

多体系统动力学求解与动画输出的并行处理¹⁾

刘 勇 洪嘉振 杨 辉
(上海交通大学工程力学系, 上海 200030)

摘要 在介绍了多体系统动力学的建模方法及数值仿真的原理之后, 着重介绍如何利用局域网的技术, 在多台计算机之间实现数值求解和动画计算与输出的并行处理. 用一个柔性索动力学仿真算例, 论证了该技术的可行性, 为多体系统动力学仿真的并行处理打下了基础.

关键词 多体系统, 动力学, 动画, 并行处理

引 言

近几十年来, 多体系统动力学这一学科得到了蓬勃发展, 其理论已趋于成熟, 正逐渐应用到各种工程设计当中. 国内外学者和工程界开发了多种功能强大的、易于工程应用的多体系统动力学计算机辅助分析软件. 如美国的 ADAMS, DADS, 上海交通大学工程力学系开发的 CADAMB 和 DAMB 等. 这些软件对多体系统动力学在工程中的应用起了巨大的推动作用.

但是, 这些软件都存在一个不足之处, 即不能实现实时仿真. 这里所说的实时仿真, 包括两方面含义: 其一是系统的动力学求解与动画输出应同时进行, 即动力学求解与动画输出的并行处理. 具体是指一台或多台计算机上运行多体系统动力学计算机辅助分析软件, 而计算结果以动画的形式并行地在另外一台计算机上输出. 其二是动力学求解及动画输出的速度要与系统的真实运动速度一致. 由于实际的工程问题往往比较复杂, 使得动力学求解的计算速度远落后于系统的实际动力学响应. 解决这一问题的有效方法是对数值求解作并行处理. 本文在系统的动力学求解和动画计算与输出的并行处理方面作了一些探索.

现有的国内外动力学仿真软件的工作框图如图 1(a) 所示, 首先是模型定义, 然后进行运动学、动力学或其它形式的数值求解, 最后是结果曲线和动画输出. 这种做法的每一步都是以前一步为基础, 即为串行的模式. 由于模型定义有误, 而且数值求解过程很长, 在结果曲线和动画输出以前, 不能判断数值计算结果的正确与否, 这将要导致仿真分析过程时间上的浪费. 如果采用并行动画技术, 使结果曲线和动画输出与数值计算并行 (图 1(b)), 数值计算结果就一目了然地同时展现在面前. 如果认为数值计算有错, 则可以随时终止数值计算, 从而避免不必要的时间浪费, 提高工作效率. 采用并行动画输出技术还有另外一个好处, 即当某台计算机进行数值计算时, 其它部门的计算机可以随时查看计算结果, 这为多个部门的协调工作带来了方便.

本文所实现的并行动画输出技术是一种通用的技术, 它还可以应用于多体系统动力学计算机辅助分析软件数值计算的并行处理, 这将为最终实现多体系统的实时处理打下基础.

2000-02-12 收到第一稿, 2000-12-05 收到修改稿.

1) 国家自然科学基金重点资助项目 (19832040).

