

一种基于对象属性关注度的 QoS 传输控制方法

谢 可 梁晓辉 赵沁平

(北京航空航天大学计算机学院虚拟现实技术与系统国家重点实验室 北京 100191)

摘 要 针对分布式虚拟环境中几何资源分配不均匀的问题,提出一种基于对象属性关注度的 QoS 传输控制方法以及模型传输 QoS 管理模型.该方法扩展了基于几何属性的模型传输控制传统方法,将对象几何属性与非几何属性综合作为传输中 QoS 控制参数,结合动态 QoS 控制的思想,针对分布式虚拟环境实时性要求较高的特点,在运行时刻考虑网络带宽对服务质量的影响,进行动态的 QoS 协商,并给出了一种针对该问题的动态协商算法.实验结果表明该方法能够全面反映用户对虚拟对象的关注程度,并随着网络带宽变化,在保证实时性的前提下更好地进行模型传输.

关键词 分布式虚拟环境;几何资源;实时性;虚拟对象属性;动态 QoS 控制

中图法分类号 TP391

DOI号: 10.3724/SP.J.1016.2009.00115

A Method Based on the Degree of Object Attributes Attention for Transmission QoS Control

XIE Ke LIANG Xiao-Hui ZHAO Qin-Ping

(State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, School of Computer Science and Engineering,
Beihang University, Beijing 100191)

Abstract In Distributed Virtual Environment, it is an important issue that how to manage the distribution of 3D geometry. Instead of downloading the whole virtual world objects into the clients' machines, on-demand method is to copy only objects that the user needs - partial replication of a virtual world rather than full replication. Therefore, a key aspect is how to efficiently replicate the required data in real-time. To solve this problem, a QoS transmission control method and a QoS Management Model, which are based on the degree of object attributes attention, are given in this paper. This method extends the traditional geometry-based model transmission control method. Non-geometric attributes and geometric attributes are integrated together and regarded as QoS parameters. Because real-time property is the most important requirements in distributed virtual environment and it can be affected by network bandwidth during the run time, a dynamic negotiation algorithm, which combines the idea of dynamic QoS management, is given in this paper. Experimental results show that the method is able to reflect user's level of concern about virtual objects in virtual environment comprehensively, and it can gain better transmission results while ensuring the prerequisite of real-time with the changing of the network bandwidth.

Keywords distributed virtual environment; geometry resource; real-time; virtual object attributes; dynamic QoS management

收稿日期:2007-08-24;最终修改稿收到日期:2008-11-12. 本课题得到国家自然科学基金(60873159)、教育部新世纪优秀人才支持计划、国家“八六三”高技术研究发展计划项目基金(2006AA01Z333)和北京航空航天大学研究生创新实践基金资助. 谢 可,男,1981年生,博士研究生,主要研究方向为分布式虚拟现实和计算机图形学等. E-mail: xieke@vrlab.buaa.edu.cn. 梁晓辉,男,1970年生,博士,副教授,主要研究方向为虚拟现实和计算机图形学等. 赵沁平,男,1948年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为虚拟现实、分布式应用系统以及人工智能等.

1 引言

分布式虚拟现实(Distributed Virtual Reality, DVR)将分散在不同地域的虚拟现实系统通过网络联结在一起,多个用户在共享的分布式虚拟环境中进行交互和协作,共同完成特定的任务^[1],典型的应用包括分布交互仿真、游戏等。

在分布式虚拟环境中,3D 几何资源如何进行管理与分配是需要解决的重要问题,其方法通常分为两类:(1)几何资源预分配方法.该方法为了满足实时性要求,降低网络传输的压力,将 3D 几何资源预先部署到多个节点,在运行过程中仅更新资源状态变化信息从而保持一致性,并成为 IEEE 的两个重要标准:分布交互仿真(Distributed Interactive Simulation, DIS)和高层体系结构(High Level Architecture, HLA)的主要内容。(2)在运行过程中按需动态分配(on-demand)方法.这种方法针对在大规模复杂场景中,特定时刻所需要传输的模型有限,采取按需进行模型传输.随着近年移动设备在虚拟环境中的应用,该方法已经成了研究的主流.在受限的时间下如何动态有效地进行几何资源分配是该方法要解决的主要问题.针对这个问题的研究主要集中在两种策略^[2]:区分优先层次(Prioritized Transfer of Objects)的模型传输策略^[3-10]和模型传输中的预取与缓存策略(Caching and Prefetching Technique)^[2,11-13].

