

Internet 上分布式虚拟现实系统的研究

Researches on Distributed Virtual Reality Systems over Internet

蒋遂平 周明天

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都610054)

摘要 Due to the limitations of bandwidth and delay of Internet and the performance of Personal Computer connected to Internet, It is difficult to develop distributed, multiuser virtual reality systems over Internet. This paper discussed some problems in the development and the architecture of distributed virtual reality systems.

关键词 Virtual reality, Virtual environments, Distributed virtual environments, Distributed interactive simulation, Internet

虚拟现实方面的研究工作最先集中于单用户系统,单用户系统强调系统的沉浸特征,追求多种感知的逼真性,随着 Internet 技术的发展,特别是 WWW 应用所取得的成功,以及军用分布式交互仿真网络 SimNet 的成功,人们开始将单机或局域网上的单用户虚拟现实系统扩展到 Internet 上的多用户分布式虚拟现实系统。在这方面的一个重要进展是虚拟现实建模语言 (Virtual Reality Modeling Language, VRML) 的出现,VRML 促进了以页面为中心的第一代 Web 正在向以交互、动态和逼真的三维世界为特征的第二代 Web 的发展。第一代 Web 主要用于信息发布,第二代 Web 则主要用于通信,两代 Web 都可以采用图1所示的模型来描述,尽管各自的组成部分内部很不相同。

第二代 Web 浏览器比第一代 Web 浏览器复杂得多,其组成如图2所示。其中,跟踪包括用户头、手、眼、体等位置和方向的检测,而绘制也是多感知的,包括视觉、听觉、力觉、触觉等的反馈,对象模拟包括各虚拟对象行为模拟,以及一些高层交互行为,如碰撞检测和地形跟随等。第二代 Web 中其它成分将在

后面讨论。

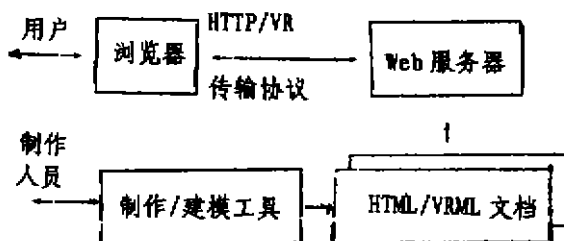


图1 Web 模型

Internet 上的分布虚拟现实系统与以前强调沉浸的单用户系统不同,它更强调系统的交互性和用户间的通信,能让一组分布于不同地点的用户同时在相同的虚拟环境中相遇并交互,以支持协同工作。它的基本思想是:构造一个由用户“居住”的空间,用户可以用适合于各种社交情况的自然和非正式的方式相互通信。

Internet 上分布式虚拟现实系统的主要特征有:
(1)地理上分散的用户可在同一时刻,进入同一虚拟环境,进行实时交互,用户数目可达数千人;(2)用户

(4)可分析性强:准入控制判定在不影响已有连接网络性能的前提下,能否满足新连接的网络性能,这需要包调度条件。调度条件验证包的最大延迟是否超过连接的延迟上界。如果调度条件不精确,准入控制将没有必要地限制网络可支持的连接数。

(5)低复杂度:包调度必须在发送一个包时间内完成,否则链路会空闲,调度器成为网络的瓶颈,这就要求调度的复杂度低。

一个包调度不可能优化上述所有性能,特别是调度的高效与低复杂度相互矛盾,每个调度根据特

定的条件,在满足上述要求时采用了折衷方案。目前,有界延迟服务调度的发展动向为:

- 在增加少量复杂度的前提下,改进已有调度原理,如调度 WF^2Q^+ , RPQ^+ ;
- 根据应用的性能要求和通信量特点,提高调度的效率和性能,如突发和组调度;
- 对 internet 异构交换机不同调度环境下,研究通用化的调度算法。

(参考文献共20篇略)

