

一种最小阈值适应性预测算法

王浩然 崔业怡 潘金贵

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京大学计算机科学与技术系 南京210093)

摘要 本文描述了在分布式虚拟环境 AIMNET 系统中提出的一种最小阈值适应性位置预测算法。AIMNET 系统是南京大学自主开发的分布式虚拟环境,其通讯机制具有匿名性。在对分布式虚拟环境位置预测方法的研究基础上,根据算法阈值与实体间距离的关系,提出一种最小阈值适应性预测算法。试验表明,该算法与传统的位置预测算法相比,较好地解决了仿真实体运动轨迹的准确性和网络代价之间的矛盾,并且满足消息传递的匿名性。

关键词 分布式虚拟环境,估算轨迹,位置预测,最小阈值

A Min-Threshold Adaptive Dead Reckoning

WANG Hao-Ran CUI Ye-Yi PAN Jin-Gui

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract This paper brings forward a min-threshold adaptive Dead Reckoning base on AIMNET. AIMNET is a DVE system developed by Nanjing University. The message of simulation entity in AIMNET is anonymous. Based on research of Dead Reckoning, taking the relationship of threshold and distance of simulation entities into account, this paper brings forward a min-threshold adaptive Dead Reckoning. The experiment shows that the algorithm not only resolve contradiction between precision of the estimated track and the network cost, but also satisfy the anonymity of message in AIMNET.

Keywords DVE, Estimated track, Dead reckoning, Min-threshold

分布式虚拟环境(Distributed Virtual Environment, DVE)是20世纪80年代初期发展起来的虚拟现实技术与网络通讯技术的结合^[1]。DVE 是一个由计算机生成的三维虚拟空间,通常分布在广域网上,连接大量局域网和主机。每个参与虚拟环境中的主机运行仿真程序,根据用户的视点绘制他们所能看到的三维场景,并对用户和部分对象的行为进行仿真。主机之间互相通讯,共享一个共同的空间,使得分布在各地的人员可以进行通讯和协作,并与环境进行交互。今年来,由于网络技术的快速发展,更使得 DVE 技术的研究成为热点,其在军事仿真,娱乐游戏,远程教学,虚拟会议等领域的应用也越来越广泛。

随着虚拟环境规模的逐渐增大,如何减小大量用户间的通讯量,成为解决 DVE 可扩展性的关键问题。在虚拟环境中,参与者往往表现为某个仿真实体,仿真实体在环境中的位置是许多仿真渲染工作的基础,同时也是分布式虚拟环境中重要的共享信息。为保持实时性和一致性,主机需要将仿真实体的运动状态,通过网络实时地发布到其他参与虚拟环境的主机。大量的消息传递,引起网络带宽资源的紧张。另外,由于网络的延迟和不稳定,在远程仿真实体的位置信息无法及时到达的时候,渲染延迟和跳动现象使虚拟环境的实时性受到影响。针对上述问题,分布式虚拟环境系统中,预测技术(Dead Reckoning)被广泛使用。其基本思想是:根据远程仿真实体前一个(若干个)时刻的位置信息,在本地计算其下一个时刻的位置,据此进行渲染,在预测位置偏离实际位置超过一定限度的时候进行更正。位置预测技术的实质是:以一定的准确性为代价,换取宝贵的网络带宽,以辅助实现大规模分布式

虚拟环境的可扩展性。与兴趣管理不同的是:兴趣管理是在发送者和接受者之间,利用专用兴趣管理服务器或者中间节点(路由器),对信息进行过滤;位置预测则是实施于发送端的软件技术,其重点是减少消息的发送。

位置预测最先被使用在美国军方研究的分布式虚拟环境 SIMNET^[2]中,并取得了良好的效果。后来,在 DIS、NPSNET 等著名的虚拟环境系统中预测技术不断发展。传统的位置预测方法使用固定的阈值,而不考虑仿真实体间的关系。为了保持准确性,往往采用较小的阈值。但当仿真实体间的距离较远时,对预测位置准确性的要求也相对较低。此时,较小的阈值产生不必要的状态更新消息。一种多层次阈值位置预测算法^[3]在保证准确性的同时,适当减少了状态更新消息的数量。但这种方法为每对仿真实体维护一个动态改变的阈值,在发送状态消息时,仿真程序需要知道某个远程实体属于哪个阈值组,并且按照层次将消息发给某个或某几个组。在消息传送具有匿名性的 AIMNET 系统中,这样的方法无法实施。我们给出一种最小阈值适应性位置预测算法。实验表明,该算法既能满足消息传递的匿名性要求,又能较好地解决预测轨迹真实性与网络代价之间的矛盾。

