

GPU 计算在油气勘探中应用前景^①

林 茂, 塔依尔, 邹 杰, 景少军, 关 宇

(新疆油田勘探开发研究院 地球物理研究所, 乌鲁木齐 830013)

摘 要: 油气勘探数据处理工作涉及大量计算, 需要高性能计算技术的扶助, 目前流行的 PC 集群在处理工作中存在一些问题, GPU 作为一种辅助计算设备能够配合 CPU 完成一些密集计算的工作. 作为一种新兴的高性能计算技术, GPU 编程技术的特点使其更适合于中小规模密集型计算环境, 因此需要计算机人员在引进该技术时谨慎考虑配置模式, 以 GPU/CPU 协同工作模式有效提升处理系统计算效率.

关键词: GPU; CUDA; 油气勘探数据处理; 高性能计算; 并行编程

Prospects of GPU Using in Oil and Gas Exploration

LIN Mao, Tayir, ZOU Jie, JING Shao-Jun, GUAN Yu

(Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield, Urumqi 830013, China)

Abstract: Oil and gas exploration data processing involves a lot of calculations thus needs high performance computing technology. GPU as a new kind of high performance computing technology can cooperate with CPU completed some computing intensive tasks. The GPU programming features make it more suitable for medium and small scale intensive computing environment. When introducing this technology the careful consideration of configuration model should be taken. The cooperation of GPU/CPU is a better way to enhance the efficiency of processing system.

Key words: GPU; CUDA; oil and gas exploration data processing; HPC; paralleling programming

现代工业发展和经济建设离不开石油工业的不断进步. 石油行业是高性能计算应用最广泛、最深入的行业之一, 高性能计算技术的发展很快就会反映到石油行业应用当中. 地震勘探资料处理过程是利用先进的计算机数据处理能力对野外收集的原始资料进行各种去粗取精、去伪存真的加工. 这一部分工作离不开现代计算机技术的应用, 同样, 计算机技术在油气勘探中的作用最主要的体现就在此环节当中. 由于工作需要, 资料处理需要众多数学家对地震勘探原理进行数字化、研究各种模拟方法和算法对地震波的传播进行研究. 野外原始资料数据量大、计算复杂, 因此经常需要在同一个地震处理作业过程中同时调度大量的计算资源协同工作完成一块数据的处理任务.

1 现有处理集群系统存在的问题

为满足油气勘探对高性能计算的需求, 各种最先进的计算机体系都首先被应用于地震勘探数据处理工作中, 目前主流的处理系统通常采用 PC 集群. PC 集群最大的优点就是性能价格比高, 应用软件开发比较简单. 但是由于 PC 集群是利用通用网络交换机将多个计算节点联系在一起进行工作, 每个计算节点都运行自己的操作系统, 管理各自承担的计算任务. 节点间数据传输和信息通讯都通过局域网络完成. 这种结构就造成了 PC 集群一些问题, 其中首要的一个问题就是当计算达到一定规模时, 节点间数据传输和通讯消耗的时间成倍数增长, 当到达一定程度后往往会严重影响对整个处理过程的最终效率. 其现象表现为计算整体效率明显降低, 投入计算的资源数与消耗时间降低无法成正比.

^① 收稿时间:2012-09-08;收到修改稿时间:2012-11-05

图 1 是笔者单位最早引进的一套 PC 集群在实际工作中的使用效率测试图,从中可以看出,当参与运算的计算节点数达到一定程度后,再增加新的计算节点并不会使处理过程更加快,相反到一定程度后效率反而明显下降了.另一方面,目前 PC 集群存在占用空间大、耗能高、高制热等缺点使数据处理中心引进一套计算节点充足的 PC 集群系统是一个非常困难的事情,配套机房、配电、空调等设施的实施以及专用网络、存储系统建设都是非常繁杂的工作.一套 1000 核左右的 PC 集群及其相关设备引进大约需要经费 1 千万左右,而这么一套集群系统正常运行,每年的电费大约也在 100-300 万左右,这些都是些中小型数据处理中心无法承受的.