预取与缓存策略通过对可能将要用到的数据(模型)进行预取与缓存来满足实时性要求.区分优先层次的模型传输策略伴随着计算机图形学研究的发展已经成为解决几何资源分配不均问题的研究热点.其通过对模型进行多分辨率表示,对所需模型按照给定的传输控制方法进行多分辨率选取、传输,从而降低传输数据量来满足实时性要求.在这个过程中如何对模型进行化简、压缩以及解压的研究较多,如文献[3-4].对模型传输控制大多采用基于视点等几何属性相关信息的方法,如文献[5-6,9]利用视点位置信息作为多分辨率模型传输控制参数;文献[7-8]将综合考虑视点位置信息和运动方式作为模型传输的控制参数;文献[10]利用传输模型在屏幕上的投影大小作为区分优先级的标准。

结合模型多分辨率表示的特点,考虑到网络的延迟、带宽以及服务器的负载平衡等因素对参与到

虚拟环境中用户所需服务质量(如:响应时间、模型的精细程度等)的影响,在传输过程中加入服务质量(Quality of Service, QoS)控制方法成为必然.文献[14]给出了一种面向在线的 3D GIS 系统的 QoS 控制方法,与前面所述方法相同,基于视点信息,考虑相应的物理资源利用情况,以此对传输 QoS 进行控制.文献[15-16]通过用户预先定义好的兴趣规则结合用户在虚拟环境中的相关动作作为整体的 QoS 控制参数,从而达到降低网络负载的目的。

上述方法中,多数采用几何属性相关信息作为传输控制的重要依据(如视点、投影面积等),对虚拟对象在环境中所具有的其它属性极少考虑(如:角色属性等).文献[15-16]中虽然将用户兴趣作为控制的重要参数,但“兴趣”的描述过于简单,当新的虚拟对象加入时,已经存在于虚拟环境中的虚拟对象对其感知比较困难,同时也未充分考虑网络的动态特性(带宽、延迟等)对“服务质量”的影响。

为了解决上述不足,本文结合动态 QoS 管理(dynamic QoS managing approach)的思想^[17],给出一种基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 控制方法,其主要有如下特点:

- (1)在视点等几何属性相关信息的基础上引入虚拟对象非几何属性综合作为 QoS 控制参数。
- (2)考虑网络的动态特点,给出一种 QoS 动态协商策略。

2 相关概念

本节给出涉及到的主要概念。

2.1 虚拟对象

在分布式虚拟环境中,用户通过控制虚拟对象对环境进行感知,同时与其他虚拟对象进行交互,从而完成特定的任务。

与现实世界中事物一样,虚拟环境中的对象也具有相应属性(例如,位置、速度、角色等),并且在不同时刻这些属性有着不同的取值。

定义 1. 虚拟对象. 一组具有特定含义的属性的集合:

$$O = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}.$$

这些属性可以分为 3 类:几何属性、物理属性以及角色属性。

几何属性包括了对对象的各种几何属性及模型.如不同细节层次(Level of Detail, LOD)的模型、不同情况的毁伤模型等。

物理属性包括对象自身的物理属性,如质量、体积、速度、线性加速度以及角加速度等。

角色属性指对象在虚拟环境中所扮演的角色描述,如计算机老师、数学系学生等。

对象各类属性在 t 时刻的值的集合表示了对象在时刻 t 的状态:

$$S_O(t) = \{v_{a_1}(t), v_{a_2}(t), v_{a_3}(t), \dots, v_{a_n}(t)\}.$$

定义 2. 虚拟环境. 一组虚拟对象的集合:

$$E = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_n\}.$$

虚拟环境的状态 $S_E(t)$ 为环境中各个对象在某个时刻 t 的状态的集合:

$$S_E(t) = \{S_{O_1}(t), S_{O_2}(t), S_{O_3}(t), \dots, S_{O_n}(t)\}.$$

用 $E_{\bar{O}}$ 表示除对象 O 外虚拟对象的集合:

$$E_{\bar{O}} = E - O.$$

2.2 虚拟对象关注信息函数及关注度矩阵

虚拟环境中,虚拟对象的属性决定其对环境中其它对象的关注程度.例如,虚拟课堂中学生对老师的关注程度要高于对同课堂中其它学生的关注,这是由学生这个角色属性所决定的;又如人们一般对距离自己近的物体关注程度要高于距离远的物体,这是由几何属性所决定的.从另一个角度来看,一个对象被其他对象所关注的程度往往受到它自身属性的影响,正是因为其相关属性符合其它对象的“关注”需求,才被其它对象感知关注。

定义 3. 虚拟对象 O 在 t 时刻的关注信息函数 f :

$$\forall X, X \in E_{\bar{O}},$$

$$f: Att_O(t) \times Att_X(t) \rightarrow R,$$

$$Att_O(t) \subseteq (S_O(t))^p, Att_X(t) \subseteq (S_X(t))^q,$$

$$p \in \{1, 2, \dots, |S_O(t)|\}, q \in \{1, 2, \dots, |S_X(t)|\}.$$

$Att(t)$ 表示关注信息所对应的一组对象属性的集合。

当 $X = O_j$ 时,第 i 个关注信息的值可以表示为 f_{ji}^i 。

根据定义 3,对虚拟环境中除虚拟对象 O 外的其它虚拟对象进行关注信息函数映射,可得到虚拟对象 O 对虚拟环境中(或特定区域中)其他虚拟对象的关注信息取值,本文用关注信息矩阵来表示,其定义如下。

