****



**本 科 毕 业 论 文**

院 系

专 业

题 目

年 级 学 号

学生姓名

指导老师 职 称

论文提交日期

**南京大学本科生毕业论文（设计、作品）中文摘要**

题目：

院系 专业 级本科生姓名：

指导教师（姓名、职称）：

摘要：

关键词：并行计算， MPI， Hadoop， Mapreduce， 地质学应用，矩阵计算

**南京大学本科生毕业论文（设计、作品）英文摘要**

THESIS：

DEPARTMENT：

SPECIALIZATION:

UNDERGRADUATE:

MENTOR:

ABSTRACT：

KEY WORDS:

[1. 绪论 5](#_Toc419641867)

[1.1 研究背景和意义 5](#_Toc419641868)

[1.2 国内外关于该课题的研究现状及趋势 5](#_Toc419641869)

[1.3 本文的工作内容和安排。 6](#_Toc419641870)

[2. MPI并行编程模型 7](#_Toc419641871)

[2.1 并行计算的相关理论 7](#_Toc419641872)

[2.1.1并行计算的相关概念 7](#_Toc419641873)

[2.1.2并行计算机结构模型 7](#_Toc419641874)

[2.1.3并行编程模型 9](#_Toc419641875)

[2.2 MPI简介 10](#_Toc419641876)

[3. Hadoop分布式计算框架 11](#_Toc419641877)

[3. MPI和Hadoop分布式计算模型相关比较 12](#_Toc419641878)

[4. 总结 12](#_Toc419641879)

[5. 致谢 13](#_Toc419641880)

[参考文献： 13](#_Toc419641881)

# 绪论

## 1.1 研究背景和意义

随着科学技术的迅猛发展，越来越多的科研领域采用计算机作为辅助存储和运算工具，然而随着各项研究的深入，复杂化、精细化、智能化已经成为当今主流。在这个过程中大数据量、高计算量开始成为科研工作者新的挑战，传统的单机存储、计算模型已经难以满足人们的需要，特别是在天体物理学，分子生物学，地震学，材料化学，地理学等领域，该问题尤其突出。

以地质学中的矿产预测为例，由于矿产资源预测理论的持续进步，相关模型的不断完善，以及与其它地学信息的不断融合，以矿产资源预测理论为核心，以空间数据库为根基的矿产资源预测系统不断涌现[1]。由于该系统涉及到地学大数据融合分析、跨学科数据集成、矿产资源定位定量预测、地质空间建模等一系列复杂过程，所以涉及到的计算量十分庞大。单机计算系统已经难以维持，必须使用现代的高性能计算或者分布式云计算系统进行支撑，以实现对地学大数据的快速处理，准确分析。因此基于现代云计算模型的矿产资源预测系统已经成为前沿研究方向。另外据曲寿利等人有关地震资料勘探的研究中[2]，也表达了相似的观点，由于勘探程度的持续提高，勘探对象也日趋复杂，矿产勘探的当前形势可以用“深，隐，低，稠，小”五个字进行概括，也就是说勘探对象埋深不断加大，勘探目标隐蔽性逐渐增加，低渗透性、特低渗透性油气藏所占的比例上升，稠油、超稠油油藏的比例持续增大，勘探对象的单元储量规模却越来越小。所以为了适应目前这种趋势，地震资料勘探的精度要求大幅提高，而精度的提高必然带来计算量的陡然上升，这之中高性能计算，分布式云计算在其中起到了关键性的作用。

传统高性能计算采用基于并行处理器为基础的超级计算机对复杂的现实世界（包括地理的时间、空间世界）进行计算模拟。随着相关科技的发展，现代高性能计算已经有了新的定义，开始融入集群计算、分布式计算、网格计算、普适计算等一系列新的技术。正是因为有以这种高性能计算为基础的地学计算，地理地质环境中以时空演变为特征的全球性或者大区域性现象（如地理信息系统、全球气候变化、数值天气预报、图像解译和遥感定量解译等）的模拟才能真正实现；原有的一些受单机条件限制而难以进行的模型才能得以完善、改进和运行。[3]

