

中国科协第二届青年学术年会卫星会议

计算机与力学研究

中国力学学会青年工作委员会第二届学术年会论文集

孙茂 于欣 樊瑜波 何林 主编

成都科技大学出版社

计 算 机 与 力 学 研 究

孙茂 于欣 樊瑜波 何林 主编

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑:韩 果

封面设计:光 光

计算机与力学研究

孙茂 于欣 樊瑜波 何林 主编

成都科技大学出版社出版

华西医科大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张:24.875

1995 年 10 月第 1 次出版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—100 册 字数:590 千字

ISBN7-5616-3100-6/O·217

定价:78.00 元

前 言

这本论文集是根据中国力学学会青年工作委员会第二届学术年会录用的报告，经过整理选编而成，论文内容主要包含计算方法和理论，网格生成技术，计算结果的可视化技术，计算力学的工程应用诸方面，大体反映了我国青年力学工作者在计算机应用方面的状况，这里将它们收集成册，旨在能使我国青年力学工作者的工作在更大的范围内进行交流，促进他们的事业。

中国力学学会青年工作委员会学术年会，作为中国科协青年学术年会的卫星会议，其目的是为青年力学工作者提供一个舞台，并为他们之间的相互交流，沟通和联络创造一个有利的条件。我们希望青年力学工作者能够通过这样的会议来促进自己的工作，在理论方法的创新性方面，在与工程实践相结合方面达到新的水平，更好地接老一辈力学工作者的班。

“科技增强国力，青年开创未来！”这是中国科协历届青年学术年会的主题，愿我们大家能以此共勉。

本次会议得到了四川联合大学、中科院力学所等单位的大力支持，四川联合大学工程力学系的同志在此次会议的筹备和组织以及论文集的出版工作中，付出了辛勤的劳动，在此深表感谢！

孙 茂

中国力学学会青年工作委员会

主任委员

1995年9月

目 录

前言

基于 WINDOW 的有限元建模程序 GEFEM	关振群等(1)
一个串并行混合的有限元结构分析软件系统——PFEM	程建钢等(7)
一个基于 PC 的科学计算可视化调试工具	罗麟等(12)
现代计算机技术应用于有限元前后置的结晶——FEMAP	孙亚伦 王建平(17)
动力边界积分方程法及其应用	杜修力(20)
各向异性空间轴对称问题的 Hamilton 元方法——一般理论	关玉璞 王治国(23)
边界元法在动光弹中的应用	励争(28)
层合复合材料动态损伤破坏过程的计算机仿真	江大志等(36)
变截面梁单元的刚度矩阵	胡启平(42)
任意变厚度圆(环)板的轴对称径向静力分析	郑建军 单玉川(45)
二维位势问题级数形式的积分方程法	郑建军 刘兴业(51)
受反平面集中力的 $\mathbb{I}$ 型有限宽板裂纹线场分析	易志坚 施尚伟(56)
板壳大变形弹/塑性有限条分析	周瑛等(60)
考虑横向剪切的复合材料四边形板壳元	顾元宪 曾庆纲(65)
矩形薄板大挠度问题的样条有限点法	苗同臣等(73)
高精度四结点平板壳元	魏泳涛 于建华(79)
弹性固支压杆分叉的计算	张淑琴(83)
矩形平板中动态裂纹扩展的数值模型	侯晓宁(92)
用计算机预测复合材料脱层破坏的一种新方法	崔维成(97)
冷胀孔裂纹应力强度因子的计算方法	陈昌荣(103)
多自由度线性阻尼系统特征值问题的新解法	巨建民(107)
水力压裂过程数值模拟技术研究进展	薛世峰 仇伟德(112)
高速列车湍流绕流数值计算	张小钢(116)
跨声速三维非线性洞壁干扰的数值计算	贺中等(122)
用 TVD 有限体积法解 EULER 方程数值模拟三维超音速流场	于欣等(130)
船模试验计算机控制	魏纳新(134)
湍流数值计算在水力学中的若干应用	许唯临 廖华胜(137)
弹性船体波激动响应的数值模拟	王朝晖等(140)
非线性波浪弯矩的时域模拟及其应用	顾学康(145)
两同心球之间 COUETTE 流分叉解的数值模拟研究	袁礼等(152)
计算流体可视化系统 VISPLOT	李定(160)
滩地植树后复式河道流速和流量计算	李克峰等(165)
河床泥流的数值模拟	余斌(171)