定义 4. 关注信息矩阵 D :

$$D = (d_{ji})_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m,$$

$$d_{ji} = f_{ji}^i.$$

根据关注信息的不同类型,对关注信息进行规范化,可以得到规范化后的关注信息矩阵 $D' =$

$$(d'_{ji})_{m \times n} \text{ 且 } 0 \leq d'_{ji} \leq 1.$$

定义 5. 关注信息权值向量 W : 由每个关注信息的权值所组成的向量。

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n), \text{ 且有 } \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

定义 6. 关注度矩阵 B : 由规范后的关注信息矩阵加权求得。

$$B = (b_{ji})_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m,$$

$$b_{ji} = w_i d'_{ji}, w_i \in W,$$

其中 b_{ji} 表示对对象 O_j 第 i 个关注信息的关注度值。

基于上述定义,下面给出基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 管理模型以及相应算法。

3 基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 管理模型

实时性是虚拟环境的基本要求,其对模型传输最直观的要求就是降低传输的数据量,减少传输的时间.因此模型传输控制方法要求在保证实时性的前提下,合理定义传输控制参数,并根据传输控制参数对所需传输模型进行多分辨率选择并区分优先级进行排序传输。

针对这个问题,本文给出一种基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 管理模型(如图 1 所示)。

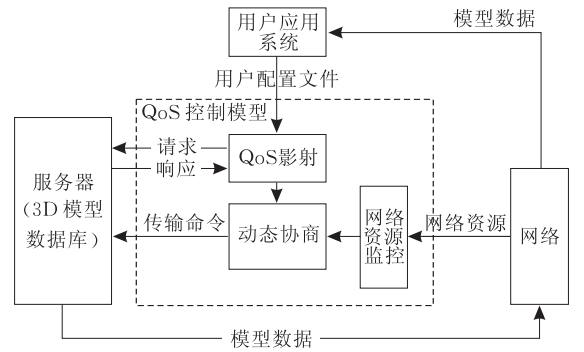


图 1 QoS 管理模型

其主要包括 3 个部分:QoS 映射、网络资源管理以及动态协商。

3.1 QoS 映射

QoS 映射是将 QoS 需求映射为可控的底层资源,计算出要求资源量并将其作为动态协商的重要依据。

但是虚拟环境具有动态性、交互性强等特点,用户很难明确指定对模型精细程度(QoS)的要求,因此需要根据定义的传输控制参数、方法动态反映用户对模型精细程度需求的变化。

本文在保证实时性的前提下,综合考虑几何属性与非几何属性的相关信息作为用户 QoS 控制参数.引入多属性决策方法,并考虑分布式虚拟环境中实时性要求高、场景较为复杂等特点,给出一种层次化的多属性决策方法,依据关注度矩阵对所需传输模型进行优先级区分,以此为基础建立 QoS 控制参数与底层资源映射关系,使得在虚拟环境中能够动态、客观地反映用户对不同虚拟对象的 QoS 需求.

具体的算法如下.

算法 1.

1. 对虚拟对象进行层次划分.

$E_{Att} = \{O_i | (O_i \in E_{\bar{O}}) \wedge (O_i \text{ 满足规则 } P)\}$, P 为层次划分规则(例如, $AOI^{[12, 18-19]}$ 等).

通过划分得到关注区域 $E_{Att} = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_m\}$, $E_{Att} \subseteq E_{\bar{O}}$.

$S_{E_{Att}}(t)$ 为关注区域的状态,可表示为在某个时刻 t 区域中各个对象的状态的集合.

$S_{E_{Att}}(t) = \{S_{O_1}(t), S_{O_2}(t), S_{O_3}(t), \dots, S_{O_m}(t)\}$.

2. 对 $S_{E_{Att}}(t)$ 中的元素根据关注函数进行计算.

3. 建立关注信息矩阵 D , 并计算得到关注度矩阵 B .

4. 选取多属性决策中的相关算法(例如, TOPSIS^[20] 等)对 E_{Att} 进行排序处理, 排序后的对象集合表示为

$$E'_{Att} = \{O'_1, O'_2, \dots, O'_m\}.$$

基于算法 1 的结果,建立 QoS 参数与底层网络带宽映射关系,具体算法如下.

算法 2.

1. 根据算法 1 的排序结果给出数值 $LoD^R(O'_j)$. $LoD^R(O'_j)$ 表示所需的多分辨率模型(LOD)的级别, $LoD^R(O'_j)$ 越大代表模型越精细, 其中 $O'_j \in E'_{Att}$, $LoD^R(O'_j) \in Z$, 且 $0 \leq LoD^R(O'_j)$.

2. 对 E'_{Att} 中的对象进行步 1, 求得所需要传输的数据量 $DataSize$.

$$DataSize = \sum_{i=1}^m Size(LoD^R(O'_i)) \quad (1)$$

其中 $Size(LoD^R(O'_j))$ 表示 $LoD^R(O'_j)$ 级别下模型的数据大小.

3. 计算所需要的网络带宽, 用 $B_{require}$ 表示:

$$B_{require} = \frac{DataSize}{T} \quad (2)$$

T 表示期望下载时间.

