

# 成矿过程三维并行模拟技术探讨

方金云<sup>1</sup> 姚书振<sup>2</sup> 胡光道<sup>2</sup> 丁振举<sup>2</sup> 孙景瑜<sup>3</sup>

(1. 中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 3. 山东省莱州市望儿山金矿, 莱州 261441)

**摘要:** 成矿作用的多阶段多过程、成矿因素的多变量、成矿空间的多维多分辨率, 导致成矿过程模拟的复杂性和在单机上实施模拟成矿过程的困难性. 利用由微机组成的以太网构成的机群并行环境和内存共享、任务分配的并行处理策略, 可以实施模拟三维空间的成矿过程. 采用 Client-Server 结构、插件和存储算法技术来构建的模拟系统原型, 在由 8 台微机构成的并行环境中具有线性加速比.

**关键词:** 成矿作用; 三维; 模拟; 并行系统.

**中图分类号:** P611.5; P628<sup>+</sup>.3 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2001)02-0185-04

**作者简介:** 方金云, 男, 1968 年生, 1999 年毕业于中国地质大学(武汉), 获矿床学博士学位, 主要研究方向为空间数据实时处理.

成矿模拟是利用计算机对成矿系统的结构、功能和行为以及控矿因素进行比较逼真的模仿, 即仿真成矿物质活化、迁移和富集时空行为的流程. 它强调成矿物质流在开始、中间和结束 3 个阶段所发生的现象. 它是通过建立一组反映成矿系统行为特征的包含时间变量由控矿因素(变量)组成的状态方程(包括代数方程、微分方程、函数方程、差分方程和随机性方程等), 利用给定的边界条件和一定的求解算法(如 Euler 法), 求出不同时间的成矿序列的各变量值来反映成矿机理与过程.

在成矿模拟中, 目前常用方法是二维动力学, 如利用火山一次火山热液成矿的动力学模型来模拟多孔介质中热质迁移<sup>[1]</sup>, 利用平流—渗流模型(advection-dispersion model)模拟变质流体在裂隙介质二维流动过程中同位素的运输<sup>[2]</sup>, 以半经验算法为基础开发的二维地层模型成功地预测了含油储层的分布<sup>[3]</sup>. 利用含油气体系的系统动力学理论与常规油气生排运聚散模拟方法结合起来, 建立了一种新型的系统动力学模型<sup>[4]</sup>.

模拟成矿过程的另一种方法是粒子技术. 自

Reeves<sup>[5]</sup>提出粒子系统以来, 已有许多利用粒子系统来模拟自然现象的研究工作. 利用粒子系统可模拟风吹波浪时形成的水花和泡沫<sup>[6]</sup>, 表述动物群体的运动<sup>[7]</sup>, 实时模拟船行驶时的轨迹<sup>[8]</sup>, 但模拟成矿过程尚无人问津. 随着分子动力学的发展, 粒子技术必将深刻地揭示成矿过程的本质.

无论是采用动力学技术还是粒子技术, 三维成矿模拟都具有数据量大、处理时间长等特点, 往往一个矿体就需要几百 Mb 的内存, 模拟单变量单一成矿过程在单机上就需要几个小时或更多的时间. 随着矿床原始数据采集的分辨率提高, 需要处理的数据量将提高一至二个数量级. 新兴的空间信息分析模型可使识别精度进一步提高, 也使数据量和数据处理量呈数量级增加. 加之成矿过程往往是多阶段多过程多因素综合作用, 成矿模拟的交互性要求又很强. 因此, 模拟速度和精度问题是严峻的, 迫切需要引入新的地学信息处理手段, 即并行处理手段. 目前通用的并行系统大都是基于专用的并行机或工作站, 硬软件价格昂贵, 组建一套这样的系统需几百万元人民币, 限制了并行计算技术在成矿模拟中的应用. 笔者试图在由普通 PC 机组成的局域网机群环境中, 探讨构建三维成矿模拟并行处理系统的技术框架, 即机群并行计算机制、系统结构、技术特点和性能实验.

收稿日期: 2000-11-30

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(No. 69896250-4); 中国科学院“九五”基础性重大研究项目(No. KJ951-B1-703); 国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室资助项目.

