

# 数据分发管理机制中层次化组播地址分配策略\*

史扬<sup>1</sup>, 凌云翔<sup>2</sup>, 金士尧<sup>2</sup>, 张晨曦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(海军潜艇学院 软件中心, 山东 青岛 266071);

<sup>2</sup>(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

E-mail: shi\_yang@netease.com

**摘要:** 高层体系结构 HLA(high level architecture)支持仿真应用间的互操作和可重用,受资源的限制,基于因特网的分布仿真面临着系统可扩展性的挑战. HLA 提供数据分发管理机制,为提高系统可扩展性提供了可能. 分析了 HLA 中数据分发管理机制的实现途径,针对存在的问题提出了层次化的组播地址分配策略,解决了组播地址数量有限与仿真结点机冗余数据接收之间的矛盾,同时也为仿真数据的可靠发送及数据打包提供了有力的支持.

**关键词:** 高层体系结构;可扩展性;数据分发管理;数据过滤;路径空间;组播通信

**中图法分类号:** TP393 **文献标识码:** A

分布交互仿真<sup>[1]</sup>是仿真技术和计算机网络技术相结合的产物. 它由于具备有效性、灵活性、经济性、安全性等优点而受到各行各业的重视,并作为一种重要的研究手段正广泛地应用于军事以及国民经济的各个领域. 分布交互仿真技术发展至今,应用需求给仿真提出了更高的要求. 而传统的分布交互仿真标准(如 distributed interactive simulation, 简称 DIS 协议)受当时技术条件的限制,具有很大的局限性,制约了仿真活动灵活、高效地开展.

为解决目前仿真技术存在的问题,负责军事领域仿真的美国国防部(department of defense, 简称 DoD)建模与仿真办公室(defense modeling & simulation office, 简称 DMSO)于 1995 年提出了一个全新的仿真技术框架 HLA<sup>[2]</sup>(high level architecture),其目的是解决仿真应用的互操作和可重用<sup>[3]</sup>问题. 与 DIS 协议不同,HLA 从更高层次上规划了仿真开发、建模、设计整个过程中应遵循的规则,有利于仿真活动灵活而高效地开展. HLA 代表着分布交互仿真发展的最新方向,受到了仿真界的高度重视. DoD 明确规定,今后军事领域内的仿真活动必须在 HLA 框架下开展,已有的仿真系统要转换成 HLA 兼容方式,并规定 1999 年为向 HLA 兼容转换的最后期限,从 2001 年开始不再资助非 HLA 应用开发的项目.

未来的仿真一定是建立在因特网环境上的,以支持地理分散的复杂系统的仿真,这就要求仿真系统具有良好的可扩展性. HLA 框架为仿真系统规模的可扩展性提供了支持. 它提供数据分发管理机制 DDM(data distribution management),利用仿真应用内在的局部性,通过组播通信技术控制冗余数据对网络带宽及处理机资源的占用,大大缓解了系统资源的耗费.

本文第 1 节分析了制约仿真系统可扩展性的主要因素,介绍了 HLA 框架中 DDM 机制的实现途径及存在的问题. 第 2 节针对 DDM 中组播地址分配存在的问题提出了一个层次化的组播地址

\* 收稿日期: 1999-01-06; 修改日期: 2000-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69525205)

**作者简介:** 史扬(1971-),男,河北广平人,博士,讲师,主要研究领域为分布交互仿真,地理信息系统,虚拟现实技术;凌云翔(1972-),男,四川成都人,博士,主要研究领域为分布交互仿真,分布并行处理技术;金士尧(1937-),男,江苏扬州人,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机系统结构,性能评价,计算机仿真;张晨曦(1960-),男,福建龙岩人,博士,教授,主要研究领域为分布并行处理,分布交互仿真.

分配策略,并与典型的实现方案进行了比较.第3节总结了全文.

## 1 系统可扩展性问题及数据分发管理

### 1.1 系统可扩展问题

从分布交互仿真普及应用的角度来看,未来的分布交互仿真应建立在因特网上,且要求能支持成千上万个仿真实体的运行<sup>[4]</sup>.因此,分布交互仿真面临的一个主要技术问题是系统规模的可扩展性.系统规模受系统资源的制约,系统资源主要包括网络带宽及处理机资源.随着分布交互仿真规模(实体和仿真结点机数目)的增加,必然会加大仿真平台间的信息交换量,而传统的 DIS 协议采用广播方式通信,更加重了这种趋势(广播方式造成大量冗余数据的网上传输及随之而来的结点机网络数据处理开销).Cheung 及 Loper 等人对分布交互仿真应用网络流量特征的研究结果表明<sup>[5]</sup>,在分布交互仿真系统中实体状态信息一般占网络流量的 80%~90%,而某一仿真结点机接收的网络数据中约有 90%是冗余的(即与结点机上运行的仿真实体无关).过多的网络冗余数据会导致网络拥塞的产生,影响数据的延迟特性.而且,对过多的网络冗余数据的处理会影响正常的仿真任务的执行.这些因素限制了分布交互仿真在较大规模网络环境下的应用.