沉浸人的分布式虚拟环境对用户的视觉和听觉都是三维的,虚拟环境视图随用户身体的移动而改变;(3)用户以体符(avatar)的方式出现在虚拟环境中,用户能控制自身体符的行为;(4)用户之间能相互交互,用户也能与多个虚拟对象进行交互;(5)用户和虚拟对象都能根据周围的情况,对发生的事件作出反应;(6)分布式虚拟环境在使用中,能不断地变化,如用户和虚拟对象可随时加入或退出虚拟环境等;(7)系统应能在标准的 Internet 上和比较便宜的计算机上运行。

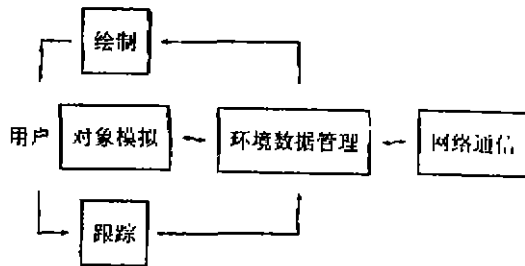


图2 第二代 Web 浏览器结构

Internet 上的分布式虚拟现实系统的特征对系统的软件结构提出了挑战:不断增长的系统复杂性、系统规模(用户数目和虚拟对象数目)的可伸缩性和虚拟环境内容可移植性。需要为分布式虚拟现实系统设计一个满足这些要求的体系结构,并能在 Internet 目前的带宽和延迟限制,以及连接在 Internet 上的个人计算机性能的限制下,达到支持大量实体(用户和虚拟对象)所需要的效率。

一、分布式虚拟现实系统的概念模型

通常采用面向对象的方法来对虚拟环境建模,虚拟环境被定义为一组对象的集合,每个对象都有一组方法,在环境中某些事件发生时,调用这些方法来改变对象的状态,或向其它对象发送消息。虚拟环境的一个特征是沉浸(Immersion),是指用户感到作为主角存在于虚拟环境中的真实程度,即用户也应是虚拟环境中的一个对象。虚拟环境中的对象还应有自主性,是指虚拟环境中的对象依据物理定律等产生各种行为的程度,虚拟对象的行为可不受用户的影响。虚拟环境还有一个特征是交互性,是指用户对虚拟环境内对象的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度。不仅人与虚拟环境有交互作用,虚拟环境中的其它对象间也有交互作用。对象之间交互是通过相互发送消息来实现的。跟踪设备发给虚拟环境计算进程的数据实际上是用户向虚拟环境和虚拟对象发送的消息,而绘制则是虚拟环境向用户发回的响应消息。

在物理世界中,复杂的对象间的交互通常要在

各种设施、规则以及一些服务提供者的支持下,才有可能有条不紊地进行。在虚拟现实系统中,也需要有这一类逻辑支持,使得虚拟环境中的对象能在它们的支持下,进行各种交互。这样一类逻辑支持就是虚拟环境管理。

虚拟环境管理的主要内容包括:(1)提供对象间的消息传递或通信机制,对象间要协调消息的类型和格式。消息传递机制可采用对象间直接通信,或通过环境管理中继的方式。(2)维护虚拟环境数据库,虚拟环境数据库由虚拟环境中对象的外部可见状态构成,用于绘制和向各对象提供虚拟环境的视图。(3)保持虚拟环境数据库的一致性,使每个对象都有相同的虚拟环境视图。(4)处理对象间的交互行为约束规则和高层交互行为,包括碰撞检测和地形跟随等。(5)在向用户绘制虚拟环境的场景时,处理各种绘制方式(视、听、力、触觉等)的同步。

这样,虚拟现实系统的软件结构可看成是一组共享虚拟环境状态数据库的、相互通信的进程组成。通常,一个进程用于模拟一个或多个对象行为,也可以执行虚拟环境管理的某一功能。用户是虚拟环境中的一个对象,模拟用户行为的是跟踪进程。许多虚拟现实系统还将各个跟踪设备和绘制设备作为系统中的一个对象看待。这种并发进程结构使得可以将各模拟进程分布到网络的各个主机上,大大降低了对个人计算机的处理能力要求。