目前高性能计算模型层出不穷，各种新技术令人眼花缭乱，但其中最著名的两个流派就是MPI并行计算模型和以Hadoop分布式计算模型。

MPI(Message Passing Interface)是一种使用非常广泛的基于消息传递的并行编程模型。除了广泛应用于高校科研场所之外，MPI还用于许多商用计算机系统之中。互联网的存在意味着每两个计算机处理器之间都直接或间接的相连，也就是说每个处理器都可以和其它任何一个处理器进行通讯。而MPI并行编程模式就是依赖这种特性，它可以使集群中的任何两台计算节点在计算过程中进行消息传递，最大限度的利用每一台机器的CPU计算能力。

Hadoop是一种新兴的分布式基础架构。用户可以在不了解分布式底层细节的情况下，开发分布式程序。充分利用集群的威力进行高速运算和存储。Hadoop主要由两大核心组成，HDFS(Hadoop Distributed File System)和Mapreduce。HDFS处于底层，Mapreduce则利用HDFS高容错，高可靠，易扩展等特点，在其上构造了一个分布式并行计算引擎。MapReduce将分布式并行编程抽象为两个简单的基本操作（map 操作和reduce 操作），开发人员仅需要实现对应的接口即可，很好的屏蔽了其底层的容错、数据流、程序的并行执行等细节。这种设计无疑大大降低了开发分布式并行程序的难度。

## 1.2 国内外关于该课题的研究现状及趋势

目前MPI和Hadoop并行计算模型都发展的相当成熟，两者都有着广泛的应用情况。目前已有中国地质大学的学者利用MPI开展了大地电磁三维正反演并行算法研究[4][5]，上海超算中心的部分学者则利用MPI进行了黄河下游二维水沙数学模型的研究。[6]由于hadoop相关的mapreduce计算模型出现较晚，当前在地学领域的应用还不是很广，但已有学者开始尝试，比如在Chaowei Yang等人的文章中提出希望利用mapreduce技术进一步探讨数字地球和地质学的研究[7]。

但是到底哪个编程模型更加适用于低存储高计算量的情况，还没有一个定论。目前比较统一的观点是：

MPI是一种基于消息传递机制的并行编程标准，它为程序设计者提供了丰富而方便的通信函数，在程序设计上非常简单而且符合普通程序员的编程习惯。然而MPI有一个比较大的缺陷，即底层没有一个分布式的文件系统对其进行支持。在MPI中数据存储的节点和数据处理的节点往往是不同的，一般在每次计算开始时MPI需要从数据存储节点读取需要处理的数据分配给各个计算节点，然后进行数据处理，即MPI的数据存储和数据处理是分离的。对于计算密集型的应用MPI能表现出良好的性能，但对于处理TB级数据的数据密集型应用，大量的数据在节点间进行交换，网络通信时间将成为影响系统性能的重要因素，性能会大大降低。用“计算换通信”也是MPI并行程序设计中的基本原则 。

在Hadoop中有HDFS文件系统的支持，数据是分布式存储在各个节点的，计算时各节点读取存储在自己节点的数据进行处理，从而避免了大量数据在网络上的传输，实现“计算向存储的迁移”。这对处理TB级的海量数据有很大的优势。

Hadoop从上层架构上看是一种典型的主从式结构，主从式的结构在MPI并行程序设计中也是一种重要的并行程序设计方法，主节点负责对整个系统的数据和工作进行管理和分发。而Hadoop与MPI最根本的区别在于，Hadoop有一个主从式的文件系统HDFS在底层支撑其Map/Reduce的数据处理功能。有了HDFS，Hadoop可以方便地实现“计算向数据存储位置的迁移”，从而大大提高了系统计算效率。主从式基础存储和主从式数据处理构成了Hadoop的基本架构模型。