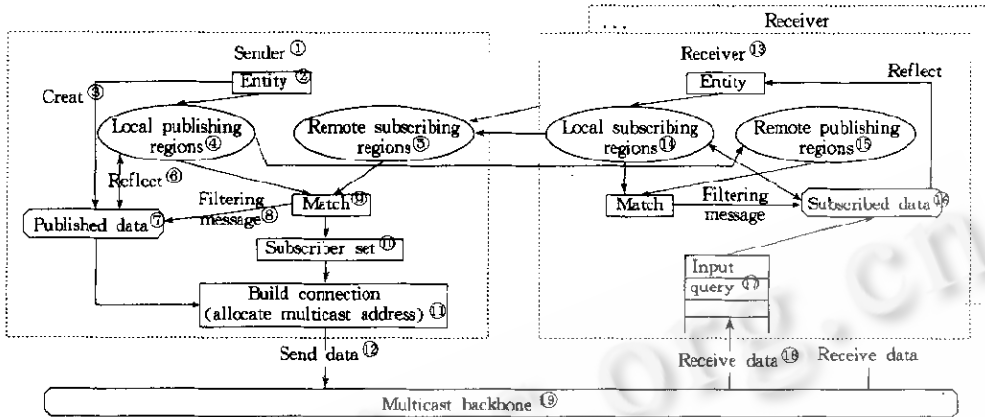
### 1.2 仿真数据分发管理机制

在 HLA 框架下使用数据分发管理机制可以大大缓解系统资源随系统规模急剧增加的趋势,其基本原理是开发仿真任务的局部性,利用数据过滤机制<sup>[6]</sup>限制冗余数据的产生和接收范围.仿真任务的局部性是指,受仿真模型等约束条件的限制,在任意时刻某一仿真实体只与系统中所有实体的一个子集相关,我们称此子集为实体的“感兴趣集合”(interest group),感兴趣集内部实体之间才需要交换数据.在现实世界中,这种现象是很常见的.如模拟战场中的交战区域,武器的探测和作用区域及协作工程中的工作组等,都可以构成感兴趣集. M. Macedonia 等人的研究表明<sup>[7]</sup>,在大规模分布交互仿真中,一个实体的感兴趣集一般只占系统实体集的一小部分,而且随着规模的增大,感兴趣集的大小趋于稳定.在 DDM 机制中,按照一定的原则(如仿真实体相关性)建立相关的实体映射关系,并根据这种映射关系,控制了数据发送以及接收的范围,从根本上解决了冗余数据对系统资源极大耗费的问题.

### 1.3 基于路径空间的实体感兴趣集合描述及数据分发管理实现途径

实现数据过滤的前提是确定实体的感兴趣集合.在 HLA 框架下,支持数据过滤的基本概念是路径空间 RS(routing space)<sup>[8]</sup>.仿真实体利用 RS 描述数据的供求信息,这种描述通过定义 RS 中的子集 空间区域(region)来实现.实体通过公布区域(publish region)和订购区域(subscribe region)描述向外发送数据和接收外部数据的约束条件,经过区域匹配后建立起发送和接收方的映射关系(一对一或一对多).

每个实体的发送和接收数据都建立与区域的对应关系,从而建立区域、实体、数据之间的联系. RS 提供了仿真实体间灵活的数据供求关系描述方式,我们称订购区域和公布区域信息为过滤信息.通过对过滤信息的匹配计算,建立起数据源与一组目的结点间的对应关系(确定了实体的感兴趣集合),并根据这种映射关系指导数据的产生和路由.如图 1 所示为基于过滤信息匹配计算的数据分发管理机制示意图.