3.2 网络资源管理

传统的模型传输方法大多不考虑网络多变的特性,但是网络的变化直接影响到传输时间,因此针对这一问题,引入了网络资源管理对网络带宽进行检测.

当有用户请求模型传输时其被激活,用来监视当前网络带宽情况,并将网络当前可用带宽返回给

动态协商管理模块,以做 QoS 动态协商使用. 本文用 $B_{current}$ 表示网络当前可用带宽.

3.3 动态协商

在运行时刻,将用户所需求带宽 $B_{require}$ 与实际可用带宽 $B_{current}$ 进行比较,以 3.1 节中的排序结果为依据进行 QoS 的动态协商. 为了描述方便,首先给出如下两个定义.

定义 7. 理想模型数据大小 $DataSize^+$: E'_{Att} 中所有对象最精细模型数据大小的总和.

$$DataSize^+ = \sum_{i=1}^m Size(LoD^+(O'_i)),$$

$LoD^+(O'_j)$ 表示对象 O'_j 模型的最精细级别.

由式(2)可得理想带宽 $B_{require}^+$.

定义 8. 负理想模型数据大小 $DataSize^-$: E'_{Att} 中所有对象最粗糙模型数据大小的总和.

$$DataSize^- = \sum_{i=1}^m Size(LoD^-(O'_i)),$$

$LoD^-(O'_j)$ 表示对象 O'_j 模型的最粗糙级别.

由式(2)可得负理想带宽 $B_{require}^-$.

协商算法如下.

算法 3.

1. 比较 $B_{require}$ 与 $B_{current}$ 的大小. 如果 $B_{require} < B_{current}$, 则转步 2; 如果 $B_{require} > B_{current}$, 转步 3; 如果 $B_{require} = B_{current}$, 转步 6.

2. 比较 $B_{require}^+$ 与 $B_{current}$, 如果 $B_{require}^+ \leq B_{current}$, 则转步 7; 否则转步 4.

3. 比较 $B_{require}^-$ 与 $B_{current}$, 如果 $B_{require}^- \geq B_{current}$, 则转步 8; 否则转步 5.

4. 对当前所需对象多分辨率模型进行升级处理, 这要求基于排序结果找到最接近 $B_{require}$ 的解, 因此升级处理可以归结为如下优化问题:

$$\min \left(\left(\sum_{i=0}^m (Size(LoD^T(O'_i)) - Size(LoD^R(O'_i))) \right) - (B_{current} - B_{require}) \right)$$

s. t.

$$\begin{cases} LoD^T(O'_1) \geq LoD^T(O'_2) \geq [LoD^T(O'_1), LoD^T(O'_{i+1}) \dots] \geq \\ LoD^T(O'_j) \geq \dots \geq LoD^T(O'_m) \\ LoD^R(O'_i) = LoD^R(O'_{i+1}) = \dots = LoD^R(O'_{i-1}) \\ \text{对于 } [LoD^T(O'_1), LoD^T(O'_{i+1}) \dots] \text{ 中的元素没有明确的} \\ \text{级别区分} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $LoD^T(O'_i)$ 表示传输所选择的模型精细度, $LoD^R(O'_i)$ 为算法 2 中所求得的模型需求精细度, 且 $LoD^T(O'_i) \geq LoD^R(O'_i)$. 显然至少存在一组 $\{LoD^T(O'_i) | i=1, 2, \dots, m\}$ 是式(3)的解. 按照 $\{LoD^T(O'_i) | i=1, 2, \dots, m\}$ 级别对模型进行传输.

5. 对当前所需对象多分辨率模型进行降级处理,同上降级处理也可归结为如下优化问题:

$$\min \left(\left(\sum_{i=0}^m (\text{Size}(\text{LoD}^R(O'_i)) - \text{Size}(\text{LoD}^T(O'_i))) \right) - (B_{\text{require}} - B_{\text{current}}) \right)$$

s. t.

$$\begin{cases} \text{LoD}^T(O'_1) \geq \text{LoD}^T(O'_2) \geq [\text{LoD}^T(O'_1), \text{LoD}^T(O'_{i+1}) \cdots] \geq \\ \text{LoD}^T(O'_j) \geq \cdots \geq \text{LoD}^T(O'_m) \\ \text{LoD}^R(O'_i) = \text{LoD}^R(O'_{i+1}) = \cdots = \text{LoD}^R(O'_{j-1}) \\ \text{对于} [\text{LoD}^T(O'_1), \text{LoD}^T(O'_{i+1}) \cdots] \text{中的元素没有明确的} \\ \text{级别区分} \end{cases}$$

(4)

且 $\text{LoD}^T(O'_i) \leq \text{LoD}^R(O'_i)$. 显然,至少存在一组 $\{\text{LoD}^T(O'_i) | i=1,2,\cdots,m\}$ 是式(4)的解. 按照 $\{\text{LoD}^T(O'_i) | i=1,2,\cdots,m\}$ 级别对模型进行传输.

