

图形分布处理支撑环境 DGPSE*

石教英 潘志庚 何志均

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 本文详细介绍图形分布处理支撑环境 DGPSE 的设计和实现技术. DGPSE 有效支持高性能分布式图形应用系统的开发和分布并行图形处理算法的研究. 它具有以下特点: 支持多种分布处理模型, 通讯方式灵活, 图形支撑功能强. 使用 DGPSE 已实现了一分布式图形应用系统和一组分布式图形算法.

关键词 分布式图形, 工作站网络, 分布处理模型, 并行图形库.

随着计算技术的发展, 越来越多的图形应用领域(科学计算可视化(ViSC)、多媒体计算、虚拟现实等)需要更大的存储量和更快速的计算能力. 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^[1]. 由于网络技术、通讯技术的发展及计算机硬件价格的降低, 联网的计算机系统(典型如工作站网)已成为很多实验室、研究所、计算中心的基本计算机配置, 但目前计算机网计算能力的共享这一优点未很好利用. 联网计算机所能提供的计算能力有时达到 100 多 MIPS^[2]. 因此, 针对复杂图形应用本身的特点(计算量大, 存储量大, 有些还具有分布特性), 分布式图形处理的研究已成为热门课题^[3-6].

设计分布图形应用程序比在单机上设计应用程序要困难得多, 因为必须考虑因分布式环境带来的问题, 它们是程序分解(任务分解)、任务分布、通讯、同步、共享资源的保护、进程间的名字冲突的解决和加载平衡等. 为了解决这些问题, 首先必须有一个分布式图形处理支撑环境, DGPSE (Distributed Graphics Processing Support Environment) 就是我们在浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室的 Sun Sparc 工作站网上实现的一个支撑分布式图形系统开发、分布式图形算法研究的分布式环境.

本文第 1 节讨论 DGPSE 的设计技术, 包括支持的分布处理模型、DGPSE 的功能设计, 第 2 节讨论 DGPSE 的实现技术, 第 3 节介绍应用方法和应用实例, 第 4 节为结论部分.

1 DGPSE 的设计

1.1 相关研究工作

* 本文 1992-12-07 收到

本课题由国家自然科学基金资助. 作者石教英, 57 岁, 教授, 主要研究领域为计算机图形, CAD, 科学计算可视化, 多媒体. 潘志庚, 29 岁, 1993 年博士毕业于浙江大学, 主要研究领域为分布式图形, 科学计算可视化. 何志均, 71 岁, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为人工智能, 知识处理, CIMS.

本文通讯联系人: 潘志庚, 杭州 310027, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室

支持分布式图形系统开发的环境主要有 MIT 的 X 窗口系统、Sun 公司的 NeWS 窗口系统^[7]和 SGI 公司的 DGL^[8],下面作简要介绍:

X 和 NeWS 把窗口系统推向了异种机组成的网络,从而使窗口系统变为网络上可共享和访问的资源^[7],网络中任何机器上运行的程序都可以使用该网内某工作站上的窗口系统.

DGL 是 SGI 公司为 IRIS-4D 系列工作站组成的网络开发的一个分布式图形库,它允许 IRIS-4D 系列工作站共享图形应用的工作负荷.

1.2 分布处理模型

分布处理模型有 Client-Server 模型、Client-Server-Broker 模型、Master-Slave 模型和本文的 Supervisor-Worker-Collector 模型等.

Client-Server 模型是近年来广泛采用的分布计算模型^[7].著名的网络分布式窗口系统 X 和 NeWS(以及后来的 OpenWindows)就是提供 Client-Server 模型. Client-Server-Broker 模型^[9]是对 Client-Server 模型的扩充,增加了一个 Broker(经纪人),Broker 用于维护网上有关各台计算机的服务信息,Client 向 Broker 提出服务请求,由 Broker 来查询网上的服务情况,并把服务请求转给 Server 来完成.