水力制动初始阶段的数值模拟.....	易淑群 陈九锡(174)
不可压缩流速度/压力/应力模型的稳定化有限元方法的后验误差估计	周磊 袁超伟(183)
潜艇三维嵌套网格生成及流场的全椭圆 RANS 方程解	姚惠之等(190)
非定常对流扩散问题的高精度差分方法(I)——含源扩散方程的紧致高阶差分方法 ...	田振夫 高玉琢(194)
粒子在非均匀紊流场中扩散数值模拟.....	熊伟(200)
血液全循环模拟实验系统模型及系统特性的数值仿真研究.....	樊瑜波等(203)
心室对输入阻抗影响的模拟实验研究.....	樊瑜波等(206)
脑循环血液动力学数值模拟研究.....	丁光宏(211)
用计算机视觉技术测试和分析步态.....	李宗明等(216)
左室及主动脉压力波形 Fourier 级数归一化方程重建的尝试	吴学军(220)
四种曲膝位下股骨远端的三维有限元分析.....	杨敏等(226)
纵跳状态下股骨远端的三维有限元分析.....	杨敏等(229)
血液本构方程的探讨.....	曾德鸿 陈槐卿(232)
用于运动生物力学仿真研究的数据前处理方法.....	仰红慧 洪嘉振(235)
人体运动的计算机模拟.....	李智慧(241)
3DS 在人体碰撞损伤中的应用研究	罗加福等(247)
步态分析中的足—地作用力的采集.....	陆葵等(249)
人体在任意姿势下的质心及动量矩.....	谢献忠 郭源君(252)
动态规划成本优化平面桁架的形状.....	王恩涌等(255)
轿车地板及地板骨架的有限元分析.....	吴利军(262)
半主动悬架座椅参数的优化.....	罗冬梅等(268)
三级阻尼半主动悬架的最优控制.....	胡百鸣等(274)
用界面本构模型预测 316 不锈钢循环塑性应力应变响应.....	袁珩 蔡力勋(282)
火箭发动机喷管延伸段的承载能力分析.....	荣起国 殷有泉(289)
大型电力变压器绕组轴向振动研究.....	王璋奇等(294)
计算机用于轻工机械构件的断裂预测.....	陈继生(298)
金属切削加工过程中刀具的非线性颤振.....	何国毅(301)
弹丸弧形部结构特征数计算的一种近似方法.....	刘协权等(304)
兵器结构上的裂纹的概率分布及参数确定.....	倪新华 刘云庭(308)
I 型裂纹综合相变增韧计算.....	倪新华 刘协权(313)
局部应力—应变法和有限元数值分析在机械零部件寿命估算中的应用.....	王桥医(317)
飞机操纵系统杆力曲线的控制.....	姜孝淮(323)
计算机在钻井平台插拔桩力计算中的应用.....	杨贵田(326)
航空发动机加力燃油总管振动分析.....	李宁(329)
挠度泛函及其在弹性基础梁上的应用.....	马英忱 刘云庭(334)
剪力墙计算机辅助设计系统 SWCAD 的研制	王增忠 于金兰(338)

等参奇异裂纹单元的研究.....	张建民(342)
带偏斜边裂纹三点弯曲试件的应力强度因子计算.....	郑翔(348)
层裂微裂纹形态的超声波测定及层裂程度的判别参量.....	韩闻生 吴宇(354)
多轴低循环下材料循环性能的计算机采集与分析.....	阎相祯 侯密山(361)
感应耦合等离子体源(ICP)的静电探针测量	杨云等(365)
铝粉快速反应平均振动温度的测量.....	李招宁等(370)
材料拉伸试验自动测试系统.....	梁亚平等(374)
计算机在实验力学教学中的应用——一个光弹性力学实验的计算机处理	路利民(377)
三维动画技术在工程力学教学中的应用.....	郭跃明等(383)
结合工程实际、发挥专业优势——谈力学专业科研选题	胡功笠等(386)
教书育人、乐育英才	陈继生(388)
高校科研工作应适应改革开放的新形势.....	宋敏(390)

基于 Windows 的 有限元建模程序 GEFEM

关振群 顾元宪 李长余

(大连理工大学工程力学研究所 116024)

摘要 GEFEM 是在 MS Windows 平台上开发的交互式有限元建模程序,它同网格剖分程序配合,完整地实现了人机交互的有限元分析前置处理。本文介绍了 Windows 编程的一些主要特点和在 GEFEM 程序中采用的内存管理、图形函数接口、消息处理和图形界面设计等方法。

关键词 有限元前处理 窗口系统 网格剖分

一、引言

有限元分析方法及其软件在工程应用中的主要困难之一是建模的数据准备工作量大,因此有限元数据前置处理的计算机方法成为近年来受到重视的研究问题,有限元前处理包括建立几何模型、自动剖分网格、生成有限元属性(荷载、材料、单元刚度、边界条件等)数据三个方面。关于各种网格剖分算法已有大量研究工作,但其他两方面的工作却不多,它们对于建立有限元模型同样是不可缺少的。事实上网格剖分与几何建模有着密切联系,特别是在集成化 CAD/CAM 系统中,网格剖分应该建立在几何造型基础上。网格自动剖分同人机交互的几何建模、有限元属性定义及其描述数据生成结合起来,才能构成完整的有限元前置处理。

