

# 空空导弹性能虚拟样机并行仿真实现

何宪锋

(中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471000)

**摘要:**在空空导弹性能虚拟样机仿真平台建设中,通过采用并行仿真技术,实现了某型空空导弹性能虚拟样机模型仿真速度达到实时运行水平,为空空导弹性能虚拟样机的高效率仿真计算、快速原型仿真、人在回路的性能仿真和各种性能评估仿真计算打下应用基础;主要论述并行计算、并行仿真平台体系结构和对某型空空导弹性能虚拟样机模型进行并行化改造,以及并行化仿真实现方法和过程。

**关键词:**并行计算;多核计算机;多线程;数字仿真

**本文引用格式:**何宪锋.空空导弹性能虚拟样机并行仿真实现[J].四川兵工学报,2014(8):18-21.

**中图分类号:**TJ254

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2014)08-0018-04

## Simulation of Virtual Prototype Modeling of Parallel Air-to-air Missile Performance

HE Xian-feng

(China Air-to-air Missile Academy, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** In the construction of air to air missile performance simulation platform of virtual prototype, through the use of parallel simulation technology, the virtual prototype model of air to air missile performance simulation speed achieves real-time operation level. It lays foundation for calculation, efficient simulation of air to air missile performance of virtual prototype simulation, rapid prototyping in performance simulation and performance evaluation of simulation calculation. This paper discussed the parallel computing, parallel simulation platform architecture and the virtual prototype model of a certain type of missile performance for parallel reconstruction, and parallel simulation realization method and process.

**Key words:** parallel computing; multi core computer; multi thread; digital simulation

**Citation format:** HE Xian-feng. Simulation of Virtual Prototype Modeling of Parallel Air-to-air Missile Performance[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(8): 18-21.

目前,各类产品大量的挑战性问题需要解决,数值模拟是一种非常重要和有效方式,在各个领域具有十分紧迫的应用需求和庞大的问题求解规模。串行计算方式的最大瓶颈就是计算速度,此瓶颈制约了产品的深入研究和开发。而采用并行计算的方式是实现高性能计算的重要途径,它是辅助科学、工程应用领域解决问题的关键支撑。

并行计算是指同时使用多种计算资源解决计算问题的过程。并行计算在各个方面的最新进展,内容包括并行机体系统结构、编译系统、并行算法、并行编程、并行软件技术、并行性能优化、并行应用等。

并行计算具有以下特征:将工作分离成离散部分,有助于同时解决;随时并即时地执行多个程序指令;多计算资源下解决问题的耗时要少于单个计算资源下的耗时。

某型空空导弹性能虚拟样机模型在使用串行仿真计算时,由于模型异常复杂和计算庞大,使得计算速度(某种条件时)和产品的物理时钟相差8倍以上,当释放的干扰个数超过某个数量以后,之间的速度差为10倍以上。尤其在快速原型仿真、人在回路实时交互仿真和作战效能评估项目中要求导弹模型的仿真计算速度达到实时的水平,才能满足项目的应用。要解决仿真计算速度慢的问题,只能通过采用并行

计算的方式来提高仿真计算速度,使仿真计算速度达到实时和超实时的水平,以满足各类急需和潜在的应用需求和提高性能仿真的计算效率。

## 1 并行计算的体系结构

以并行的方式让计算机同时执行多个操作指令,可以极大地获得性能上的提高,所谓并行,是指有一个以上的事件在同一时刻或同一时间段内发生。

提高计算速度的基本方法有两种:提高硬件潜在的时钟频率;让一个任务由多个操作并行执行。其中利用并行操作来提高计算速度是当前最广泛采用的方式。

并行计算的体系结构分为并行计算机体系结构和并行算法。

### 1.1 并行计算机体系结构

在高性能计算方面,较为普遍采用的是并行计算的方式来解决具有挑战性问题,其并行计算机体系结构的主要方式又可分为2大类:“共享内存”并行(多处理器、多内核,共享内存)、“网络”并行。

1) “共享内存”并行体系。“共享内存”并行体系结构就是指在一台计算机系统中,具有多个处理器(每个处理器可以具有多个计算内核和超线程),并且允许多条指令流同时处于活动状态,并由多处理器(多核)通过协作的方式来同时完成一个较大的计算任务。

“共享内存”并行体系结构具有并行计算效率高等优点,但基础投资有些大,但随着核数的增加其效费比就越高(核数的数量在一定的范围内)。一般为追求快速计算来求解大量的挑战性问题时,而采用此体系结构。

2) “网络”并行体系。“网络”并行,就是通过网络为基础,充分利用网上的计算机资源(计算机资源可以是一台单或双处理器的计算机,也可以是“共享内存”并行体系结构的计算机)组成一个并行计算体系,把大问题分解成若干个小任务并提交给各网络节点上的计算机进行分别并行运算。