分布式虚拟现实系统中,各种进程分布在网络的主机上,进程间的交互非常复杂。系统中的跟踪设备可来自不同的厂商,用户的模拟进程(跟踪进程)可能由不同的厂商设计,对象模拟进程也可能由不同单位的人员开发,要将它们组成一个可运行的虚拟现实系统,让它们互相通信,是非常困难的。因此,需要一个公共的开放式平台,这是一组基本的软件服务和标准接口,能使由不同单位独立开发的虚拟现实软件有效地协同工作。这个平台也是虚拟现实系统的集成平台。

分布式虚拟现实平台是一组集成的基础设施和集成服务器,包括信息服务器、通信服务器和管理服务器等。它应提供一组进程间的一致交互机制,如进程间建立通信连接、交换数据和存取数据库等。平台还能提供管理服务,在虚拟现实系统运行过程中分配资源,监控系统的运行状态。平台隐藏了对象模拟器间通信、环境状态数据库管理和高层交互行为管理的复杂性,使程序员能集中于虚拟环境的建立。

二、分布式虚拟现实系统的层次体系结构

分布式虚拟现实系统的体系结构可分为五层,如图3所示。在这五层中,对象模拟层是与应用相关

的,而其余四层构成了分布式虚拟现实应用的运行平台。

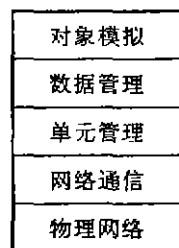


图3 分布式虚拟现实系统层次结构

1. 对象模拟 是虚拟现实系统的应用部分,包括虚拟对象行为模拟程序、各种跟踪设备的驱动程序和各种绘制程序,以及各种高层行为管理程序(如对象间碰撞检测、地形跟随和并发交互的检测与执行等),它们存取虚拟环境的状态数据库,异步运行,并相互通信。由于高层行为管理具有一般性,而且要占用大量的处理资源,为了减小对象模拟的负担,常将高层行为管理独立出来。

2. 环境数据管理 分布式虚拟现实系统需要对虚拟环境中活动的对象进行精确、高效的远程绘制。用于绘制的虚拟环境状态数据库在逻辑上由各对象模拟进程共享,在物理上分布在每个主机上。环境数据库管理包括维持各副本间的一致性、并发控制和存取权限管理。

虚拟环境数据库的分布方式主要有三种:(1)主动式复制。每个对象在每台主机上都有副本。新加入虚拟环境的对象或已有对象的状态改变,都要分布到每台主机上去,必须保证不同主机上的对象变化的不同次序能把整个虚拟环境转入一个确定的状态。应用对对象的分布是透明的,但不适于大规模的虚拟环境和延迟大的网络。(2)按需复制。对象的副本仅分布在对它感兴趣的主机上,有两种方法管理对象的副本:由对象自己管理,或由主机上的专门的对象管理进程管理,管理进程知道向哪台主机发送状态改变消息。这种方法网络通信量小,但分布对应用不透明。(3)对象迁移。采用迁移技术,对象是分布的,但不是复制的,对象根据主机负荷和对它的存取情况进行迁移。当然,对象的几何形状等静态信息是复制的,以减少通信量。

可采用两种方法来保证环境数据库的各副本间的一致性:(1)每个主机系统都拥有环境数据库的精确副本,每个实体在自身的状态改变时,要向其它实体发送其状态的变化情况,以实现各副本间的同步更新。这种方式的通信开销很大,实体的数目不能太多。(2)采用数据库的近似复制方式,每个实体拥有