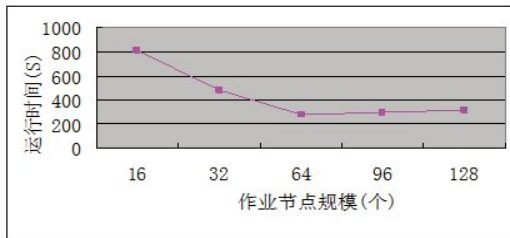


图 1 PC 机群处理作业运行效率图

此外,正如图 2 所示,目前用于油田勘探的 PC 集群系统的工作效率并不高,这是笔者单位集群日常工作实际检测效果图,中间用红框标志的是集群 CPU 利用率统计示意图表,可以看出计算节点平均利用率通常都在 30% 左右.造成这一现象的原因是目前物探数据处理方法整个流程中真正需要进行并行处理的环节在整个处理周期中所占时间并不是非常高,整个处理流程进度还主要取决于处理人员的实际工作效率,这一特点可以从表 1 中展示出来,真正是 PC 集群能够满负荷工作的时间只占到整个处理流程的 25%.而 PC 集群出现的这些问题的同时却有着更进一步对工作的影响那就是目前引进的 PC 集群处理软件通常是按照计算节点的个数进行收费的,这笔费用计算起来相当高昂.而在实际油气勘探数据处理工作中,一个工作单位承担的处理任务又很多个,因此通常在一套 PC 集群上同时都会有多个处理项目在运行,而每个处理项目的进度又都基本保持相同速度,因此经常会有多个处理作业需要在某个特定时间内同时进行占用大量计算资源的并行处理的工作.每当这个时候就会出现多个并行作业需要在某个时间段内在同一套集群上相互抢夺计算资源,PC 集群计算资源无法满足每一个处理作业的

需要,有些处理流程因此会影响到进度.这就是 PC 集群计算能力“日常吃不饱,峰值无法满足”的缺陷.



图 2 PC 集群监控效率展示图

表 1 实际处理流程工作量安排

序号	处理环节	试验时间	CPU使用数量	CPU利用率	正式生产时间	CPU使用数量	CPU使用效率	备注
1	观测系统定义				10	1	1%	基础文案及编录
2	数据转换				5	4	20%	数据输入输出
3	去噪	15	4	10%	2	4	100%	试验过程对比居多, CPU利用率较少
4	振幅补偿	4	2	20%	2	2	100%	
5	反褶积	8	4	30%	3	4	100%	
6	常规速度分析				15	1	10%	3次迭代
7	剩余静校与叠加				12	2	100%	3次迭代
8	叠后时间偏移	10	4	30%	2	4	100%	试验过程对比居多, CPU利用率较少
9	叠前时间偏移速度				20	1	10%	4次迭代
10	叠前时间偏移目标线	4	56	30%	8	56	100%	4次迭代,参数试验过程对比分析降低了CPU利用率
11	叠前时间偏移体偏移				5	256	100%	
12	修饰处理	5	1	30%	3	2	100%	
13	报告编写				15	1	1%	
整体工作天数		148	CPU满负荷工作天数		37	25%		

同时由于 PC 集群能够提供的计算资源相对还是比较有限的,因此很多多计算能力要求高的处理方法无法在各计算中心引进的 PC 集群上实现其功能.包括炮域波动方程叠前时间偏移以及逆时偏等处理方法的处理效果虽然得到了大多数物探专家的认可,但其在 PC 集群上的实现目前还存在不小的困难.

2 GPU并行编程技术应用及其特点

为了解决以上说提到的那些问题,科研人员从多方面进行开展研究,其中一个研究方向就是如何将计算集中在在同一个系统中从而有效减少网络间的通讯开销,这就是目前高性能计算中不断被提到的“多核技术”的应用.所谓多核技术就是通过集成电路密集程度的不断提升,在一个处理器中集成多个计算单元,从而提升计算能力,这其中近一段时间发展最好的一个技术就是 GPU(图形处理器)应用技术.

