

# 面向两类典型分析仿真的多样本任务调度工具的设计\*

刘步权,纪占龙,姚益平,赵宇亮

(国防科技大学 计算机学院,湖南 长沙 410073)

**摘要:**当在多台计算机上调度很多样本并行运行时,采用手工操作效率低且极易出错。设计一个自动化的任务分发与调度工具可以有效地提高仿真运行效率。蒙特卡罗仿真和粒子群优化算法仿真是两类典型的分析仿真,介绍了面向这两类仿真的多样本任务调度工具的实现原理和关键技术,这些方法具有很好的通用性和可扩展性,可以广泛应用于解决各类仿真任务的自动分发与调度问题。

**关键词:**分析仿真;多样本;任务调度

**中图分类号:**TP391.9 **文献标识码:**A

## Design of a Multi-sample Scheduling Tool for Two Classes of Analytic Simulations

LIU Bu-quan, JI Zhan-long, YAO Yi-ping, ZHAO Yu-liang

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** When a large number of samples are being scheduled to run in dozens of computers, it is low in efficiency and easy to make mistakes for manual operation. Thus, an automatic tool for deploying and scheduling tasks can improve the analytic simulation's execution efficiency. The Monte Carlo simulation and the Particle Swarm Optimization algorithm simulation are two kinds of classical analytic simulations. This research introduces the rationales and key techniques for the multi-sample scheduling tool based on both simulations, which can be generally and widely used in resolving varieties of problems about the automatically deploying and scheduling of simulation tasks.

**Key words:** analytic simulation; multiple samples; task scheduling

以多样本多次运行为特点的分析仿真通常以获取运行结果为主,而较少关心整个仿真的运行过程。国内大多采用HLA技术来实现分析仿真,并在此基础上构建相应的任务调度工具<sup>[1-2]</sup>;然而,美国及西方其它国家很少将HLA技术应用于分析仿真,针对分析仿真应用的特点研制高效的调度工具对于提高仿真运行效率尤为重要。多样本任务调度软件YH-PDSS是根据海军某研究院的实际需求而研制的,用于该单位的蒙特卡罗仿真和粒子群优化算法仿真。该软件主要用来完成局域网环境下仿真任务的分发与调度,实现多样本条件下仿真任务的并行运行;针对蒙特卡罗仿真和粒子群优化算法仿真,分别采用不同的任务分发与调度策略,实现动态负载均衡,以充分利用现有的计算资源;样本运行完毕,能够自动收集散布在各个计算节点上的结果数据,并清除各计算节点上的样本运行信息。

本文针对分析仿真的特点,提出了基于共享内存区的仿真任务工具的体系结构实现方式,该种体系结构具有很好的通用性和可扩展性,同样适用于其他分析仿真优化算法。本文还对YH-PDSS采用的仿真任务分发方式,以及高效的调度策略进行了介绍, YH-PDSS所采用的这些关键技术可以有效地缩短仿真运行时间,提高仿真运行效率。

### 1 两类典型分析仿真

蒙特卡罗仿真和粒子群优化算法仿真是两类典型的分析仿真应用。

在蒙特卡罗仿真中,同一个仿真应用需要运行多次,每次运行时采用不同的输入参数或随机变量。随着计算机技术的发展,它在核科学、真空技术、地质科学、医学统计、随机服务系统、系统模拟和可靠性等方面都得到了应用<sup>[3]</sup>。

\* 收稿日期:2010-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170047,61170048)

作者简介:刘步权(1969—),男,副研究员,博士。

在粒子群优化算法仿真中,同一个仿真应用在一次运行过程中需要迭代多次,而每次迭代时设置的粒子数有所不同。作为一种新兴的优化技术,目前已广泛应用于函数优化、神经网络训练、模糊系统控制以及其他遗传算法等诸多应用领域<sup>[4-6]</sup>。

## 2 实现原理

YH-PDSS 采用 C/S 结构,由一个服务端和多个客户端组成。用户在服务端机器上操作,相应的命令和数据被发送到各个客户端机器执行,执行的结果再返回给服务端机器。