①发送方,②实体对象,③建立,④本地公布区域集,⑤远地定购区域集,⑥映射,⑦公布数据集,⑧过滤信息,⑨匹配,⑩定购者集合,⑪建立连接(分配多播组),⑫数据发送,⑬接收方,⑭本地定购区域集,⑮远地公布区域集,⑯定购数据集,⑰输入队列,⑱接收数据,⑲组播骨干网络。

Fig.1 Principle of data distribution management

图1 数据分发管理机制

## 2 数据分发管理中组播地址分配机制的实现

### 2.1 组播地址分配问题

匹配计算确定了实体感兴趣集合(实体的局部相关关系),建立了数据源与一组目的结点间的对应关系,这种一对多的通信模式对组播通信很适合<sup>[9]</sup>。为了利用底层网络提供的组播通信功能,就必须为这种映射关系分配组播地址。一般来说,经过匹配计算后,一个数据源和目的地的映射关系有如下的表示:

$$M(S, \bigcup_{i=1}^n d_i).$$

其中  $S$  为数据源,  $d_i$  为  $S$  的某个目的地,  $\bigcup_{i=1}^n d_i$  为  $S$  的目的地集合。组播通信首先要为这种映射关系分配一个组播地址,并指导  $S$  对应的结点机开始发送数据到此组播地址上,指导  $\bigcup_{i=1}^n d_i$  对应的结点机集合加入到此组播地址。

目前,分布交互仿真系统中的组播地址分配可划分为以下3类:

- 基于数据(data-based)的组播地址分配方案(DB)。以数据内容作为衡量准则确定组播地址的分配,满足一定条件的仿真实体都对应于一个固定的组播地址。
- 基于数据源(source-based)的地址分配方案(SB)。以数据的产生方为依据,为每个数据源分配组播地址,根据数据源粒度的不同可以是仿真实体、仿真结点机、仿真结点机所在局域网站点等。
- 基于接收方(receiver-based)的分配方案(RB)。以数据目的地为依据,为每种目的结点组合方案分配组播地址。

网格法(grid-based)是一种常用的DB分配方案,它将路径空间划分成等粒度的网格,每个网格对应于一个组播地址,实体加入与其公布(定购)区域相交的网格对应的组播地址,以发送(接收)数据。由于固定划分路径空间,网格法不需交换过滤信息以及进行匹配计算,简单、易于实现,但受网格固有精度的影响,其数据过滤效率较低。若通过减小网格粒度来提高精度则会使组播地址数目

急剧增加,不利于实现.而且,它作为早期原型系统实现中采用的方案目前已很少使用.

对于 SB 和 RB 分配方案,考察图 2 由 4 个仿真结点机(A,B,C,D)构成的仿真环境,仿真结点机上运行的仿真实体被一一编号.

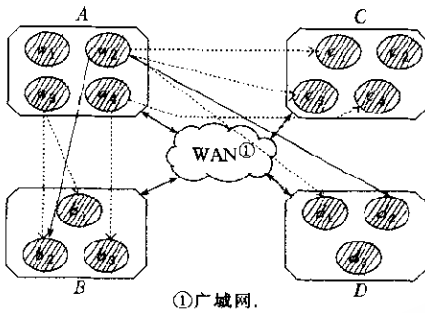


Fig. 2 Mapping relationship between simulation entities

图2 仿真实体间的映射关系

机上运行的仿真实体被一一编号.

图中箭头线表示了 A 的仿真实体作为数据源的各种映射关系,如下所示.

(发送方,数据单元) → {接收方集合}

$\langle a_2, DU_1 \rangle \rightarrow \{c_1, c_3, d_1\}$

$\langle a_2, DU_2 \rangle \rightarrow \{b_2, c_2\}$

$\langle a_3, DU_3 \rangle \rightarrow \{b_1, b_2\}$

$\langle a_4, DU_4 \rangle \rightarrow \{b_3, c_4\}$

其中  $a_2$  有两种映射关系,分别对应于  $a_2$  中两份不同的数据单元  $DU_1$  和  $DU_2$ . RB 方案要为每种接受方的组合

分配一个组播地址,即需为 A 分配 4 个组播地址.这种分配方案,每个待发送的数据包都不会被误送到不相关的仿真结点.因此,仅从过滤效率因素考虑,采用 RB 方案最为高效,它能使仿真节点无冗余数据的接收.但 RB 为每个映射关系分配一个组播地址,这需要较多的组播地址资源.一般地,若系统中存在  $N$  个仿真结点机,以结点机粒度为单位作为接受方,则可能存在的组播地址需求量为  $2^N - 1^*$ .由于组播地址是一种较稀有的资源,受操作系统缓冲区等资源的限制,现有的计算机平台能同时支持的组播地址数目也是有限的,典型的计算平台能支持的组播地址数目为几十~几百个,因此,当系统规模较大时,不可能为每种映射关系都分配一个组播地址.