# 1 机群并行计算机制

机群计算可以充分利用现有的计算、内存、文件等资源,用较少的投资实现高性能计算,因此越来越成为普通高性能计算用户青睐的对象.在国际上,名为 Beowulf 的机群计算正成为并行处理领域的研究热点.在国内,著名 IT 公司如曙光、浪潮等都推出了自己的机群系统,不少高性能计算用户纷纷自己组建机群系统,如中科院计算数学研究所的机群系统达到了 128 个结点.

选择机群系统作为并行成矿模拟的平台,一方面,由于成矿模拟算法多为比较规整的矩阵运算,易于并行化,且成矿模拟计算通信比高,比较符合机群系统计算速度快但通信相对较慢的特点,容易在机群上获得较好的并行加速效果;另一方面,我们为机群并行处理设计的虚拟共享存储计算平台 JIAJIA 可以把多台计算机的内存组织成一个大共享空间<sup>[9]</sup>,能够把很大的三维图像装进内存进行运算,克服了在单机处理中由于内存容量不够需要在运算过程中进行 I/O 操作的缺点.

## 1.1 内存共享

把多机的内存空间组织成更大的共享空间,并分布在各计算机之中,当一个处理机访问分布在本机的那部分共享内存时,直接命中本地内存;当一个处理机访问分布在其他处理机中的共享内存时,自动在本地内存中备份远程数据,并在本地访问(图 1).

## 1.2 任务分配多机同时处理

并行任务分配就是将待模拟的区域根据处理机数  $n$  划分为  $n$  等份(图 2).各处理机分别处理自身任务,并同时根据相邻任务结果,修改相应有关参数.下列程序段即说明此并行处理过程:

串行程序

```
for(I=0;I<N;I++){A[I]=B[I]+C[I];}
```

并行程序

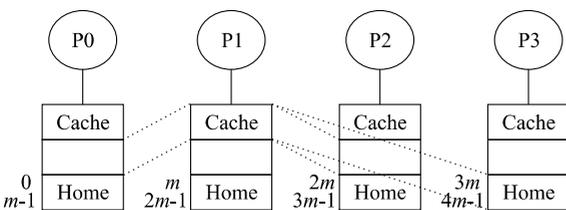


图 1 内存共享

Fig. 1 Memory sharing

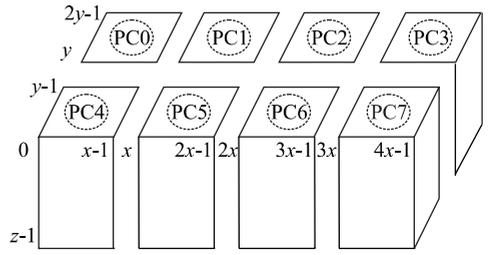


图 2 并行任务分配

Fig. 2 Task distribution of parallel computing

```
start=N/jiahosts*jiapid; }任务分配
end=start+N/jiahosts; }
for(I=start;I<end;I++){ }
A[I]=B[I]+C[I]; }各处理机分别处理
}
```

jia\_barrier(); 消息通讯,任务等齐

其中,jiahosts 为机群环境中参与计算的 PC 机数; jiapid 为参与计算的各 PC 机 ID 号.

# 2 系统结构

在实现上模拟系统采取 Client-Server 结构. Client 端负责图形界面、用户交互,以及其他复杂度不高,可以由 Client 实时完成的操作. Server 端是并程序,负责完成对内存要求大、单机计算时间长的操作. Client 和 Server 的关系如图 3 所示.

系统主要包括 3 个程序模块:并行成矿模拟模块、界面及交互模块和通信模块(图 4).系统在 Server 端通过 Agent 进程进行系统管理(如在多个 Client 使用同一机群时进行处理机的分配等).系统进程有三类,其结构如图 5 所示.在运行时,先在机群的第 0 号结点起一个 Agent 进程,该进程起来后处于睡眠状态,等待 Client 的连接.一个 Agent 可

