



391.4
23-2

分布式 并行图形 处理技术 及其应用

潘志庚 著

人民邮电出版社

计算机实用软件丛书

分布式并行图形处理 技术及其应用

潘志庚 著
石教英 审

人民邮电出版社

内 容 提 要

分布式并行图形处理是计算机图形学和分布式系统相结合的产物,它是 80 年代末、90 年代初发展起来的一项新技术。本书结合作者的研究工作对分布式图形处理的基本理论、支撑环境、分布式图形算法和分布式图形语言等诸多方面进行了详细讨论,另外还对分布式图形在多媒体、科学计算可视化和虚拟现实中的应用进行了介绍。

全书内容新颖,叙述清楚,可供研究计算机图形学、并行处理及分布式系统的人员学习参考。

JS180/05

计算机实用软件丛书

分布式并行图形处理技术及其应用

Fenbushi Bingxing Tuxing Chuli Jishu Jiqi Yingyong

-
- ◆著 潘志庚
 - ◆审 石教英
 - ◆责任编辑 赵桂珍
 - ◆人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆开本:787×1092 1/16
印张:12.75
字数:312 千字 1997 年 5 月第 1 版
印数:1- 3 000 册 插页:1 1997 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-06378-8/TP·403

定价:18.00 元

“计算机实用软件丛书”编委会

高级顾问 张效祥 胡启恒

主 任 牛田佳

副 主 任 李树岭 罗晓沛

特约编委 谭浩强 陈树楷

编 委 (按姓氏笔画排序)

毛 波 方 裕 史美林 孙中臣

孙家骥 刘炳文 刘德贵 吴文虎

张国锋 周山芙 周堤基 钟玉琢

柳克俊 侯炳辉 赵桂珍 聂元铭

徐国平 徐修存 寇国华 戴国忠

丛书前言

随着计算机、通信和信息技术的迅速发展与广泛应用,人类正在进入信息化社会。计算机技术的应用与推广,将直接推动社会信息化的发展;而计算机技术的应用与推广,实质上取决于计算机软件的应用和推广,可以说,没有软件,就没有计算机的应用;学习、使用计算机,从根本上讲就是学习和掌握软件的使用。

为了适应当前计算机技术发展的需要,满足读者学习、使用计算机软件的需求,人民邮电出版社约请有关专家编写出版了这套“计算机实用软件丛书”。

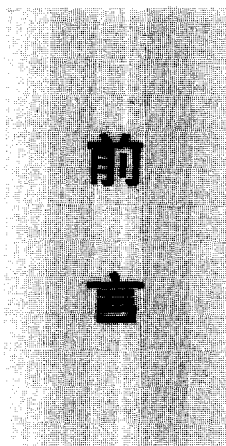
这套丛书的特点是:普及兼顾提高,应用兼顾开发,各书独立成册形成系列,并注重其相关性,使丛书成为广大计算机应用和开发人员学习使用计算机的必备用书。

这套丛书的内容包括:程序设计语言、操作系统技术、数据库技术、软件开发技术及工具、网络技术、多媒体技术等。

在计算机技术飞速发展的今天,软件产品更新快,经常有新产品或新版本问世,因此我们不但介绍当前流行和优秀的软件,而且力求尽快把国内外最新的软件产品也介绍给读者。

我们将全心全意为读者服务,也热切期待广大读者对丛书提出宝贵意见,以进一步提高丛书的质量。让我们共同努力,为提高我国的计算机开发、应用水平做出贡献。

“计算机实用软件丛书”编委会



分布式图形处理是计算机图形学与分布式系统相结合的产物,它是 80 年代末期发展起来的一门新技术(在 1989 年的 SIGGRAPH 会议上正式提出分布图形这一术语)。

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室在国家自然科学基金浙江省、科委国际合作项目和浙江省自然科学基金等课题的资助下,从 90 年代初对分布式图形处理技术进行了系统地研究,取得了多项研究成果,在此基础上,完成了本书的撰写工作。

本书主要讨论分布式图形处理的理论和应用技术,内容涉及以下几个方面:图形分布处理的基本原理、分布式图形处理支撑环境、分布式并行图形算法、分布式图形库、分布式图形语言和分布式图形处理的应用等,全书内容安排如下:

第一章介绍分布式图形处理的含义、研究意义和概况。第二章阐述了分布式图形处理的基础理论,包括图形系统中的并行性、基于对象空间、图像空间的并行方法、传统绘制流水线的并行策略、任务划分、任务分布、分布式并行图形算法的性能分析方法及分布并行处理模型。

第三章介绍分布式图形处理支撑环境,用于支持分布式图形算法以及系统的设计。DGPSE 支持多种分布计算模型,提供异步通信功能和 3D 图形支撑功能;支持空闲处理机查找并且还提供一定的调试设施。DGPSE 为图形分布处理的研究奠定了基础。基于 DGPSE 实现的 D-TORUS 是一运行于工作站网络上的分布式体素造型系统,其中的三维真实感图形的生成任务可用多台工作站并行完成,从而加快图形生成速度。另外,本章还介绍了并行图形程序设计环境 PVM-G。

第四章介绍用 DGPSE 设计的一组分布式图形算法(包括消隐、明暗处理、光线跟踪和辐射度绘制)和分布式图形库 DGPSL,并行算法涉及到对象空间并行/图像空间并行方法。DGPSL 中的并行图形库更进一步提高了分布式图形应用的并行性。

第五章介绍分布式图形语言 DGLa。它提供开发分布式图形应用的高层机制。DGLa 以异构网为目标,网中可包含多种类型的机器;它提供丰富的进程通信控制设施并且包含内嵌的图形功能,从而方便了用户进行分布式图形应用系统的开发。

第六、七、八章介绍分布式图形处理技术的应用,主要包括:多媒体、科学计算可视化和虚拟现实。

本书的编写和出版工作自始至终是在作者的导师石教英教授指

目
录

第一章 绪论	1
1.1 简介	1
1.2 分布式图形的研究内容	3
1.3 分布式图形处理的研究意义	4
1.4 分布式图形处理系统的定义和分类	5
1.5 分布式图形的研究概况	8
1.6 分布式图形技术发展展望	10
第二章 分布式并行图形处理基础	15
2.1 图形处理系统中的并行性	15
2.2 传统绘制流水线的并行	20
2.3 并行图形生成算法的评价标准	23
2.4 任务划分和分布	25
2.5 分布式并行图形算法性能分析	37
2.6 分布并行处理模型	39
2.7 小结	42
第三章 分布式图形处理支撑环境	
3.1 简介	43
3.2 分布式图形处理支撑环境 DGPSE	46
3.3 基于 DGPSE 的分布式体素造型系统	52
3.4 网络并行图形程序设计环境 PVM—G	56
3.5 小结	62
第四章 分布式图形算法和分布式图形库	
4.1 分布式图形算法设计	63
4.2 分布式并行消隐算法	70
4.3 分布式并行明暗处理算法	73
4.4 分布式并行光线跟踪算法	77
4.5 分布式并行辐射度算法	80
4.6 分布式图形库 DGPSL	84
4.7 小结	86

第五章 分布式图形语言

5.1 简介	88
5.2 分布式图形语言 DGLa 的设计	90
5.3 DGLa 的实现技术	95
5.4 基于 DGLa 的分布式图形程序设计	98
5.5 小结	107

第六章 分布式多媒体系统

6.1 分布式多媒体系统的分类	109
6.2 分布式多媒体协作系统	113
6.3 分布式多媒体协作 CAD	118
6.4 网络环境下多媒体编辑器 OpenEditor	125
6.5 小结	131

第七章 分布式科学计算可视化

7.1 分布式科学计算可视化系统的设计	133
7.2 分布式并行体绘制算法	139
7.3 分布式协同科学计算可视化	143
7.4 分布式科学计算环境下的资源共享	147
7.5 分布式环境下的图形图像交换	150
7.6 小结	155

第八章 分布式虚拟现实

8.1 虚拟现实及其硬件平台	157
8.2 分布式虚拟现实系统结构和模型	159
8.3 分布式虚拟现实系统和开发工具	163
8.4 分布式虚拟现实系统开发平台 DGPSE+	171
8.5 基于 Internet 的虚拟现实场景描述语言	174
8.6 小结	179

附录

附录 A DGPSE 提供的支持分布处理函数说明	181
附录 B DGLa 中支持分布式程序设计的语句说明	185
附录 C	彩图
参考文献	186
后记	193

第一章

绪论

分布式图形是 80 年代末、90 年代初发展起来的一项新技术,它是计算机图形学和分布式系统相结合的产物。本章介绍分布式图形的产生、研究内容和研究概况,并对分布式图形技术的发展进行了展望。