6. 按照 $\{\text{LoD}^R(O'_i) | i=1,2,\cdots,m\}$ 级别进行传输.
7. 按照 $\{\text{LoD}^+(O'_i) | i=1,2,\cdots,m\}$ 级别进行传输.
8. 按照 $\{\text{LoD}^-(O'_i) | i=1,2,\cdots,m\}$ 级别进行传输.

4 实验结果分析

为了对基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 控制方法进行验证,本文采用 C/S 结构构建了一个虚拟现实应用实验原型(如图 2 所示),各个客户端与模型服务器相连,在运行过程中动态地从服务器获取模型. 初始化属性以及实时状态更新信息通过符合 IEEE p1516 标准的运行支持环境(Run Time Infrastructure,RTI)进行传输.

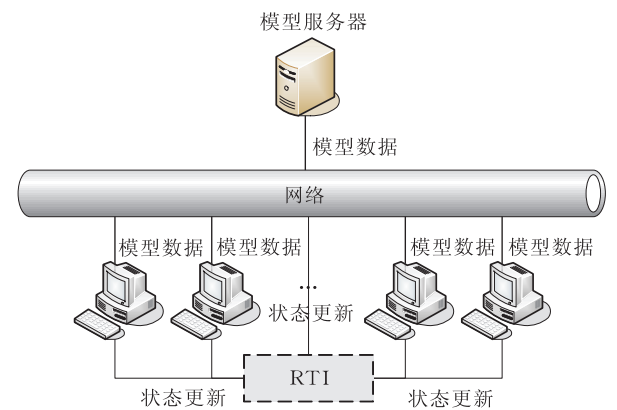


图 2 实验原型结构

下面以一个虚拟战场的游戏为例. 用户在 Client 端控制不同的仿真对象;3D 模型服务器端为战场环境中存储虚拟战场环境中所有的几何模型信息以及虚拟对象属性定义,虚拟对象多分辨率模型采用 3 级 LOD 表示. 地形信息以及部分虚拟对象模

型为预先分配,主要针对在仿真应用中用户自己定义的模型加入仿真环境造成的几何资源分配不均的问题,对前文所提出的基于对象属性关注度的模型传输 QoS 控制方法进行验证.

将服务器部署在 Pentium D 3.4GHz PC 上,环境中的客户端部署在 Pentium M 2.0GHz PC 上.

实验拟想以一个雷达车为控制对象,其主要负责勘测环境中的一些其他对象的情况. 因为客户端保有其他虚拟对象的属性信息,所以客户端可以根据当前情况判断是否需要对本地的模型进行更新. 如需更新时将用户当前的 QoS 需求文件传给服务器,主要包括层次划分信息、关注信息、期望下载时间等.

在这里选用球形 AOI 作为层次划分规则,原因是:球形兴趣域的表达简洁明了,只需中心点和半径 4 个参数即可表示,并且球形兴趣域适宜于大多数仿真实体的运动方式,即视点的旋转运动频繁发生.

在实验中,雷达车的 QoS 控制参数描述如表 1 所示.

表 1 雷达车 QoS 控制参数

AOI	X	Y	Z	Radius
	1000	10.57	700	200
Attention	Inf	Distance	Reflect	Role
	W	0.2	0.6	0.2
T		200ms		

注: Distance 表示用户控制对象与传输对象的距离,为成本型属性;Reflect 表示传输对象对电磁波的反射能力,为效益型属性;Role 表示虚拟对象的角色属性,1 表示飞机,2 表示一切地面对象,其可以表示为固定型属性. 关于属性的分类可参考文献[20],T 的选取可参考文献[21].

给定的关注信息函数如下:

$$f^{\text{Distance}} = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_j)^2},$$
$$f^{\text{Reflect}} = v_{\text{Reflect}}(t),$$
$$f^{\text{Role}} = \begin{cases} 1, & v_{\text{Role}}(t) = 1 \\ 0, & v_{\text{Role}}(t) = 2 \end{cases}.$$

服务器根据其中 AOI 信息提取出所需传输模型列表. 实验中在雷达车 AOI 中本次需要传输包括 3 个虚拟对象,因此:

$$E_{\text{Att}}(t) = \{M1, A1, \text{Podium}\}.$$

它们当前的相关属性如表 2、表 3 所示.

表 2 传输对象相关属性










对象	X	Y	Z	Reflect	Role
A1	962	200	678	4	1
M1	1050	10.57	650	2	2
Podium	1000	10.57	690	1	2

表 3 虚拟对象不同级别 LOD 的模型大小
(单位:KB)

对象	模型细节层次 (LoD level 3)	模型细节层次 (LoD level 2)	模型细节层次 (LoD level 1)
A1	186	61	50
M1	114	48	30
Podium	242	145	66

这 3 个模型在不同 LOD 级别下的模型示意图如表 4 所示。

表 4 不同 LoD 级别下的模型

	LoD level 3	LoD level 2	LoD level 1
A1			
M1			
Podium			

根据关注信息函数,可得出关注信息矩阵:

$$\boldsymbol{D}=\begin{bmatrix}194.28 & 4 & 1 \\ 70.71 & 2 & 0 \\ 10 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