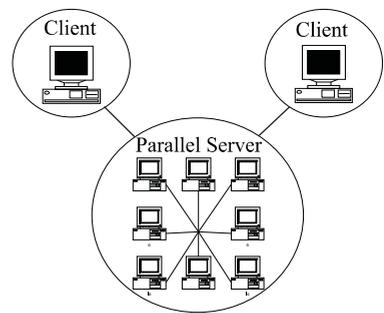


图 3 系统结构

Fig. 3 System architecture

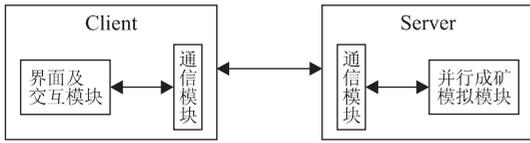


图 4 系统的模块结构

Fig. 4 Module construction of the system

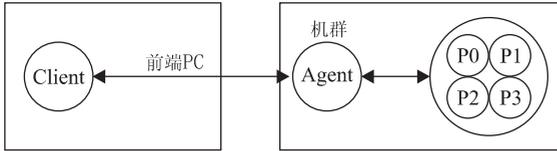


图 5 系统进程结构

Fig. 5 Process structure

以与来自不同机器的多个 Client 端连接。当用户端的 Client 进程启动后,唤醒 Agent,并向 Agent 发出指令,Agent 收到命令后 fork 出 Server 的 0 号进程,并由该进程启动并行 Server 的其他进程进行并行处理。Client 和 Agent 间利用标准的 TCP/IP 协议进行通信,因此 Client 端可以通过因特网与 Server 端进行远程异地连接。

### 3 系统采用的技术

(1)存储算法。算法由一个或多个有序的模拟操作组成。存储算法指的是对于某种成矿模拟操作,不保存处理的结果图像,而是保存处理过程的各个操作。每次使用(如显示)结果时,都可以由算法从原始数据计算模拟结果然后使用。存储算法是采用以时间换空间策略,虽然增加了计算量,但由于系统计算速度很快,对于一般的算法能在很短的时间内完成,故此乃是并行处理特色的存储算法。另外由于成矿模拟过程都遵循类似的操作,因此用户可通过打开一个算法批量模拟大量类似成矿过程。存储算法使成矿模拟结果间的类比成为可能。由于成矿模拟参数和操作的的不同对同一成矿现象所得到的结果也不同,因此无法比较结果的可靠性,而存储算法统一了成矿模拟方法。用户设计算法时,只要从工具栏把所需的操作依次拖入算法区,并双击算法区内的每一个操作图标即可进行操作参数设置。

(2)跨平台支持技术。系统可以在各种软硬件平台上运行。硬件平台可以是专用的并行机系统,如 IBM SP2 或曙光 1000 系列并行机系统,或各类工

表 1 微机机群上并行效果

Table 1 Results of parallel simulation based on PC cluster

操作	内存/ Mb	$t_1/s$	$t_2/s$	加速比
空域滤波(1320 * 1500 * 100)	378	202	12	16 : 1
非监督分类(654 * 572 * 700, 5 类)	286	1 285	114	11 : 1
非监督分类(654 * 572 * 700, 16 类)	286	998	105	9 : 1
最小距离分类(765 * 706 * 300, 10 类)	211	341	44	8 : 1
Bayes 分类(765 * 706 * 300, 10 类)	211	350	55	6 : 1

$t_1$ . 串行时间;  $t_2$ . 并行时间。

作站或微机机群。目前 Server 端可以运行在 Solaris, Linux, Aix 环境下,并很容易移植到其他 UNIX 以及 NT 上。Client 端目前基于 GTK,以后要移植到 NT 上。系统支持异构的 Client 和 Server 系统。如 Client 为 PC 机,而 Server 端为曙光 1000 系列机群。这两类机器硬件不同,数据的字节次序也不同,在 Intel 的 Pentium 系列处理机中,一个 32 位整数内的 4 个字节从低到高排列,而在 IBM 的 PowerPC 系列处理机中,一个 32 位整数内的 4 个字节从高到低排列。系统能自动识别机器的字节序并进行转换。此外,由于采用标准的 TCP/IP 协议进行通信,系统的 Client 和 Server 端可以是普通 PC 机。