另外，MPI无法应对节点的失效。如果MPI在运行过程出现节点失效及网络通信中断，则只有返回并退出，MPI没有提供一套机制处理节点失效后的备份处理方案问题，所以如果中途出现问题，所有的计算将重新开始，这是非常耗时的。Hadoop为应对服务器的失效，在数据备份上下了很大的功夫，数据块会形成多个副本存储在不同的地方，一般会有3个副本，采用简单化的跨机架数据块存储，最大限度避免了数据丢失，数据的安全性得到了保证。

## 1.3 本文的工作内容和安排。

在阅读了一些先关课题方面的文献的基础上，本文主要对并行计算的标准编程模型MPI和分布式计算的编程框架Mapreduce在大矩阵相乘方面的性能进行分析，比较两者的不同点，并对两者的使用情形进行说明，为今后的科学研究特别是地学研究进行一定的参考作用。

本文各章的安排如下：

第1章（绪论）概括性的描述了本选题的背景和意义，以及该选题的研究现状和趋势进行了一些分析。最后给出了本文的工作内容和安排。

第2章主要介绍了并行计算的相关理论知识，详细说名了并行计算的概念。介绍了MPI的出现背景，最后给出了在Linux平台下MPI并行编程环境的搭建过程和使用方法。然后分析给出了云计算的概述，分析了Hadoop分布式基础架构，详细介绍了MapReduce的功能和实现机制。

# MPI并行编程模型

## 2.1 并行计算的相关理论

### 2.1.1并行计算的相关概念

并行计算[8](Parallel Computing)是指同时使用多种计算资源对多个任务、多条指令或者多个数据项进行处理解决计算问题的过程，是提高计算机系统计算速度和处理能力的一种有效手段。并行计算的基本思想就是把一个问题分解成多个子任务，用多个处理器协同求解这个问题，各个部分由一个独立的处理器来完成，从而达到加速求解或大规模应用问题的目的。

并行计算被认为是科学家和工程师用来解决各种领域的问题的标准方法，如银河系的演变过程，气候模拟，飞行器设计以及分子动力学。

### 2.1.2并行计算机结构模型

已如上述，大型并行机系统结构一般可分为6类：

单指令多数据流机SIMD（Single-Instruction Multiple-Data）；

并行向量处理机PVP（Parallel Vector Processor）；

对称多处理机SMP（Symmetric Multiprocessor）；

大规模并行处理机ＭPP(Massively Parallel Processor)；

工作站机群COW(Cluster of Workstation)

分布式共享存储DSM(Distributed Shared Memory)多处理机。

SIMD 计算机多为专用，其余的５种均属于多指令多数据流MIMD(Multiple-Instruction Multiple-Data)计算机。５种MIMD并行机的结构模型示于图１.15。其中B(Bridge)是存储总线和I/O总线间的接口，DIR(Cache Directory)是高速缓存目录，IOB(I/O Bus)是I/O总线，LD(Local Disk)是本地磁盘，MB(Memory Bus)是存储器总线，NIC(Network Interface Circuitry)是网络接口电路，P/C(Microprocessor and Cache)是微处理器和高速缓存，SM(Shared Memory)是共享存储器。目前绝大多数近代并行机均用商品硬件构成，而PVP计算机的部件很多都是定制（Custom -Made）的。



图1.15 ５种并行机结构模型

并行向量处理机（PVP）

典型的并行向量处理机的结构示于图1.15(a)。Cray C-90、Cray T-90、NEC SX-4和我国的银河１号等都是PVP。这样的系统中包含了少量的高性能专门设计定制的向量处理器VP，每个至少具有１Gflops的处理能力。系统中使用了专门设计的高带宽的交叉开关网络将VP连向共享存储模块，存储器可以每秒兆字节的速度向处理器提供数据。这样的机器通常不使用高速缓存，而是使用大量的向量寄存器和指令缓冲器。

对称多处理机（SMP）

对称多处理机的结构示于图1.15（b）。IBM R50、SGI Power Challenge、 DEC Alpha服务器8400和我国曙光1号等都是这种类型的机器；

