

基于网格技术的地震资料并行处理平台建设与应用

钟 敏^{1,2}, 陈朝根¹, 葛宇飞¹, 亓雪冬¹, 梁 鸿¹, 仝兆岐¹

(1. 中国石油大学计算机与通信工程学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580)

摘要:针对地球物理勘探领域海量数据处理需求和行业高性能资源整合需求,结合地震资料数据并行处理特征,利用网格技术建设应用网格分布并行处理平台,详细介绍平台的体系结构和关键技术,成功部署包含两个虚拟社区的应用网格平台。进行 Marmousi 模型地震波场正演模拟网格并行处理、基于模糊聚类作业划分策略的叠前深度偏移并行处理、积分法叠前时间偏移并行处理。验证了平台的稳定性和并行作业划分策略的有效性,平台效率与传统并行处理平台相比效率相当。结果表明,利用该平台可以进一步整合更多高性能资源,扩大并行处理规模,提高资源的利用率,缩短数据处理周期。

关键词:网格; 分布并行; 元调度; 地震资料处理

中图分类号:TP 393 **文献标志码:**A

Gird platform for seismic data parallel processing and its application

ZHONG Min^{1,2}, CHEN Chao-gen¹, GE Yu-fei¹, QI Xue-dong¹, LIANG Hong¹, TONG Zhao-qi¹

(1. College of Computer and Communication Engineering in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: To meet the demands of mass data processing and high performance integration of resources in geophysical prospecting field, a distributed parallel processing platform based on grid technology is constructed. The architecture and key technology of the platform is described in detail. The platform, which includes two virtual organizations, was successfully deployed. Wave field forward modeling of the Marmousi model, fuzzy clustering data division strategy based pre-stack depth migration, and integral method pre-stack time migration were parallelly processed on the platform. The stability of the platform and the effectiveness of the parallel task partition strategy were proved. The efficiency was comparable with the traditional parallel platform. The platform can be applied to larger scale resources to expand the scale of parallel processing, improve resource utilization, and reduce the time of data processing.

Key words: grid; distributed-parallel; meta-scheduling; seismic data processing

在地球物理勘探领域,叠前深度偏移、叠前反演和全波形地震反演等方法处理的数据量和计算量极其巨大,是高性能计算技术应用的主要领域^[1-2]。长期以来中国石油行业的地震资料处理主要依赖从国外引进的昂贵专业处理软件,系统架构主要采用高性能集群计算机系统。近年来,随着国产自主知识产权处理软件的研发与应用,PC 集群技术逐渐在行业的数据处理中得到应用和推广^[3]。但是随着地震勘探数据量与计算量的增长,亟需借助新的高性

能计算技术进一步扩大处理规模。另一方面,随着网络技术的发展,网格计算^[4-5]和云计算^[6]等新型网络计算模式逐步被引入高性能计算领域,用于解决更大范围的资源整合与协同计算^[7-14]。国际上,Globus 项目是最具影响力的网格计算项目之一,其定义的网格协议和中间件实现 Globus Toolkit^[15]已成为网格界事实上的标准,国际上许多成功的网格项目都是基于 Globus Toolkit 所提供的协议及服务建设的,如 NorduGrid^[7]、EGEE^[8]、UK e-Science^[9]、

收稿日期:2013-11-11

基金项目:中国教育科研网格 Chinagrid 项目;中央高校基本科研业务费专项资金项目(R1107009A)

作者简介:钟敏(1978-),女,讲师,博士研究生,研究方向为分布式并行计算。E-mail:zhongmin@upc.edu.cn。

TeraGrid^[10]等。在地震勘探集成环境高性能计算平台基础设施的建设过程中,需要集成局域分布、异构的高性能计算与存储资源,为地震勘探应用提供海量数据处理服务。利用网格技术可以将企业内部积累的丰富的高性能资源集成起来,屏蔽系统的分布、异构等特性,为用户提供统一部署的管理和监控界面,实现系统的统一管理、配置和有效利用,协同完成海量数据处理任务,从而提高地震资料处理效率、缩短处理周期,对降低地震勘探处理成本也有着重要的理论和现实意义。笔者根据地震资料数据处理应用特征,基于 Gloubs Toolkit 构建高性能分布并行处理平台,实现地震资料分布并行处理的初步应用。