Windows 为交互图形软件提供了新的开发平台,它具有统一灵活的图形界面和交互方式、有效利用和管理内存的方法,极大地方便了程序设计,成为新一代软件开发的标准环境。本文介绍的 GEFEM 是在 MS Windows 平台用 Borland C++ 语言开发的有限元建模程序,它可以人机交互地建立几何模型、形成网格剖分映射法所需要的映射单元网格、以图形菜单方式定义有限元属性数据,最后通过数据文件与网格剖分程序 MESHG[1]接口,完成有限元模型的全部数据生成。在 GEFEM 程序中利用 Windows 环境提供了多种人机交互的辅助功能,使用方便灵活。本文工作属于“八·五”攻关项目“基于造型的有限元分析及其前后处理系统”,GEFEM 是大型有限元分析和结构优化软件系统 JIGFEX95 的组成部分。

二、程序功能及模块划分

GEFEM 程序是 JIGFEX95 软件的前处理子系统的一个组成部分,它作为有限元网格剖分程序 MESHG[1]的前端程序,生成 MESHG 所需要的输入数据文件。MESHG 采用映射法剖分有限元网格,其前提是构造几何模型和建立映射单元网格(即几何子域分割)。GEFEM 程序为此提供了人机交互的建模手段,简化了网格剖分的用户操作,并使有限元前处理统一在交互式图形的用户界面之下。GEFEM 程序的功能有:(1)交互建立二维几何模型;(2)分割几何子域,建立映射单元;(3)在几何模型上定义材料、截面、荷载、边界支承条件等有限元属性数据;(4)几何建模和人机交互的各种辅助功能。

GEFEM 程序分为几何建模和有限元建模两大功能模块。几何建模模块完成几何模型输入(二维绘图)及映射单元剖分(几何子域分割)工作,相当于一个基本的绘图支撑系统。有限元建模模块完成标定映射单元、定义有限元属性的工作,即网格剖分和有限元模型数据生成的前端处理。这两个模块之间可以方便地进行切换。

在几何建模模块中,图形实体有点、直线、圆、圆弧和多折线(包括多圆弧)五种,直接用鼠标输入。在绘制图形实体过程中,动态模拟显示图形实体,并显示当前坐标值,作图区域及坐标精度可以缩放、调整。点坐标的定位有捕捉方式和非捕捉方式两种,可以改变捕捉精度使坐标值规整化。图形显示控制有窗口放大、尽量大、前图显示、移动窗口和重新显示的功能。图形编辑功能包括复制、拷贝、删除和移动图形实体。辅助作图功能有显示捕捉栅格、显示点号及线号。几何建模不仅绘制结构的边界,而且要进一步将模型分割成若干几何子域,即映射单元。映射单元要求是四边形或三角形,但每条边界可由多个图形实体构成。GEFEM 程序建立的是二维图形,但对每个映射单元可以定义不同的厚度,从而转化为二维半实体模型。

有限元建模模块是面向 MESHG 程序的,完成对有限元模型的定义描述。它的操作内容有:网格剖分控制数据输入,子结构定义(不同的映射单元按子结构分组),标定映射单元,定义荷载,边界支承条件、材料常数和截面性质,最终生成 MESHG 的输入数据文件“gg.msg”。标定映射单元的操作是用鼠标拾取每条边界,由程序自动搜寻图形实体及点坐标数据。在标定映射单元时可以输入对其剖分网格的疏密要求,也可留给 MESHG 按均分网格自动确定。荷载和边界条件定义通过图形菜单选取,并赋予映射单元或边界。

MESHG 程序得到“gg.msg”文件,完成有限元网格剖分,并产生有限元分析的数据文件。

GEFEM 程序的流程见图 1。DDJ—W 程序为有限元分析程序[2]。在内部

结构上 GEFEM 程序由如下模块组成：事务处理模块，内外存数据管理模块，公共绘图模块，显示控制模块，图形编辑模块，实体分割模块，边界定义模块，荷载定义模块，MESHG 接口模块和工具库模块等。