在开始的时候计算机设计人员制造出 GPU(图形处理单元)芯片专门用于将数据转换成高品质图像显示在显示器设备上. 为了满足消费者对实时、高清晰度的三维图像越来越高的需求, 厂商在制作图形显卡时通常使用最新存储技术的内存作为显示存储器, 而在设计 GPU 芯片时往往尽可能多设计多个计算内核, 因此现今的 GPU 已经发展成为一种高度并行化的多线程、众核处理器, 与 CPU 相比它具备更加优越的计算能力和高速存储带宽. GPU 之所以有如此优越的表现, 主要是跟它的内部体系结构相关. 众所周知高品质图像处理的计算方法与地震勘探数据处理方法有很多近似的地方, 即运算量大, 但计算方式较简单, 通常都是需要在同一时间进行大量的相同类型的计算, 涉及大量数据, 但数据之间相关性较小, 针对数据的计算多而判断少. 在这种情况下, GPU 在设计时放弃了数据缓冲单元和流控制单元而选择集成了更多的计算单元. 因此 GPU 非常适合一次进行大量相同的工作, 而 CPU 则比较有弹性, 能同时进行变化较多的工作. 基于强大的并行处理能力和极高的存储器带宽, 完全可以将 GPU 抽象成一个流处理器(Steam Processor), 用于诸如科学计算、数据分析、线性代数、流体模拟等需要大量重复的数据运算和密集的内存存取的应用程序, 那么就能获得比 CPU 强悍的多的计算能力. 通过这些年的发展, GPU 并行编程技术已经到达一个基本成熟阶段, 在很多领域都有所应用并且效果明显.

图 3 就是最新成为中国骄傲的高性能计算 HPC TOP500 第一名--中国天河一号超级计算机. 该系统配置了 14336 颗英特尔六核至强 X5670 2.93GHz CPU、7168 颗 Nvidia Tesla M2050 GPU, 以及 2048 颗八核飞腾 FT-1000 CPU. 该超级计算机的计算峰值达到了 4.7Pflops, Linpack 值为 2.507Pflops(千万亿次), 是典型的 GPU/CPU 协同计算的使用案例.



图 3 “天河一号”超级计算机

GPU 技术发展当然也会受到广大石油行业从业人员的关注和研究. 在国内有一些石油行业方法研究公司已经将 GPU 并行技术应用的油气勘探数据处理工作当中, 其中北京吉星吉达公司利用中科院地球物理所非对称走时数学算法结合 GPU/CPU 协同计算系统开发的 Kirchhoff 叠前时间偏移处理软件和潜能恒信公司基于 GPU/CPU 协同并行的地震处理软件就是其中代表. 与此同时国外有越来越多的处理软件公司纷纷推出自己的基于 GPU 计算的处理、解释以及其他石油行业专用软件平台, 典型案例有“SeismicCity 公司利用 CUDA™ 技术以及 NVIDIA®(英伟达™)Tesla™8 系列 GPU(图形处理器), 取得了比之前基于 CPU 的配置高 14 倍的超强性能. 凭借 CUDA, SeismicCity 能够向其客户提供商用最先进的深度成像算法并大幅提升成功钻探的几率^[6]”.

另一方面计算机生产厂商也积极开发基于 GPU 计算的服务器系统以及 PC 集群系统, 各大品牌厂商纷纷推出他们的 GPU 计算节点以及服务器. 一套安装 4 块计算专用 GPU 卡的服务器费用大约在 12~18 万左右, 计算能力能够达到 4 Teraflops 的单精度浮点运算, 相比具备相同计算能力的 CPU 计算集群及其配套系统则百万的引进费用还是非常便宜的. 而 GPU 应用开发环境最简单的配置则可以是在任何一台商用 PC 上加装一个支持 CUDA 应用的图形显卡(高端显卡通常费用在 2000-5000 左右)就能够进行应用程序的开发. 可以看出进行 GPU 并行计算程序开发的启动成本几乎接近于 0, 这给广大应用方法研究人员和中小软件公司提供了一个非常良好的公平竞争的机会.

GPU 在高性能计算上具备 CPU 无法比拟的效率优势, 然而该技术在这些年的发展过程中也逐步暴露出一些可能存在的缺陷, 使其应用范围有所局限, 这些缺陷主要表现在:

① GPGPU 对双精度浮点运算支持还存在一定的问题, 双精度浮点计算性能还无法比 CPU 提高更高的性能, 这一点对于科学计算追求高精度而言是很致命的.

② GPU 编程方法与 MPI 编程方法存在很大不同, 需要应用开发人员具备较好的数学技术, 能够将一些隐性串行的计算流程转换为显性、并行的流程.