1 地震资料数据处理特征分析

在石油勘探开发数据中,数据量最大的是地球物理数据,其中主要是地震数据。地震资料主要有以下几个特征:

(1)海量数据规模。地震勘探项目规模一般为数百至上千平方千米,原始地震数据量通常为几百 GB,甚至达到 TB 数量级。随着高密度地震勘探技术的应用,未来地震勘探采集数据量将达到百 TB 的量级,势必需要进行大规模的并行处理。

(2)只读数据。地震资料的另一个特点是“一次采集,多次使用”。原始数据通常是只读的,处理程序通常只读取数据,生成的中间数据一般也只用于后续处理程序的读取,而不会对其进行修改。这就简化了网格环境中地震资料的分布数据管理策略,不需要考虑数据的一致性问题。

(3)并行化特征明显。地震资料特殊的勘探与采集流程使地震资料具有天然的可分性与并行化特征。一方面,地震资料原始数据是按束、线、炮、道等方式组织。另一方面,地震资料的处理通常在各种抽道集上进行,如共炮点、共中心点、共反射点道集等,各道集处理任务相对独立,任务之间需要很少甚至不需要通信。

利用网格技术实现大规模并行处理的过程中,可以将地震资料按道集划分,分发到各高性能网格节点,采用单程序多数据并行方式处理。在任务的划分处理过程中,网格基础设施要解决多管理域高性能资源的统一描述与选择、任务的划分与分配、作业的描述与调度、跨管理域的作业执行管理,以及整个过程中地震数据和结果的传输与管理等问题。

2 应用网格体系结构

地震勘探应用网格环境下,资源具有局域分布、动态、异构、跨管理域等特征。共享的高性能资源需要借助网格中间件隐藏与应用无关的物理特性,经过抽象和虚拟化,加入网格虚拟社区,为用户提供数据处理和存储服务。应用网格平台的核心任务包括:①资源统一描述与状态监控;②使用统一的接口实现海量计算任务在多个分布资源上的分发、调度与实时监控;③对海量数据及处理结果数据的存储、传输和管理。因此,建立如图 1 所示的应用网格体系结构。本文主要解决前两个核心任务,数据管理相关服务参见文献[16]。

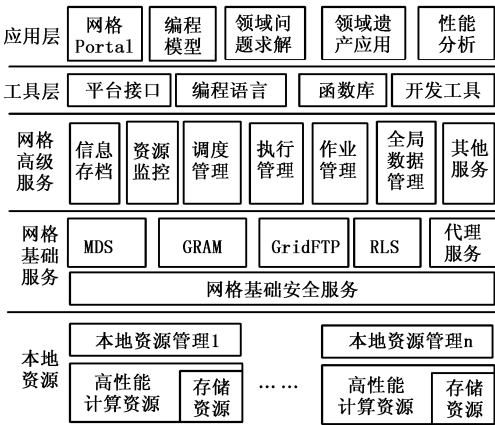


图 1 应用网格体系结构

Fig.1 Grid architecture for seismic domain

应用网格体系结构从逻辑上自下而上分为本地资源层、网格基础服务层、网格高级服务层、环境工具层和应用层。

(1)本地资源层为地震资料处理提供高性能计算和存储资源,主要由局域分布的高性能集群、高性能工作站和存储服务器系统组成。这些资源节点通过千兆以太网互联,节点内资源硬件与软件系统同构,安装了本地文件系统与作业管理软件。

(2)网格基础服务层通过 Globus Toolkit 相关协议规范与中间件为位于不同管理域的资源提供统一的安全服务,实现各网格资源节点的信息采集与汇聚、网格作业向资源节点的本地作业管理系统的映射、网格数据传输和副本定位等服务。

(3)网格高级服务层为上层提供资网格资源信息的查询、存档、信息分析等服务;为处理任务定义作业模板,实现作业提交管理、作业解析、作业与资源队列管理、作业与资源匹配与调度;实现地震数据的统一描述、检索和定位等服务;根据应用需求提供