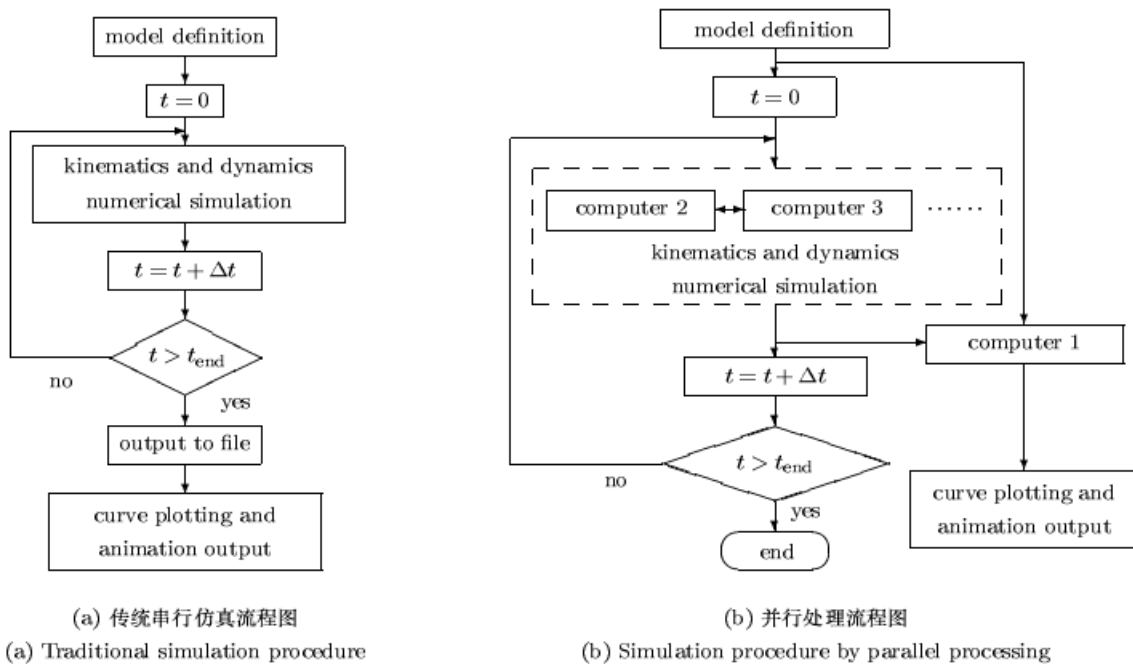


图 1 传统软件与并行处理的软件流程图对比

Fig.1 Overall procedures for traditional simulation and parallel processing simulation

1 多体系统动力学的数值求解和动画仿真

一般来说,多体系统动力学数值求解有两种方法,拉格朗日方法和笛卡尔方法.文献[1]即采用拉格朗日坐标和笛卡尔坐标分别定义物体的位形.利用笛卡尔方法求解多体系统动力学问题具有更好的通用性.下面给出用笛卡尔坐标形式表达的多体系统动力学方程

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z}_l^* & \Phi_q^T \\ \Phi_q & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}^* \\ \eta \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $\mathbf{Z}_l^*$ 为广义质量阵, $\mathbf{z}^*$ 为广义力阵, μ 为 Lagrange 乘子阵.

上面所述的详细推导过程请参阅文献[1].式(1)是典型的微分代数混合方程,其数值解法,以及编制完整的通用的多体系统动力学计算机辅助分析软件的程序框图在参考文献[1]中均有详细的介绍.

动画仿真是多体系统动力学计算机辅助分析软件的一个必须具备的功能.当系统各物体的外形与位形给定后,物体的状态由计算机自动计算完成并形象地表现出来,它可以直观地展示系统的运动趋势和运动效果.本文的程序采用了计算机图形学的一个重要工具 Open GL^[2],用它可以方便地实现二维平面和三维空间效果.

2 求解与动画输出并行处理的实现

在局域网中实现并行动画技术的关键部分是,一方面实现局域网中计算机之间的数据交流,这需要运用 Windows Sockets 规范以及多线程编程技术.另一方面,把动力学求解与计算

机之间的数据交流有机地结合起来, 即构成整个软件的框架结构。

2.1 Windows Sockets 规范与多线程技术

在普遍使用的微型计算机中, 应用最广泛的操作系统是 Windows 操作系统。Windows Sockets 是 Windows 环境下得到广泛应用的、开放的、支持多种协议的网络编程接口, 成为 Windows 网络编程的事实上的标准。一个在建立分布式应用时最常用的范例是客户机 / 服务器模型, 在这种方案中客户应用程序向服务器程序请求服务。目前可以使用两种套接字, 即流式套接字和数据报套接字。本项目采用流式套接字模式, 利用阻塞调用, 循环发送接收数据, 确保数据传输的可靠性。

Windows 提供了两种线程, 在具体的网络编程过程中, 可以在应用程序中启动多个线程。例如, 在 C/S 模式下的并行动画输出中, Server 端应用程序可以启动一个线程进行动力学数值计算, 再启动另一个线程侦听网络端口。当 Client 端程序空闲时, 会向 Server 端应用程序发送请求, 当 Server 端程序接受到该请求后, 把数据发送给 Client 端程序进行动画输出。Microsoft Visual C++^[3] 提供了强大的网络通信开发环境, 故本文利用 Visual C++ 编制了局域网中 C/S 软件, 实现了局域网中的并行动画输出, 并取得了良好的效果。因为软件的编制是以 TCP/IP 为基础的, 所以可以容易地拓展到其它操作系统中去, 如 Unix 和 Linux 等。