(5)

对关注信息矩阵 \boldsymbol{D} 作规范化加权处理得关注度矩阵:

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}0 & 0.6 & 0.2 \\ 0.134 & 0.198 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

(6)

这里采用 TOPSIS^[20] 方法进行关注度排序,具

体过程如下。
通过矩阵 \boldsymbol{B} 求得理想与负理想解 C^+ 、 C^- ：
 $C^+=[0.2,0.6,0.2]$ ；
 $C^-=[0,0,0]$ 。
分别求得 $E_{Att}(t)$ 中对象的关注度值距 C^+ 、 C^- 的 Euclid 距离：

A1: $EU_{A1}^+=0.20, EU_{A1}^-=0.63$;

M1: $EU_{M1}^+=0.41, EU_{M1}^-=0.24$;

Podium: $EU_P^+=0.63, EU_P^-=0.20$.

求得各自贴近度 C_j ：

$C_{A1}=0.76; C_{M1}=0.37; C_P=0.24.$

至此得到

$E'_{Att}=\{A1,M1,Podium\}.$

给定 LoD 选择函数如下：

$$LoD(O'_j)=\begin{cases}1, & 0\leq C_j\leq 0.3 \\ 2, & 0.3<C_j\leq 0.6 \\ 3, & 0.6<C_j\leq 1\end{cases}.$$

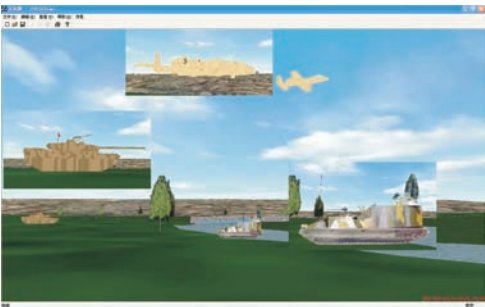
因此有

$LoD^R(A1)=3;$

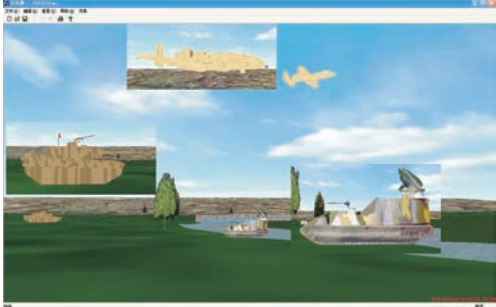
$LoD^R(M1)=2;$

$LoD^R(Podium)=1.$

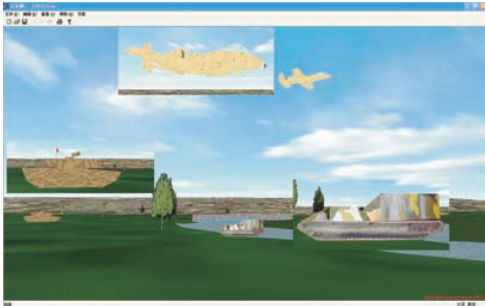
在其他条件不变的情况下,通过调整当前可用网络带宽,进行多次实验,利用 3.3 节的协商算法得到的实验结果如图 3 和表 5 所示。



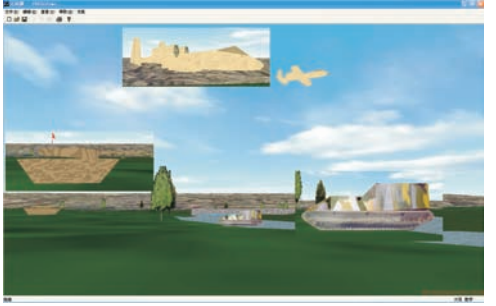
(a) $B_{current}=5000\text{KB/s}$



(b) $B_{current}=2500\text{KB/s}$



(c) $B_{current}=1750\text{KB/s}$



(d) $B_{current}=1000\text{KB/s}$

图 3 基于对象属性关注度的 QoS 控制(小图中为虚拟对象多分辨率表示的放大)

表 5 T_{download} 限制下实验结果

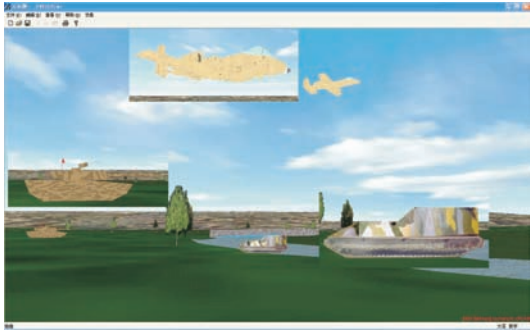
需求带宽 $B_{\text{require}}/(\text{KB} \cdot \text{s}^{-1})$	可用带宽 $B_{\text{current}}/(\text{KB} \cdot \text{s}^{-1})$	$LoD^T(\text{A1})$	$LoD^T(\text{M1})$	$LoD^T(\text{Podium})$	数据大小/KB
1500	10000	level 3	level 3	level 3	542
1500	5000	level 3	level 3	level 3	542
1500	2500	level 3	level 3	level 2	445
1500	2000	level 3	level 3	level 1	366
1500	1750	level 3	level 2	level 1	300
1500	1000	level 2	level 1	level 1	177
1500	750	level 1	level 1	level 1	146
...