采用 SB 分配方案一般有较少的组播地址使用量,因为它是以数据源而不是以接收方的各种组合来分配组播地址的.如上例中,若以实体粒度为单位,则 A 需分配 3 个组播地址;若以仿真结点机为单位,则 A 仅需分配一个组播地址.一般地,系统中存在  $N$  个仿真结点机,若以结点机为粒度分配组播地址,则系统需要的组播地址数量为  $N$ .采用 RB 方案虽然有较少的组播地址分配量,但由于传输数据通信信道(组播地址)分辨率存在不足,因此影响了数据过滤效率.如图 2 中为实体  $a_2$  分配了一个组播地址  $MC_1$ ,A(实体  $a_2$  所在的结点机)向  $MC_1$  中发送数据.由于数据单元  $DT_1$  和  $DT_2$  共用  $MC_1$  信道,结点 B,C,D 都要加入组播地址  $MC_1$ ,这就造成 C 接收冗余数据  $DT_2$  及 D 接收冗余数据  $DT_1$  的现象.冗余数据浪费了一部分网络带宽,同时也占用了宝贵的处理机资源.

## 2.2 基于层次结构化的组播地址分配管理方案

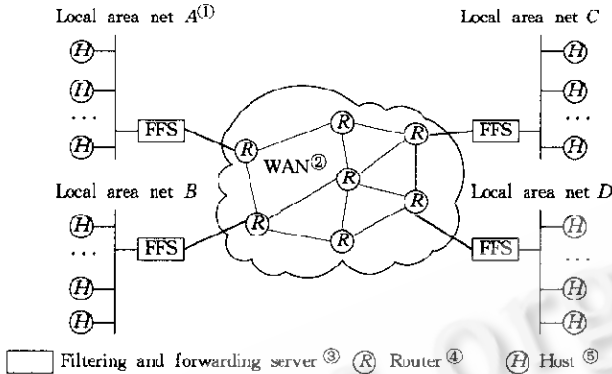
### 2.2.1 基于层次结构化的组播地址分配的结构模型

有效的数据分发管理机制应能充分开发仿真应用的局部性特点,利用组播通信的优点进行高效的数据过滤.鉴于现有的计算平台对组播地址数量的支持能力有限,使得不能利用 RB 方案进行地址分配,而采用 SB 方案则会增加网络冗余数据量,从而降低数据过滤机制所带来的好处.因此,要求在过滤信息匹配计算结果的基础上建立一个有效的组播地址分配管理机制,在可行性的前提下获得较高的数据过滤效率.

为了能有效地解决组播地址需求量和结点机冗余数据接收之间存在的矛盾,我们提出了一个

\* 这个问题等价于为  $N$  个接收方的每种排列组合(即接收方的每种组合形式)分配一个组播地址,因此组播地址总量有如下的表达式:  $C_N^1 + C_N^2 + C_N^3 + \dots + C_N^N = 2^N - 1$ .

层次化的组播地址分配策略,如图3所示.



①局域网,②广域网,③过滤转发服务器,④路由结点,⑤仿真结点机.

Fig.3 Hierarchical model of distributed interactive simulation  
图3 分布交互仿真系统层次结构模型

每个局域网称为仿真系统的一个站点,站点内部有若干仿真结点机.在每个站点中设置过滤转发服务器 FFS(filtering and forwarding server).该服务器的主要功能是:

(1) 进行区域匹配计算,并根据匹配结果分配组播地址;

(2) 本地站点内的数据转发到外部相关站点,从外部站点接收本地仿真结点机所需的数据,并转发给相应的站内结点机.

### 2.2.2 基于层次结构化的组播地址分配基本原理

层次化的组播地址分配策略的基本原理是:为每个站点的 FFS 分配一个固定的组播地址,在站点一级采用基于源的分配方案,而对于站点内部的结点机,FFS 以基于接收方的方式为结点机分配组播地址.

FFS 记录内部各仿真结点机间的过滤信息(区域信息),以及 FFS 之间交换的来自其他站点的数据供求描述信息(外部站点内仿真结点机的过滤信息的集合).根据对内部和外部过滤信息的匹配计算,FFS 可以确定站点内部的结点机是否与外部结点机相关(是否存在数据发送和接收关系).