网络并行体系结构具有灵活性等优点。其缺点是计算效率远不如“共享内存”并行体系结构高,而且并行算法和应用非常复杂。众所周知内存之间的数据交换速度远远高于网络中两节点之间数据传输的速度。

并行计算的计算机体系方式主要是根据用户的实际应用问题和经费等情况而确定。

### 1.2 并行算法

并行算法分为数值并行法、非数值并行法、同步并行算法、异步并行算法、分布式算法等。

从算法树的结构来看,通常的串行算法树“深而窄”,并行算法树的结构则截然不同,为达到把时间复杂性转化为空间复杂性的目的,并行算法树采用“浅而宽”的结构,即每一时刻可容纳的计算量相应增加,使整个算法的步数尽可能减少。或者说,通过增加每个时刻步的算法复杂性来减少整体的时间复杂性,适当增加空间复杂性,是不少并行算法所实际采用的有效办法。

简单地讲,并行算法就是将问题求解方法映射成多个可同时执行的进程,每个进程安排到一台计算机或处理器或内核上去执行。

目前,实现并行计算较普遍采用的并行形式为使用高级语言多线程编程技术,把一个任务分成多个线程执行达到并行计算的目的。该方式编程复杂具有一定的难度,可扩展性差和移植性难等缺点。

用户通过使用针对并行计算而开发的各种并行函数库的库函数调用来实现并行处理。该方式具有可扩展性和易移植等优点,实现简单,对原有的串行程序不用进行大的结构改动,只需对需要进行并行计算的部分利用库函数进行并行定义。

常用的并行函数库语言有 MPI、OpenMP、OpenMT、PVM 等。

## 2 性能虚拟样机仿真平台体系结构的选择

并行计算选择什么形式的计算机体系结构来解决产品大量的挑战性问题,主要是根据用户的使用实际综合情况来选择。性能虚拟样机仿真平台体系结构采用 Intel + Windows 结构。该结构的 Intel 产品具有支持多处理器和多核的能力,操作系统 Windows 支持多线程运行,使得该体系结构具备并行计算条件。

### 2.1 并行计算体系结构

性能虚拟样机仿真平台体系的建设,首先是根据产品工作特性的实际情况来选择的,即要考虑性能虚拟样机的应用需求也要考虑效费比等问题。

目前,并行计算的体系结构正朝着多处理器、多内核的体系发展,内核的数量越多使得并行计算的能力就越强,效费比也就越高。性能虚拟样机仿真平台体系结构的选择:以反射内存实时网络为基础,网内集合既有“共享内存”并行计算节点,又有其他普通计算节点构成的网络分布式并行计算环境平台。性能虚拟样机仿真计算平台体系结构见图1。

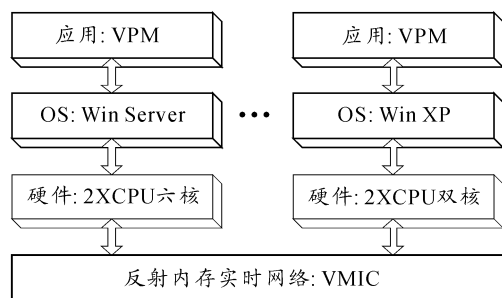


图1 性能虚拟样机仿真平台体系结构

“共享内存”并行计算节点采用: Dell PowerEdge R900 机架式计算服务器, 2 枚 Intel Xeon 2.67GHz 6 核处理器、16GB 内存。

### 2.2 建模、仿真平台

建模、仿真平台: “虚拟样机仿真和建模软件”(VPM)。

VPM 为面向工程应用、高性能的性能虚拟样机建模、仿真、虚拟试验环境,具有交互式人机环境,图形化的建模过程和界面、集成有多种类型的工具箱及丰富的仿真功能模块、支持大系统、多层次、结构化模型设计、模型库及用户自定义功能模块管理功能、良好的模型重用机制。虚拟样机仿真和建模软件结构见图 2。