1 位置预测的概念及算法

1.1 位置预测的概念

分布式虚拟环境的一个重要的要求是,每个主机及时准确地渲染应该被用户感知的所有仿真实体,包括本地实体和远程实体。为减少状态更新消息数量,位置预测技术被应用在分布式虚拟环境中。每个仿真主机使用预测算法估算仿真实

体的位置,这里的仿真实体包括本地实体和远程实体。在没有新的状态消息到达的时候,通常认为仿真实体按原有的运动状态运动下去,所以这种估算根据仿真实体前一个(或几个)时刻的位置状态信息,使用外推等式的方法,在本地计算实体下一个时刻的位置。最简单的预测公式是:

$$P_i = P_{i_0} + v_{i_0} \Delta t + \frac{1}{2} a_{i_0} \Delta t^2$$

其中, $t = t_0 + \Delta t$, p, v, a, t 分别表示位置、速度、加速度、时刻。当用户通过输入设备改变仿真实体的运动轨迹时,仿真实体就会偏离算法定义好的路线。这时,为保证准确性,仿真程序需要比较实体的真实位置与估算位置的差异。当这个差大于一个事先定义好的阈值的时候,需要产生一个状态更新消息,并发送其他主机。所有其他主机根据这个状态更新消息,更正实体的位置和运动状态,并根据新的位置和运动状态进行下一次的估算。图1描述了这一过程,左图中的中心线为仿真实体的实际运动轨迹,虚线为估算的轨迹,中心线与两侧曲线的距离为阈值。

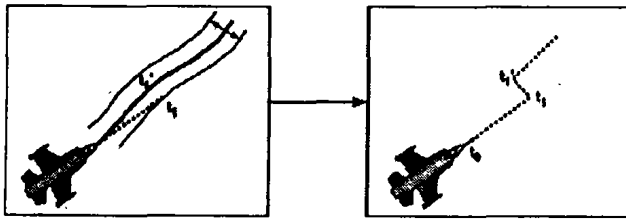


图1 位置预测描述

位置预测思想中的几个关键问题:

(1)时间戳。算法的状态信息中包含时刻信息,通常用时间戳来表示,而不使用真实的时间表示。这是借鉴了分布式系统中有关时间戳的概念和算法,因为分布式虚拟环境系统中,很难将所有主机的时间进行同步。时间戳的作用是:当主机接收到状态更新消息时,首先把其中的时间戳与上一个最近接收到的状态更新消息中的时间戳进行比较,如果新消息的时间戳较老,则说明这个消息由于网络延迟而“迟到”了,该消息内容已经过时,它将被抛弃。

(2)阈值。阈值的定义在某种程度上是决定预测算法效能的关键。阈值定义过大,则在更正仿真实体运动轨迹时,容易产生较大的跳跃现象,从而破坏虚拟环境的真实感;但阈值定义过小,那么预测位置与真实位置之间的细微差异都将导致状态更正消息的产生与传输,这样的算法往往背离预测思想的初衷,不能有效地减少消息数量。预测算法的设计需要在两者之间进行折中。对于不同的应用,阈值的定义有着不同的要求,这是预测算法依赖实际原因之一。

(3)“心跳”消息。主机每隔一段时间(比如5秒)就发送一次仿真实体的状态消息,而不管估算位置与实际位置的偏差是否超过阈值,称为“心跳”消息。“心跳”消息在预测算法的实际应用中有着重要的作用:新来者通过“心跳”消息在较短时间内通知所有仿真实体;避免由于丢包而造成的某一实体的状态迟迟得不到更新;帮助判断某个实体是否已经“离线”。

1.2 几种算法改进

位置预测算法对应用有一定的依赖性,对不同的应用,主要的改进算法有如下几种:

(1)多步公式预测与适应性公式预测。考虑运用实体的历史状态消息,往往能够较为准确地判断实体的运动轨迹, SINGHALL, S. 和 CHERITON 使用了基于历史的预测算

法^[4]。该算法不仅使用一个历史位置,而是使用多个历史位置进行预测,使估算的轨迹更接近仿真实体的真实轨迹。文[3]在文[4]的研究基础上,将运动实体分为三类:平滑的运动,碰撞后的反弹,抖动。并根据实体运动类别的不同,运用不同的公式进行位置估算。算法中用到的公式如表1所示。

表1 预测公式

	一步预测	两步预测
一阶	$x_i = x_r + v_r \Delta t$	$x_i = x_r + \frac{x_r - x_{r'}}{t' - t''} \Delta t$
两阶	$x_i = x_r + v_r \Delta t + \frac{1}{2} a_r \Delta t^2$	$x_i = x_r + v_r \Delta t + \frac{1}{2} \frac{v_r - v_{r'}}{t' - t''} \Delta t^2$

(2)多层次阈值预测。文[3]的研究注意到,阈值的大小与仿真实体间的距离密切相关。算法将实体的感知区域按距离分层,每层对应相应的阈值。每对仿真实体间维护一个阈值,状态更新消息按距离层次发送给相应的仿真实体。

(3)半确定性预测。这类预测算法依赖于特定的应用背景。Alex Krumm-Heller 为乒乓游戏仿真设计了特定的位置预测算法^[5]。他的研究注意到虚拟环境中的这样一类仿真实体,它们本身不产生行为,仅对环境行为做出反映。这类实体根据最近(时间上)影响它的其他实体的行为和环境限制进行运动,它们的运动轨迹在下次被其他实体行为影响之前,是完全可以预测的。例如:乒乓球在球拍间运动的时候仅受到球台、环境重力这些固定因素的影响。这类预测算法充分利用特定仿真应用的特殊规律,达到较高的预测精度,但其局限性也由此产生。

仿真程序根据状态更新消息更正实体位置状态时,实体由估算位置“跳”到实际位置,影响了虚拟环境的真实性。针对这一问题,文[6]运用连续样条曲线,实现了估算位置到实际位置的平滑过渡。该算法根据当前点、收敛点及其一阶导数,用待定系数法求解三阶平滑方程,从而实现估算位置到实际位置的平滑过渡。

2 最小阈值适应性预测算法

随着分布式虚拟环境规模的不断扩大,新的体系结构与通讯结构应运而生,对预测算法的设计提出了新的要求。分布式虚拟环境 AIMNET 系统,使用了一种新的拓扑结构和通讯结构。为叙述上的方便,在详细描述最小阈值适应位置性预测算法之前,先简要介绍 AIMNET 系统。

2.1 AIMNET 系统简介

AIMNET 系统建立了一个用于兴趣管理的易扩展的通讯结构,满足分布式虚拟环境中对象之间多对多的动态通讯要求。这样一个通讯结构首先通过将数据的复制(分布)与数据的分发(通讯)分离,并单独设计各自的拓扑结构或通讯方式,以克服传统结构依赖于特定场景的弊端;其次采取主动的兴趣管理方式,根据数据的内容决定数据的流向,从而克服 Multicast 地址分配过程中面临的困境,同时更大程度上减少通讯量,提高扩展性;再次,设计由多服务器组成的拓扑结构,由服务器组成的网络进行主动的兴趣管理(数据转发),这样的拓扑结构方便扩充,同时加快对象加入和退出虚拟环境的过程。

系统采用 Multicast 技术中共享组播树的一种构造方法——CBT(Core Based Tree)方法,在路由器之间构建一棵组播树(这一过程是静态实施的),组播树中每个进行主动兴趣

管理的路由器称为主动路由器,将分布式虚拟环境中的所有主机都连接在这棵组播树上。然后,引入发布一定购系统的概念,将仿真实体的兴趣以表达式的形式向组播树发送。在组播路由器上,根据定义好的过滤规则对频繁的动态数据进行过滤,从而实施兴趣管理。