设  $FFS_i$  为仿真站点  $i$  的过滤转发服务器,若站点内部仿真结点机产生的数据有外部接收结点,则  $FFS_i$  首先根据内部接收方的组合按 RB 方法为它们分配组播地址(如果存在内部接收方),并指导他们加入此组播地址以接收来自内部结点机的数据.同时, $FFS_i$  将接收到的来自站点内部的数据向与其对应的固定的组播地址  $MC_j$  发送;如果某一外部站点  $j(i \neq j)$  需要此数据,则  $FFS_i$  自动加入组播地址  $MC_j$ , $FFS_i$  事先已根据其内部结点的订购信息按照 RB 法为这种接收方的组合分配了组播地址,当  $FFS_i$  接收到数据后,自动将数据转发到此组播地址上.转发服务器中记录的数据转发格式为

数据源	发送通道
〈站点,结点机,实体〉	〈组播地址〉

根据过滤信息匹配结果,若〈组播地址〉不为空,则说明有外部接收方,这时将数据发送到站点对应的组播地址通道上.接收服务器维护如下信息:

数据源	站点内部接收结点集合	发送通道
〈站点,结点机,实体〉	$\sum_{i=1}^j H_i$	组播地址

由于转发的信息格式为〈数据,数据源〉,一旦服务器接收到数据后,可查表获得接收方集合及其对应的组播地址,通过组播发送给内部结点机。

由于站点内部结点机之间的数据发送和接收按 RB 组播地址分配方案进行,结点的分组划分解决了接收方的组合爆炸问题,站点采用 SB 组播分配方案,由 FFS 根据过滤信息的匹配结果实现数据的过滤与转发,以保证结点机不会接收来自无关结点的数据。

### 2.2.3 组播地址分配及数据转发算法描述

组播地址的分配以及数据的转发是在区域匹配基础上进行的. 这里我们主要关心组播地址的分配和数据转发的实现,因此简化了对过滤信息匹配计算部分的描述,着重介绍根据匹配结果进行组播地址的分配及数据过滤转发的过程。

设  $FFS_i$  为站点  $i$  上的过滤转发服务器,  $H_i^l$  为站点  $i$  内部的仿真结点机  $l$ , 则  $FFS_i$  上的过滤信息可分为内部与外部过滤信息两类。

内部过滤信息——记录来自内部结点机的过滤信息,用如下的二元式表达:

订购信息:  $\langle H_i^l, s_i^l \rangle$ ;

公布信息:  $\langle H_i^l, p_i^l \rangle$ 。

其中  $RS_k$  表示路径空间  $k$ ,  $s_i^l$  与  $p_i^l$  分别表示  $H_i^l$  在  $RS_k$  上的订购区域及公布区域集合。

外部过滤信息——记录外部站点一级的过滤信息,由各个 FFS 之间的过滤信息交换得到,用如下的二元式表达:

订购信息:  $\langle FFS_j, \sum_{m=1}^n s_j^m \rangle$ ;

公布信息:  $\langle FFS_j, \sum_{m=1}^n p_j^m \rangle$ 。

$FFS_j$  表示站点  $j$  上的过滤转发服务器,  $\sum_{m=1}^n s_j^m$  和  $\sum_{m=1}^n p_j^m$  分别表示站点  $j$  所有内部结点机的订购区域和公布区域集合,  $n$  为站点内部仿真结点机的数目。

某一站点  $i$  的过滤转发服务器  $FFS_i$  的组播分配及数据转发算法描述如下。

#### 算法. 组播分配及数据转发算法

/\* 变量说明:  $n_i, n_j$  分别为站点  $i, j (i \neq j)$  内部的仿真结点机数目;  $N$  为仿真系统中站点(局域网)的数目;

1. /\* 初始化: \*/

为每个  $FFS_i$  分配一个固定的组播地址  $MC_i$ ;

2. /\* 过滤信息匹配计算: \*/

$Set_i^l, Out_i, Rcv_i = \emptyset$ ; /\* 初始化 \*/

$Set_i^l = s_i^l \cap \sum_{m=1}^{n_j} p_j^m (m \neq l, l = 1, \dots, n_i)$ ; /\* 判定内部接收结点机集合 \*/

$Out_i = \sum_{m=1}^{n_i} p_i^m \cap \sum_{j=1}^{n_j} s_j^m (j = 1, \dots, N)$ ; /\* 判定外部接收站点集合 \*/

$Rcv_i^l = \sum_{m=1}^{n_i} s_i^m \cap \sum_{j=1}^{n_j} p_j^m (j = 1, \dots, N)$ ; /\* 判定接收外部站点  $j$  的内部结点机集合 \*/

