

## NVIDIA GPU助力海量数据三维Kirchhoff高精度叠前深度成像工业化生产

### 案例简介

- 本案例中，中石油东方物探数据中心（BGP）利用Nvidia K80构建CPU+GPU异构协同计算系统进行3D海量地震数据，缩短了处理周期，提高了生产效率，尤其在3D Kirchhoff地震叠前时间成像（PSTM）、叠前深度成像(PSDM)、逆时偏移（RTM）等方面提升效率显著。本方案是BGP许多CPU+GPU集群中的一个，主要利用了NVIDIA K80,实现了3D PSDM比CPU快2倍以上的加速性能。

- 本案例主要的NVIDIA产品为：NVIDIA Tesla K80 GPU

### Case Introduction

- In this case, the data processing center of BGP(Bureau of Geophysical prospecting, China national Petroleum corporation) are using CPU+GPU heterogeneous cluster for massive seismic data processing, and processing cycle is shortened and the production efficiency is improved, especially for 3D Kirchhoff prestack time migration (PSTM), 3D Kirchhoff prestack depth migration(PSDM) and reverse time migration(RTM) etc. This case, one of the many CPU+GPU Clusters in BGP, the major product utilized is NVIDIA K80, the speedup of 3D PSDM over 2 times faster than that of CPU is achieved.

- Major NVIDIA product: Tesla K80 GPU

### 背景

中石油东方地球物理公司（简称BGP）是中国石油天然气集团公司(CNPC)独资的地球物理技术专业化服务公司,成立于1964年。主要从事国内外油气地震勘探、资料处理解释、软件研发、装备技术研发、信息化建设等业务。国内业务分布在中国16个油田，国外有47个分支机构。综合实力位居全球物探公司第3位，陆上地

震勘探市场份额居全球第1位。现拥有2.6万员工。具备国内一流、国际先进的高性能并行计算系统。在国内有9个、海外12个国家有14个不同规模的数据中心，约11万CPU核、超过1200颗200万GPU核、超过60PB并行存储、其中CPU运算峰值约2423TFlops、GPU运算峰值约1213TFlops。

高性能计算与油气勘探密切相关，相互促进技术进步。地震资料处理是油气地球物理勘探很重要的一项内容，通过高性能计算系统的数据处理为地质构造解释、岩性解释、储层综合研究和油田勘探开发提供高质量、高精度的处理解释成果，使之更加真实地刻画地下复杂地质情况。高性能计算系统能否满足时效性要求很高的地震数据处理，获得更加精准的数据处理分析结果，一直成为高性能计算技术与地震数据处理技术所关注的重点。

### 现状

BGP利用强大的计算能力、软件研发能力和自身拥有完全自主知识产权的超大型油气勘探地震数据处理解释软件GeoEast的优势，自2011年以来，持续把计算密集型的计算方法比如三维双程波动方程地震成像

（RTM）、三维叠前时间域地震成像（PSTM）、三维叠前深度域地震成像（PSDM）和3D叠前随机噪声衰减（RNA）等软件移植到不同类型GPU的CPU+GPU异构计算平台。该大型数据处理软件已能支持的GPU包括M2050、M2070、M2090、K20K40、K80、P100等平台，目前BGP正使用多套不同规模的M2090、K40和K80 GPU集群完成海量数据的地震成像处理工作，大大缩短了生产周期，显著加快了地震数据处理进程，取得明显的经济效益，加快了油气勘探步伐，满足了油田公司对