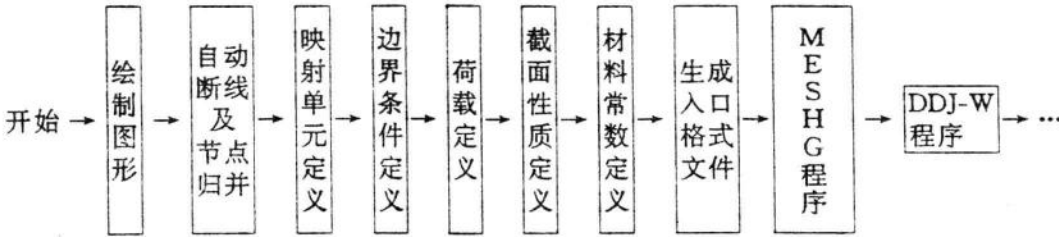
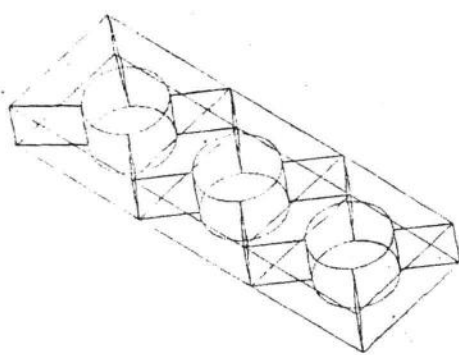
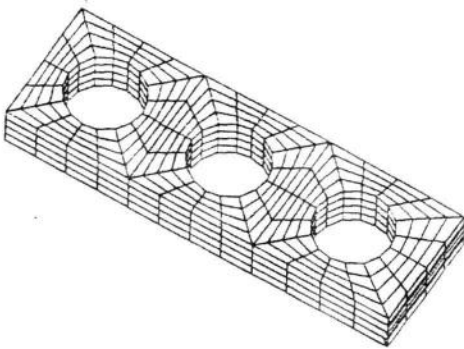


图 1 GEFEM 程序流程图



(a) GEFEM 构造的初始方案图



(b) MESHG 生成的有限元网格图

图 2 GEFEM 算例

三、Windows 编程及 GEFEM 的设计方法

1. Windows 编程简介

Windows 环境提供了一些 MS-DOS 操作系统不具备的机制，主要有以下几种特殊技术：

- 图形化应用程序界面，如窗口、菜单、对话框和控制
- 队列输入和消息循环
- 设备无关图形
- 多任务机制

由于 Windows 提供了极其丰富的图形界面资源，开发者不必再为程序的

界面设计花费太多时间，并且随着可视化编程技术的发展，这部分工作会变得更加轻松。

Windows 应用程序和标准 C 应用程序之间最大的区别，是它们接收用户输入的方式和处理方式。标准 MS-DOS 程序是以某函数直接读取数据，而在 Windows 应用程序中，所有输入(键盘、鼠标等)都由 Windows 系统拾取，然后放在相应程序的消息队列中。当应用程序准备拾取输入时，它只是简单地从自己的消息队列中读取下一条输入消息，然后进入消息循环，处理该消息。

编写 Windows 应用程序另处注意一点的是，Windows 是一个多任务系统，系统资源，如内存、屏幕、打印机、绘图仪，甚至 CPU，均是共享的。一个设计良好的 Windows 应用程序不应独占这些资源，特别是应及时将内存资源交还系统，以使其他任务正常执行。

2. GEFEM 的消息处理方式

MS-DOS 标准程序的消息输入和 Windows 应用程序的消息输入的区别见图 3 所示。

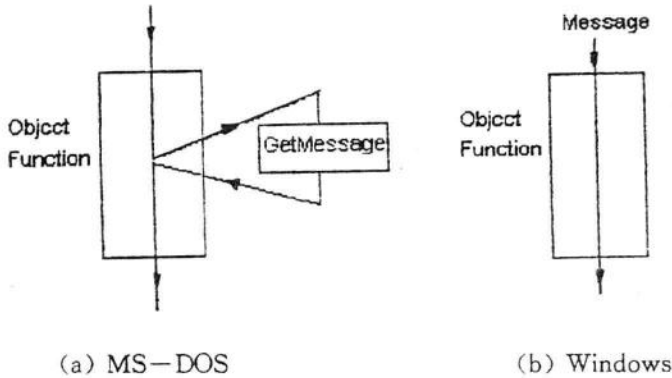


图 3 MS-DOS 标准程序与 Windows 应用程序在消息拾取上的不同

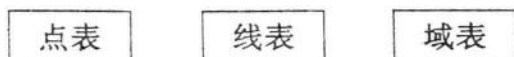
MS-DOS 的应用程序模块可以主动地去取得消息，而 Windows 的应用程序模块是被动地接收消息。当然，Windows 应用程序模块也可以主动地到消息队列中去取得所期望的消息(如用 Peek Message)，但这样做会大大削弱程序的灵活性，这不是好的 Windows 应用程序的风格。