Master-Slave 模型(也称 Supervisor-Worker)^[10]中由 Master 负责任务的分配,而 Slave 完成子任务的计算工作,并把结果返回给 Master,在必要时 Slave 之间还可以进行通讯.与 Client-Server 模型相比^[10],该模型具有以下特点:(1)具有更大的灵活性;(2)除了支持任务级并行系统的实现外,还支持算法级并行系统的实现;(3)坚定性好,容易使加载平衡.另外,计算领域中两类重要算法 Divide and Conquer 和 Branch and Bound 与 Master-Slave 模型提供的结构一致^[10].

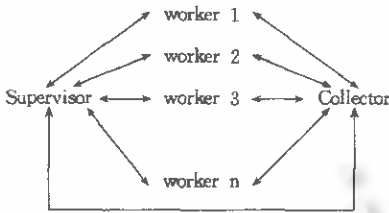


图 1 Supervisor-Worker-Collector 模型

为了解决通讯量大可能会带来的瓶颈问题(Master 既要负责任务划分、分布,也要负责结果收集),对上面的 Master-Slave 模型进行扩充,形成了 Supervisor-Worker-Collector 模型(如图 1 所示),这里的 Collector 用于收集计算结果.该模型除了继承了 Master-Slave 模型的所有优点外,还使得任务分配和结果收集分开,进一步提高了计算速度.

1.3 DGPSE 的功能设计

Client-Server 模型类似于一般的过程调用.但是由于通讯是同步的、连结是非对称的,这影响了并行效率.另外 RPC 也缺乏一定的灵活性,需要用户进行传送信息的编码和解码.研究表明,X 和 NeWS 的 Client-Server 模型给分布图形应用的开发带来较大的限制^[11].DGL 本身也是基于 Client-Server 模型,它是不可扩充的^[9],仅支持 GL^[8]子程序,对于顾客和服务器之间的非图形通讯,则必须使用单独的通讯连结,而 DGL 本身不支持这种通讯.在图形支撑方面,X 和 NeWS 本身仅支持二维图形功能.

DGPSE 是我们在 Sun Sparc 工作站网上设计和开发的分布式图形处理支撑环境,它支持多种计算模型,如上面的 Client-Server、Master-Slave 和 Supervisor-Worker-Collector

tor 模型,主要功能包括:分布处理功能(进程调度、进程通讯、终止条件的检测、出错报告及处理等)和图形处理功能(供远程调用的图形库,图形库又可分为串行算法库及并行算法库).

1.3.1 分布处理功能

(1)进程调度

一个分布式程序执行时分成若干进程在多台计算机上并行执行.在进程分布时有两种方法,一种是由程序设计者或用户显式地指定处理机(静态分布);另一种是由系统自动根据现有可用的处理机情况决定把进程分布到哪个处理机上运行(动态分布).为了提供更大的灵活性,DGPSE 支持这两种分布方式.

(2)进程通讯

分布式程序设计区别于其它程序设计的标识主要体现在通讯、并发和程序分布 3 个方面^[12].一个分布式程序的各进程相互协作完成一共同的任务.为此,它们之间必须进行通讯来协调各自的进展和交换数据.通讯分为同步和异步两种.为提高系统的并行性和减少通讯中的信件数量,在 DGPSE 中提供异步通讯.

(3)出错处理和进程终止检测

除了计算机网络底层的通讯系统出现延时和失败外,导致失败的一个重要原因是其它用户的动作(重新启动、kill 进程或关机),使得位于该机上的进程不能继续执行.因而导致计算机网络产生局部性的失败,这就是出错处理要研究的问题.在 DGPSE 中提供时限(timeout)机制来进行出错处理和进程终止检测.

1.3.2 图形处理功能

在 DGPSE 中还有 1 个重要组成部分就是图形库.图形库分为串行算法库和并行算法库两种.串行库与 SGI 工作站上的 GL 类似,并行库是由一组并行图形生成算法组成,它们可在多个计算机上并行执行,关于怎样使用这些图形库进行分布式图形系统的设计在第 3 节介绍.关于图形库中具体算法的设计技术将另文介绍.

2 DGPSE 的实现技术

2.1 实现环境

DGPSE 是在 Sun Sparc 工作站网上实现的,该工作站网中有 11 台性能不同的工作站,这些 Sparc 工作站用 Ethernet 相连.DGPSE 在 UNIX 下用 RPC^[14]实现,以 C 语言为主要编程语言,它在整个软件环境中的位置如图 2 所示.