高可用等其他服务。

(4)环境工具层为上层提供平台编程接口、友好的用户交互界面、适合网格环境的应用开发语言、函数库和开发工具。

(5)应用层是地震资料处理领域应用需求的具体体现。基于 Web 的网格 Portal 便于领域用户监控网格环境、提交网格作业、管理应用数据;根据地震资料处理应用特征,利用网格平台提供的编程接口和函数库,对地震数据进行划分并分配到一个或多个网格节点进行并行处理。

本文主要工作是在基于 Globus Toolkit 构建的网格基础服务层上实现高级服务层的各种服务;为网格应用开发提供应用接口;分析叠前深度偏移处理流程,实现网格并行处理。其中,以实现网格作业-资源映射为目标的调度相关服务是整个平台要解决的核心问题。

3 应用网格平台关键技术

3.1 网格资源信息模型

资源监控相关服务是应用网格平台的重要组成部分,一方面要为平台资源管理和监控提供全局统一的视图,另一方面要为网格调度系统提供可用计算资源列表及其动态信息,以指导调度策略的实施。

在应用网格环境中,资源的加入与退出是动态发生的,需要保证网格环境具有较好的可扩展性;各网格资源的使用与管理首先要遵守其本地管理策略,网格用户不能超越权限使用网格资源。因此,应用网格中的资源组织采用树状层次型拓扑结构,资源信息模型也组织为如图 2 所示的资源信息树。

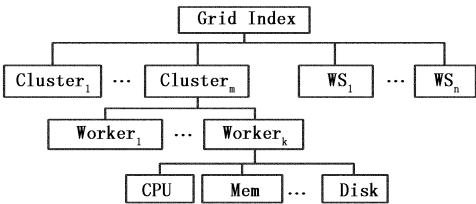


图 2 资源信息树

Fig. 2 Information tree of resource

网格资源信息可分为静态信息和动态信息两类。静态信息如处理器相关信息、内存容量、操作系统信息、存储空间以及网络地址信息等,基本不随资源状态变化而变化。动态信息包括处理器负载、内存消耗情况、网络负载、磁盘可用空间、网络负载等,这些信息随着资源负载的变化而动态变化,需要实时动态更新。各网格资源节点的静态信息通常由本地调度器(如 PBS、Condor、Fork 等)注册到 Globus

Toolkit 的信息服务组件 MDS 的信息索引服务。资源动态信息通过各本地工作节点的信息采集工具收集并定时推送到 MDS 本地索引服务,进一步向上汇聚到网格社区索引层的全局索引服务。

3.2 层次式分级调度框架

在分布式系统中,常用的调度模式主要有集中式调度、分布式调度和层次式调度 3 种。其中,集中式调度容易使调度主机过载,从而成为系统瓶颈;分布式调度由于缺乏系统全局信息,组织困难,实现比较复杂。层次式调度结合了集中式调度的高效和分布式调度组织灵活、易于扩展的优点,在分布的多个本地调度系统之上引入全局调度中心,从系统全局的角度统一协调本地调度系统的工作,可以更加高效地进行作业分配、资源监控等任务。因此,应用网格平台采用层次式分级调度模式,调度框架如图 3 所示。应用网格用户提交的作业在协同层和本地调度层两个层次上实现调度。

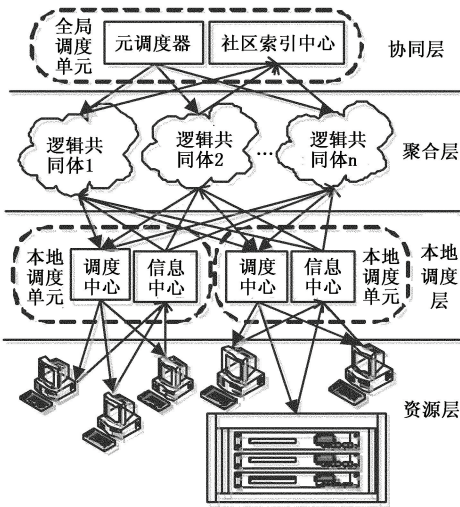


图 3 应用网格层次式分级调度框架

Fig. 3 Hierarchical scheduling framework of grid

资源层的高性能资源通过标准的信息发布接口向本地信息中心注册并动态更新。信息中心进一步向上层社区索引中心的全局索引服务汇聚可用资源信息。社区索引中心为元调度提供全局可用的资源列表。