(3)插件技术。整个系统采用模块化设计和插件技术,由于不同的用户有不同的成矿模拟的要求,系统的设计充分考虑到发挥用户的专业知识。在设计过程中,系统把模块化作为首要原则,并支持插件技术。系统提供了一个简单的插件接口,用户可以不用对系统重新编译而增加系统的成矿模拟功能。为了根据自己的需求在系统中增加操作,用户只要编写相应的程序模块,在插件表中增加一个表项,进行编译后连接到系统中。

### 4 系统性能分析

表 1 给出了在由 8 台微机组成的机群上部分操作的串行时间与并行时间比较。该机群的每台微机的处理器为 Pentium II 400,内存容量为 256 Mb。8 台微机由一个 100 Mbps 的交换式以太网相连接,运行 Linux 操作系统。从表 1 可以看出,对于上述应用,系统都取得了很好的加速效果,有些对于内存要求较高的操作甚至取得了超线性加速比。在表 1 中,前面 1 个内存要求大于单机内存的操作的串行时间不是系统中测试的,而是在专门设计的串行程序中进行的;后面几个对内存要求较少的操作的串行时

间就是系统并行程序的单机运行时间。

## 5 结论

成矿过程三维模拟是一计算量很大、内存要求很高的处理过程,目前利用单机无法满足实时真三维空间处理的要求,而基于机群的并行处理,一方面可以充分利用已有的计算资源,得到高性能的计算;另一方面由于成矿模拟是规整的矩阵运算,通讯量少,适于并行处理。因而内存共享、任务分配的并行机制,Client-server 结构,存储算法技术,跨平台技术和插件技术的采用有助于将成矿过程模拟实用化。

在研究过程中得到何建邦院士和中科院计算技术研究所胡伟武研究员的指导,在此深表谢意。

### 参考文献:

- [1] 於崇文,岑况,鲍征宇,等. 成矿作用动力学[M]. 北京:地质出版社,1998. 119~172.
- [2] Cartwright A T, Weaver T R. Two-dimensional patterns of metamorphic fluid flow and isotopic resetting

in layered and fractured rocks[J]. *J Metamorphic Geol*, 1997, 14: 497~512.

- [3] Lawrence D T, Doyle M, Aigner T. Stratigraphy simulation of sedimentary basin: concepts and calibration[J]. *AAPG Bull*, 1990, 74(3): 273~295.
- [4] 吴冲龙,王燮培,周江羽,等. 含油气系统的概念和研究方法[J]. *地质科技情报*, 1997, 16(2): 43~50.
- [5] Reeves W T. Particle system — a technique for modeling a class of fuzzy objects[J]. *Computer Graphics*, 1983, 17(3): 358~376.
- [6] Fournier A, Reeves W T. A simple model of ocean waves[J]. *Computer Graphics*, 1986, 20(4): 75~84.
- [7] Reynolds C W. Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model[J]. *Computer Graphics*, 1987, 21(4): 25~34.
- [8] Goss M E. A real time particle system for display of ship wakes[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1990, 10(3): 30~35.
- [9] Hu W W, Shi W S, Tang Z M. JIAJIA: a SVM system based on a new cache coherence protocol[A]. *Proc of the high performance computing and networking, Europe[C]*. [s. l.]: [s. n.], 1999.

## PROBE INTO PARALLEL SIMULATION TECHNIQUES OF 3D ORE-FORMING PROCESS

Fang Jinyun<sup>1</sup> Yao Shuzhen<sup>2</sup> Hu Guangdao<sup>2</sup> Ding Zhenjü<sup>2</sup> Sun Jingyu<sup>3</sup>

(1. *State Key Lab. of Resources and Environment Information System, CAS, Beijing 100101, China;*  
2. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;* 3. *Wangershhan Gold Mine, Laizhou 261441, China*)

**Abstract:** Multi-stage and plural process of mineralization, multivariable metallogenetic factors, multidimensional and multiresolution of ore-forming space, bring about the complexity in simulating ore-forming process, and difficulty to simulate it in real-time by one computer. Under the Ethernet with PC cluster, it is practicable to simulate the mineralization of 3D by means of memory sharing and task distribution of parallel computing. The prototype system, based on Client-Server, plug-in and algorithmization, is effective in image processing and with linear speed-ups, tested by 8 PCs.

**Key words:** mineralization; 3D; simulation; parallel system.