1.1 简介

随着科学技术的发展,越来越多的领域(如科学计算可视化、多媒体计算和虚拟现实)需要更加快速的计算能力,但由于现今单处理机硬件速度已接近极限,并行处理便成为解决这类问题的重要途径。在计算机图形和 CAD 领域中,三维图形的生成是一个很费时间的操作,为了加快速度,在软件结构方面提出了一系列的并行算法,在硬件结构方面也提出了多种适于并行处理的体系结构,这样,有效地提高了图形的生成速度,并使得一些图形显示和处理系统满足实时要求。现在有许多实时处理问题需要高速处理,用单处理机无法满足其要求。例如,在卫星图像处理的应用中,人造卫星平均每秒向地面发送大约 100 万个像素,每个像素要求 100 次到 1000 次操作,故要求相应的系统每秒能完成 1 亿到 10 亿次运算,为了达到实时处理要求,当时美国宇航局设计了一个由 16000 个处理机组成的计算机系统,系统采用并行处理的方法来解决上述问题。

研究图形的并行处理必须有支持并行处理的硬件结构,多种类型的并行计算机被用于计算机图形学的研究。不同的硬件结构使用不同层次的并行机制。一般说来,小粒度(fine grain)并行需要同步控制和高速通信,从而导致集中结构;而大粒度的并行可以使用非集中式控制来获得更进一步的并行,但必须保证单个的粒度足够大以避免由于通信和同步所产生的开销而带来的影响。Scott Whitman

把用于计算机图形研究的并行机按粒度增加的顺序分为以下几类:

(1)同步的,包括:

- . SIMD(如 Connection Machine, Pixel—Planes);
- . Vector(如 Cray, 银河机);
- . VLIW(Very Large Instruction Word, 如 MAGIC);
- . 阵列机(如 iWARP)。

(2)MIMD 包括:

- . 共享存储器类型(如 SGI);
- . 分布式存储器类型(如 Pixel 机);
- . 联网的计算机系统(如果网中的计算机全是工作站,那么称为是工作站群机系统)。

下面着重介绍 MIMD(多指令多数据)结构。

1. MIMD 共享存储器

MIMD 共享存储器计算机由共享同一地址空间的独立的处理单元组成。有些系统实际上提供共享的物理存储器。处理器和存储器通过总线相连,这种做法限制了处理器的数目。而另外一些系统则把处理器与存储器用多级网络相连,使得增加处理器变得非常容易,如 BBN Butterfly。图形超级工作站(如 Silicon Graphics 4D/240 GTX 和 HP/Apollo DN 10000)也属于这种类型,它们都是充分利用并行性来提高速度的。

2. MIMD 分布存储器

MIMD 分布存储器计算机使用多个标准的微处理器和存储器来提供并行处理,这种做法所花的代价较低。根据处理机之间耦合度,又可将 MIMD 分布存储器计算机系统分为多处理器系统和分布式系统。

(1)多处理器系统。由于这类系统易于构筑,从而建立了很多实验性的多处理器系统,其中专门用于图形的是 LINK-1。LINK-1 包含有 64 个独立的处理器,可按多种拓扑结构相连。很多多处理器系统是用 Inmos Transputer 构造的,用于图形处理的基于 transputer 的多处理器系统的一个例子是 Meiko Computing Surface。另外,AT&T 公司的 Pixel 机使用 DSP(数字信号处理)芯片来完成图形任务,每个 DSP 芯片包含一个向量处理器。由于使用标准部件,使得 Pixel 机以相对低的价格开销而获得相对高的处理速度。另外一个基于通用微处理器的多处理器系统是 Intel Person Super Computer(基于 Intel 80286 或 80386)。

(2)分布式系统。在分布式存储器并行结构中,一种常见的伪“并行机”是由多个工作站或其它机器通过网络连接而成,这种联网计算机已经被普遍用来进行计算机动画的研究,它们可以是:

- ①全部由个人机(如 PC486 或奔腾机)组成(用双股电缆线相连);
- ②全部由工作站(如 HP, SUN, SGI, IBM)组成(用同轴电缆相连);
- ③由多个相距很远的计算机(工作站、个人机、超级计算机等)组成的异构型计算机系统。