全局调度单元的元调度器是整个层次框架的核心。Globus Toolkit 工具包实现了网格作业提交服务组件 GRAM,实现了一个独立作业向网格节点的本地调度单元的映射,由本地调度中心将作业分配到指定工作节点。但是 GRAM 组件不具备统一的资源管理、作业管理和作业-资源匹配调度等功能,需要元调度器对多个管理域的网格资源进行管理,使

网格用户能够透明地访问与使用网格资源,完成任务,更好地实现资源共享和协作。

元调度器将汇聚的资源按资源属性特征进行模糊聚类,形成具有并发作业协同能力的资源集合,即逻辑共同体。接收地震资料处理作业请求后,选择适当的调度策略将作业分配给匹配的一个或多个逻辑共同体,并将调度信息和待处理数据发送到逻辑共同体中的资源实体所属的本地调度单元。最终由本地调度单元的调度中心实现作业的分发、状态监控和结果回收。

通过元调度器系统,网格用户可以使用简单的命令或者鼠标点击操作实现作业提交,等待作业自动调度执行,监控作业状态并获取执行结果,平台作业调度流程如图4所示。元调度器大大增强了应用网格平台的可操作性,方便了用户的使用。

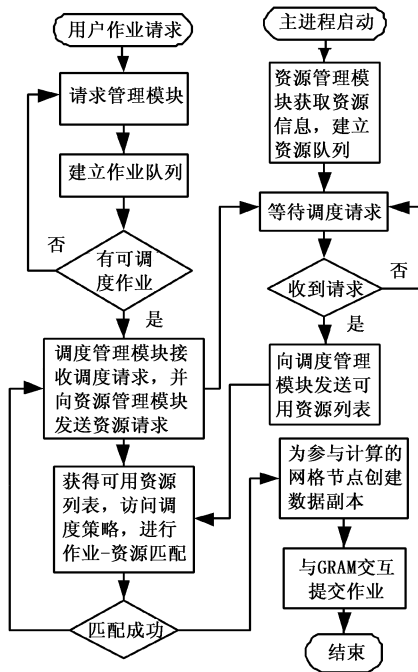


图4 元调度器调度流程

Fig.4 Flow chart of meta scheduler

3.3 基于模糊聚类的资源聚合

在网格环境中,资源具有动态、异构特点,在进行网格作业调度的过程中需要从大量的网格资源中筛选能够胜任作业执行的资源,这无疑增加了整个调度周期的时间花费。采用模糊聚类方法^[17]对网格资源进行统计与分类,形成逻辑共同体,为调度器的资源匹配缩小了资源搜索空间,从而有效地减少网格作业调度的时间。基本步骤如下:

设资源节点集合为 $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$, 节点 N_i 的计算能力用向量 $\mathbf{P}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{is})$ 表示。其

中 $p_{ik} (k = 1, 2, \dots, s)$ 表示节点 N_i 的第 k 项属性值,如网络性能、处理器性能、内存性能、硬盘性能等。对于集群节点来说各属性值取所有工作节点对应属性值的均值。所有资源节点的计算能力构成计算力矩阵 $\mathbf{P} = \{p_{ik} \mid i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, s\}$ 。

(1) 由计算力矩阵 $\mathbf{P}$ 求出第 k 个属性的均值 t_k 和均方差 S_k , 根据下式对 $\mathbf{P}$ 进行标准化处理得到标准化矩阵 $\mathbf{P}' = \{p'_{ik} \mid i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, s\}$:

$$p'_{ik} = (p_{ik} - t_k) / S_k. \quad (1)$$

(2) 根据如下极值标准化公式将数据归一化到 $[0, 1]$ 区间:

$$p''_{ik} = (p'_{ik} - p'_{kmin}) / (p'_{kmax} - p'_{kmin}), \quad (2)$$

得到 $\mathbf{P}'' = \{p''_{ik} \mid i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, s\}$ 。其中, p'_{kmax} 和 p'_{kmin} 分别表示 $p'_{ik} (i = 1, 2, \dots, n)$ 的最大值和最小值。