2.2 程序代码的总体流程

图 2 显示了该程序的总体流程, 下面将具体介绍程序的实现过程。

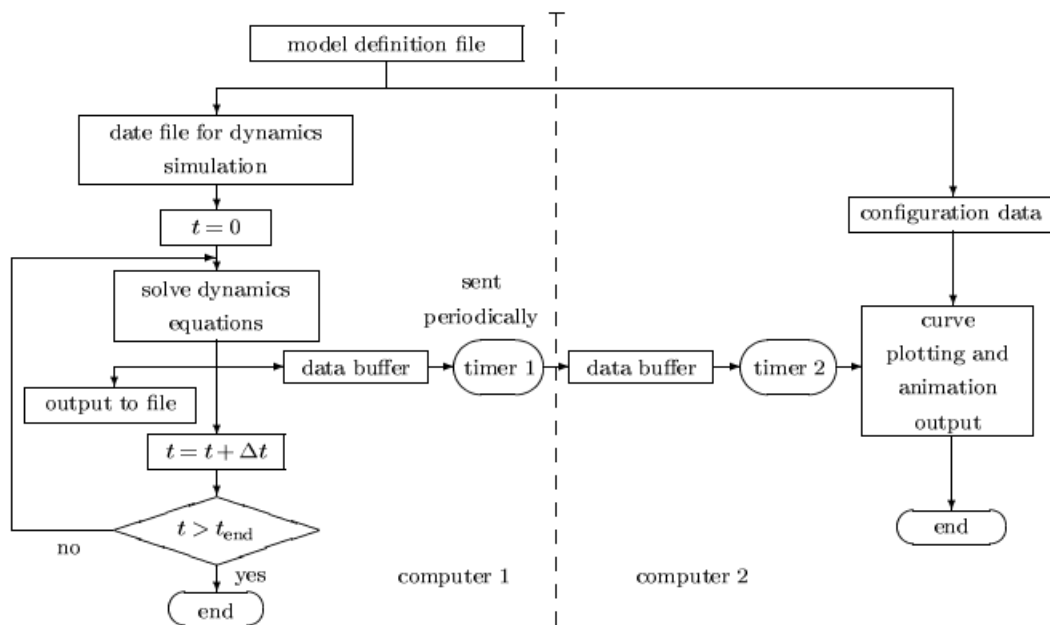


图 2 程序代码的总体流程图

Fig.2 Flow chart for simulation by parallel processing

图 2 中, 计算机 1 主要负责动力学问题的求解, 而计算机 2 主要负责曲线和动画输出, 先看计算机 1, 启动程序, 先进行模型定义, 把系统的外形数据写入外形数据文件, 并把该文件一

次性传递给计算机 2. 接着启动动力学计算部分, 此时, 时间 $t = 0$, 同时启动定时器 1; 经过一个步长的计算, 可以求得动力学数据, 把这些数据存到数据文档, 而把与曲线和动画输出相关的数据放到缓冲区, 然后计算下一个时刻的动力学响应. 如此反复进行, 完成整个动力学系统的求解. 在此期间 (即 $t = t + \Delta t$), 定时器 1 每到达计时间隔, 该程序负责数据传递的线程便开始数据传递, 把缓冲区中的数据传递给计算机 2 的数据缓冲区. 在计算机 2 中, 启动客户端程序, 同时也启动了定时器 2, 定时器 2 每到达计时间隔, 会把数据缓冲区中的数据送到曲线和动画演示部分, 然后客户端程序利用来自数据缓冲区的数据和外形数据文件的数据进行曲线和动画的演示.

在程序中, 定时器 1 和定时器 2 的计时间隔是可调的, 而且是相互独立的. 用户可以根据两台计算机的性能, 通过调节这两个参数, 使曲线和动画输出达到最佳的效果.