的环境状态数据库副本中,实体的状态是近似的,是采用推测(Dead Reckoning, DR)算法进行推测和校正的。DR算法在保证各数据库副本基本相同的前提下,大大减少网络中的通信量,这种方式使得分布式VR系统的规模可以很大。DR还使得系统对网络延迟的敏感性降低。在使用DR算法时,每台主机对本地实体和远程实体的状态都进行推测,一旦本地实体的精确状态与推测状态的差异超过规定值时,就发送状态更新消息。DR的效果取决于算法本身,它要占用主机的处理资源,有时为了精确得到远程对象的行为,采用在本地主机上模拟远程对象的方法,当然,这对主机的处理能力提出了更高的要求。

分布式虚拟环境数据库的并发存取控制有多种方法:封锁、事务机制、轮转协议、集中式控制、依赖检测、可逆操作和主实体等,其中,用得最多的是封锁和主实体方法。封锁法要求在一个对象的所有副本上加锁,在修改对象和传播完修改后,释放锁。这种方法的缺点是,封锁一个对象时,对其它对象的存取会因此而受阻,导致整个系统性能的下降。主实体方法要求任何时刻,只有一台主机或一个进程拥有修改对象的权限,由于修改操作可能与其它主机上的读操作并发,需要采用日志和可逆操作来恢复系统的一致状态,但一些逆操作对用户来说是不可接受的。通常,主实体在创建对象的主机内,其它主机要修改对象时,需要向主实体发消息或采用迁移对象的方式。

3. 单元管理 分布式虚拟环境中“居住”的实体(用户和虚拟对象)数目非常大,如果实体间都要进行通信,则通信量很快就会超过网络的带宽。因此,需要采用减少通信量的方法,才能在虚拟环境中容纳大量实体。方法之一是采用“分而治之”,利用实体活动的局部性原理,将在空间、时间和功能上相互联系的实体类聚集成组,在逻辑上将虚拟环境划分为多个单元,在同一单元中的实体能相互通信,不同单元中的实体不能通信或通信受到限制。通常,虚拟环境也是按环境-单元-对象-多边形的层次组织的,一般利用可见性来划分单元,如建筑物中各房间自然形成一个单元等,单元的形狀和大小可以是不规则的,对于没有自然隔离物的虚拟环境,常采用规则的正六边形划分,这样,实体在移出一个单元,进入另一单元时,所在单元的邻接单元数目保持不变。每个单元设置一个单元管理器,维护单元-实体映象,管理单元内和单元间实体的通信。

每个实体在进入虚拟环境时,先要声明它感兴趣的单元。在虚拟现实系统运行过程中,允许实体动态改变它的单元。一般允许一个实体同时加入多个

单元,但只在其中一个单元中是主动实体,可以与单元中其它实体通信;在其它单元中是被动实体,只能接收这些单元实体发出的消息,不能向这些单元中的实体发消息。这样,利用各个单元管理器,可将实体的处理和网络资源集中或限制于它的单元中。单元管理器相当于一个消息滤波器,如果它具有智能,则会进一步降低网络上的消息流量,减少带宽。虚拟环境的单元划分的优点是使得虚拟环境可由不同的人员设计不同的部分,减少了各主机维护的环境数据库的大小。

4. 网络通信 它包括:虚拟环境消息传输协议、主机系统间的连接拓扑和网络传输协议三部分。在第二代 Web 中,超文本传输协议 HTTP 只能用于传输虚拟环境的静态内容,不能满足传输虚拟环境的动态内容的需要。目前在军事模拟方面,已有一个标准协议,即分布交互模拟 DIS 协议。基于 DIS 的分布式虚拟现实系统采用对象/事件模型;对象只广播自身状态的变化,不关心哪些对象需要这些信息和如何处理这些信息;对象是自治和平等的,没有中央服务器或集中控制器,各对象自行决定对收到的信息的处理方式;各对象采用 DR 算法预测其它对象的变化;对象要定时发送自身状态的消息,以表明自身的存在。DIS 适合于由多个局域网连成的高速广域网和高性能主机。对于传输速率低(小于 56Kbps 的 Modem)和主机性能低(PC)的 Internet,则还需要研究新的信息传输协议。