(3) 根据指数相似系数公式计算资源节点集合的模糊相似关系矩阵 $\tilde{\mathbf{R}}_s = \{r_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n\}$:

$$r_{ij} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s e^{-\frac{3}{4} \cdot \frac{(p''_{ik} - p''_{jk})^2}{S_k^2}}. \quad (3)$$

式中, r_{ij} 为两个资源节点的相似度; S_k^2 为第 k 个属性的方差。

(4) 对模糊相似关系矩阵进行合成操作, 形成模糊等价关系矩阵 $\mathbf{R}$ 。通过设置不同的截集阈值 λ , 可以将资源节点集合 N 划分为不同精度的等价类 $L = \{lr_1, lr_2, \dots, lr_m\}$ 。其中 lr_j 为若干资源节点构成的集合, 即逻辑共同体。

(5) 根据地震资料处理领域应用对资源属性的需求, 为资源各属性设置权值 $w_i (i = 1, \dots, n)$, 根据式(4) 计算各逻辑共同体的平均计算力 $\bar{v}_j$, 并对其进行排序, 为元调度器进行资源选择提供依据。

$$\bar{v}_j = \frac{1}{e_j} \sum_{N_i \in lr_j} \sum_{k=1}^s w_i p''_{ik}. \quad (4)$$

其中, e_j 为第 j 个逻辑共同体的资源节点数量。

3.4 基于模糊聚类的并行作业划分策略

以二维 Fourier 有限差分法叠前深度偏移处理 (FFD) 为例, 综合应用特征和资源负载两方面因素提出基于模糊聚类的并行作业划分策略。

3.4.1 FFD 算法流程分析

二维 FFD 算法主要分数据准备、偏移预处理、对满足偏移条件的道集进行偏移处理和结果叠加整理与输出 4 个阶段。算法流程如下:

(1) 变量初始化, 设置基本参数, 打开地震数据文件和速度文件, 为后续记录数据和速度数据的读

取操作做好准备。

(2) 偏移预处理,即读取共炮点道集数据,判断是否满足起偏条件。若不满足,则继续读取下一个共炮点道集数据进行判断;若满足,则进行下一步。

(3) 对共炮点道集数据进行偏移处理。首先将模拟震源和记录数据变换到频率域,并求取背景速度;再将模拟震源和炮集记录变换到频率-波数域,进行相移处理;然后将模拟震源和炮集记录变换到频率-空间域,进行时移处理;最后在频率-空间域进行有限差分项补偿项计算。

(4) 判断是否已处理完所有炮集数据。如果未完成,则返回步骤(3),读取下一个共炮点道集记录进行处理;如果已完成,则进行下一步。

(5) 进行结果的叠加整理,输出偏移剖面到结果文件中,关闭相关的地震数据体文件和速度文件。

从时间复杂度来看,偏移处理包含了复数数组的快速傅立叶变换及其逆变换、大数组的三重循环叠加,是处理时间消耗的关键部分。从算法流程来看,“炮”是偏移处理的基本单位,各炮数据处理过程中相互无通信,耦合度较低,仅在结果回收中需将偏移结果进行叠加。因此,可以按“炮”为基本单位进行并行处理,最后进行结果的叠加,任务划分时只需计算出每个工作节点要处理的起止炮号即可。

3.4.2 并行作业划分策略

设为处理任务分配的资源集合可表示为三元组 $R=(L,E,\bar{V})$ 。其中, $L=\{l_i|i=1,2,\dots,t\}$ 为执行该任务的逻辑共同体集合; $E=\{e_i|i=1,2,\dots,t\}$ 为逻辑共同体工作节点数量集合,其中 e_i 为逻辑共同体 l_i 中可以参与计算的工作节点的总数量; $\bar{V}=\{\bar{v}_i|i=1,2,\dots,t\}$ 为逻辑共同体的平均计算力集合。作业划分策略如下:

(1) 根据下式计算逻辑共同体集合 L 对应的任务划分集合 $A=\{a_i|i=1,2,\dots,t\}$:

$$a_i = \frac{\bar{v}_i * e_i}{\sum_{i=1}^t \bar{v}_i * e_i} \times nxshot. \quad (5)$$

