

Transputer处理机 在连续系统并行仿真中的应用

杜铁塔 胡守仁

(计算机系)

摘要 Transputer是最近几年由Inmos公司研制推出的一种新型VLSI单片计算机,它具有价格低廉,处理能力强,方便灵活等特点,其应用广泛。作者将连续系统仿真应用中的一个典型实例——某型号飞机六自由度飞行的仿真——在Transputer, YH-F1, YH-1等各种类型计算机上求解。结果表明,Transputer多机系统具有很高的性能价格比,比大型机约高一个数量级。

关键词 连续系统仿真, 多处理机, Transputer, Occam

分类号 TP399

连续系统计算机仿真目前大多采用数字计算机,包括像PC机一类的用于小规模系统仿真的微型计算机,用于较大规模系统仿真的专用仿真计算机,如AD-10(或同类产品YH-F1), AD-100或巨型机CRAY-1等。作为单机,在保证精度的前提下,象PC一类的微机不能满足较大规模连续系统实时仿真的要求,而像AD-100, CRAY-1这样的高性能计算机即使能满足实时处理的要求,但由于其价格太高而难以为用户所接受。解决这一矛盾的有效途径之一就是利用现有的计算机技术、器件技术以及软件工程技术开发出以VLSI的高速微处理机为基础的多处理机系统,用并行处理的方法实现对连续系统并行仿真^[1]。

1 Transputer

Transputer是英国Inmos公司研制的可编程的VLSI产品系列,其中一种典型产品是含有处理器、存储器和通讯链路的单片处理机。本文中所提到的Transputer系指此类产品。图1是T414 Transputer的结构图^[2]。它包括一个运算速度为10MIPS(百万条指令/秒)的32位定点处理器,2k字节的片上存储器,另有32位外接存储器接口,四对通讯链路,具有20Mbit/秒的双向传输能力,一个时钟。整个处理机封装在一个84条腿的1吋见方的芯片上。

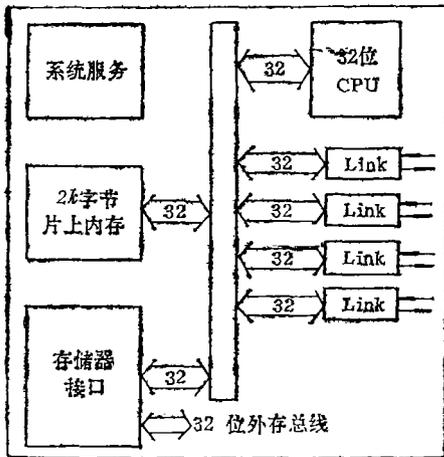


图1 T414 Transputer 芯片处理机结构图

Meiko, Inmos等公司的产品。例如, Transtech公司用Transputer构成的同构型多机系统, 产品所含Transputer的个数依次有1, 4, 9, 17等, 主存分别为2M, 4M, 9M, 16M不等, 价格在2,000至20,000英镑的范围内。

Transputer 上开发有独特的程序设计语言 Occam, 以支持并行处理, 并配有支持并发程序设计的Pascal, C和Fortran语言及操作系统。

2 一个基于Transputer的多机仿真系统模型

一个连续系统的动态特性通常可用微分方程组来描述。用数字机对连续系统进行仿真的主要任务就是用数值积分方法在计算机上求解微分方程组。这种计算任务存在着较好的并发性, 同构型多处理机能有效地开发任务级并行, 因而适用于连续系统的仿真[1]。

图2是具有同构型多处理机系统结构的仿真机结构图, 该机是一种主-辅机结构。图中HOST是一通用的微型计算机或小型机, 通常的外设(如磁盘, 磁带, 打印机, 终端等)均联于此。

PE₁, ..., PE_n是功能相同的 n 个处理机, 它们构成一个同构型多处理机子系统, 专用于微分方程组的求解。每个PE能独立作科学计算, 并能通过互连网络与其他PE通讯。每个PE都有自己的存储器ME, 用于存放数据和代码。

COP是一控制处理机, 它负责控制所有的PE, 以保证它们能协调地工作。COP还与HOST一起负责程序的编辑、编译、数据和代码的加载、仿真结果分析等预处理和善后处理工作。IOP是输入/输出处理机, 如作半实物仿所需的A/D, D/A转换器以及D/D接口等都由它管理。

在求解微分方程时, 状态变量的初值或上一帧的值由COP经总线播送至各PE; 一帧计算结束时, 各PE将其计算出来的状态变量的新值通过总线汇集到COP, 外界输入的数据(如果有的话)由IOP经总线播送到各PE。

图3是用Transtech公司生产的型号为TSB98-9的多Transputer同构型多机系统构

T800 Transputer是对T414的扩充。主要是增加了一个浮点运算速度为1.5M-FLOPS(百万个浮点操作/秒)的浮点处理单元, 可作64位字长的浮点运算。片上内存增加到4k字节, 其他功能与T414类似, 且与T414的针脚兼容。