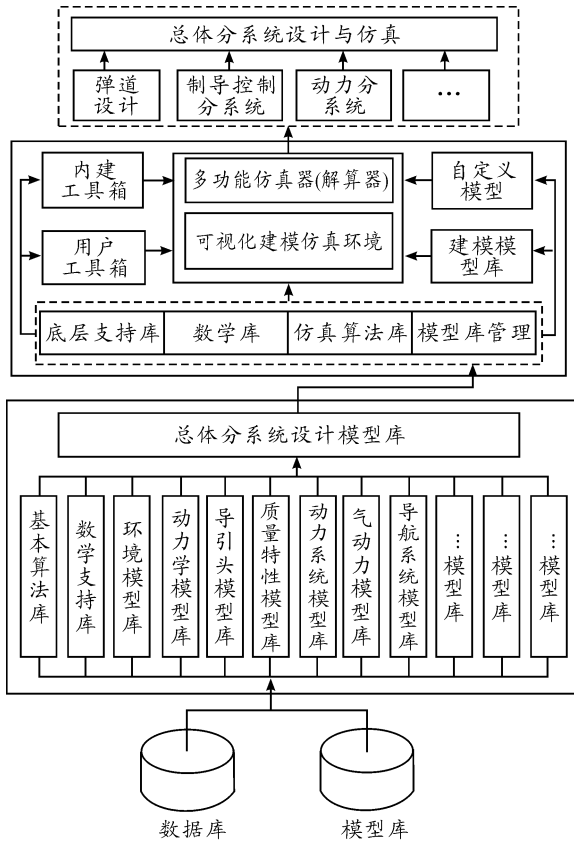


图 2 虚拟样机仿真和建模软件结构

VPM 仿真器(解算器)包括:通用仿真器、定时仿真器、实时仿真器、并行仿真器等。并行仿真器可根据用户对模型的并行划分,生成多仿真线程,以实现模型的并行计算。多仿真线程结构见图 3。

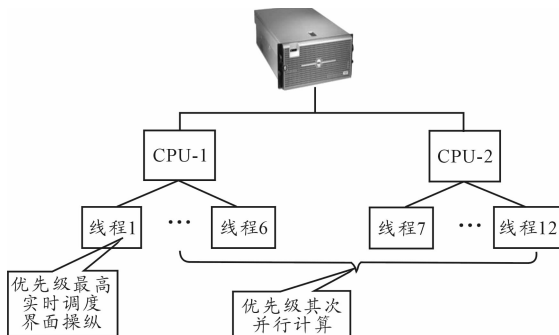


图 3 多仿真线程结构

VPM 并行仿真器的并行仿真调度管理原则为:  $N - 2$ 。  $N$  - 计算机内的总内核数,其中一个内核线程为操作系统管

理用(具有较高级别的优先级),另一个内核线程用于仿真模型的主线程,其他的核作为并行计算分线程来使用。

并行仿真器根据 CPU 的数量及内核数量,开辟若干计算线程,计算线程的数量由如下公式确定

$$\begin{cases} T_n = 1, & C_n \times q \leq 2 \\ T_n = C_n \times q - 1, & C_n \times q > 2 \end{cases}$$

其中:  $T_n$  为并行仿真器开辟的线程数目;  $C_n$  为硬件系统 CPU 的数量;  $q$  为单个 CPU 的内核数量。

此外,开辟的线程还要受到模型分割数量的限制,若系统模型不能分割出  $T_n$  组,那么开辟的线程数量即为能够进行分割的模型组的数量,即

$$T_n = M_n$$

其中:  $M_n$  为模型分组的数量。

### 3 产品仿真模型并行化改造与并行仿真

VPM 平台提供了 2 种模式来减少运算时间的复杂度,分别为平台级(VPM)并行和任务级(用户函数)并行方式:

1) 平台级并行。利用平台提供的并行线程分配机制,直接对仿真模型进行并行线程分配,就是将不同的子模型运算线程分配到不同的内核上,在一个仿真步长中,以不同的仿真线程同时进行并行计算,在计算完成后,进行一次数据同步和数据交互,再进行下一个仿真步长的计算,这样可以确保并行运算中数据的正确性。

2) 任务级并行。VPM 平台提供并行分核运算函数调用接口,在用户函数编写的过程中,对于需要进行大量运算部分的函数模块进行分割,处理成相类似的多个子函数模块,然后调用分核运算函数接口,将不同的子函数计算任务线程映射到不同的内核上,当不同的子函数运行完成后,进行一次数据同步。该种并行模式一定程度脱离了 VPM 平台,直接在用户编写的用户程序函数中实现。

平台级并行方式和任务级并行方式在本质上是相同的,都是将不同的运算任务线程映射到不同的内核上,充分利用计算机内的所有处理器或内核来解决计算的时间复杂度问题。两者在使用方面相互补充,平台级并行模式适用于无内部全局变量共享的用户函数之间,操作简单、方便,数据同步和数据交互由平台来完成。任务级并行模式适用于一个用户函数内部大量的复杂计算情况,需要用户对用户函数进行分割,改写程序代码,并要对用户函数进行合理的分割,数据同步也必须通过编写程序代码来完成。在较为复杂的仿真系统中,两种并行方式可以根据不同的模型复杂程度和计算量大小程度来进行合理选择使用。