3 柔性索动力学仿真

本文所选用的算例是柔性索, 如图 3 所示. 柔性索的两端固定, 中间均分两点被提起, 从静止开始释放, 求解其动力学响应. 这是一个典型的柔性体动力学问题, 但是 Huston 等人^[4,5]采用一种称之为有限段的方法把这个柔性体动力学问题转化为多刚体系统动力学问题, 从而利用成熟的多刚体动力学方法来求解. 文献 [1] 用 CADAMB 软件对此算例进行了动力学仿真.

利用前面第 1 节所述的笛卡尔方法编制了通用的多刚体系统动力学计算机辅助分析软件来求解柔性索动力学问题. 在数值求解同时, 计算结果传递给局域网中的其他计算机进行动画仿真输出. 在测试过程中, 可以看出, 并行动画输出很连续. 图 4 所示的是动力学数值求解的同时, 在网络中另外一台计算机上演示的并行动画输出.



图 3 柔性索模型
Fig3 A finite segment cable model



图 4 动力学求解时的并行动画输出
Fig.4 Animation output through parallel processing

4 结 论

本文利用一个多体系统动力学的算例实现了多体系统动力学计算机辅助分析软件的并行动画输出技术. 可以看出, Windows 环境下在局域网中以 TCP/IP 为基础实现计算机之间的数据交换是简便易行的, 进而可以实现并行动画输出技术. 在现有的多体系统动力学计算机辅助分析软件中, 如果能包含并行动画输出技术, 则将其功能得以加强. 本文的工作为进一步实现多体系统动力学实时动画仿真打下了基础. 随着网络技术的发展, 在现有的软件中加入关于网络的各种功能, 必将成为工程软件的一个发展方向.

参 考 文 献

- 1 洪嘉振. 计算多体系统动力学. 北京: 高等教育出版社, 1999 (Hong Jiazhen. Computational Dynamics of Multibody

- System. Beijing: China Higher Education Press, 1999 (in Chinese))
- 2 贾志刚. 精通 OpenGL. 北京: 电子工业出版社, 1998 (Jia Zhigang. Master OpenGL. Beijing: Electronic Industry Press, 1998 (in Chinese))
 - 3 Kruglinski DJ, Scot Wingo George Shepherd Visual C++6.0 技术内幕. 北京: 北京希望电子出版社, 1999 (Kruglinski DJ, Scot Wingo, George Shepherd. Inside Visual C++6.0. Beijing: Hope Electronics Press, 1999 (in Chinese))
 - 4 Huston RL, Kammanm JW. Validation of finite segment cable models. *Comput Struct*, 1982, 15: 653~660
 - 5 Huston RL, Winget JM. Cable dynamics—a finite segment approach. *Comput Struct*, 1976, 6: 475~480

PARALLEL PROCESSING OF ANIMATION SHOWING AND SOLVING OF MULTIBODY SYSTEM DYNAMICS ¹⁾

Liu Yong Hong Jiazhen Yang Hui

(Shanghai Jiao Tong University, Department of Engineering Mechanics, Shanghai 200030, China)

Abstract Parallel processing of animation showing and solving of multibody system dynamics is investigated by using Local Area Net (LAN) technology in windows environment. Theory of modeling and numerical simulation is reviewed first. Emphasis is focused on parallel processing of numerical solving and animation between computers in LAN, which is much different from traditional processing method in current engineering software. Modeling, numerical simulation, curve plotting and animation showing, and analysis is done step by step in traditional method. While numerical simulation and curve/animation showing can be done at the same time in different computers in LAN in this project. TCP/IP, which is widely used in computer network, is used to realize data exchange between different computers in LAN. And multi-thread technology is used when two different functions should be completed at the same time in a single program. Client/Server programs are developed to make different computers communicate in LAN, where dynamics simulation can be run in program on server and animation of system can be shown in program on client. Example of cable simulation is presented to validate this technology, which is the basis of simulation of multibody system dynamics.

Key words multibody system, dynamics, animation, parallel processing

Received 12 February 2000, revised 5 December 2000.

1) The project supported by the National Natural Science Foundation of China (19832040).