特别值得一提的是, 每个Transputer拥有4对通讯链路。它们即可连接外设, 也可以此实现多个Transputer互联, 构成各种拓扑结构的多机系统。

目前, 世界上有不少计算机厂家用Transputer作为基本组件研制出各种专用计算机, 其中商品化了的有Transtech,

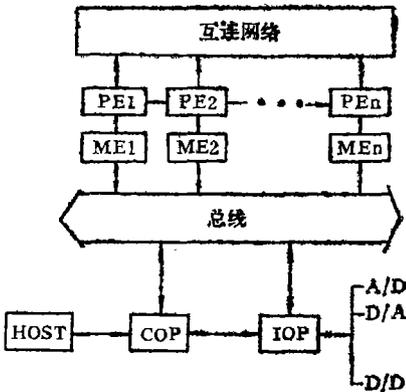


图2 同构多处理机结构的仿真机系统结构图

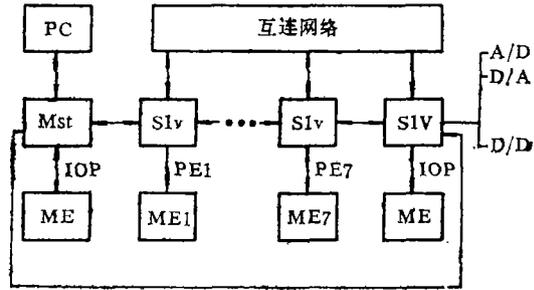


图3 TSB98-9构成的仿真机系统的结构图

造的仿真机硬件结构图。TSB98-9多机系统含9个T800 Transputer,9M内存,每个T800配备1M。其峰值处理速度高达13.5MFLOPS,价格为15000英镑左右。

我们用TSB98-9多机系统中的一个称为Master的节点机作仿真机系统的COP,用余下的称为slave的8个节点中的一个来充当IOP,通过链路适配器可以将A/D、D/A转换器接到IOP上。剩下的7个处理机构成专用于求解微分方程的多机子系统。用PC机作HOST。由于TSB98-9没有公共总线,故各PE之间通过互连网络传送各状态变量的值,IOP亦通过互连网络向各PE传送输入数据。

如前所述,Transputer上有并发程序设计语言Occam,通过它用户不难写出能在多机上高效运行的仿真程序。当然对仿真程序作任务分割,使它们能分别地分配到不同的处理机上去运行的工作需由程序员来完成。由于各个处理机都设有时钟,用户可以动态地了解各个处理机的负载情况,以调整各处理机的工作量,求得负载均衡。

3 实例

我们以某型号飞机作六自由度飞行的仿真为例,分析一下多Transputer仿真机的效能,并同该题目在其他一些计算机上的求解时间作一比较。

数学模型

飞机的飞行方程有六个自由度,三个质心运动自由度,三个绕质心运动自由度。由于模型比较复杂,这里只给出几个主要方程式。

质心运动方程

$$v_x = -v_z \cdot \omega_y + v_y \cdot \omega_z - g \cdot \sin \theta + \frac{1}{m} \cdot (p - \dot{x} + y \cdot \sin \alpha)$$

$$v_y = -v_x \cdot \omega_z + v_z \cdot \omega_x - g \cdot \cos \theta \cdot \cos \gamma + \frac{1}{m} y \cos \alpha$$

$$\dot{v}_z = -v_y \cdot \omega_x + v_x \cdot \omega_y + g \cdot \cos\theta \cdot \sin\gamma + \frac{1}{m} z$$

绕质心运动方程

$$\dot{\omega}_x = \left(\frac{I_y - I_z}{I_x} \right) \omega_y \cdot \omega_z + \frac{1}{I_x} M_x$$

$$\dot{\omega}_y = \left(\frac{I_z - I_x}{I_y} \right) \omega_x \cdot \omega_z + \frac{1}{I_y} M_y$$

$$\dot{\omega}_z = \left(\frac{I_x - I_y}{I_z} \right) \omega_x \cdot \omega_y + \frac{1}{I_z} M_z$$

飞行状态参数及公式

$$\dot{\theta} = \omega_y \sin\gamma + \omega_z \cdot \cos\gamma$$

$$\dot{\gamma} = \omega_x - (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) \tan\theta$$

$$\dot{\psi} = (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) / \cos\theta$$

$$\dot{H} = v_x \sin\theta + v_y \cos\theta \cdot \cos\gamma - v_z \cos\theta \cdot \sin\gamma$$

该模型共含10个状态变量。有7个一变量函数, 13个二变量函数, 7个三变量函数需作函数生成。

六自由度飞行仿真问题对于仿真专用机YH-F1(或AD-10)系统而言具有一定的代表性。它用到了其运算模块程序的大部份, 如积分/求和, 座标转换, 函数生成, 函数插值, 乘, 除等, 有一定的难度和复杂度^[3]。