在 GEFEM 程序中，比较灵活的操作是绘制图形部分。例如，用户欲绘制一条直线，先用 Mouse 左键输入一合法点，然后在合法区域外或菜单上又输入一点，程序对此如何处理？GEFEM 引入二个概念：作业和作业进度。作业是指用户正在做的工作；作业进度是指用户工作的进展情况。用这二个参数即可正确控制程序流程。在主体设计上，每个作业，由一个作业函数负责。每个作业函数的每支，用作业进度来控制。作业函数具有聚焦性，即所有有关消

息都会被当前作业的作业函数处理；而非当前作业的作业函数则会漏掉任何消息，即使是非当前作业的作业函数已被调用。采用这种方法，防止了 C 语言的 Switch 语句的爆炸性分支组合，程序在主体结构上更加合理。

3. 内存管理方案

GEFEM 将几何模型的平面图形划分为如下几个部分：



点表存放点的信息，包括点号、坐标、捕捉方式等信息。线表存放线的信息，包括线端点点号、模式、中点点号等信息，这里的线，是广义线，包括直线、圆弧和圆。域表存放映射单元信息。映射单元是由线围成的封闭区域。域表存放的信息有边界线线号，剖分数，剖分比较，材料性质等，这三个表是紧密联系的，线表中包含点的索引号，域表中包含线的索引号。

GEFEM 选择了顺序表存贮结构，而没有采用通常的线性链表存贮结构。这主要是从内存分配极限这个角度来考虑的，在 Windows 编程中，有两种堆可以分配动态内存：局部堆和全局堆。局部堆被限制在 64KB 以内。全局堆对总尺寸没有限制，但对申请分配内存的总项数有限制，总项数应在 8192 项以内。并且这 8192 项是所有正在运行程序、Windows 系统模块共用资源。由此可见，采用线性链式是不可取的。

在 GEFEM 程序设计中，考虑到了 C 语言编译器和 Windows 的发展。GEFEM 的数据结构被完全封装起来，只能通过有限的几个 Function 对内存数据进行操作。并且这些 Function 的接口是透明的、完全没有具体数据结构和 Windows 的痕迹。这样做的优点在于：数据结构的变动只涉及有限个底层模块、而不是造成全局影响。并且这种做法对软件的跨越平台的移植也是很有利的。

4. 图形设备接口方案

Windows 的图形函数的统称为 GDI 函数 (Graphics Device Interface Function)。应该注意到，GDI 函数和 C 语言 (Borland C++) 的图形函数的接口参数是不一致的，名称也不一致。可以说相差很大。并且前者调用规则更复杂一些。从更广泛的范围上看，不同的编译器有不同的图形函数接口，不同的操作平台也有不同的图形函数接口。这就对程序的移植造成很大困难。由此可见，应该建立一个公共的图形函数接口。GEFEM 在这个方面做了初步的尝试。

GEFEM 的图形函数包括绘点，绘直线，绘圆弧，绘圆，写文字，视口控制，绘图模式控制 (异或绘图或者拷贝绘图) 等。在 Windows 中，视口即可决定图形的剪裁。GEFEM 的图形函数接口中包含了图层概念 [3]，图层决定了线型、线的颜色和线宽。受 Window 资源的制约并考虑到图形显示速度这一因

素, GEFEM 最多可建 20 个图层。

GEFEM 内部采用了两个坐标系: 逻辑坐标系和设备坐标系。逻辑坐标系是用户定义的坐标系。如它可以是等界坐标系。设备坐标系是屏幕视口坐标系。请注意: 屏幕视口坐标系并不指示整个屏幕, 而是某个视口(Viewport)。GEFEM 有两套图形函数, 一套是针对逻辑坐标系, 一套是针对设备坐标系。逻辑坐标系的点将通过坐标变换映射到设备坐标系上的点。

5. 图形界面设计

GEFEM 程序的所有文字、数据输入都通过对话框来实现的。文字的录入工作并不困难。数据(整数、实数)的录入实际上也不困难。但 GEFEM 程序实现了自由格式数据扫描器 Skain[2]向 Windows 平台的移植, 称之为 Winskain。Winskain 扫描的不是文件, 而是内存字符串。并且 Winskain 具有期望报错功能, 当读入的数据与期望不相符时, Winskain 可以自动报错。

边界条件定义、加载等作业的图形化、形象化方便了用户的操作。Windows 允许文字菜单, 同时也允许图形菜单。GEFEM 程序正是利用这一点。首先用资源编辑器编制一组图案, 形成*.BMP 文件备用。然后运用 Windows 的 Append Menu 函数加在适当的菜单项位置上。