2.2 通讯实现细节

在 DGPSE 中,使用消息传送来实现进程的通讯,在系统的每台工作站上都设置了一个通讯服务进程.此进程用于管理信箱,信箱中的信件包括两部分:信件头和信件体.信件头包括分布式程序名、发信进程标识数、收信进程标识数、调用的入口名和信件体长度等.

通讯服务进程还对信箱提供了两个基本原语操作:

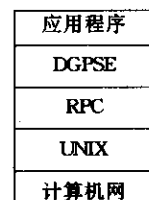


图2 DGPSE实现的软件环境

存信(put)和取信(get),它们均实现为远程过程.为了支持分布式图形应用的设计,我们还定义了另外一组通讯函数.

2.3 调度策略的实现

为了支持进程调度和任务动态分布策略以及用户对并行图形库中图形功能的调用,在 DGPSE 中定义了 2 个表:进程信息表和处理机信息表. DGPSE 在运行时动态地生成并维护 1 张进程信息表,内容包括进程标识号、进程类型、进程位置、进程状态.当用户进程在执行过程中动态创建新的进程时,进程调度模块就填写该表,此后进程通讯以及检测终止状态都要对该表进行查找,在系统的每一台计算机上都有 1 张这样的表.

处理机信息表用于记录网上各处理机的工作状态信息,包括是否有图形加速器、是否有浮点处理器、计算速度和进程数等.在分配任务时,首先根据处理机信息表进行空闲处理机查找,然后再根据任务的特性由系统选择最佳的处理机来执行任务.

3 应用

使用 DGPSE 提供的功能,可进行多种类型的分布式图形应用开发,有以下几种应用方法:

(1)利用 DGPSE 提供的通讯功能和图形库(串行)可在本地机上完成计算,远程机上进行图形显示,或者相反.图形显示和计算由两台机器同时完成,典型应用如汽车受力系统的仿真,这时在 1 台机器上完成计算,在另外 1 台机器上进行汽车、路面、受力图的显示,可达到实时效果.

(2)使用多台图形服务器,一方面可以满足某些应用的特殊要求:需要多个窗口,每个窗口中都需要有高分辨率;另一方面,可以显示复杂对象的多个视图,从而使得性能线性增长.例如在上面的汽车设计例子中,可用 1 个服务器显示汽车的线框图,1 个服务器显示三维真实感图;另 1 个服务器上显示汽车的受力图.

(3)在上面两种方法中(支持任务级并行系统的开发),都只调用串行图形库,在 DGPSE 中还可调用局部机或远程机上的并行图形库,这样使得复杂图形生成算法(如光线跟踪)可在网上多个空闲工作站上进行计算,从而进一步加快图形生成速度,提高并行度,真正支持算法级并行系统的开发.

(4)可使用 DGPSE 进行分布式图形算法的研究,也可把它作为实现分布式图形语言的基础.

上面提到的 X、NeWS 和 DGL,都只支持上述应用方法中的前两种,有一定的局限性.

3.1 1 个简单例子

为了说明 DGPSE 的使用方法,本节举 1 个简单例子.假定我们现在有 3 台工作站: C_1 、 C_2 和 C_3 . 设 C_1 为 Supervisor 兼 Collector. C_2, C_3 为 Worker. 在生成 Mandelbrot 集的分形图象时,计算较费时,为提高速度,用 C_1, C_2 和 C_3 来同时进行计算,从而有效地缩短了图象生成时间.