SMP系统使用商品微处理器（具有片上或外置高速缓存），它们经由高速总线（或交叉开关）连向共享存储器；

这种机器主要应用于商务，例如数据库、在线事务处理系统和数据仓库等；

重要的是系统是对称的，每个处理器可等同的访问共享存储器、I/O设备和操作系统服务；

正是对称，才能开拓较高的并行度；

也正是共享存储，也限制了系统中的处理器不能太多（一般少于64个）；

同时总线和交叉开关互连一旦作成也难于扩展。

大规模并行处理机（MPP）

大规模并行处理机的结构示于图1.15(c)。Intel Paragon、IBM SP2、Intel TFLOPS和我国的曙光-1000等都是这种类型的机器；

MPP一般是指超大型（Very Large-Scale）计算机系统，它具有如下特性：

①处理节点采用商品微处理器；

②系统中有物理上的分布存储器；

③采用高通信带宽和低延迟的互连网络(专门设计和定制的)；

④能扩放至成百上千个处理器；

⑤它是一种异步的MIMD机器，程序系由多个进程组成，每个都有其私有地址空间，进程间采用传递消息相互作用。

MPP的主要应用是科学计算、工程模拟和信号处理等以计算为主的领域。

分布共享存储多处理机(DSM)

分布式共享存储多处理机的结构示于图1.15(d)。Stanford DASH、Cray T3D 和SGI/Gray Origin2000 等属于此类结构。

高速缓存目录DIR用以支持分布高速缓存的一致性；

DSM和SMP的主要差别是，DSM在物理上有分布在各节点中的局存从而形成了一个共享的存储器；

对用户而言，系统硬件和软件提供了一个单地址的编程空间；

DSM相对于MPP的优越性是编程较容易。

工作站机群（COW）

工作站机群结构示于图1.15(e)。Berkeley NOW、Alpha Farm、Digital Trucluster等都是COW结构。在有些情况下，机群往往是低成本的变形的MPP,COW的重要界线和特征是：①COW的每个节点都是一个完整的工作站（不包括监视器，键盘，鼠标等），这样的节点有时叫作“无源工作站”，一个节点也可以是一台PC或SMP；

②各节点通过一种低成本的商品网络（如以太网、FDDI和ATM开关等）互连（有的商用机群也使用定做的网络）；

③各节点内总是有本地磁盘，而MPP节点内却没有；

④节点内的网络接口是松耦合到I/O总线上的，而MPP内的网络接口是连到处理节点的存储总线上的，因而可谓是紧耦合式的；

⑤一个完整的操作系统驻留在每个节点中，而MPP中通常只是个微核，COW的操作系统是工作站UNIX，加上一个附加的软件层以支持单一系统映像、并行度、通信和负载平衡等。

现今，MPP和COW之间的界线越来越模糊。例如，IBM SP2 它虽视为MPP，但它却有一个机群结构。机群相对于MPP有性能/价格比高的优势，所以在发展可扩放并行计算机方面呼声很高。

表1.6汇总了上述5种结构的特性比较。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 属性 | PVP | SMP | MPP | DSM | COW |
| 结构类型 | MIMD | MIMD | MIMD | MIMD | MIMD |
| 处理器类型 | 专用定制 | 商用 | 商用 | 商用 | 商用 |
| 互连网络 | 定制交叉开关 | 总线、交叉开关 | 定制网络 | 定制网络 | 商用网络（以太ATM） |
| 通信机制 | 共享变量 | 共享变量 | 消息传递 | 共享变量 | 消息传递 |
| 地址空间 | 单地址空间 | 单地址空间 | 多地址空间 | 单地址空间 | 多地址空间 |
| 系统存储器 | 集中共享 | 集中共享 | 分布非共享 | 分布共享 | 分布非共享 |
| 访存模型 | UMA | UMA | NORMA | NUMA | NORMA |
| 代表机器 | Cray C-90，  Cray T-90，  银河1号 | IBM R50，SGI Power Challenge，  曙光1号 | Intel Paragon， IBMSP2，曙光1000/2000 | Stanford DASH，Cray T 3D | Berkeley NOW，Alpha Farm |