AIMNET 系统中消息的发送具有匿名性。主机将仿真实体的动态信息发送到主动路由网络上,发送者并不关心、也无法获知信息包的目的地。主动路由器通过识别信息包中仿真实体的位置等动态信息,借助发布一定购规则,将这些发布信息与路由器上已有的定购信息相匹配,决定信息包的去向。这样的通讯特点使得多层阈值预测方法无法实施,我们的最小阈值适应性预测算法,在保留阈值层次预测方法优点的同时,满足 AIMNET 通讯结构的特性。

2.2 最小阈值适应性预测算法

多层次阈值预测算法将仿真实体间的距离分为四个层次,每个层次对应相应的阈值。每对仿真实体依据它们间的距离有一个相应的阈值。当某对仿真实体间的距离从一个层次变到另一个层次时,它们之间的阈值也相应地改变。对于一个仿真实体兴趣区域来说,我们以离它最近的远程实体为标准,使用它们之间的阈值,作为判断预测错误的标准。

(1)最小阈值的准确定义如下:假设,任意给定一个分布式虚拟环境中的仿真实体 a_0, a_0 的空间兴趣区域为 A , A 中所有远程仿真实体的集合为 Ω ,即:

$\Omega = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$ 其中 a_1, a_2, a_3, \dots 为远程仿真实体

用 d_i 表示 a_0 与 a_i 间的距离,则,

$$d_{\min} = \min(d_1, d_2, d_3, \dots)$$

依据与 a_0 的距离大小,将 A 分为同心的 n 层: A_1, A_2, \dots, A_n , 它们互不相交,且 $A = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n$ 。假设每一层对应一个判断阈值 θ_i ,即, $A_i \leftrightarrow \theta_i, i = 1, 2, \dots, n$, 且有 $\theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_n$, 则最小阈值 θ_{\min} 定义为:

$$\theta_{\min} = \min\{\theta_i | \exists a_j, a_j \text{ 落在 } A_i \text{ 内}, i = 1, \dots, n, j = 1 \dots\}$$

仿真程序将这个最小阈值作为是否预测错误的判断标准。这样,错误发生时,不用像文[3]的算法那样,对不同的阈值层次执行不同的发送策略,也不用知道该把状态更新消息发给哪些远程仿真实体,而仅仅是将新的状态消息发送到网络上。

```

/* 本地仿真实体 a0 */
/* 初始时 mind=dn */
/* 判断状态消息中的远程实体落在哪个层次 */
switch ai{
case ai 落在 A1内
    Currentd=d1
    break;
case ai 落在 A2内
    currentd=d2
    break;
.....

```

```

case ai 落在 Ai 内
    currentd=dn
    break
}
/* 调整最小阈值 */
if currentd < mind then /* 最小阈值将减小 */
    mind=currentd
    mindcount=1 /* 最小阈值层次远程实体数量 */
else if currentd=mind then
    mindcount++
else
    if mindcount != 0 then
        mindcount--
    else
        {找到最近的包含远程实体的层次,
        并设置相应的 mind}

```

图2 最小阈值的动态调整

(2)最小阈值的适应性变化。对于一个新被创建的仿真实体,最小阈值为 θ_n , 即,对应其整个兴趣区域的阈值。当主机接收到来自网络的状态更新消息时,除对实体进行位置更新外,还需要调用 `updatemin()`, 更改本地主动实体的最小阈值。图2详细描述了 `updatemin()` 如何调整最小阈值。

(3)算法在 AIMNET 的仿真引擎中实施,仿真引擎接收来自用户交互接口和网络通讯接口的实体状态消息,执行位置预测后,将结果通知渲染引擎和网络。图3是这一过程的示意图。