③ GPU 编程技术目前还没有统一的标准化流程, 两家主流 GPU 生产厂商分别推出了各自不同的并行应用开发平台, 两者互相之间无法兼容, Nvidia 公司推

出 CUDA 编程平台暂时还只能应用于 NVIDIA 公司的 GPU 上。

④ CUDA 编程时要求将内存中的数据拷贝到显存中进行处理, 处理后的数据还需要再返回到内存中, 这就很容易造成数据传输瓶颈, 需要应用人员额外考虑数据传输技术实现。

⑤ CPU 厂商“聚核”和“重核”技术的实现有可能会对 GPU 并行提出挑战, Intel 公司宣布将在 2012 年推出其 128 核的重核 CPU, 这一消息使得很多应用软件开发商无法下定决心跟随 GPU 编程规范进行应用开发。

⑥ 由于种种原因, 大多数处理软件大公司成熟的处理解释应用软件很少进行 GPU 并行改造, 目前市场上能够选择的软件通常都是针对某种算法、某种特殊应用开发的专用模块类型, 很多模块都还需要依赖现有的 PC 集群处理软件进行数据整理和中间过程的处理, 真正独立能够完成所有处理任务的软件基本还没有进行公开发布。而很多物探方法研究企业研制的新方法、新软件还处于保密阶段。用户选择 GPU 平台处理软件选择范围和余地都非常小。

综合以上所述缺陷, 笔者认为将 GPU 应用于油气勘探数据处理生产实际环境中还存在一定的困难, 生产企业需要慎重考虑总体配置方案。

3 GPU 油气勘探应用模式设想

根据以上对 GPU 应用分析, 可以看出 GPU 在油气勘探数据处理工作中能够起到一定的作用但在一定阶段能还无法代替 CPU 节点的作用, 在很长的一段时期里处理系统将依然以 CPU 计算节点为主, 而 GPU 作为协处理器将逐步分担一些密集型的计算需求。根据对实际工作中处理作业流程分析, 笔者认为 GPU 服务器在油气勘探中的应用模式应该可以分为三种类型:

(1) CPU/GPU 协同集群: 高性能计算在油气勘探中的应用首先是大规模数据处理方面, 根据目前处理流程的特点和应用软件的发展, 想要使用 GPU 集群替代 CPU 集群是不太现实的。利用 CPU 和 GPU 各自特点组成一套混合型 PC 集群, 根据配置部署不同类型的软件, 从而形成一套 CPU/GPU 协同集群是解决目前集群技术出现的各种问题的一个首选。根据处理工作模式特点, CPU/GPU 协同集群应以 CPU 节点为主导, GPU 辅助 CPU 主要进行密集计算, 集群整体规

模不宜过大。一套大规模的集群应根据工作需要拆分成多个小的集群, 由于目前 GPU 密集计算能力已经有了很大提升(安装了 4 块 Telsa GPU 的 GPU 节点能够提供 4 Teraflops 的单精度浮点运算), 因此拆分后的小集群规模可以是 1 个计算节点, 尽量将大规模处理需求拆分成多个小的并行处理作业, 使每个处理作业的计算能够在容忍时间内由一个计算节点完成, 这样就可以排除很多干扰因素, 发挥 CPU/GPU 协同计算节点的最大效率, 而相应的集群也能够尽可能多的满足多个处理作业同步进行的需求。当发生需要大量计算的新方法运行时, 可以通过 MPI 通讯将多个计算节点组成为能够满足其计算需求的小型集群, 当然这些需要 MPI 编程技术的支持, 需要应用开发人员进行必要的软件开发工作。

CPU/GPU 协同计算集群需要应用开发人员根据其特点进行物探方法的再造和重构, 需要混合使用 CPU 多线程编程技术以及 GPU 并行编程技术进行应用开发, 充分发挥每个计算节点中 CPU 和 GPU 的不同特性满足计算的需要, 如果必要还需要进行多节点之间 MPI 编程。这种模式中, 与计算能力相比, 数据传输能力将是考验应用程序性能的更关键瓶颈问题, 需要应用开发人员需要考虑内存数据传输以及显存数据传输方式, 使 CPU、GPU 随时都能够读取到必要的数据。由于多线程并行对数据的非相关性和计算步骤先后关联性要求很高, 为了有效发挥 CPU 和 GPU 并行效率, 这种模式下应用人员必须考虑提前考虑计算方法的算法再造, 进行必要的“解耦”研究, 与此同时还需要进行数据的提前整理和重构工作, 在确保方法正确和数据不失真的情况下尽力避免多线程之间数据的相互关联性和计算步骤相互依赖性。