表1.6 5种结构特性一览表

### 2.1.3并行编程模型

目前最重要的并行编程模型是数据并行和消息传递，数据并行编程模型的编程级别比较高，编程相对简单，但它仅适用于数据并行问题；消息传递编程模型的编程级别相对较低，但消息传递编程模型可以有更广泛的应用范围。

数据并行编程模型

　　数据并行即将相同的操作同时作用于不同的数据，数据并行编程模型提供给编程者一个全局的地址空间，一般这种形式的语言本身就提供并行执行的语义，因此对于编程者来说，只需要简单地指明执行什么样的并行操作和并行操作的对象，就实现了数据并行的编程

　　比如对于数组运算，使得数组B和C的对应元素相加后送给A，则通过语句

　　　　A=B+C（或其它的表达方式）

就能够实现上述功能，使并行机对B、C的对应元素并行相加，并将结果并行赋给A。因此数据并行的表达是相对简单和简洁的，它不需要编程者关心并行机是如何对该操作进行并行执行的。

消息传递并行编程模型

　　消息传递即各个并行执行的部分之间通过传递消息来交换信息、协调步伐、控制执行。消息传递一般是面向分布式内存的，但是它也可适用于共享内存的并行机。

　　消息传递为编程者提供了更灵活的控制手段和表达并行的方法，一些用数据并行方法很难表达的并行算法，都可以用消息传递模型来实现，灵活性和控制手段的多样化，是消息传递并行程序能提供高的执行效率的重要原因。

　　消息传递模型一方面为编程者提供了灵活性，另一方面，它也将各个并行执行部分之间复杂的信息交换和协调、控制的任务交给了编程者，这在一定程度上增加了编程者的负担，这也是消息传递编程模型编程级别低的主要原因。虽然如此，消息传递的基本通信模式是简单和清楚的，学习和掌握这些部分并不困难，因此目前大量的并行程序设计仍然是消息传递并行编程模式。

消息传递与数据并行的对比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据并行与消息传递并行编程模型   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 对比内容 | 数据并行 | 消息传递 | | 编程级别 | 高 | 低 | | 适用的并行机类型 | SIMD/SPMD | SIMD/MIMD/SPMD/MPMD | | 执行效率 | 依赖于编译器 | 高 | | 地址空间 | 单一 | 多个 | | 存储类型 | 共享内存 | 分布式或共享内存 | | 通信的实现 | 编译器负责 | 程序员负责 | | 问题类 | 数据并行类问题 | 数据并行、任务并行 | | 目前状况 | 缺乏高效的编译器支持 | 使用广泛 | |

讲解:

　　不同的并行编程模型也就是不同的通过并行程序解决问题的模式，数据并行的主要特征是以数据为中心，通过对数据的划分和并行处理来解决问题，消息传递当然也可以实现上述功能，但是消息传递在问题的表述上更具体，更低级，可以解决的问题相对于数据并行模型来说也更广泛。在一定程度上，可以把数据并行看作是消息传递的特殊形式。

## 2.2 MPI简介

MPI(Message Passing Interface)是由科研机构和工程部门共同设计的一套标准且可扩展的消息传递系统。它可以运行在一组异构的并行计算机上。MPI标准制定的一套语法和语义核心库可被用户使用编写可移至的消息传递程序。目前MPI已经有了C,C++,Fortran,Java和Go绑定，有几个经过严格测试并且保证高效的MPI具体实现，其中一些是开源的。

MPI已经成为目前应用最广泛和最稳定的并行程序设计规范,几乎所有的主流操作系统（Windows，Linux，Unix，MacOS等）都支持最新的MPI2.0标准。MPI的并行编程主要靠一组消息传递库函数惊醒。这组函数可以在不同的运算机器上进行数据交换，提供了并行任务间的发送，接受和同步接口。