由于分布式系统能够提供更多的存储空间、更强的计算能力和资源共享,因而得到了广泛应用,如分布式专家系统、分布式数据库、分布式操作系统、分布式程序设计语言、分布式软件工程、分布式多媒体系统、分布式科学计算及可视化系统等。从 80 年代后半期开始,特别是随着科学计算可视化、多媒体、虚拟现实等图形新技术的出现,国际上形成了对分布式图形研究的热潮。在 1989 年的 SIGGRAPH 会议上有一题为“Distributed Graphics: Where to Draw the Line?”专题讨论会,正式提出分布式图形(Distributed Graphics)这一概念。分布式图形就

是在分布式系统上研究计算机图形的生成和显示,是计算机图形学和分布式系统的有机结合。

从1991年开始,SIGGRAPH和SIGCOMM两个国际组织联合召开每年一次的专题讨论会,题为“Graphics and Networking”;在1991年7月的SIGGRAPH会议上,对“Computer Graphics in the Network Environment”进行了专题讨论;在国际分布式系统大会上,把“分布式多媒体系统”作为大会的一个主要内容。

1.2 分布式图形的研究内容

70年代以来,计算机科学界出现了两股潮流:一股是计算机网络一体化(远程资源共享加上通信技术与计算技术的结合,导致计算机网络的产生,而远程资源共享与并行处理一起要求计算机网络向一体化的计算机系统方向发展);另一股是并行处理分布式化(一个大型的异步并行处理系统有大量的并行操作部件,如果只设有一个系统控制器,实行集中控制有明显的缺点,因此必须采用分布式控制。并行处理系统和分布式控制结合起来,从而使并行处理系统向分布式化方向发展)。这两股潮流的汇合点,就是分布式控制的并行处理系统,即人们所谓的分布式系统。J. Dennis在1985年的国际分布式计算机系统大会上的特邀报告中指出:“任何一个有效的计算机系统都是一个分布式系统”,这也是未来的计算机系统应具备的特点之一。

分布式系统有许多潜在的优点,主要是:

(1)能提高系统的可用性。当系统中的某些机器出现故障时可以采取有可能降低性能的方法使系统不停止工作。

(2)能提高系统的坚固性(Robustness)。

(3)高灵活性,便于扩充或修改。

(4)高性能,这主要通过并行处理来得到。一个分布式系统,不但有并行处理的能力,而且采用分布式控制,可以避免各类“瓶颈”与同步等待,所以有潜在的高性能。

(5)低价格性能比。由于超大规模电路技术的飞速发展,单个芯片的功能越来越强,而价格却越来越低,因此用这种芯片或微型机(或工作站)来组成分布式系统,其价格/性能比往往比单机系统低。

近年来,随着计算机本身速度的提高,图形硬设备的发展,联网计算机系统的出现,特别是显示技术、交互技术、网络技术、图像压缩技术等的发展,使得人们能够用计算机进行复杂图形应用系统的研究,产生了一系列图形新技术,包括基于物理模型的动态图形显示与仿真、科学计算可视化、多媒体、虚拟现实等。这些图形新技术源于计算机图形学,又从不同侧面有别于传统的计算机图形学,使得计算机图形应用系统不断向更深层次发展。

计算机用于图形处理经历了以下几个阶段:

- 批命令方式图形处理;
- 主机(mainframe)上的交互式图形(通过终端);
- 在个人机或工作站上的交互式图形;
- 基于计算机系统网络模型 Client—Server 的图形应用。

分布式图形处理作为一个新的研究方向,一方面表现在分布式图形处理系统是一种特定

的分布式系统,另一方面表现在分布式图形系统在本质上又是一种图形系统,以图形的高速生成成为主要目标。它有自己的特性,如计算量大,有交互性要求,通信量大(有时需在网上进行图像数据的传输)等,因此既不能把它作为一般的分布式系统,也不能把它作为简单的图形系统,有必要把分布式系统与计算机图形学结合起来进行研究。

分布式图形的研究内容可包括以下几个方面:

(1)分布式图形系统的软件结构和设计方法学(图形系统的并行性、支持图形分布处理的硬件结构、并行层次、任务分解、任务分布策略、负载平衡、分布式图形算法的效率评价等)。