找油找气的迫切要求，BGP 已形成了基于不同 GPU 平台的海量数据处理系统，具备了工业化生产应用能力，为找油找气做出了重要贡献。

## 挑战

油气勘探已进入了“大数据”时代。近几年随着地震油气勘探的不断深入，面临的地质条件越来越复杂，勘探难度越来越大，而国内外油气开发公司对地震采集处理解释的精度要求却越来越高，地震勘探已朝着高密度、高覆盖、宽频带、全波场方向发展。特别是可控震源高效采集技术的广泛应用，每炮接收的道数大幅增加。根据美国地球物理学家学会 (SEG) 年会资料，1998 年采集 500km<sup>2</sup> 三维数据是 1400 万道，2008 年采集 2580km<sup>2</sup> 的三维数据是 120TB，2000 次覆盖，而到了 2013 年，采集 1000km<sup>2</sup> 三维数据是 500TB，19200 次覆盖，道数已高达 700 亿道。我国野外地震采集系统也已具备超大规模地震采集能力，实现了几万道以上实时接收，能够全方位、高密度记录地震波场信息，使每 km<sup>2</sup> 采集的地震数据快速增长、越来越大，与上世纪八十年代每 km<sup>2</sup> 数据量为几十 MB 比，增长了 1 万倍。以我国西部某油田采集的 12 块三维工区数据统计为例，2013 年采集的数据量比 2011 年多 27 倍；如新疆 M 区块精细三维地震勘探项目，工区面积 388km<sup>2</sup>，采集数据达到 50TB，1260 次覆盖，BGP 目前正在施工的一块三维地震勘探数据已超过 1000TB。正是由于宽方位、宽频带、高密度（“两宽一高”）采集的海量数据更有利于提高复杂构造、大倾角构造和小尺度勘探目标的成像精度，为多维数据裂缝检测提供更多信息，“两宽一高”已成为油气勘探新的发展趋势，可以说地震勘探已进入了“大数据”时代，对计算机软硬件技术和应用需求提出了全新挑战。

海量数据带来海量计算和海量存储。地震勘探数据量的迅猛增长，导致对计算机时和存储的巨大需求，对海量数据处理技术和高性能计算技术提出了更高要求，需要在更短时间内获得更加精确的处理成果，以便于指导野外勘探和开发部署，这就需要不断地增加一些新的更加复杂的算法和高效手段。比如，针对野外混采技术，数据量巨大，如何实现扫描数据高效分离？如何提高勘探船上海量数据现场过程质控的时效性？针对室内处理计算量巨大，需要更高配置、规模化的计算和存储资源；需要更多的算法实现并行化处理；需要更先进的质量控制手段；需要更加灵活的海量数据管理技术等。所有这些都都需要海量的 CPU 计算服务器，需要巨大的机

房空间，每年需要数千万元的电费，运算成本越来越高。所有这些远远超越了企业 IT 基础架构配置和应用技术的承受能力。因此需要寻求新的解决方案，就地震数据处理而言，完全依赖于 CPU 来完成海量数据的复杂计算已成为历史。

## 方案

针对海量地震数据处理，由于受生产周期、机房基础设施和供电能力限制，单凭使用 CPU 来完成海量数据处理已很难满足实际工业生产需求。而每个 GPU 拥有数千个核，很适合地震资料处理的并发计算特点。因此近几年 GPU 成为油气勘探密集型科学计算的理想的计算工具。通过采用 CPU+GPU 协同计算模式，大大缩短了生产周期，节省了能耗。

本方案只是近几年我们大量采用 CPU+GPU 集群方案中之一。采用 128 块 NVIDIA Tesla 的 K80，详细配置见表 1。每颗 GPU 有 4992 个 CUDA 核，其双精度运算能力达到 1.87Tflops，超频下达到 2.91Tflops，很适合于海量数据的三维叠前时间成像处理 (PSTM)。值得一提的是 24GB 显存，非常适合一些需要大内存的地球物理算法如 kirchhoff 叠前深度成像 (PSDM)、QPSDM 等。正是由于 NVIDIA Tesla K80 拥有功能强大的计算能力，可减少机房内服务器数量，减少投资，节省空间，从而有效降低数据中心的运营成本。