MPI有两种基本的并行程序设计模式：总从模式和对等模式。这两种模式可对应于Web开发中的C/S模式和C/C模式。

主从模式：

该种模式中一个主进程对整个并行程序进行总体控制，从进程在主进程的控制下对数据进行处理和运算。这是当前的一些程序使用比较多的一种并行程序设计模式。也是本文对应实验所采用的方式。

对等模式：

程序的各个进程的地位完全等同，只不过是处理的数据和对象有所不同。

MPI的通讯模式

分为四种：标准通信模式、缓存通信模式、同步通信模式、就绪通信模式

标准通信模式：

是否缓存数据由MPI决定

如果缓存数据，发送操作的进行与接收操作是否执行无关。数据缓存完毕时发送操作就会正确返回。

如果不缓存数据，只有当相应的接收调用执行，并且发送数据完全到达接收缓冲区后，发送操作才算完成。这时，发送缓冲区可以被覆盖。对于非阻塞通信，发送操作虽然没有完成，但发送调用已经正确返回。

缓存通信模式：程序员直接对通信缓冲区进行控制。

    用户必须保证发送前必须有缓冲区可用，否则失败返回。阻塞发送后，缓冲区可覆盖，但非阻塞发送正确返回后，缓冲区不能立刻被覆盖。这种通信模式下发送调用是否正确返回只和有无缓冲区有关。另外，请注意区别MPI的发送/接收缓冲区与系统缓冲区。

同步通信模式

    这种通信的开始不依赖于相应的接收操作是否起动，但是同步发送必须等相应的接收进程开始后才可正确返回。这个返回意味着发送缓冲区中的数据被系统缓冲区缓存并且开始发送，就是说，返回时发送缓冲区可以被覆盖了。

就绪通信模式

    只有当接收操作起动时，发送操作才能开始，否则发送操作会出错。对于非阻塞发送操作的正确返回，不等于发送完成，但对于阻塞发送的正确返回，发送缓冲区可被覆盖。

    这是一个特别的通信模式，所以，一般在使用时，会先起动接收操作，然后再向发送进程发消息，发送进程收到这个消息后，才会开始进行发送操作。

# Hadoop分布式计算框架

Hadoop是一个由Apache基金会所开发的分布式系统基础架构。

用户可以在不了解分布式底层细节的情况下，开发分布式程序。充分利用集群的威力进行高速运算和存储。

[1] Hadoop实现了一个分布式文件系统（Hadoop Distributed File System），简称HDFS。HDFS有高容错性的特点，并且设计用来部署在低廉的（low-cost）硬件上；而且它提供高吞吐量（high throughput）来访问应用程序的数据，适合那些有着超大数据集（large data set）的应用程序。HDFS放宽了（relax）POSIX的要求，可以以流的形式访问（streaming access）文件系统中的数据。

Hadoop的框架最核心的设计就是：HDFS和MapReduce。HDFS为海量的数据提供了存储，则MapReduce为海量的数据提供了计算。[2]