(2)分布式图形处理支撑环境。

(3)分布式图形算法。

(4)分布式图形语言,支持结构化的分布式程序设计。

(5)分布式环境下的限时图形绘制

(6)高性能应用系统(如分布式可视化系统、分布式多媒体文档检索系统等)。

1.3 分布式图形处理的研究意义

在图形加速研究中,前面已经提到用并行机(如Cray, Aliant 或银河机),但这对一般的用户来说代价太大,另外这类并行机往往以分时方式工作。Michael Pique 认为对某些交互性要求和响应要求较强的图形应用,不适于在这类并行机上运行。解决办法是用一台工作站与并行机相连,大量的计算由并行机来完成,而一些交互和图形显示操作则在工作站上运行。

另外一种提高图形生成速度的方法是使用专用图形硬件,专用图形硬件包括Clark的几何发动机GE、SUN工作站上的TACC-1和图形超级工作站Silicon Graphics 4D/240GTX等上的图形加速部件。Los Alamos国家实验室的Disk Philips认为对大多数图形应用而言,专用硬件是合适的,对交互式图形的实用化起了很大的促进作用,但是专用图形硬件并不能解决所有的问题,对于研究专用绘制技术和大规模仿真型的应用而言,专用图形硬件的效果并不明显。

在计算机网(典型情况如工作站网)上进行图形和CAD系统的加速研究,优点在于:

(1)充分利用网上空闲的计算能力。

(2)不增加额外的硬件开销。

(3)图形设备、信息的共享。

除此而外,有些图形应用本身就有分布特性,如分布式地理信息系统、分布式多媒体文档检索系统和分布式仿真系统等。

解决复杂图形应用问题(如光线跟踪、体数据绘制、三维动画、导航系统等)的一种行之有效的方法是把问题划分为可以并发执行的若干子任务,并使它们并行执行。由于网络技术、图形压缩技术、绘制技术的发展,高速网的出现和高性能工作站的出现,特别是网络分布式窗口系统(如X和NeWS)的产生,使得很多以前只能用并行机才能得到满意解的问题,现在可以用一个联网的计算机系统来解决。

1.4 分布式图形处理系统的定义和分类

1.4.1 分布式图形处理系统的定义

为了后面描述的方便,下面给出一组有关分布式图形处理的定义。

定义 1.1 并行处理

并行处理就是利用多个处理部件为完成一个整体任务而同时执行。它隐含着三个重要的特点:

1. 自治性

即各处理部件工作时是彼此独立的,不受别的处理部件制约,这样可以充分发挥各处理部件的作用。

2. 合作性

并行处理时,各个处理部件共同完成一个整体的任务,它们并不是完全无关,绝对独立的。这种合作有很大的优越性,不但可以提高效率,加快速度,而且有时还能处理一些单个处理部件所无法完成的任务。

3. 并行性

通常的并发进程也具有合作自治的特点,只有“并行性”才把并行进程与并发进程区分开来。

定义 1.2 分布式控制

在一计算机系统中,包含有多个服务点和多个系统控制,从而有多个系统执行控制路径,它们控制一个程序的不同部分的执行而又相互作用。例如,传统的多处理机系统的公共内存的存取控制以及资源管理都是集中控制的,而数据流机的基本控制方式则是分布的。它是由执行控制器的多个相同部件并行执行的。分布式控制实际上是并行处理原理在系统控制问题上的应用,它有以下几个特征:

(1) 存在多个服务与控制中心。

(2) 多个控制器合作自治。

(3) 合作的主要形式是执行协议,因为不存在唯一的控制中心,所以只有靠协议来保证各种活动的一致性。

(4) 合作进程之间的通信是消息通信,消息通信的实质是具有双边协议的平等通信,并且通信延时是不确定的。

定义 1.3 分布式图形处理系统

分布式系统由多个自治的且不共享存储器的处理器组成,它们通过通信网络发送消息来协同工作,分布式图形系统是指面向图形的分布式系统。

分布式图形处理系统=并行处理+分布式控制+图形系统

有关并行处理和分布式控制的定义以及基本特征已在上面给出。综上所述,分布式图形

处理系统应有以下特征:

(1)由多个物理与逻辑处理部件以及多复本资源组成的模块化结构。例如系统中可以包括多个图形服务器或其它与图形有关的资源。

(2)各处理部件是合作自治的,多复本资源是分散的。这里用于连接多台计算机和图形设备的网络可以是局域网(LAN),也可以是广域网(WAN),每台机器有自己的操作系统和显示设备。