在Transputer机器上我们用Occam语言编写该仿真程序, 在YH-F1上用YHMPS语言, 在其他机器上用FORTRAN语言。在多Transputer环境上用Occam语言编程时, 我们以微分方程为单位进行任务划分。如双机时, 将 v_x, v_y, v_z, ω_z 的计算划归一组。其他6个状态变量的计算划归一组。表1是各种机器上该题目的求解时间。

计算结果表明:

(1) 用Transputer作为基本处理单元构成仿真机系统具有很强的处理能力。当处理单元数目为2时, TSB98-9的处理速度已超过YH-F1(AD-10), 其性能价格比为YH-F1的10倍左右。

(2) 由多Transputer构成的同构型多机系统能很好地开发仿真计算的并行性, 有效地进行并行仿真。表2列出了此例题在多机上求解时的加速比和并行处理效率。

从表2可以看到采用TSB94-9多机系统时, 并行处理效率较高, 均在80%以上。

在采用TSB98-9多机系统时, 并行处理效率较TSB94-9低是由于T800的运算速度是T414的10倍左右, 而机间通讯速率相当。因此T800上一帧时间内用于数值计算的时间大大地减少了, 但通讯开销并未减少, 从而加大了帧时间内通讯开销所占比重。

(3) 本例子在具有向量运算速度为每秒一亿次操作的YH-1上的执行时间仅比1个T800少30%左右。为什么会如此呢?

文献[1]指出, 求解微分方程包括右函数计算和积分求和两部分。由于右函数形式各异, 因此其计算难以向量化。而积分求和运算, 既使能向量化, 但由于向量长度短亦

难以获得高效。这两点使得像YH-1这样高性能流水线计算机对于仿真任务难以奏效。

表1 六自由度飞行仿真问题的执行时间

计算机	主频(MHz)	帧时间(微秒)
COMPAQ 386	16	62 670
PC/XT 8086 + 8087	5	45 900
VAX-11/780	5	3 200
YH-F1(A D-10)	10/40	616
YH-1	20	507
TSB94-9*(1 CPU)	20	6 003
TSB94-9 (2 CPU)	20	3 426
TSB94-9 (3 CPU)	20	2 473
TSB98-9 (1 CPU)	20	699
TSB98-9 (2 CPU)	20	496
TSB98-9 (3 CPU)	20	413

* TSB94-9是Transtech公司生产的另一种计算机。它含9个T414 Transputer, 9M内存

表2 加速比和并行处理效率

计算机	个数	帧时间	加速比*	并行处理效率**
TSB94-9	1	6 003		
TSB94-9	2	3 426	1.752	0.876
TSB94-9	3	2 473	2.4275	0.81
TSB98-9	1	699		
TSB98-9	2	496	1.4103	0.705
TSB98-9	3	413	1.6917	0.564

* 加速比 = 单机执行时间 / 多机执行时间

** 并行处理效率 = 加速比 / 处理机数目^[4]

4 结束语

用Transputer作基本处理单元来构造多机系统,能很好地应用于连续系统并行仿真,具有很高的性能价格比,大约为大型机的10倍,此外它还具有如下一些长处:

(1) Transputer结构简洁,使用方便,用它构成多机系统时硬件设计工作量少,便于实现。

(2) 由于处理机数目可变,因而它适应于不同规模的系统的仿真需求,既能使小用户买得起,又能使大用户够用。

(3) 具有很高的可靠性。由于采用同构型多处理机结构,使系统工作的可靠性可以建立在处理机一级冗余的基础上。在这系统中,平时几台处理机都正常工作;如果有某台处理机出现故障,可经重构系统,以略为降低的规模继续运行,直至故障排除为止。

这一点对于要求高可靠性的系统(如对核电站, 战略武器系统的实时控制)的仿真应用无疑是必要的。

当然利用Transputer及其产品的现有软件来开发仿真应用还有很不完善的地方。尤其是面向仿真应用的系统软件(如仿真语言, 模型库等)的开发以及增强其接实物能力等方面还有许多工作要做。

本文所述工作曾得到万晓冬, 司光亚, 光卫等同志的热心支持, 在此特致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Du Tieta, Hu Shouren, Parallel Continuous System Simulation, Proceedings of Beijing International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 1989, 1: 232
- [2] Inmos Corporation Staff, Transputer Reference Manual and Product Data, 1986
- [3] 黄柯棣, 万晓冬. 利用银河仿真机系统(YH-F1)对六自由度飞行进行仿真. 见: 全国第六届系统仿真学术会议文集, 1987
- [4] 蹇贤福等. 同步并行算法. 国防科技大学出版社, 1986

The Application of the Transputer in Parallel Continuous System Simulation

Du Tieta Hu Shouren

(Department of Computer science)

Abstract

The transputer is a new single chip computer developed by INMOS corporation in recent years. It has been widely used for its high-performance, flexibility and low price. In this paper, the solutions for simulation of an aeroplane's flight with six degrees of freedom on various computers, such as transputer, YH-F1, YH-1 and etc., are listed. The results show that the transputer multiprocessor systems are of high cost-performance, one order of magnitude higher than a mainframe computer.

Key words: continuous system simulation, multiprocessor, transputer, occam