3.2 应用实例

我们使用 DGPSE 在 Sun Sparc 工作站上实现了分布式体素造型系统 D-TORUS^[4],

它充分利用了网上的空闲计算能力,支持任务级并行和算法级并行,提高了实时性和用户的设计效率。

另外,我们还用 DGPSE 进行分布并行算法的研究,实现了并行 Fractal 生成算法^[13]、分布式多面体扫描转换算法^[16]、并行裁剪算法和并行光线跟踪算法,一组其它并行算法(图象处理、Volume Rendering 和辐射度绘制)正在实现之中。我们还准备把 DGPSE 作为基本环境,进行科学计算可视化原型系统、分布式多媒体信息处理系统和虚拟现实的研究。使用表明,DGPSE 可以有效支持分布式图形应用的开发。

4 结 论

与现有支持分布式图形应用开发的环境(X, NeWS, DGL 等)相比,DGPSE 有以下特点:

(1)支持多种分布计算模型,具有更大的适用性,支持多种类型应用的开发。

(2)异步通讯功能和并行图形算法库进一步提高所设计的应用系统的并行性,更好地利用网上空闲计算资源。

(3)支持任务的静态和动态分布,提供空闲处理机自动查找功能。

(4)提供的图形功能强(图形库中包括了二维和三维中常用图形生成和显示算法)。

当然,DGPSE 也有不足。目前的 DGPSE 仅支持同构网(全部由 Sun 工作站组成)。进一步的工作包括把 DGPSE 扩充到异构网中,使得网中可以包含各种各样的计算机(如 HP 工作站,SGI 工作站,超级小型机等)。另外,每次传送的信件长度有一定限制(如 64K)。一种解决办法是把一封长信分为多个信件进行传输,这样无疑增加了通信次数,但是这种长信情况并不多见,建议程序员在进行数据传输时尽量不要传输位图,而传一些中间信息,从而大大节省通讯量。

致谢 在 DGPSE 的分布处理功能实现过程中,得到上海交通大学计算机系胡冰峰同志的帮助。另外,参加本项研究工作还有劳志强和郑文庭等人,在此表示感谢。

参考文献

- 1 吴恩华,贺瑞容.计算机图形并行处理的研究与发展.计算机学报,1991,14(5).
- 2 Robert D S, Sidney J S. A distributed batching system for parallel processing. *Software—Practice and Experience*, 1989,19(12):1167—1174.
- 3 Daniel R B. Real time radiosity through parallel processing and hardware acceleration. *Computer Graphics*, 1990, 24(2).
- 4 Shi Jiaoying, Pan Zhigeng. D-TORUS: a network distributed solid modelling system. *Proceedings of 2nd International Conf. on CAD&CG*, Hangzhou, 1991.
- 5 Nichol B G. An object-oriented interface for network-based image processing. *Proceedings of CG International'88*, 1988.
- 6 Di Dimov, Chr R. A distributed graphics visualization system in a computer network. *IFAC Distributed Intelligence System Varna, Bulgaria*, 1988.
- 7 徐福培,潘志庚.网络多窗口环境下程序设计方法的研究.小型微型计算机系统,1990,12(10).

- 8 SGI. 4 Sight Programmer's Guide. IRIS—4D Series, 1990.
- 9 HP Company. Task Broker User's Guide. 1990.
- 10 Magee J N, Chevng S C. Parallel algorithm design for workstation clusters. *Software—Practice and Experience*, 1991, **21**(3):233—250.
- 11 Ralph Prons. Report from the joint SIGGRAPH/SIGCOMM workshop on graphics and networking. *Computer Graphics*, 1992, **23**(1).
- 12 胡冰峰. 分布式程序设计语言 C** 的设计和实现. 南京大学计算机系硕士论文, 1991.
- 13 潘志庚, 石教英. Fractal 生成的并行算法研究. 全国第 7 届 CAD 和图形学会议论文集, 无锡, 1992.
- 14 石教英, 劳志强, 潘志庚. 多面体扫描转换的分布并行算法. 全国第 7 届 CAD 和图形学会议论文集, 无锡, 1992.

DGPSE: A DISTRIBUTED GRAPHICS PROCESSING SUPPORT ENVIRONMENT

Shi Jiaoying, Pan Zhigeng and He Zhijun

(*State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027*)

Abstract This paper presents a distributed graphics processing support environment called DGPSE which supports the development of high performance graphics application and researches of parallel graphics algorithm. It has the following features; support for several distributed paradigms; flexible communication facility; powerful graphics support, both sequential graphics library and parallel graphics library are provided. A set of distributed algorithm and a distributed graphics system have been implemented using DGPSE.

Key words Distributed graphics, workstation network, distributed computing paradigm, parallel graphics library.