(2) 物探方法应用开发服务器: GPU 应用服务器由于其引进成本较低, 而对密集计算支持能力较强, 同时 GPU 编程技术相对比较简单, 部分开发平台属于免费使用范畴, 因此很适合一些中小型企业 and 科研生产单位引进作为一些特色处理模块研发的平台。由于目前很多勘探数据处理软件已经非常成熟, 各大处理公司推出的处理解释软件成体系的成熟产品。这些软件功能强大, 涉及面广, 运行稳定, 作为中国各大院校和软件开发公司, 想要开发出与之能够竞争的应用系统困难很大。而 GPU 技术应用在油气勘探行业是近几年才开始的事情, 其编程技术相对而言还属于比较新颖的阶段, 国内外大型软

件制作公司和有志于进行勘探方法实现的程序员还基本处于同一起跑线上,因此现在投入精力在 GPU 应用开发上或许是为这些后起之秀提供了一个公平竞争的平台,能够有效提高油气勘探特色处理方法的实现效率,打破大公司在方法研究方面的垄断主导地位,为国内应用开发人员争取一个生存空间。

(3) 小规模处理/解释一体化服务器:长久以来,油气勘探一直在倡导“解释、处理一体化,地质认识指导物探处理”,然而由于处理需要的计算资源通常在目前解释平台上无法提供,因此这种多学科合作目前还基本处于纸面协作,而 GPU 并行计算技术的出现或许能够在一定程度上提供一个兼顾“图形交互”和“密集计算”的平台,使这种协作能够实时开展。设想一下利用一套安装了多个计算用 Tesla 显卡的高性能图形 workstation 在解释人员和处理人员共同操作下,当解释人员在高清晰图形界面下交互解释的同时,根据提供的地质认识不同在后台有一套处理系统及时利用 GPU 密集计算对数据进行重新处理,而处理出的结果又能够及时通过高性能图形显卡转换成图形显示呈现给解释人员进行继续工作。这种方式如果实现或许就是物探技术的一个重大技术进步,当然实现这一步需要应用开发人员开展大量的技术研究和应用实现工作。

从上面所描述的几种应用模式可以看出, GPU 要很好的应用与油气勘探实际处理环境中,首要任务是选择或开发必要的完整的、独立运行的适用于 GPU 计算的应用软件。作为一种开源、免费的应用开发环境, GPU 并行编程环境为中小型应用软件开发公司提供了一个与大型成熟企业同一平台上相互竞争的可能性,它的出现使并行软件开发所需成本明显降低,使一些小的公司和开发团体根据工作环境的不同特点能够迅速地开发出各具特色的并行化应用系统。 GPU 技术引进首先应该是作为一种应用开发平台,相关企业和公司应根据实际生产需要,组建必要的物探方法研究项

目组,针对 GPU 特点,信息从业人员和物探方法研究人员协同开展工作,了解和掌握 GPU 应用特点和开发模式,利用其并行能力开发出射和本单位实际需要的应用模块,从根本上了解和掌握该技术的核心和实质,为今后大规模引进提供决策依据。

4 结论

GPU 作为 CPU 的协处理器,尽管它无法代替 CPU 的应用,但会与 CPU 通过有效协同工作,将在中小规模勘探数据处理环节发挥越来越大的作用。今后 GPU 在勘探事业中的应用范例将越来越多,很多好的但是过于耗费计算资源的物探处理方法将随着 GPU 的不断应用得以实现,从而从根本上使物探技术迈上一个新的高度。通过对 GPU 编程方法的掌握和应用实践,为中小型企业 and 研究机构提供了一个平等竞争的机会,使它们能够在同一个起跑线上与那些大规模的应用开发企业同时进行并行计算的开发工作,发挥各自优势,开发出更多的具备独特优势的应用软件来辅助相关行业的技术进步。

参考文献

- 1 Halfhill TR. Parallel Processing With CUDA. www.MPRonline.com, 2008, 1.
- 2 Nvidia 公司. NVidia CUDA Installation and Verification on Microsoft Windows XP and Windows Vista (C Edition). Nvidia 公司. 2008, 8.
- 3 Amax 公司. Tesla GPU Computing. AMAX 演讲材料, 2008, 12.
- 4 Kirk DB. Programming Massively Parallel Processors. Nvidia 公司, 2010.
- 5 洪钊峰. GPU 计算:石油勘探领域里的里程碑. IT168, 2009, 5.
- 6 Nvidia 公司. CUDA 在能源工业中的应用. Nvidia CUDA 网页内容.