(3)系统资源对用户是透明的,有多个系统控制器负责系统的全局控制,系统状态由所有的控制器共同决定。

(4)所有的合作进程包括系统控制器之间的合作和一致性,它主要靠协议来保证。

(5)各分散的处理部件之间的进程通信是有双边协议的消息通信。

(6)系统的处理操作必须是面向图形的。

以上前五个特征是一般的分布式系统的共有特征,分布式系统和通常所谓的并行处理系统是不相同的。例如它和阵列机不同,阵列机虽然有多个处理部件,但它有一卫星机或专门的控制处理部件作为集中控制之用。分布式系统和通常所谓的多处理机系统也不相同,多处理机系统虽然是 MIMD,而且每个处理机有相当的独立性,但它是共享单一公共内存的,各处理机对数据的存取要受到全系统唯一的数据总线上存取控制器的控制,这是一个具有全局性的存取方法的集中控制,所以它也不是分布式系统。另外,单单的计算机网络,如果没有进程通信和分布控制方面的高层支撑,也不能当成是分布式系统。

1.4.2 分布式图形处理系统的分类

分布式系统可以根据它们的互连网络进行分类,网络决定了处理器之间通信的速度和可靠性,也决定了处理器的空间分布。如果在一个分布式结构中,通信是快速且可靠的,并且处理器在物理空间上相距很近,那么就称这样的系统为紧耦合系统。该类系统所用的网络由快速的、可靠的点对点连接组成。这种类型系统的通信时间通常是微秒级。当然随着通信技术的进步,这个时间肯定会再下降。如果在一个分布式结构中,处理器之间的通信是慢速且不可靠的,那么则称这样的系统为松散耦合系统。一种松散程度较轻的分布式系统例子为工作站 LAN(网中由工作站或小型机组成)。这种局域网允许任何两个处理器之间直接通信,典型情况下通信代价为微秒数量级。局域网把处理器之间的距离限制为几公里,如果要连接超过这个范围的处理器,那么就需要用广域网。广域网可被看成是松散程度更高的耦合系统,通信的代价是秒的数量级。

在分布式系统上进行图形应用的编程有四个主要原因:

(1)降低单个图形计算的时间。

(2)增加可靠性和可用性。

(3)使用系统的某些部分来提供专用功能(如打印服务器,图形服务器)。

(4)应用本身具有分布特征。

根据上述四种要求,从而产生四种不同类型的分布式图形系统,下面将分别进行简单介绍。

1. 并行、高性能图形应用系统

通过并行来获取高加速比是在分布式系统上运行图形系统的一种重要原因。通过同时在

不同的处理器(或处理单元)上执行一个图形生成程序的不同部分,可以加速图形的生成,满足实时性和交互性。一般说来,这类并行图形应用系统也适于在共享存储器的多处理器系统上运行,但是共享存储器系统中的处理器数目有一定限制,所以在分布式系统上实现并行图形应用已引起人们的普遍兴趣。

并行应用系统可以根据它们所使用的并行粒度来划分(有关并行粒度将在第二章介绍),可分为大粒度并程序、中等粒度并程序和小粒度并程序。显然这里的粒度意指应用系统的特性,而前面的耦合则描述分布式系统本身的硬件结构。小粒度和中等粒度并行性最适合在紧耦合的分布式系统上实现,这是因为在紧耦合的系统中,通信代价较低。例如在 1.5 节中介绍的分布式图形应用中,一些绘制算法(如光线跟踪、辐射度算法)都使用小粒度或中等粒度并行。大粒度并行性既适合于紧耦合系统也适合于松散耦合系统。例如 1.5 节中介绍的 ape 可视化环境只支持大粒度的并行,很多动画电影制作系统也利用大粒度并行。

2. 容错性图形应用系统

对于象控制飞机或自动工厂这样的应用而言,单个的处理器可靠性远不能满足要求。而分布式计算机系统的一个潜在优点就是可靠性(也称为坚固性),因为它们有允许部分失败(partial failure)的特性,处理器是自治的,一个处理器出错并不会影响其它处理器的操作。因而,通过几个处理器上复制图形应用系统的数据或某些图形功能,即可增加可靠性。

3. 提供专用服务的图形应用系统

某些应用系统用于提供一组特定的服务。例如在一分布式多媒体系统中,提供的服务可包括声音服务、图形打印服务、图像扫描服务、计算服务等。每种服务可用一个或多个专用处理器,原因是这样可提供较好的性能和高可靠性。