图 3 的实验数据与截图给出了在实时性要求下,基于虚拟对象属性关注度的模型传输结果.当可用网络带宽变化时,在时间受限条件下,该方法能很好地根据用户所控制的虚拟对象对其他对象关注度的不同进行多分辨率模型的选取、传输.

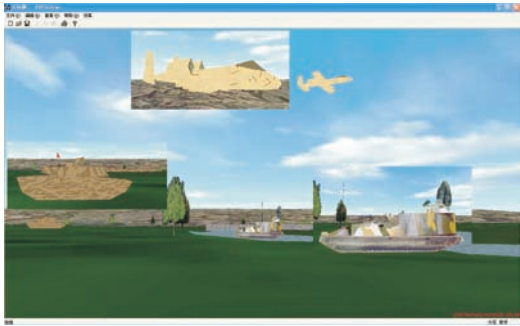
实验结果证明该方法能够有效地反应用户在虚

拟环境中非几何因素的要求,并能根据网络的动态变化进行必要的协商,从而满足实时性要求.

将实验中 QoS 控制参数中角色更改为普通观察对象(只考距离信息),可以模拟传统的基于视点的控制方法.其与基于对象属性关注度的方法对比截图如图 4 所示(不考虑带宽).



(a) 基于角色关注度



(b) 基于视点

图 4 基于属性关注度与基于视点

图 4 给出了传统基于几何属性的传输控制方法和基于属性关注度控制方法的对比结果.可以看出基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 控制方法与传统的基于视点的模型传输控制方法所产生的传输结果有较大的差别.本文的方法更能反映虚拟对象对虚拟环境中其他对象的“感知”.

另外还将本文提出的方法在支持移动终端的虚拟环境中进行了实验,如图 5.由于移动终端资源有限,对于整个场景采用二维为主的显示模式.根据本文的方法,用不同颜色的图标表示不同关注度的对象,并由服务器进行模型的传输.为了减少移动终端计算以及绘制的消耗,用户可在移动终端浏览三维模型的轮廓线信息.图 5(a)的二维界面用不同灰度

的图标区分不同关注度的对象,图 5(b)和(c)表示按照对象属性关注度传输并绘制的虚拟人模型.

5 总结与展望

针对分布式虚拟现实应用中几何资源分配不均的问题,给出了一种基于虚拟对象属性关注度的模型传输 QoS 控制方法.该方法不同于传统的模型传输控制方法,在视点等几何信息的基础上引入虚拟对象非几何属性等综合作为 QoS 控制参数,使得对模型质量的控制更能反映虚拟对象在虚拟环境中的“感知”.并且该方法通过对运行时刻传输双方可用带宽的检测给出一种基于虚拟对象角色关注度的 QoS 动态协商方法,从而满足虚拟现实应用系统对实时性的要求.

进一步的工作是考虑对虚拟对象在环境中的一些行为进行分析.同时将该方法应用于解决状态传输中的兴趣管理,并对其的一致性算法等进行研究.