其中 a_i 为逻辑共同体 l_i 要处理的炮集数, $nxshot$ 为待处理的炮集总数。

(2) 根据 P 计算各逻辑共同体所执行任务的起始炮编号 $start_nxshot_i$ 和结束炮编号 end_nxshot_i 。其中,当 $i=1$ 时, $start_nxshot_i=1$, $end_nxshot_i=a_i$; 当 $i>1$ 时, $start_nxshot_i=end_nxshot_{i-1}+1$, $end_nxshot_i=start_nxshot_i+a_i$ 。

(3) 根据 $start_nxshot_i$ 和 end_nxshot_i 计算起始

道编号 $start_trace_i=(start_nxshot_i-1) \times shot_trace+1$ 和结束道编号 $end_trace_i=end_nxshot_i \times shot_trace$ 。其中 $shot_trace$ 为一炮中的总道数。

(4) 对每个逻辑共同体所执行任务进行二次划分,将任务分配到具体的工作节点。根据逻辑共同体内资源性能基本同构的特点,进行均匀划分并按步骤(2)、(3)中的公式计算各资源节点分配数据的起始道编号和结束道编号;若资源节点为集群节点,则元调度器将作业分配到集群管理节点,在本地调度层进一步划分。

由于在实际应用环境中本地调度层各系统的工作节点负载是动态变化的,可根据作业实际性能进一步按上述策略进行划分处理。

4 应用网格平台应用

4.1 测试环境

应用网格环境由两个虚拟社区 SL 和 UPC 组成。社区内各网格节点通过千兆以太网互联,社区间通过 Internet 互联,每个集群管理节点均部署了 GT4.2。

社区 SL 包括一个 98 个节点高性能集群系统 SL1、10 个高性能工作站节点组成的工作站集群 SL2 及一个存储服务器。其中 SL1 集群中每个工作节点本地硬盘 40 G,内存 4 G,CPU 采用 Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.20 GHz×2;SL2 工作站集群中每个工作节点本地硬盘 1 T,内存 8 G,CPU 采用 AMD 2×Opteron 2218;存储服务器网络硬盘 500 G。

社区 UPC 包括 8 节点的微机集群 UPC1、6 节点微机集群 UPC2 和 12 个节点高性能集群 UPC3。其中集群 UPC1 中每个工作节点 CPU 为 3 GHz,内存 512 M,配置安装了 NFS 文件系统和 PBS 集群作业管理软件;集群 UPC2 中每个工作节点 CPU 为 1.6 GHz,内存 1 G,配置安装了 NFS 文件系统和 Condor 集群作业管理软件;集群 UPC3 中每个工作节点 CPU 采用 Intel Xeon E5-2670 CPU 2.6 GHz×2,内存 32 GB,存储服务器 12 TB,配置安装了 NFS 文件系统和 Platform LSF 作业管理软件。

4.2 基于 Marmousi 模型地震波场正演模拟

在平台上选择集群 UPC1 和集群 UPC2 进行 Marmousi 模型地震波有限差分波场正演处理,以验证平台对不同集群系统的支持。整个正演任务共放 368 炮,震源从 0 开始,每 25 m 放一炮,每炮放置 368 个检波器,道间距为 25 m,采样点为 726 个,采样间隔为 4 ms。震源子波采用 Ricker 子波,主频率 25 Hz。处理时间 190 min,平均 7.2 min/炮。正演模拟生成的

零偏移距剖面如图 5 所示。通过采用单炮加权平均参考时间计算加速比为 13.25,效率比较理想。

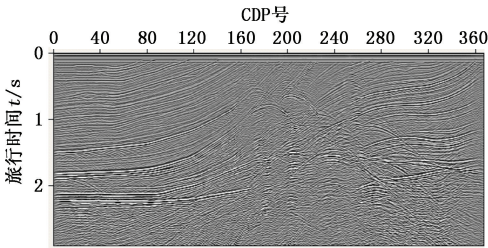


图 5 Marmousi 零偏移距剖面合成记录
Fig. 5 Synthetic seismogram of Marmousi zero offset section