### 2.1 体系结构

YH-PDSS 采用如图 1 所示的体系结构。YH-PDSS 任务调度工具通过共享内存区与仿真应用程序进行交互,而在仿真应用程序之上可以根据仿真应用系统的需求设置仿真监控管理程序。这种体系结构模式有效地实现了任务调度工具与仿真应用系统的分离,并且保持了两者的相对独立性,便于对已有的仿真应用系统进行改造。实践证明,该方法要比采用 TCP/IP 技术实现数据传输更为方便和有效。

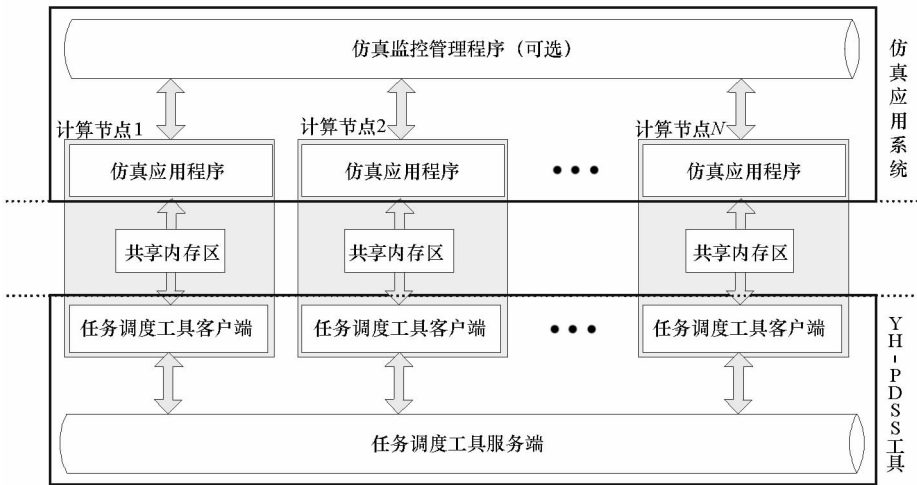


图 1 YH-PDSS 与仿真应用系统接口示意图  
Fig. 1 The interface between YH-PDSS and simulation application system

### 2.2 软件功能

服务端软件从各客户端接收相应计算节点的性能及负载信息,并进行可视化显示,然后根据不同的仿真应用类型(包括蒙特卡罗仿真和粒子群优化算法仿真),分别采用不同的任务分发策略,将仿真应用程序和初始化数据分发到各计算节点。在仿真运行过程中,服务端根据各计算节点当前的负载情况,对仿真任务进行动态调度,以充分利用现有计算资源,实现负载均衡。

客户端软件用来获取其所在计算节点的性能与负载状态并发送给服务端,对仿真应用程序运行过程进行控制(包括“启动/暂停/恢复/终止”仿真程序),生成日志文件以及资源清理等功能。

## 3 关键技术

YH-PDSS 采用的仿真任务分发方式具有较好的灵活性,实现的任务分发学习与调整策略可以有效缩短仿真运行时间,提高仿真运行效率。

### 3.1 多种任务分发方式

为满足用户对于仿真任务的不同分发要求, YH-PDSS 系统提供了灵活多样的任务分发方式,支持仿真任务的自动分配和手动分配。YH-PDSS 服务端通过运行于各计算节点上的客户端来获取并显示各节点的性能与负载信息,包括 CPU 状态、内存状态、各计算节点的任务总数、已处理任务数及未处理任务数。

#### (1) 蒙特卡罗仿真任务分发方式

对于蒙特卡罗仿真应用而言,一个仿真程序可以按多个样本运行,每个样本的运行参数不同,而同一个样本又可以运行多次。YH-PDSS 为蒙特卡罗仿真应用提供了三种样本部署方式:分布部署、并行部署、手动部署。

分布部署是指按样本次序运行,每个样本被加载到所有的客户端运行。譬如,在 10 个客户端的仿真环境中,样本 1 需要运行 100 次。首先,为各个客户端分配 1 次任务,当某个客户端运行完