Hadoop是一个能够让用户轻松架构和使用的分布式计算平台。用户可以轻松地在Hadoop上开发和运行处理海量数据的应用程序。它主要有以下几个优点：

高可靠性。Hadoop按位存储和处理数据的能力值得人们信赖。

高扩展性。Hadoop是在可用的计算机集簇间分配数据并完成计算任务的，这些集簇可以方便地扩展到数以千计的节点中。

高效性。Hadoop能够在节点之间动态地移动数据，并保证各个节点的动态平衡，因此处理速度非常快。

高容错性。Hadoop能够自动保存数据的多个副本，并且能够自动将失败的任务重新分配。

低成本。与一体机、商用数据仓库以及QlikView、Yonghong Z-Suite等数据集市相比，hadoop是开源的，项目的软件成本因此会大大降低。

Hadoop带有用Java语言编写的框架，因此运行在 Linux 生产平台上是非常理想的。Hadoop 上的应用程序也可以使用其他语言编写，比如 C++。

# MPI和Hadoop分布式计算模型相关比较

实验情况搭建

矩阵与矩阵相乘

K-means聚类算法

# 结论

在Hadoop 出现之前，高性能计算和网格计算一直是处理大数据问题主要的使用方法和工具，它们主要采用消息传递接口（Message Passing Interface，MPI）提供的API 来处理大数据。高性能计算的思想是将计算作业分散到集群机器上，集群计算节点访问存储区域网络SAN 构成的共享文件系统获取数据，这种设计比较适合计算密集型作业。当需要访问像PB 级别的数据的时候，由于存储设备网络带宽的限制，很多集群计算节点只能空闲等待数据。而Hadoop却不存在这种问题，由于Hadoop 使用专门为分布式计算设计的文件系统HDFS，计算的时候只需要将计算代码推送到存储节点上，即可在存储节点上完成数据本地化计算，Hadoop 中的集群存储节点也是计算节点。在分布式编程方面，MPI 是属于比较底层的开发库，它赋予了程序员极大的控制能力，但是却要程序员自己控制程序的执行流程，容错功能，甚至底层的套接字通信、数据分析算法等底层细节都需要自己编程实现。这种要求无疑对开发分布式程序的程序员提出了较高的要求。相反，Hadoop 的MapReduce 却是一个高度抽象的并行编程模型，它将分布式并行编程抽象为两个原语操作，即map 操作和reduce 操作，开发人员只需要简单地实现相应的接口即可，完全不用考虑底层数据流、容错、程序的并行执行等细节。这种设计无疑大大降低了开发分布式并行程序的难度。

# 参考文献：

[1]张嘉桐. 基于云计算的地学 G~ 4I 系统结构设计[D]. 吉林大学, 2013.

[2] 曲寿利. 地震勘探技术的发展促进油气勘探新发现[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(3): 366-370.

[3] 薛勇, 万伟, 艾建文. 高性能地学计算进展[J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30(3): 314-319.

[4] 李焱. 基于 MPI 的大地电磁三维正反演并行算法研究[D]. 中国地质大学, 2011.

[5] 张治宏. 基于 MPI 的并行计算研究 [D][D]. 中国地质大学 (北京), 2006.

[6] 余欣, 杨明, 王敏, 等. 基于 MPI 的黄河下游二维水沙数学模型并行计算研究[J]. 人民黄河, 2005, 27(3): 49-50.

[7] Yang C, Xu Y, Nebert D. Redefining the possibility of digital Earth and geosciences with spatial cloud computing[J]. International Journal of Digital Earth, 2013, 6(4): 297-312.

[8] Valiant L G. A bridging model for parallel computation[J]. Communications of the ACM, 1990, 33(8): 103-111.

# 5. 致谢

伴随着本科毕业论文的完成，我的大学生活也将告一段落了。在这里我真心想给与我帮助和指导的老师，同学和我的父母表示衷心的感谢。

首先真的很感谢我指导老师周会群周老师。在真个论文撰写过程中，周老师都给予了我很大的帮助。特别是在实验开始阶段，由于在集群配置过程中出现了这样或那样的问题，周老师都在百忙之中给与了我指导。并对我给与了很大的信任，也教会了我很多科研态度和精神。在这个过程中我学习到了很多额外的知识。

另外由衷的感谢南京大学地球科学与工程学院的老师们。在大学四年之中，地科院老师们的严谨治学的态度，钻研求实的科研精神都深深地影响了我。相信在以后的工作生活中都将受益匪浅。另外在生活中，老师特别是辅导员也无时无刻不在替我们着想。真的很感谢你们。

另外我的同窗好友让我们的课余大学生活变得丰富多彩。感谢2011级的全体同学，当然还有那些曾经帮助我们的学长学姐们。有了你们的陪伴，大学四年的生活必将是我今后人生中最美好的记忆。

感谢这段时间，我敬爱的父母在生活中的关怀。是你们一直支持着我前进。

最好感谢答辩组的各位老师在百忙之中的指点。