4. 具有地理分布特性的图形应用系统

最后还有一类分布式图形应用系统,即具有地理分布特性的图形应用系统。一个例子是在多个用户工作站之间发送邮件。这组工作站可以被看成是分布式系统,所以这样的应用系统必须运行在分布式硬件上。还有一种例子是多个设计人员同时合作解决同一个设计项目时,他们需要相互进行通信、交流,以了解整个项目的进展情况,Y. Z. Lashkari 等人对现有的 X 窗口系统进行了扩充,从而支持图形显示可在多个显示器上进行(只运行一个应用系统),扩充后的 X 可有效支持分布式教学系统和协作环境的实现,其它例子如电视会议等。

上面介绍了四类主要的分布式图形应用系统,不难发现,它们代表了图形系统发展的一个重要方向,但是怎样才能能在分布式环境下设计这些系统呢?这就是分布式图形程序设计要研究的问题。

定义 1.4 分布式图形程序设计

分布式图形程序设计就是研究在分布式环境下设计和实现图形应用系统的方法和技巧,以便所实现的系统具有高性能、高可靠性。

分布式图形程序设计与通常情况下的顺序图形程序设计有以下三点主要区别:

- (1)使用多个处理机。
- (2)多个处理机之间协作。
- (3)隐含部分失败可能性。

分布式程序在多个不同的处理机上并行执行它们的不同代码或相同代码。高性能图形应用系统使用这种并行性来获得一定的加速效果。这时一个重要目标就是如何充分利用系统中的可用处理器,因而决定哪些操作应该并行执行就显得非常重要;在容错型图形应用系统中,

根据可靠性和可用性来决定在不同的处理机上完成的操作类型;对于提供专用服务以及具有地理分布特性的图形应用系统而言,某些功能必须在一些特定处理机上完成(原因是只有这些处理器才可提供相应服务)。因而分布式程序设计支撑的第一个要求就是能把一个程序的不同部分分配到不同的处理机上运行。

在执行一个分布式图形应用系统时,分布式系统中的多个处理机需要协作。对于并行应用系统而言,处理机有时还需要交换中间结果和使动作同步。例如,在控制一自动工厂的系统中,处理机必须相互监督,从而检测出错的处理机。在分布式电子邮件系统中,消息必须在多个处理机之间传送。因此,分布式程序设计支撑的第二个要求是:处理机之间可进行通信同步。

在单处理机系统中,如 CPU 失败,那么所有的工作立即停止。但是在分布式系统中,当其中一些 CPU 失败时,其它 CPU 可以继续正常工作,并使得位于其上的分布式应用可继续运行下去(当然在某些情况下,整个系统的功能会受到一定的影响)。这种特性要求书写能容忍硬件失败的程序,这对于容错性应用系统非常重要,当然对其它类的应用也不失为一优点。所以分布式程序设计支撑的第三个要求是检测系统部分失败并且具备在部分失败出现时能继续运行下去的能力。

理想情况下,实现分布式图形应用系统的编程支撑应能同时满足上述三个要求,这种编程支撑可由两种方法来提供:库级支撑和语言级支撑。所谓库级支撑,意指仍用原有的顺序语言编程,在创建进程和发送消息时调用提供的支持分布处理的库子程序,这种库一般比较容易实现,很多商用系统就使用这种方法;所谓语言级支撑,就是提供一分布式程序语言。关于库级支撑将在第三章讨论,语言级支撑在第五章讨论。

1.5 分布式图形的研究概况

Andries Van Dam 等人早在 1974 年就提出把交互式图形应用分布到一组设备上的建议,认为图形终端应具有自身处理能力,从而分担工作负荷。这种分担交互式图形应用负荷的方法开始于 80 年代早期,这时已有了智能图形终端,但是这类设备并不得到广泛使用,部分原因是图形工作站的出现。图形工作站允许每个用户使用自己的处理机,计算能力或响应要求得到暂时满足(因为本来是使用挂在其它计算机上的终端,计算方式为分时共享)。然而,随着绘制技术的发展,单个图形工作站又不能满足人们的需要。由于工作站联网,而网上有很多空闲 CPU 时间,因而人们觉得有必要研制出一种允许利用空闲计算能力的结构,HP 的 NCS(Network Computing System)就是一个例子。