后再分配下次任务,直到样本 1 的 100 次全部运行完毕后再开始运行样本 2。并行部署是指将每个样本安排到一台客户端运行,不同的客户端运行不同的仿真样本。手动部署则由用户通过配置文件将样本指定到具体的客户端机器上运行。

### (2) 粒子群仿真任务分发方式

对于粒子群仿真应用而言,一个仿真程序可以在多个客户端上运行,而 YH-PDSS 会为每次迭代过程分配不同的粒子数。YH-PDSS 为粒子群仿真应用提供了三种粒子数的初始值分配方式:自动分配、平均分配、手动分配。

自动分配是指由 YH-PDSS 软件根据计算节点性能与负载状态为每个客户端分配粒子数;平均分配则将总的粒子数平均分配到各个客户端;手动分配则由用户自行设置要分配的粒子数,在每次运行之后,系统将根据各计算节点性能、负载状态来分配下次运行所需要的新的粒子数。

## 3.2 任务分发学习与调整策略

任务分发学习与调整策略与仿真任务的分配方式密切相关。YH-PDSS 的任务分发学习与调

整策略更多地体现在粒子群仿真的自动分配方式。在每次迭代计算过程中,粒子群优化算法仿真通过遍历所有粒子,对状态、运行信息等进行调整,从而实现粒子群优化算法仿真的全局推进。因此,在一次迭代过程中,粒子的数目直接关系到整个迭代过程的计算量,粒子数越多,则计算量越大,计算负载越重,计算时间越长;而粒子数越少,则计算量越小,计算负载越轻,计算时间越短。在保证粒子群优化算法仿真粒子总数一定的基础上,YH-PDSS 通过调整各个客户端仿真应用的粒子数目,从而相应地调整各个客户端的计算负载量,使得各个客户端迭代过程尽可能地同时结束,避免因某个客户端迭代时间过长而导致整个仿真运行时间延长,这样可有效实现各客户端的整体负载平衡,提高仿真运行效率。

粒子群的任务分发学习与调整策略分为两步:

Step 1 当粒子群优化算法仿真第一次运行时,各客户端仿真程序的粒子数根据各计算节点的性能进行分配,计算公式如下

$$\text{本节点粒子数} = \text{粒子总数} \times \frac{\frac{\text{CPU 主频权值} \times \text{本节点 CPU 主频}}{\sum \text{各节点 CPU 主频}} + \frac{\text{CPU 利用率权值} \times \text{本节点 CPU 利用率}}{\sum \text{各节点 CPU 利用率}} + \frac{\text{可用内存权值} \times \text{本节点可用内存}}{\sum \text{各节点可用内存}}}{\text{CPU 主频权值} + \text{CPU 利用率权值} + \text{可用内存权值}} \quad (1)$$

其中,粒子总数、CPU 主频权值、CPU 利用率权值、可用内存权值由用户通过服务端程序的“设置参数”功能进行设置;其余信息则由客户端程序采集本机器信息后,上传到服务端。

Step 2 当一次仿真运行结束后,下一次运行所需要的粒子数根据上一次运行情况进行重新分配。当上次仿真运行结束后,定义第  $i$  台客户端可以获得并上传给服务端的各个变量:

$Pnum_i$ : 上次运行粒子数;

$Trun_i$ : 上次运行时间;

$Num_i$ : 上次迭代数;

$T_i$ : 第  $i$  台客户端的仿真程序中每个粒子迭代一次所需的时间;

$X_i$ : 第  $i$  台客户端的仿真程序在下次运行时分配的粒子数;

$TotalNum$ : 粒子总数。

那么有

$$T_i = Trun_i / Num_i / Pnum_i \quad (2)$$

$$TotalNum = \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

$$X_1 \cdot T_1 \cdot Num_1 = \dots = X_i \cdot T_i \cdot Num_i = \dots = X_n \cdot T_n \cdot Num_n \quad (4)$$