主机系统间的连接拓扑有多种方式:(1)采用通信服务器来中继对象间的消息传递,客户数目受到通信服务器能力的限制,因此系统的规模不能很大,且客户/服务器的通信延迟较大。(2)采用主机间的全连接方式,在需要通信的主机系统间都建立连接,这种方式使得相同的信息可能要重复传输,加大了网络的通信流量,限制了系统的规模。(3)采用多点传送结构,相同的信息不用重复传送,系统的伸缩性好,但目前这一技术尚未得到广泛支持,IP 中的多点传送地址也有限,并且这一方式仅适合于无连接的 UDP。通常,一个 IP 多点传送组与一个单元对应。(4)采用层次连接方式,若干主机与一个通信服务器相连接,一般是点到点的方式。通信服务器间也通过多点传送方式或其它方式连接起来。这种方式与将虚拟环境划分为多个单元很好地对应,通信服务器进行单元之间的信息中继。

在 Internet 上,网络传输协议是在面向连接的 TCP 和无连接的 UDP 间选择。TCP 能保证信息的可靠传输,但延迟比较大;UDP 延迟小,但可能会丢失信息,因此必须周期性地重发一些状态信息,以保

证所有主机都能收到关键的信息。由于二者都有各自的优缺点,通常是采用二者的组合方式,将虚拟环境中的消息进行分类,传送不同类型的消息时,采用不同的网络传输协议。

三、可移植性

分布式虚拟现实系统中,虚拟环境的内容和对象模拟经常需要在各主机间移动,这就需要与平台无关的虚拟环境建模语言。在这方面,虚拟现实建模语言 VRML 和 Java 提供了很好的解决方案。

VRML 是一种面向 Web、面向对象的三维建模语言,而且是一种解释性语言。VRML 中的对象叫节点,子节点的集合可以构成复杂的场景。VRML1.0 允许人们构造静止的三维场景,用户可通过浏览器从不同位置和方向观察场景,在场景中漫游。VRML2.0 还允许用户与场景中的对象进行交互,并能赋予对象行为。VRML3.0 的标准正在制定中。到目前为止,用 VRML 构造的虚拟现实系统仍是单用户的,要实现多用户系统,除了对 VRML 进行扩充外,还需要强有力的支持平台。

VRML 使 Web 从第一代以页为中心的模式,进入了交互、三维、动态和逼真的第二代 Web。第一代 Web 在信息的产生和消费方面是不对称的,它的信息空间是无人“居住”的,用户只能通过他所提供的信息或通过访问者统计才可见,并且没有实时的交互和反馈。第二代 Web 将克服这些缺陷。VRML1.0 允许人们构造静态的虚拟环境,VRML2.0 允许一定程度的交互,但还没有完全实现第二代 Web 的目标,只有当 VRML 有了多用户特征后,第二代 Web 才算真正出现。

Java 是一种跨平台、适合于分布式计算环境的面向对象编程语言,Java 的这三个主要特性,特别适合于描述对象的行为,使得对象模拟器也能在网络上的机器之间移动。Java 的多线程特性还可以使应用程序有较高的运行效率,这也是虚拟现实系统所要求的特性。

为保证分布式虚拟现实系统的可移植性的一个方法是,采用 VRML 作为虚拟对象和虚拟环境的几何建模语言,而采用 Java 作为虚拟对象行为建模语言。

结束语 目前的分布式虚拟现实系统还不能在标准的 PC 和 Internet 上运行,随着 PC 处理能力的增强,Internet 带宽的增大和延迟的减小,大规模的分布式虚拟现实系统将很快进入商业市场。由于分布式虚拟现实系统的广阔应用前景和市场潜力,开发 Internet 上的分布式虚拟现实系统具有十分重要的意义。(参考文献共 22 篇略)