在网络环境下进行图形和 CAD 系统研究最早开始于 1981 年,由于受当时的条件限制(硬设备价格、网络传输速度等),研究成果较少。随着硬设备价格的降低,高速网和网络编程环境的出现以及人们对计算机图形生成的实时性、交互性要求的增加,80 年代后期在世界范围内开展了很多分布式图形处理方面的研究工作。下面将分为几类进行介绍。

1. 动画制作

用计算机进行动画或电影制作是一个极费时的操作,因为所有的动画图象帧都要用高质量和较高的分辨率生成。根据动画的复杂性不同,一段计算机动画往往需要几个小时或几天。

所以很早就有研究人员利用计算机网络来在多个计算机上同时生成不同的动画图像。其中著名的系统有:UCLA,BRL,XPRender 和 Net DESiRe。

UCLA 系统使用 Locus 操作系统,运行于 10 台 VAX 机器上,该系统中有两个集中资源(用于保存所有数据和结果,负责创建子任务、插入子任务到系统中和从系统中删除子任务)。BRL 是美国 ABRL(Army Ballistics Research Lab.)实验室开发的一个系统,能充分利用多台主架机(mainframe)和超级巨型机上的空闲计算资源。整个动画制作工作被划分为若干子任务(这里的子任务单位是一个帧中的一小部分,如三根扫描线),把子任务送给工作机完成。在 Xerox PARC,开发了一个运行于近 100 台工作站上的动画制作系统 XPRender。该系统有一集中控制器用于协调各个工作站的制作。NetDESiRe(Network Distributed Environment System for Integrated Rendering)是在德国 Fraunhofer 图形研究所开发的一个具有容错性的动画制作环境,该系统运行于一组工作站上,当网上有部分工作站出错后,系统仍能继续运行。

2. 分布式图形处理支撑环境

X 和 NeWS 把窗口系统推向异种机组成的网络,使得一个应用程序的计算工作和图形显示工作可在不同的机器上完成。例如可以把复杂计算任务用网上的主架机完成,而图形显示在用户所用的工作站上,从而加快图形生成的速度。X 和 NeWS 的出现大大地方便了分布式图形应用系统的开发。PEX 是对 X 进行扩充而得,它支持 PHIGS+的绝大部分功能,从而使 X 窗口系统具有三维图形支持。OpenWindows 是 Sun Microsystems 公司推出的网络分布式窗口系统,它是 NeWS 的升级版本,它支持 X11 协议和 NeWS 协议。NCS 是一种工具,使用户能充分利用网上的可用计算资源,它可用于分布式图形应用系统的设计,以便加快图形生成时间。

DGPSE 和 PVM-G 是浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开发的分布式并行图形处理支持环境(参见第三章)。

3. 科学计算可视化

复杂可视化系统所需的计算能力和图形处理能力往往不能用单个机器来满足,所以很多可视化系统都运行于分布环境下,典型的例子有 apE 和 AVS。

apE(Animation Production Environment)是 Ohio 州立大学超级计算机中心研制的一分布式可视化环境,运行于一包含 Convex、Cray X-MP/24 和多台工作站组成的网络上。apE 的两个主要特征是:(1)数据流模型,数据流环境可提供很好的工具用于构造可视化应用软件;(2)分布计算,apE 环境能恰如其分地利用各种计算资源,使局域网中的每台机器都各尽其用,从而减轻超级计算机的工作负荷(在传统的批处理方式下,超级计算机往往超负荷工作)。研究人员利用 apE 开展了多种分布式可视化系统方面的研究工作。如使用 apE 进行飓风、黑洞和行星的研究。

AVS(Application Visualization System)是 Stellar Computer 公司设计的用于开发交互式可视化应用系统的软件。它是一种应用框架,在设计时使用了模块化方法,不同的模块进行组合即可形成用户所需的可视化应用系统。AVS 使用 X 窗口实现,支持远程任务处理,AVS 中的模块可以位于网上不同的处理机上,从而支持并行处理。

除此而外,DGVS 是一个分布式图形可视化系统,用于跟踪和控制车辆在城市中的行驶过程,达到实时响应效果;Dick Philips 使用高速网络来进行大规模仿真的研究;而 Michael Pique 在计算机网上(由 Cray X/MP,Convex,Sun 3 及 TACC-1 相连)来动态仿真蛋白质和 DNA 的分子模型,大量的计算工作在 Cray X/MP 上进行,而显示和交互工作则在 Sun 3 工作