由式(2) ~ (4) 可求出

$$X_i = \frac{TotalNum}{(T_i \cdot Num_i) \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{T_j \cdot Num_j}} \quad (5)$$

服务端由式(5) 计算出各客户端下一次运行的粒子数,并将新的粒子数分配给相应客户端。

## 4 实验结果

YH-PDSS 在实际应用中取得了很好的运行效果,对于 100 个样本(5 台主机,每个样本运行 1 次,每次运行约 5min)的蒙特卡罗仿真而言,采用手工操作除容易出错外,比采用 YH-PDSS 自动调度运行多花费 1 倍以上的时间;而粒子群优化算法仿真的收敛速度明显加快,减少了 1/3 以上的

运行时间。

### 5 结论

分析仿真是尽可能快地运行并获取试验数据的一类仿真,该类仿真并不关心仿真过程而只关心运行结果,通常没有人机交互及物理设备的参与。一个分析仿真程序需要在多样本环境下反复运行多次,才能获得评估论证所需的结果数据。当在多台计算机上调度大量样本并行运行时,采用手工操作效率较低且容易出错,而设计一个自动化的任务分发与调度工具可以有效地提高仿真运行效率。本论文介绍了针对蒙特卡罗和粒子群优化算法两类典型仿真的多样本任务调度软件 YH-PDSS 的研究与实现技术,该软件系统对于设计适合国内其它各类分析仿真的任务分发与调度软件具有借鉴意义。

(上接第 160 页)

### 参考文献:

[1] Cheng C C, Huang C T, Chen C Y, et al. On-Chip Memory Optimization Scheme for VLSI Implementation of Line-Based Two-Dimensional Discrete Wavelet Transform [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2007, 17 (7): 814 - 822.

[2] Vishwanath M. The Recursive Pyramid Algorithm for the Discrete Wavelet Transform [J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1994, 42 (3): 673 - 676.

[3] Chrysafis C, Ortega A. Line-Based, Reduced Memory, Wavelet Image Compression [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9 (3): 378 - 389.

[4] Bao Y, Kuo C-C J. Design of Wavelet-Based Image Codec in Memory-Constrained Environment [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 2001, 11 (5): 642 - 650.

### 参考文献:

[1] 彭英武,弥晨,中志伟,等. 基于 HLA 的多次仿真运行机制研究[J]. 计算机仿真, 2008,25(1):23 - 26.

[2] 谈斌,张己化,姚东升,等. 基于 HLA 的多样本多次运行仿真应用研究[C]//第二届中国系统建模与仿真技术高层论坛论文集, 2007:125 - 129.

[3] 金华,戴金海. 某异形卷弧翼弹的蒙特卡罗计算机模拟打靶[J]. 航天控制, 2007,25(2):52 - 57.

[4] Eberhart R C, Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory [C]//Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 1995:39 - 43.

[5] 韩培冬,吴宝中,李国喜,等. 基于 PSO 的车间柔性调度计算[J]. 现代制造工程, 2007(8):61 - 64.

[6] 张庆,刘丙杰. 基于 PSO 和分组训练的 SVM 参数快速优化方法[J]. 科学技术与工程, 2008,8(16):4613 - 4616.

[5] Oliver J, Malumbres M P. On the Design of Fast Wavelet Transform Algorithms With Low Memory Requirements[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 2008, 18 (2): 237 - 248.

[6] Zhang X, Cheng L, Lu H, et al. A Unified Framework for Low-Memory and On-The-Fly Implementation of Generic Tree-Structured M-Channel QMF Banks [J]. Elsevier—Signal Processing, 2008, 88 (11): 2662 - 2677.

[7] Daubechies I, Sweldens W. Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps [J]. J. Fourier Anal. Appl., 1998, 4 (3): 245 - 267.

[8] Taubman D S, Marcellin M W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice [M]. Boston: Kluwer, 2002.

[9] 刘在德,郑南宁,刘跃虎,等. 17/11 双正交小波的优化设计及其对图像压缩性能的分析[J]. 电子与信息学报, 2007, 29 (6):1403 - 1407.