	9.10	N/A
	2009	NEC SX-9	40.00	
英国气象局 (Met Office, UK)	2009	IBM pSeries Power 575	64.63	计划在2011年，整体性能超过1 PFLOPS
	2009	IBM pSeries Power 575	64.63	
	2009	IBM pSeries Power 575	23.50	
美国国家环境预报中心 (NCEP)	2008	IBM pSeries Power 575	91.65	N/A
	2009	IBM pSeries Power 575	91.65	N/A
美国国家大气研究中心 (NCAR)	2008	IBM pSeries Power 575	74.61	计划于2011—2012年计算能力达1 PFLOPS
澳大利亚气象局 (BOM Australia)	2009	Sun Constellation	54.00	2011年完成第二台系统的安装，总能力超过200TFLOPS
韩国气象局 (KMA)	2010	CRAY XE6	>650.00	2010年底
美国国家海洋大气局 (NOAA)	2010	CRAY XT6	260.00	2010年底

160Gbps, 可满足千万亿次超级计算机的需求。

(3) “天河一号A”系统的实际运行效率不高, CPU+GPU的混合架构环境对应用软件的支持能力、系统整体的可管理性及可靠性还有待加强。

(4) “天河一号A”的推广和使用仍处于发展阶段, 比较适合于科学个例研究, 需要在一定时间内经过持续的实践检验, 不断完善, 逐步发展成熟。

(5) “天河一号A”是否适用于天气、气候数值模式运算, 目前无可靠试验结果数据供参考。“天河一号A”是否适用于兼具实时天气业务运行和繁重科研任务的超级计算机中心(如国家气象信息中心)有待进一步观察。

(6) 建议可考虑与天津超算中心、国防科技大学开展合作, 测试运行天气、气候数值模式, 实地确

认分析“天河一号A”对于气象领域的价值和应用的可行性。

(7) 建议在国家气象信息中心内建立基于GPU的高性能计算应用系统试验环境, 对CPU+GPU混合架构体系结构进行技术探索, 为未来高性能计算应用系统建设和数值模式研发进行技术储备。

参考文献

- [1] 王握文, 陈明. “天河一号”超级计算机系统研制. 国防科技, 2009, 30(6):1-4.
- [2] 赵立成. 气象信息系统. 北京: 气象出版社, 2011.
- [3] 张舒, 褚艳利, 等. GPU高性能运算之CUDA. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [4] 气候变化应对决策支撑系统工程(一期)可行性研究报告. 2010.
- [5] 孙家昶, 袁国兴, 张林波, 等. 2009中国高性能计算机性能TOP100排行榜. 2009.11.01.
- [6] 张云泉, 孙家昶, 袁国兴, 等. 2010中国高性能计算机性能TOP100排行榜. 2010.11.01.

附录: 附表1-3分别列出了“天河一号”和“天河一号A”在高性能计算机各次排名中的位置, 并比较了相关系统参数。

附表1 2009年中国高性能计算机性能排行榜^[5]

序号	研制厂商/单位	型号	安装地点	安装年份	应用领域	CPU核数	LINPACK值 (Gflops)	LINPACK来源	理论峰值 (Gflops)	效率
1	国防科大	天河一号/3072x2 Intel Quad Core Xeon E5540 2.53GHz/E5450 3.0GHz+ 2560 ATI Radeon 4870X2@575MHz/Infiniband	国家超算天津中心	2009	科学计算/工业	24576	563100.00	C	1206210.00	0.467
2	曙光	曙光5000A/1920x4 AMD Quad Core Barcelona 1.9GHz/DDR Infiniband/WCCS+Linux	上海超级计算中心	2008	科学计算/工业	30720	180600.00	C	233472.00	0.774
3	联想	深腾7000/1240x2 Intel Xeon Quad-Core E5450 3.0GHz/140x4 Intel Xeon Quad-Core X7350 2.93GHz Infiniband 4xDDR	中国科学院超级计算中心	2008	科学计算	12160	106500.00	C	145293.00	0.733
4	IBM	BladeCenter HS22 Cluster/Intel Xeon QC GT 2.53 GHz/Giga-E	网络公司	2009	工业/游戏	7168	38790.00	T	72540.00	0.535
5	IBM	BladeCenter HS22 Cluster/Intel Xeon QC GT 2.53 GHz/Giga-E	网络公司	2009	工业/游戏	7168	38790.00	T	72540.00	0.535

附表2 2010年中国高性能计算机性能排行榜^[6]

序号	研制厂商/单位	型号	安装地点	安装年份	应用领域	CPU+GPU总核数	LINPACK值 (Gflops)	LINPACK来源	理论峰值 (Gflops)	效率
1	国防科大	天河一号A/7168x2 Intel Hexa Core Xeon X5670 2.93GHz + 7168 Nvidia Tesla M2050@1.15GHz+2048 Hex Core FT-1000@1GHz/私有高速网络80Gbps	国家级计算天津中心	2010	科学计算/工业	202752	2507000.00	Q	4701000.00	0.533
2	曙光	曙光星云/Dawning TC3600 Blade /Intel Hexa Core X5650 + Nvidia Tesla C2050 GPU/QDR Infiniband	曙光公司	2010	科学计算/工业	120640	1271000.00	C	2984300.00	0.426
3	中科院过程所	Mole-8.5 Cluster/320x2 Intel QC Xeon E5520 2.26 Ghz + 320x6 Nvidia Tesla C2050/QDR Infiniband	中国科学院过程工程研究所	2010	科学计算/粒子模拟	33120	207300.00	Q	1138440.00	0.182
4	曙光	魔方/曙光5000A/1920x4 AMD QC Barcelona 1.9GHz/DDR Infiniband/WCCS+Linux	上海超级计算中心	2008	科学计算/工业	30720	180600.00	C	233472.00	0.774
5	联想	深腾7000/1240x2 Intel Xeon QC E5450 3.0GHz/140x4 Intel Xeon QC X7350 2.93GHz Infiniband 4xDDR	中国科学院超级计算中心	2008	科学计算	12160	106500.00	C	145293.00	0.733

附表3 2010年11月全球超级计算机500强排行榜 (<http://www.top500.org/>)

序号	研制厂商/单位	名称	实测LINPACK值(Gflops)	理论峰值(Gflops)	效率	序号	研制厂商/单位	名称	实测LINPACK值(Gflops)	理论峰值(Gflops)	效率
1	国防科大	天河一号A	2566000	4701000	0.546	5	美国克雷公司	Hopper	1054000	1288630	0.818
2	美国克雷公司	Jaguar	1759000	2331000	0.755	6	Bull SA	Tera-100	1050000	1254550	0.837
3	中国曙光公司	星云	1271000	2984300	0.426	7	美国IBM公司	走鹊	1042000	1375780	0.757
4	NEC/HP	TSUBAME	1192000	2287630	0.521	8	美国克雷公司	克拉肯	831700	1028850	0.808