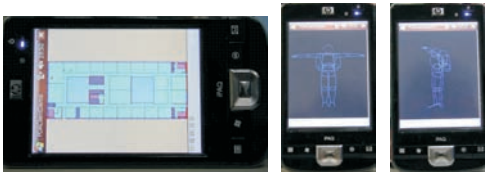


图 5 移动终端显示示意图

参 考 文 献

- [1] Zhao Qin-Ping, Shen Xu-Kun, Xia Chun-He, Wang Zhao-Qi. DVENET: A distributed virtual environment. *Journal of Computer Research & Development*, 1998, 35(12): 1064-1068(in Chinese)
(赵沁平, 沈旭昆, 夏春和, 王兆其. DVENET: 一个分布式虚拟环境. *计算机研究与发展*, 1998, 35(12): 1064-1068)
- [2] Park Sungju, Lee Dongman, Lim Mingyu, Yu Chansu. Scalable data management using user-based caching and prefetching in distributed virtual environments//*Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST01)*. Alberta, Canada, 2001: 121-126
- [3] Schroeder William J, Zarge Jonathan A, Lorensen William E. Decimation of triangle meshes// *Computer Graphics (SIGGRAPH' 92)*, 1992, 26(2): 65-70
- [4] Fahn Chin-Shyurng, Chen Hung-Kuang, Shiau Yi-Haur. Polygonal mesh simplification with face color and boundary edge preservation using quadric error metric//*Proceedings of the IEEE 4th International Symposium on Multimedia Software Engineering*. California, USA, 2002: 174-181
- [5] Chim Jimmy, Lau Rynson W H, Leong Hong Va, Si Antonio. Cyberwalk: A web-based distributed virtual walk-through environment. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2003, 5(4): 503-515
- [6] Sim Jae-Young, Kim Chang-Su, Kuo C-C Jay, Lee Sang-Uk. Rate-distortion optimized compression and view-dependent transmission of 3-D normal meshes. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(7): 854-868
- [7] Teler E, Lischinski D. Streaming of complex 3D scenes for remote walkthroughs. *Computer Graphics Forum*, 2001, 20(3): 17-25
- [8] Lau Rynson W H et al. Adaptive multi-resolution modeling technique based on viewing and animation parameters//*Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS 97)*. New Mexico, USA, 1997: 20-27
- [9] Ohshima T, Yamamoto H, Tamura H. Gaze-directed adaptive rendering for interacting with virtual space//*Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS 96)*. California, USA, 1996: 103-110
- [10] Boier-Martin Ioana M. Adaptive graphics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2003, 23(1): 6-10
- [11] Hesina G, Schmalstieg D. A network architecture for remote rendering//*Proceedings of the Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications*. Montreal, Canada, 1998: 88-91
- [12] Schmalstieg D, Gervautz M. Demand-driven geometry transmission for distributed virtual environments. *Computer Graphics Forum*, 1996, 15(3): 421-433
- [13] Chan Addison, Lau Rynson W H, Ng Beatrice. Motion prediction for caching and prefetching in mouse-driven dve navigation. *ACM Transactions on Internet Technology*, 2005, 5(1): 70-81
- [14] Sun Yanli. 3D TerraFly—Quality of service management for online interactive 3D geographic information system [Ph. D. dissertation]. Florida International University, Florida, 2004
- [15] Oikawa S, Hashimoto Koji, Shibata Yoshitaka. QoS control function based on user's information on the 3D virtual shared space//*Proceedings of the IEEE Advanced Information Networking and Application (AINA04)*. Fukuoka, Japan, 2004: 74-77
- [16] Nakai Yushi, Kamon Naoki, Shibata Yoshitaka. Scalable collaborative virtual environment considering user's interest information//*Proceedings of the IEEE Advanced Information Networking and Application (AINA06)*. Vienna, Austria, 2006: 660-664
- [17] Araniti Giuseppe, De Meo Pasquale, Iera Antonio, Ursino Domenico. Adaptively controlling the QoS of multimedia wireless applications through "user profiling" techniques. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2003, 21(10): 1546-1556
- [18] Falby John S, Zyda Michael J, Pratt David R, Mackey Randy L. Npsnet: hierarchical data structures for real-time three-dimensional visual simulation. *Computers & Graphics*, 1993, 17(1): 65-69
- [19] Macedonia Michael R, Zyda Michael J, Pratt David R, Brutzman Donald P, Barham Paul T. Exploiting reality with multicast groups: A network architecture for large-scale virtual environments//*Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS95)*. NC, USA, 1995: 2-10
- [20] Xu Jiu-Ping, Wu Wei. *Multiple Attribute Decision Making Theory and Methods*. Beijing: Tsinghua University Press, 2006(in Chinese)
(徐玖平, 吴巍. 多属性决策的理论与方法. 北京: 清华大学出版社, 2006)
- [21] Lea Skorin-Kapov et al. Analysis of end-to-end QoS for networked virtual reality services in UMTS. *IEEE Communications Magazine*, 2004, 42(4): 49-55



XIE Ke, born in 1981, Ph. D. candidate. His main research interests include distributed virtual reality and computer graphics.

LIANG Xiao-Hui, born in 1970, Ph. D., associate professor. His main research interests include virtual reality, visualization.

ZHAO Qin-Ping, born in 1948, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His main research interests include virtual reality, visualization and artificial intelligence.

Background

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China under grant No. 60873159, Program for New Century Excellent Talents in University (NCET), National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China under grant No. 2006AA01Z333 and Graduate Innovative Practice Fund Project of Beihang University.

In DVR design, a central problem is geometry data replication. At present, there are two strategies to deal with this problem. The first one is geometric resources pre-distributed. For supporting real-time interaction, it is common to replicate the whole virtual world data at the client, and in the runtime only update the message of states to maintain the consistency of application. But as the scale of the virtual world is enlarged, the transmission overhead increases even more significantly, especially when replicating the data from the server to each client. The second one is on-demand transmission techniques. Instead of downloading the whole virtual world objects into clients' machines, only objects that the

user needs are copied — Partial replication of a virtual world rather than full replication. Therefore, a key aspect is how to efficiently replicate the required data in real time. Most related works are based on the information of avatar's geometric attributes, such as the spatial relationship between the avatar and other objects (e. g. distance). To solve this problem, this paper proposes a method based on the degree of object attributes attention for transmission QoS control in DVR. This method extends the traditional geometry-based model of information transmission control methods. Non-geometric attributes and geometric attributes are integrated together and regarded as QoS parameters. In the processing of DVR system, this method gives a dynamic negotiation algorithm which combines the idea of dynamic QoS management. The results presented in this work are able to comprehensive reflect user's level of concern about virtual object in virtual environment, and it can gain better transmission results while ensuring the prerequisite of real-time with the changing of the network bandwidth.