表 1. CPU+GPU 集群每节点配置参数

名称	配置参数
服务器	19"标准机架式，2U 高度全宽，2 颗 64 位 X86 CPU 服务器
CPU	Intel Xeon Broadwell E5-2680v4，2.4GHz 主频，14nm，14 核，C610 芯片组
内存	128GB (16GB×4 通道×2 条)，DDR4 ECC RDIMM 2400MHz
SAS 控制器	SAS-12G，2GB Cache，支持 Raid0、10、50
内置磁盘	共计 3 块 900GB，10K RPM SAS 12G 2.5" (SFF)，直接热插拔硬盘
GP GPU 卡	NVIDIA Tesla K80 GPU*2，插在 PCIe3.0 x16 插槽内
显卡	主板集成 VGA
管理网	主板集成，1GbE，RJ45 网口
计算网	10GbE 多模光网双口卡，带 SFP+模块
光驱	有 2 个节点配备 DVD-ROM
电源	高效绿色电源模块，80PLUS 钛金 (Titanium)，具有主动式 PFC；能效比≥95%

## 性能对比

我们利用每个节点配置 2 块 K80 和 2 颗 Intel E5-2680V4 组成 64 节点的 CPU+GPU 集群，同时用 2 颗 Intel E5-2680V4 组成 64 节点的 CPU 集群，见表 2。完成中东某 H 区块数据的三维叠前深度域成像（输入数据 17TB；面元 12.5\*12.5；OVT 片个数 480；偏移输出 3700 线\*1500CMP；偏移深度 11000 米；偏移半径 5000 米）。通过实际生产应用，可见 GPU 节点与 CPU 节点比，完全相同应用软件、数据和处理参数，GPU 集群比纯 CPU 集群快 2 倍（见表 3），同时机房空间节省 50%，硬件购置成本节省 30%，电费节省 20%。

表 2 CPU+GPU 集群与 CPU 集群配置对比表

名称	GPU 集群 (f223-228)	CPU 集群 (f229-236)
节点数	64	64
GPU 型号	双 K80 (24GB 显存)	无
CPU 型号	2*E5-2680V4 (14 核), 2.4GHz	2*E5-2680V4 (14 核), 2.4GHz
数据存储系统	1PB, 理论带宽 8. GB/S	曙光, 1PB, 理论带宽 8. GB/S
节点内置数据盘	2 块 900GB SAS 盘, 10KRPM	3 块 900GB SAS 盘, 10KRPM

表 3. CPU+GPU 集群与 CPU 集群运行效率对比

区块	inline 1	inline 2	Line 数	CMP 1	CMP 2	CMP 数	成像点数	GPU 数	CPU 数	偏移时间 (小时)	效率 (成像点/(节点.小时))
GPU 偏移进度											
3	2994	3119	126	5016	7496	2481	312606	128		23.1	211
3	3120	3320	201	5016	7496	2481	498681	128		38.4	203
3	3321	3571	251	5016	7496	2481	622731	128		48.7	200
累计			578				1434018			110.2	205
CPU 偏移进度											
3	2994	3119	126	5016	7496	2481	312606		128	54.4	90
3	3120	3320	201	5016	7496	2481	498681		128	67.3	116
3	3321	3571	251	5016	7496	2481	622731		128	103.0	94
累计			578				1434018			224.7	100

## 影响

我们在中东某数据中心提前购置了 128 节点的 CPU 集群+5PB 分布式存储，准备用来完成 H 区块数据的 PSDM。但是经过试生产测试，如果用该 128 节点 CPU 集群完成 PSDM 需要 50 天，而甲方只给 25 天时间，根本无法按合同完成该项目。因此决定使用 64 节点 K80 GPU 集群来完成 PSDM，经过我们 22 天的成功运行，及时顺利完成了中东 H 区块数据的 PSDM，赢得了甲方的信任，同时展示了公司实力，为拓展中东物探市场取得很好的社会效益。

经过近几年生产实践表明，CPU+GPU 这种融合架构，作为一种高效的加速计算部件已被成功应用于油气勘探数据处理中的密集型计算算法，将成为未来高性能计算在油气勘探领域应用的重要方面。