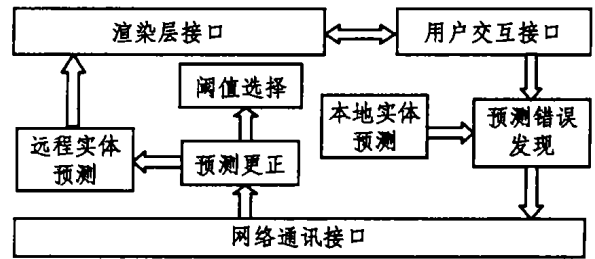


图3 AIMNET 中预测算法框架

3 试验

我们的试验是在 AIMNET 系统上进行的,采用 WindowsNT/2K 作为系统平台。实验中有12个仿真实体参与。其中一个(me)在(110,0)位置静止,另11个分别绕(0,0),(-10,0)……(-100,0)作半径为100的匀速圆周运动。初始位置分别为:(0,100),(-10,100),……(-100,100)。实体 me 的兴趣区域为110,分为三层:(0-10),(10-50)(50-100),每层对应的阈值分别为:5,10,20。图4展示了实验结果。其中纵轴为仿真实体的 x 坐标,横轴为时间。图中的平滑曲线表示仿真实体实际轨迹的 x 坐标与时间的关系,锯齿状线表示仿真实体估算轨迹的 x 坐标与时间的关系,锯齿处产生状态更新消息。

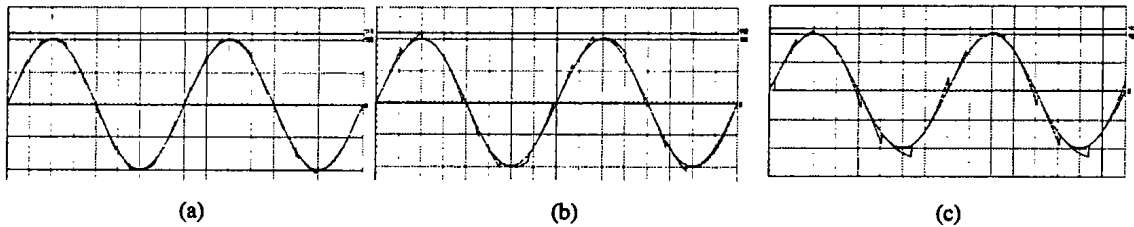


图4

图4a 中,我们选用固定的最小阈值5,在两个周期内产生19个状态更新消息,且估算轨迹与真实轨迹间误差较小。图4b

中,我们选用固定的最小阈值10,在两个周期内产生14个状态更新消息,比图4a 中少,但估算轨迹粗糙,在近 me 点,产生错

误的碰撞检测。图4c中,我们选取最小阈值后,使其随距离作适应性变化,两个周期内仅产生13个状态更新消息,并且在近me点有较好地估算轨迹。

试验表明,我们的最小阈值适应性预测算法较好地解决了位置预测精确性与网络代价之间的矛盾,并且满足 AIMNET 通讯结构中消息的匿名性要求。

结束语 为降低分布式虚拟环境中大量用户间的通讯量,位置预测技术已成为分布式虚拟环境的关键技术之一。本文提出的用于 AIMNET 系统中的最小阈值适应性位置预测算法,充分利用阈值与实体间距离的关系,通过阈值的适应性变化,部分解决了预测精度与网络代价之间的矛盾;同时通过最小阈值的选取,满足 AIMNET 系统消息匿名性的要求。算法经实验验证,取得了较好的效果。

随着分布式虚拟环境在不同领域的广泛应用,为不同的应用设计特定的预测算法将成为今后的需求。总结预测算法的共性与个性,寻找统一的算法框架,为预测算法的设计提供模板,以简化算法的设计与实现,是我们以后的工作方向。

(上接第98页)

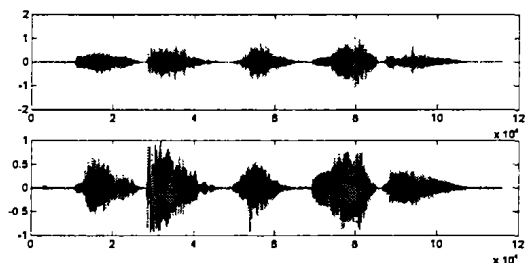


图3 混合了的声音信号

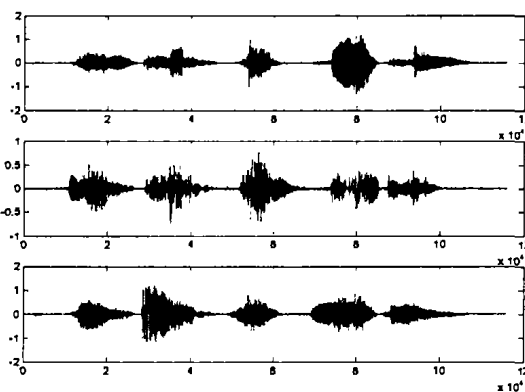


图4 使用 AICA 分离后的声音信号

可以看到图3和图4中还原得到的声音信号和原信号不是完全相同,而是混入了一定的噪音。这些噪音是由混合过程中参与混合的其他声音信号引起的,目前使用的 Overcomplete ICA 算法还不能完全消除引入的噪音。