四、结论

GEFEM 程序以人机交互方式完成了有限元建模的前端处理, 简化了网格剖分的映射法的用户操作, 将几何建模、网格剖分、有限元属性数据定义统一起来, 使有限元前置处理更加方便实用。GEFEM 程序设计是 Windows 编程的一次实践, 为在 Windows 环境下开发大型应用软件积累了经验。随着 Windows 的发展和对其进一步开发应用, 功能更强、集成化程度更高的有限元前处理系统将是今后的工作目标。

参 考 文 献

- 1 程耿东、顾元宪、彭传圣, “有限元网格自动生成系统 MESHG”, 计算技术与自动化, Vol. 10(1), 54—59, 1991
- 2 钟万镒, “计算结构力学微机程序设计”, 水利电力出版社, 1986
- 3 希望电脑公司, “Auto CAD 使用手册”, 1990
- 4 美国 Microsoft 公司, “MS Windows 3.1 编程指南”, 清华大学出版社, 1993

一个串并行混合的有限元结构分析软件系统:PFEM

程建钢

清华大学力学系

李明瑞

北京农业大学力学研究室

黄文彬

摘要 在 Transputer 多处理机并行环境下,基于串型有限元结构分析软件 FEM,设计了结构动力分析串并行混合软件系统 PFEM,解决了串并行数据文件接口问题,并在对 FEM 动力分析计算程序移植的同时,还设计了显式积分法和 Ritz-Lanczos 方法并行计算模块。经过对工程实际问题进行试算,表明 PFEM 系统设计、程序移植及并行化正确无误。

关键词 有限元结构分析,串行与并行计算,软件设计

1 问题的提出

有限元方法的有效实现是通过计算机程序的运行来完成。所以,在过去的 30 多年里,有限元方法从理论研究到算法设计,再从程序编写到工程应用这样一个完整的过程中,经过力学、数学、软件工程以及结构工程等多方面专家的努力,最终实现了目前在全世界范围内,有数以千计的有限元分析软件正在成功地应用于工程设计的许多应用领域。然而,并行计算机的出现与并行处理技术的迅速发展,无疑对有限元分析软件的设计提出了新的问题。通过对国内外有限元并行算法与软件大量研究文献进行分析,发现大多数都是按照图 1 所示的步骤开展工作,使得在算法设计和软件开发中存在着许多弊端。即对于现有串行软件系统中丰富的单元库、强大的前后处理程序不易在并行算法与软件设计初期发挥作用,使得并行算法及其软件开发周期较长,而且,软件设计在算法研究阶段,程序结构化程度低,计算模块大,当上升到分析软件系统设计后,程序重组和修改工作量大,软件在工程应时并行效率明显下降,甚至不得不修改原来的算法。为此本研究尝试性地走了一条串并行混合设计的技术路线,即借助现有模块化程度高的商用有限元分析软件系统,对于前、后处理部分仍然延用原来的串行程序,运行于串行环境,而对于分析计算部分,并行化原有程序,运行于并行环境,串并行处理数据交换通过数据文件接口完成。经实际应用,比较有效。

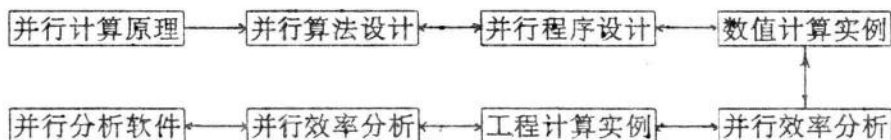


图 1 有限元分析并行计算软件开发过程

2 结构动力分析串并行混合软件 PFEM 设计

2.1 Transputer 网络硬软件环境

用 IBM 386 微机作为宿主机,与装有多片 T800-20 Transputer 的 CB006 板组成分布式 MMMD 系统,在 386 微机上运行用 NDP-FORTRAN, C 等语言编写的有限元分析前后处理及串并行接口程序,在 Transputer 上运行用并行 FORTRAN 编写的结构动力分析计算程序。

2.2 串并行混合的 PFEM 软件设计

2.2.1 PFEM 软件系统总体设计

李明瑞教授等开发 FEM 软件在算法理论、程序设计及工程应用等方面具有一定的代表性,本课题结合 FEM 软件模块化结构特点,在移植和并行化有关串行计算模块的基础上,借助串并行数据文件接口程序,设计了图 2 所示的动力分析串并行混合软件系统 PFEM。