4.3 Marmousi 模型 FFD 叠前深度偏移

在平台上从集群 UPC3 分别按照 5 组方案分别选择 2、3、4、5、6 个节点,对 Marmousi 模型按炮集划分进行了并行处理。其中输入炮数为 240 炮,总道数 23 040,水平采样间隔 25 m,深度采样间隔 4 m,子波频率 25 HZ,速度模型水平采样点数 249,深度采样点数 750。各工作节点处理道数和处理时间如表 1 和表 2 所示。

表 1 各工作节点处理道数

方案	各节点处理道数					
	cu05	cu06	cu07	cu08	cu09	cu10
方案 1	11 520	11 520				
方案 2	7 872	7 776	7 392			
方案 3	5 568	6 336	5 568	5 568		
方案 4	4 416	4 896	4 416	4 416	4 896	
方案 5	3 648	4 032	4 032	3 648	3 648	4 032

整个处理过程中使用的时间主要用于叠前偏移。由于 Marmousi 模型前 102 炮中参与偏移的道数是依次递增的,从 103 炮开始每炮的所有道都参与了偏移。虽然每个节点划分炮数不同,从表 2 中黑体数字部分可以看出在所有道都参与偏移的节点上,处理时间基本相当,说明作业划分策略是有效的。

表 2 各工作节点处理时间

方案	各节点处理时间 t_0/s					
	cu05	cu06	cu07	cu08	cu09	cu10
方案 1	131	228				
方案 2	62	145	150			
方案 3	32	107	110	110		
方案 4	20	68	87	87	97	
方案 5	13	46	72	72	75	79

4.4 实际生产数据处理

在应用网格平台和某油田基于集群系统的神通

软件处理平台上运行了积分法叠前时间偏移程序,处理了某研究区的 600 条测线 1 000 个点的数据,以验证应用平台的稳定性与执行效率。处理过程中,均基于 CMP 道集均匀分配任务。

网格平台上选择集群 SL1 的 98 个节点和 SL2 的一个工作站节点进行数据处理,处理时间为 19 980 s,结果见图 6。在神通平台上选用 120 个集群节点,处理时间 18 026 s,处理结果见图 7。

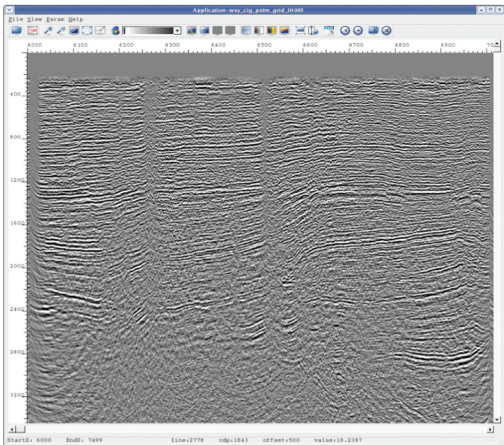


图 6 应用网格平台处理结果

Fig. 6 Processing result on grid platform

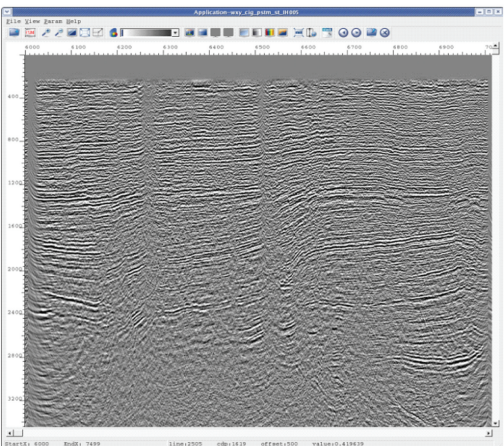


图 7 神通平台处理结果

Fig. 7 Processing result on STseis platform

两种平台处理结果一致,处理时间相当。说明在应用网格平台上能够成功部署地震勘探应用程序,处理地震数据,并且效率和常用的神通平台基本一致,优势在于能够实现集群间的协同计算,进一步扩大处理的规模。