我们采用信噪比(signal-to-noise, SNR)来衡量 Overcomplete ICA 声音压缩方面的性能:

$$SNR(s_j, \hat{s}_j) = -10 \log_{10} MSE(s_j, \hat{s}_j)$$

其中, s_j 表示源信号, \hat{s}_j 表示恢复后的信号, $MSE(s_j, \hat{s}_j)$ 是 s_j 和 \hat{s}_j 之间的均方误差。在上述实验中我们得到的 SNR 分别

参考文献

- 1 潘志庚,姜晓红,张明敏,石教英. 分布式虚拟环境综述[J]. 软件学报, 2000, 11(4): 461~467
- 2 Pope A R. The SIMNET Network and Protocols: [Report No. 7262, BBN Systems and Technologies]. Cambridge MA, June 1991
- 3 Cai Wentong, Lee F B S, Chen L. Adaptive Dead Reckoning algorithms for Distributed Interactive Simulation. In: 13th Workshop on Parallel and Distributed Simulation, Atlanta, Georgia, May 1999. 82~89
- 4 Lin K-C. Dead Reckoning and Distributed Interactive Simulation. In: Proc. of SPIE Conf. (AeroSense'95), Orlando Florida, April 1995
- 5 Krumm-Heller A. Using Determinism to Improve the Accuracy of Dead-Reckoning Algorithms. In: SimTecT 2000 Conference
- 6 赵沁平. DVENET: 分布式虚拟环境. 北京: 科学出版社, 2002. 14~18

为: 16. 138dB, 16. 115dB, 21. 755dB.

总结 Overcomplete ICA 将高维的信息通过矩阵混合为低维的信息, 本文提出了一种基于 Overcomplete ICA 的声音压缩模型 SCO, 实现了声音的压缩。我们的实验实现了 SCO 的混合压缩和分离解压功能。SCO 的压缩和解压效果与混合矩阵 A 及 Overcomplete ICA 的算法密切相关, 一般地, 混合矩阵 A 的列数 n 与行数 m 的差越大, 则压缩比越大, 但源信号的失真越大; 因此如何选择一个合适的混合矩阵 A 是一个值得进一步研究的问题。

参考文献

- 1 Lewicki M S, Sejnowski T J. Learning Overcomplete Representations. Neural Computation, 1998
- 2 Lee T W, Lewicki M S, Giorlami M. Blind Source Separation of More Sources Than Mixture Using Overcomplete Representations. IEEE Signal Processing Letters, 1999, 6(4): 87~90
- 3 Lewicki M S, Sejnowski T J. Learning nonlinear overcomplete representations for efficient coding
- 4 Theis F J, Lang E W. Formalization of the Two-Step Approach to Overcomplete BSS
- 5 Theis F J. A Geometric Algorithm For Overcomplete Linear ICA
- 6 Theis F J, Jung A, Puntonent C G, Land E W. Linear Geometric ICA: Fundamentals and Algorithms. Neural Computation 2003, 15: 419~439
- 7 Theis F J. A Geometric Algorithm for Overcomplete ICA
- 8 Waheed K, Salem F M. Algebraic Independent Component Analysis: An Approach for Separation of Overcomplete Speech Mixtures. IEEE 2003. 775~780
- 9 Zhang L Q, Cichocki A, Amari S. Nature Gradient Algorithm for Blind Separation of Overdetemind Mixture with Additive Noise
- 10 Scott, Chen ShaoBing, Donoho D L, Saunders M A. Atomic Dcomposition by Basis Pursuit
- 11 Sparse Coding with an Overcomplete Basis Set: A Strategy Employed by V1?, Elsevier Science, 1997, 37(23): 3311~3325