3. /\* 分配组播地址: \*/

① 若  $Set_i^l \neq \emptyset$

则  $FFS_i$  根据  $Set_i^l$  分配组播地址  $MC_i^l$  (RB 方案), 并指导  $H_i^l$  (接收方集合  $Set_i^l$  的源) 向  $MC_i^l$  发送数据, 以及  $Set_i^l$  中的结点机加入  $MC_i^l$  中接收数据;

② 若  $Rcv_i^l \neq \emptyset$

则  $FFS_i$  根据  $Rcv_i^l$  分配组播地址  $MC_i^l$  (RB 方案), 并指导  $Rcv_i^l$  中的结点机加入  $MC_i^l$  中以接收数据;

## 4. /\* 向外部站点外发送数据: \*/

若  $Out_i \neq \emptyset$  /\* 存在外部仿真结点机,它(们)对本站点内部产生的数据感兴趣 \*/

则 若  $Set_i = \emptyset$  /\*  $H_i$  只有外部接收方,因而没给  $H_i$  按 RB 方案分配组播地址 \*/

则指导  $H_i$  向 FFS, 对应的地址  $MC_i$  发送数据;

否则 FFS 加入地址  $MC_i$ , 同时转发数据到地址  $MC_i$ ;

## 5. /\* 从外部站点接收数据: \*/

若  $Rcv_j \neq \emptyset$

则 FFS 加入  $Rcv_j$  中外部站点对应的组播地址以接收外部相关数据,并将来自站点  $j$  的数据转发到内部接收结点集合所对应的组播地址  $MC_j$ .

站点内部结点机间的发送和接收的关系按 RB 方案进行组播地址分配,FFS 维护一个站内结点机作为接收方的组播地址分配表格,如果涉及到数据出入站点,则由 FFS 根据此表格转发(向外或向内)到对应的组播地址通道中,从而使结点机避免了不相关数据的接收。

### 2.3 与相关工作的比较结果

分布交互仿真、网上视频会议、股票信息发布等新型网络应用内在的通信模式都要求组播通信的支持。目前,在分布交互仿真的应用中也已进行过组播通信的试验,具有代表性的是 S. Srinivasan 等人在文献[10]中提出的通用的仿真数据组播通信实现方法。该方法也是基于系统结构层次划分,其基本原理是:在站点内部的结点机之间采用组播通信方式,在服务器一级则采用广播方式发送数据,由站点上的 FFS 来侦听和接收广播数据,并根据站点内部结点机数据订购情况以组播方式转发给相应的结点机,称此方法为广播转发(broadcast forwarding,简称 BF)。显然,采用 BF 方法也能保证结点机不会接收到冗余数据,其优点是服务器之间不需要进行过滤信息的交换,实现较为简单。但其存在的主要缺点是:由于在服务器一级采用广播通信方式,因此不能减少广域网上仿真数据流量,且大量的冗余数据加重了 FFS 的网络处理负载,使得过滤的效果大打折扣。

根据仿真的局部性特点,实体感兴趣集合随系统规模增长趋于稳定,仿真实体感兴趣实体也相对集中在某些站点内,而不是分布在所有站点上。例如,典型的仿真应用系统 STOW (synthetic theater of war)<sup>[11]</sup>由若干个仿真站点组成,这些站点分别包括海、陆、空等不同类型的军事仿真应用平台(仿真实体的宿主),每个站点内部的仿真实体在类型上较为接近,且特定类型实体间存在一定的相关关系(如陆地与陆地类型实体之间、陆地与空中类型实体之间、海上与空中类型实体之间),这些特点决定了在系统一级上与某个实体潜在相关的站点类型及数量。

若采用 BF 方法进行组播分配,无疑浪费了宝贵的网络带宽资源,使数据过滤的效果大打折扣,并且广播转发方式会给转发服务器带来较大的网络处理负载。采用 FF 方法可充分发挥数据过滤机制的优点,减少广域网流量和数据转发服务器的负载。我们通过模拟的方法比较了广播转发 BF 和过滤转发 FF 对广域网流量的影响。基于如图 3 所示的系统结构,假设分布交互仿真系统由  $N$  个站点组成,任何一个仿真结点机的相关站点\*的数量遵循正态分布的原则,仿真结点机数据发送率为 1pkt/s。我们以各站点上 FFS 的数据接收总量来衡量广域网上的仿真数据流量,图 4 比较了广播转发 BF 及采用过滤转发 FF 方法下相关站点数目的均值分别为 5,10,15,20 时的网络流量(图中对网络流量轴按比例进行了规整)。由图 4 可知,由于采取了服务器一级的过滤(通过过滤转发服务器间的组播通信),因而能有效地降低广域网上仿真数据的流量。