5 结束语

利用网格技术为地震勘探领域海量数据处理需求及行业丰富的高性能资源整合需求建立了分布并行处理平台。成功部署了包含两个虚拟社区的应用

网格平台,共整合 5 个异构的集群系统。在平台上进行了 Marmousi 模型地震波场正演模拟、基于模糊聚类作业划分策略的叠前深度偏移并行处理、积分法叠前时间偏移的并行处理。平台运行稳定,处理结果正确,同等资源规模情况下与单集群上并行处理效率相当。利用分布并行处理平台能够将更多的集群资源整合在一起,扩大地震资料处理规模,缩短处理周期。在 FFD 并行作业划分处理过程中,由于 FFD 偏移的关键计算量都集中在偏移处理的步骤,不同的炮集虽然包含道数相同,但是实际参加偏移计算的道数并不一样,从而产生了数据倾斜效应,任务执行时间分布并不完全均匀。今后工作应进一步结合应用特征优化作业划分策略。

参考文献:

- [1] 张军华,臧胜涛,单联瑜,等. 高性能计算的发展现状 & 趋势[J]. 石油地球物理勘探,2010,45(6):918-925.
ZHANG Jun-hua, ZANG Sheng-tao, SHAN Lian-yu, et al. Development and trend of high performance computing [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45(6):918-925.
- [2] 赵改善. 我们需要多大和多快的计算机[J]. 勘探地球物理进展,2004,27(1):22-28.
ZHAO Gai-shan. How big and fast computers can meet our needs [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(1):22-28.
- [3] 张军华,雷凌,仝兆岐. PC Cluster 技术的国内外现状与发展趋势[J]. 石油物探,2003,42(4):557-561.
ZHANG Jun-hua, LEI Ling, TONG Zhao-qi. Present situation and developing trend of PC Cluster technology[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(4):557-561.
- [4] FOSTER I, KESSELMAN C, TUECKE S. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations[J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(3):200-222.
- [5] FOSTER I, KESSELMAN C, NICK J M, et al. Grid services for distributed system integration[J]. Computer, 2002, 35(6):37-46.
- [6] MELL P, GRANCE T. The NIST definition of cloud computing[J]. National Institute of Standards and Technology, 2009, 53(6):50.
- [7] SMIRNOVA O, EEROLA P, EKELÖF T, et al. The Nordu grid architecture and middleware for scientific applications [M]//Computational Science—ICCS 2003. Heidelberg: Springer, 2003:264-273.
- [8] GANGLIARDI F, BEGIN M E. EGEE-providing a production quality grid for e-science [C]//Local to Global Data Interoperability-Challenges and Technologies, 2005. IEEE, 2005:88-92.
- [9] BLANKE T, DUNN S. The arts and humanities e-Science initiative in the UK [C]//e-Science and Grid Computing, 2006. e-Science'06. Second IEEE International Conference on. IEEE, 2006:136-136.
- [10] BASNEY J, MARTIN S, NAVARRO J P, et al. The problem solving environments of TeraGrid, science gateways, and the intersection of the two [C]//eScience, 2008. eScience'08. IEEE Fourth International Conference on. IEEE, 2008:725-734.
- [11] JUNIOR A M G, SATO L M, MASSETTO F I. A parallel application programming and processing environment proposal for grid computing [C]//Computational Science and Engineering (CSE), 2012 IEEE 15th International Conference on. IEEE, 2012:154-161.
- [12] ALFIERI R, AREZZINI S, BARONE G B, et al. The HPC Testbed of the Italian Grid Infrastructure [C]//Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP), 2013 21st Euromicro International Conference on. IEEE, 2013:241-248.
- [13] JORISSEN K, BILA F D, REHR J J. A high performance scientific cloud computing environment for materials simulations[J]. Computer Physics Communications, 2012, 183(9):1911-1919.
- [14] WONG A K L, GOSCINSKI A M. A unified framework for the deployment, exposure and access of HPC applications as services in clouds [J]. Future Generation Computer Systems, 2013, 29(6):1333-1344.
- [15] FOSTER I. Globus toolkit version 4: software for service-oriented systems [M]//Network and Parallel Computing. Heidelberg: Springer, 2005:2-13.
- [16] 钟敏,王海霞,石进,等. 地震资料分布数据管理平台研究与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(2):248-252.
ZHONG Min, WANG Hai-xia, SHI Jin, et al. Research and implementation of distributed seismic data management platform [J]. Computer Applications and Software, 2013, 30(2):248-252.
- [17] 王财经. 现代应用数学 [M]. 东营:中国石油大学出版社, 2004.

(编辑 修荣荣)