图 2 串并行混合有限元结构动力分析软件 PFEM 系统结构

在 PFEM 系统中,前、后处理部分完全借用了 FEM 软件的程序,并且在宿主机 386 微机上运行。串并行接口 A 和 B 分别是用 NDP-FORTRAN 设计,接口 A 实现把前处理生成的若干个 UNFORMATTED 格式文件转换成为并行 FORTRAN 格式,接口 B 实现把并行分析计算出来的另外若干个数据文件转换为后处理程序能够读出的串行格式。移植的 FEM 动力分析计算模块没有改变算法,仅仅是在程序上做了一些修改。几种并行计算模块虽然算法及其程序都进行了重新设计,但仍然延用了原 FEM 软件的宏命令系统。

2.2.2 FEM 软件动力分析程序的移植与并行化

移植原来的串行程序主要有两个目的,一是对于小规模工程结构的分析计算,仍然可以应用移植的串行程序在根处理器(ROOT)上运行,即使原来在 386 处理机上运行上升到 Transputer 处理机上运行,由于一般并行计算机的处理机,其速度和性能都远远优于同类型串行计算机的处理机,因而,这种方法仍然能够提高求解问题的速度。二是在并行算法研究中,并行计算效率的分析非常重要,而并行效率分析的有关指标(如加速比)的计算,确切的来讲都是以最好的串行计算效率作参照,因而,原则上移植工作是并行算法研究中不可缺少的一部。计算模块的并行化是建立在并行算法设计的基础上,将另文介绍。

2.2.4 PFEM 软件运行的配置文件编写

在并行计算机环境下,用 FORTRAN 语言编写完任务程序以及对其进行编译、连接之后,不能象在串行计算那样直接运行,而是要借助配置语言编写配置文件,方可再用专用的程序加载运行。配置文件必须包括以下四个部分:

- 1) 硬件配置描述:包括处理器个数、名称以及它们之间的导线(Wire)连接方式。
- 2) 任务描述:包括任务数目、名称、输入与输出口的数目和对存储空间的需求。
- 3) 任务分配描述:把多任务分别分配给不同的处理器,可以一个任务在一个处理器运行,也可以多个任务在一个处理器运行。
- 4) 任务接口描述:对于需要通信的任务,必须说明它们之间的逻辑接口。

根据这四项要求,我们采用 3L 配置语言分别编写了并行显式积分法、Ritz-lanczos 法以及移植的串行 FEM 程序的运行配置文件。

3 串行与并行数据文件接口

在有限元分析串并行混合软件系统设计中,串行与并行数据文件的接口问题最为重要,是决定系统设计成败的关键,而且,该问题的解决与并行机操作系统和并行编程语言密切相关。据了解,现有并行机的操作系统大都是在 Unix 和 DOS 的基础上发展起来的,而编程语言仍以在 FORTRAN 77 基础上发展起来的并行 FORTRAN 为主。因而,混合分析系统数据文件接口问题主要是要统一串并行数据文件的存贮格式。

3.1 并行 FORTRAN 数据文件存贮格式^[2]

3L PARALLEL FORTRAN 是国内应用比较广泛的并行 FORTRAN,通过对该编译器以二进制代码方式存贮的大量数据文件进行分析,得出如下结论:

① 输出语句每执行一次,就增加一个新的记录,不论该语句输出项表中含有多少个常量、变量、数组元素,它们之间都无任何间隔标志,但一个记录本身容许的最大长度是 4MB。

② 每个记录的前后对称地有一个描述其长度的 4 字节数,即数据文件总体存贮格式为

记录 1 长度 记录 1 记录 1 长度 记录 2 长度 记录 2 记录 2 长度
记录 i 长度 记录 i 记录 i 长度 记录 n 长度 记录 n 记录 n 长度

③ 描述每个记录长度的 4 字节数是从最左边的字节起计算,例如,07 00 00 00 表示记录长度为 7 个字节,07 01 00 00 则表示记录长度为 263 个字节。

3.2 串行 FORTRAN 数据文件存贮格式

3.2.1 MS-FORTRAN

这种编译器当文件按二进制代码存贮时,有 UNFORMATTED 和 BINARY 两种形式可供选择。对于 UNFORMATTED 形式,数据文件存贮格式为:

① 同上述并行 FORTRAN 结论中的①。

② 所有数据文件均以 4B 开头和 82 结束。

③ 对于记录长度小于或等于 128 字节时,每个记录的存贮格式与并行 FORTRAN 基本类似,即记录前后对称地有描述该记录长度的 1 字节数,数据文件总体存贮格式为

4B 记录 1 长度 记录 1 记录 1 长度 记录 2 长度 记录 2 记录 2 长度
记录 i 长度 记录 i 记录 i 长度 记录 n 长度 记录 n 记录 n 长度 82