多线程并行方法在使用时,还需要对不同线程负载进行合理分配。分配时需根据各模块的计算量大小来分配,应遵循负载均衡的原则,使得计算机内所有的内核运算量要达到均衡,这样不至于出现某些内核长时间闲置和等待的情况,浪费资源和影响并行效果。计算机内已有的内核被分配的并行线程越多和合理,运算速度就越快,并行效果就越好。

经过测试,以某型空空导弹性能虚拟样机模型为例,使用11个线程进行并行运算时,计算速度大概提高8倍左右(某种条件),基本达到实时仿真计算速度。

### 3.1 产品仿真模型并行化改造

在型空空导弹性能虚拟样机模型中,主要包含有:运动学、动力学、目标图像投影计算模块、图像处理模块、导引头控制算法模块、飞行控制运算模块、舵机模块、目标运动模块、干扰计算模块等。通过使用平台级并行将上述各模块并行分配后,经运行,其计算速度有所提高,达到1:4左右,但没有达到预期的并行效果。经分析,主要原因是某些计算量大的模块使用的并行模式和分配的线程数不合理所造成,使得计算负载不均衡,一些内核的计算能力没有充分发挥作用。

经过计算统计分析,发现主要计算量集中在图像处理、导引头控制算法模块、目标和干扰图像投影计算模块。这些模块的运算量达到总运算的70%~80%,其中目标和干扰图像投影计算模块又占据主要的运算量大概在40%。为使达到较为理想的并行运算速度和效果,而且又要使各内核的负载达到均衡。使用任务级和平台级相结合的并行方式,并重新划分模块与线程的定义,对计算量大的图像投影计算模块使用任务级并行(进行模块人工分割,既修改用户函数程序)方式,其他的模块采用平台级并行,具体的各模块并行计算线程分配见表1。

表1 并行计算线程分配表

线程号	运动模块	并行机制
1	运动学、动力学模块	平台级
2	飞控系统模块	平台级
3	舵机模块	平台级
4	导引头控制模块	平台级
5	目标投影计算	任务级
6	平台程序、干扰模块、目标运动模块	主线程

将目标和干扰的图像投影计算函数进行人工分割,将其原函数分割成5个函数和一个数据同步函数。另外在分割函数时要考虑到分割后的各子函数计算量均衡合理的原则,否则还是将达不到分割函数的效果。同时采用平台级将其进行并行线程分配,再将计算量较小的运动学和动力学模块同时分配至一个子线程上运行,将导引头控制算法模块、图像处理模块、飞行控制模块、舵机模块分别分配到四个线程上进行运行,让目标运动模块和干扰计算模块等计算量小的放在主线程上运行。再经过仿真计算,测试到各内核之间的计算负载基本达到平衡,运算速度由原串行运算的1:8提高到1.2:1(某些条件下),达到了实时仿真计算速度。并行仿真计算运行时计算机各核的使用工况见图4。

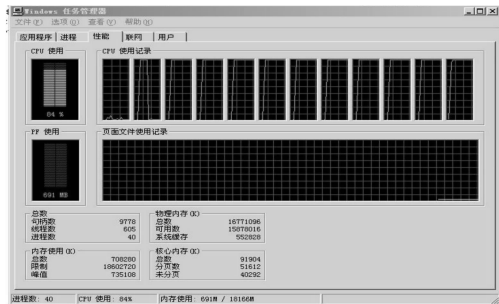


图4 各核的使用工况图

### 3.2 并行仿真模型验证

针对3种初始条件,分别对串行和并行模型进行仿真计算,其仿真结果见表2,并行模型的计算结果和串行模型的计算结果差异较小,改造后的并行模型与原模型保持一致。

表2 并行仿真与串行仿真结果对比

序号	并行/串行	物理时间/s	仿真时间/s
条件1	串行	5.606	44
条件1	并行	5.609	6
条件2	串行	8.832	69
条件2	并行	8.834	9
条件3	串行	11.654	90
条件3	并行	11.658	12

## 4 结束语

通过对性能虚拟样机仿真平台体系的建立和对型空空导弹性能虚拟样机模型的并行化改造,实现了对产品性能虚拟样机仿真的并行计算,大幅度地提高了仿真计算速度和计算效率。在回路实时交互仿真、快速原型仿真、作战效能评估等对实时性要求较高的仿真工作奠定了技术基础,为导弹的性能虚拟样机仿真应用提供一个良好的并行计算平台和方法。

## 参考文献:

- [1] 迟利华. 并行处理基本原理[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 陈国良. 并行计算机体系结构[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [3] 孙家昶. 网络并行计算与分布式编程环境[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [4] 康凤举. 现代仿真技术与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [5] 张晓华. 系统建模与仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [6] 阎晓东. 虚拟样机建模和仿真软件详细设计报告[R]. 西安:西北工业大学,2008.