\* 若一个仿真结点机的数据为某个站点内部一个(或多个)仿真结点机所订购,则称此站点为仿真结点机的相关站点。

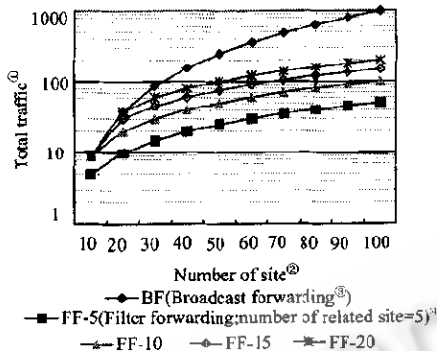


Fig. 4 Effect on WAN traffic of FF and BF algorithm

图4 FF与BF方法对广域网数据流量的影响

## 2.4 可行性分析

通过层次化的系统结构划分,大大减少了组播地址使用量.设 $N$ 为系统仿真结点机数目, $n$ 为站点内部仿真结点机个数,则每个站内部结点机组播地址最大使用量为 $(2^n-1)$ ,为每个FFS分配的地址数量共有 $\frac{N}{n}$ ,总的地址需求量为 $\frac{N}{n}(2^n-1) + \frac{N}{n}$ .表1比较了基于系统结构化层次划分与RB分配方案的组播地址需求量随规模变化的情况.

Table 1 Comparison of multicast address requirement between two strategies

表1 两种组播分配策略的组播地址需求量比较

System scale <sup>②</sup> ( $N$ )	Address allocating strategy <sup>①</sup>			
	RB	Hierarchical dividing of structure( $n$ is the number of site nodes) <sup>③</sup>		
		$n=5$	$n=10$	$n=15$
10	1 023	64	1 023	—
15	32 767	96	—	32 767
20	1 048 575	128	2 048	—
25	33 554 431	160	—	—
30	1 073 741 823	192	3 071	65 536

①地址分配方案,②系统规模( $N$ ),③结构层次划分( $n$ 为站点内结点数).

设置FFS有一定的代价,即数据转发带来一定的延迟.这种延迟可以通过提高FFS的数据转发能力来降低,如文献[12]中通过设置两个网卡分别用于数据的发送和接收(类似于路由器)来降低延迟.另外,通过外推(dead reckoning)等技术也能有效地降低时间延迟带来的影响,限于篇幅,本文不再赘述.系统设置FFS有另外两个显著优点.(1)有利于仿真数据的可靠发送的实现.分布交互仿真应用中某些数据(如交互信息、地理数据信息)必须可靠地加以发送.在功能上对FFS加以扩展后,可实现仿真数据的可靠发送.由它负责处理本地站点内部结点机的数据重发请求,可减轻源结点数据重发负担,并能有效降低数据重发带来的延迟,有利于系统整体性能的提高.(2)有利于数据打包(data bundling)的实现.仿真发送的数据大部分为短消息(典型的为140字节左右).频繁的短消息发送会造成数据包冲突,降低网络带宽的利用率.利用FFS可以将内部不同结点发送到外部的数据进行打包(以时间片或数据包长度为单位),形成较长的数据包以提高网络带宽的利用率.

实现中对于组播地址资源的分配,可以在仿真运行初始化文件(仿真运行时可公共访问的文件)中为每个FFS指定一个组播地址,并为每个FFS分配一部分组播地址资源,以供其为内部结点集合的分配.



### 3 结束语

未来的分布交互仿真应建立在因特网之上,以便于仿真应用的普及开展.受系统资源的限制,因特网环境下的分布交互仿真面临的主要问题是系统可扩缩性.HLA 框架下利用仿真实体存在的“感兴趣集合”的特点以及网络的组播通信功能,可有效地控制数据的产生以及接收范围,从而大大降低了网上冗余数据对带宽及仿真节点处理机资源的占用,对分布仿真系统可扩缩性具有重要意义.数据分发管理机制必须充分利用组播通信技术的优点,它涉及到匹配算法和组播地址管理的有效结合.