④ 对于记录长度大于 128 各字节时,存贮时自动把该记录按每 128 个字节长为一子块,对最后剩余的不超过 128 字节的部分,完全按③中单个记录的存放格式存贮,而对分割开的子块,从形式上也与③中的存放结构相同,但描述记录长度的 1 字节数均为 81(因为十六进制的 80 正好表示记录长度为 128 个字节),标志着是子块。

对于 BINARY 形式,数据文件存贮格式是无头尾标志,且在每个记录的前后无描述该记录长度的 1 个字节数,故数据文件结构由每个记录依次按顺序排列组成。

3.2.2 NDP-FORTRAN

这种编译器,当文件按二进制代码存贮时,也有 UNFORMATTED 和 BINARY 两种形式的选择。对于 BINARY 形式产生的数据文件与 MS-FORTRAN 的数据文件完全相同;UNFORMATTED 形式产生的数据文件与并行 FORTRAN 的数据文件完全相同。

3.3 串行与并行 FORTRAN 数据文件接口

3.3.1 用 NDP-FORTRAN 设计接口

1) 并行数据文件供串行程序使用 选择 NDP-FORTRAN 的 UNFORMATTED 形式可以直接读取并行 FORTRAN 数据文件, 读出后进而还可以根据需要再按 BINARY 形式生成新的数据文件, 供 MS-FORTRAN 的程序使用。

2) 串行数据文件供并行程序使用 对按 NDP-FORTRAN 的 UNFORMATTED 形式存贮的数据文件, 可直接供并行程序使用; 对以 BINARY 形式存贮的串行数据文件, 首先按 NDP-FORTRAN 的 BINARY 形式读出, 然后再按其 UNFORMATTED 形式生成新的数据文件, 即可供并行程序使用; 不过对于原来按 MS-FORTRAN 的 UNFORMATTED 形式存贮的数据文件, 首先应该用 MS-FORTRAN 程序将其转化成 BINARY 形式的数据文件。

3.3.2 用 MS-FORTRAN 设计接口

1) 并行数据文件供串行程序使用 按 MS-FORTRAN 的 BINARY 形式直接读取并行数据文件, 但在读第一个记录前, 先把描述该记录长度的 4 字节内容输入给一个无用的 4 字节字符变量, 然后再真正读取第一个记录的值, 对其余的记录, 只需在读取它们之前, 先读一个无用的 8 字节字符变量, 即可保证读出的记录无误。不过, 对具有 NDP-FORTRAN 编译环境的用户, 上述借助 NDP-FORTRAN 程序先把并行数据文件转换成串行通用的 BINARY 形式文件, 再供 MS-FORTRAN 使用也是一种好方法。

2) 串行数据文件供并行程序使用 对 MS-FORTRAN 建立的数据文件并行程序无法直接读取, 但是除了上述借助 NDP-FORTRAN 程序转换的方法外, 对无该编译环境的用户也可用 MS-FORTRAN 编程, 建立相应的并行数据文件。具体方法是: ①定义一个长度为 4 字节的整型变量; ②以 BINARY 形式逐个读出串行数据文件的每个记录, 并将其记录的长度单独赋给定义好的整型变量; ③逐个把每个记录按 BINARY 形式重新写入一个新文件, 但在每个记录前后都对称地写上赋了值的整型变量。

3.3.3 用 3L 并行 FORTRAN 设计接口

并行 FORTRAN 存取文件目前还没有 BINARY 选择形式, 对 MS-FORTRAN 建立的数据文件和 NDP-FORTRAN 按 BINARY 形式建立的文件无法直接读取, 只有经过上述 1, 2 中介绍的转换后, 才能实现在并行环境下享用串行数据文件。但在已知总字节数时, 可按 ACCESS="DIRECT", FORM="UNFORMATTED", RECL=已知字节数读出, 对于 NDP-FORTRAN 以 UNFORMATTED 形式建立的数据文件, 并行环境可直接享用。

总之, 不同用户在具体设计接口时, 可根据自己的情况选择简单而不易出错的方法。

4 工程计算实例

1) 算例 图 3 钢架结构是《网架结构设计与施工规程》国家标准中确定的由四角锥体组成的正放四角锥网架。下面的三个算例均属此种结构, 其基本结构参数见表 1。

表 1 空间钢架结构计算算例基本参数

算例	跨数(个)		跨数(个)		钢架总单总节			上弦参数		下弦参数		腹杆	载荷作用单元
	横向	纵向	横向	纵向	高度	单元数	节点数	单元数	节点数	单元数	节点数	单元数	
1	4	4	2	2	2	128	41	40	25	24	16	64	7,9,17,19
2	6	6	2	2	2	288	85	84	49	60	36	144	9,13,37,41
3	8	8	2	2	2	512	145	144	81	112	64	256	21,25,57,61