本文提出了一个基于系统结构层次划分的组播地址分配管理策略.层次划分能有效地解决组播地址资源使用量的问题,从而解决了典型组播地址分配方案在地址需求量和数据冗余接收之间存在着矛盾.我们在 HLA/RTI 的实现中应用了该方法.层次划分还有利于可靠组播数据发送及数据打包技术的采用,为系统整体性能的提高提供了可能,这是我们下一步研究的主要内容.

### References:

- [1] Fullford, D. Distributed interactive simulation: it's past, present and future. In: Brunner, D., ed. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Coronado, CA: ACM Press, 1996. 179~186.
- [2] Defense Modeling & Simulation Office (DMSO). High Level Architecture Baseline Definition, 1996, <http://www.dmsomil>.
- [3] Miller, D. The DoD HLA and the next generation of DIS. In: Miller, D., ed. Proceedings of the 14th Distributed Interactive Simulation Workshop. Orlando, FL: IEEE Computer Society Press, 1996. 799~806.
- [4] Swaine, S., Stapf, M. Large DIS exercises-100 entities out of 100000. In: Medin, L., ed. Proceedings of the 16th Inter-service/Industry Training Systems and Education Conference. Orlando, FL: IEEE Computer Society Press, 1994. 4~13.
- [5] Cheung, S.E., Loper, M.L. Traffic characterization of manned-simulators and computer generated forces in DIS exercises. In: David, K., ed. Proceedings of the 5th Annual Conference on AI, Simulation, and Planning in High Autonomy Systems. Gainesville, FL: ARPA/ARO (Army Research Office), 1994. 70~76.
- [6] Van Hook, D.J., Rak, S.J., Calvin, J.O. Approach to relevance filtering. In: Miller, D.C., ed. Proceedings of the 11th Distributed Interactive Simulation Workshop. Orlando, FL: IEEE Computer Society Press, 1994. 367~372.
- [7] Macedonia, M. Exploiting reality with multicast groups: a network architecture for large scale virtual environments. IEEE Computer Graphics and Application, 1995, 15(5):38~45.
- [8] Shi, Yang, Jin, Shi-yao, Zhang, Chen xi. Server Based hierarchical filtering scheme in distributed interactive simulation. Journal of Software, 1999, 10(10):1067~1072 (in Chinese).
- [9] Powell, E.T. The use of multicast and interest management in DIS and HLA application. In: Miller, D.C., ed. Proceedings of the 15th Distributed Interactive Simulation Workshop. Orlando, FL: IEEE Computer Society Press, 1996. 251~260.
- [10] Sudhir, Srinivasan, de Supinski, B.R. Multicasting in DIS: a unified solution. Technical Report, CS-95-17, Charlottesville, Department of Computer Science, University of Virginia, 1995.
- [11] Wang, Cheng-wei. Virtual reality and distributed interactive simulation. Computer Research and Development, 1998, 35(12):1058~1063 (in Chinese).
- [12] Kerr, R., Dobosz, C. Reduction of PDU filter time via multiple UDP ports. 95-13-055, 1995. <http://www.dmsomil/docs>.

### 附中文参考文献:

- [8] 史扬,金士尧,张晨曦.分布交互仿真中基于 Server 的层次过滤机制.软件学报,1999,10(10),1067~1072.
- [11] 汪成为.虚拟现实和分布交互仿真.计算机研究与发展,1998,35(12):1058~1063.

## A Hierarchical Multicast Address Allocating Strategy in Data Distribution Management\*

SHI Yang<sup>1</sup>, LING Yun-xiang<sup>2</sup>, JIN Shi-yao<sup>2</sup>, ZHANG Chen-xi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Software Center, Navy Submarine Academy, Qingdao 256071, China);

<sup>2</sup>(School of Computer, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

E-mail: shi\_yang@netease.com

**Abstract:** HLA (high level architecture) is a new generation of technical framework for distributed interactive simulation which supports simulation interoperability and reusability. But distributed interactive simulations under Internet environment face the challenge of system scalability due to the limited resources of bandwidth and computation. HLA provides the possibility for system scalability through data distribution management (DDM). In this paper, the technical approach to DDM is discussed and a new strategy is proposed for multicast address allocation. This new strategy uses a hierarchical method to allocate addresses to solve the problem of contradiction between number of multicast addresses supported by hosts and the redundant data received by hosts. The new strategy also supports for the reliable transferring and data bundling of simulation data.

**Key words:** high level architecture; scalability; data distribution management; data filtering; routing space; multicast communication

\* Received January 6, 1999; accepted January 5, 2000

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69525205