

KD-RTI/ DDM 中的组播分配策略*

曲庆军, 刘秀罗, 吴作顺, 黄柯棣

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 组播技术的应用可以有效提高 RTI 的实现性能。介绍了组播分配的一般理论和实现方案, 详细展示了 KD-RTI 中的组播分配策略, 讨论了组播应用过程中出现的问题, 同时给出了解决方法。

关键词: 高层体系结构; 数据分发管理; 运行时间支撑结构; 区域; 兴趣管理; 组播

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Multicast Assignment Strategy in KD-RTI/ DDM

QU Qing-jun, LIU Xiu-luo, WU Zuo-shun, HUANG Ke-di

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Multicast can improve efficiently RTI's performance. We introduce general theories and implementation scheme of multicast assignment, display the multicast assignment strategy in KD-RTI, and discuss relevant problems in the process of using multicast, and give a resolution.

Key words: High Level Architecture(HLA); Data Distribution Management(DDM); Run Time Infrastructure(RTI); region; interest management; multicast

KD-RTI 是国防科技大学三院仿真实验室开发的一个仿真软件平台, 其中数据分发管理(DDM: Data Distribution Management)采用弱服务器实现模式。DDM 是其中的一项重要服务功能, 它的目的主要有两个: 一是尽可能减少不相关数据在联邦成员之间的流动, 减少网络带宽的占用; 二是降低联邦成员接收无关数据时引起的 CPU 处理开销。

数据分发管理是 KD-RTI 中兴趣管理的集中体现。在分布式仿真中, 由于感兴趣集合的存在, 任何一个实例的数据必须发送给集合内部其它实例, 同时尽量降低集合外部实例不相关数据的接收。因此, 分布式仿真中的数据传输是一种典型的点到多点的通讯模式, 组播技术的应用存在着客观基础。

1 组播理论

1.1 组播组分配一般模型

组播实际上定义了发送者和接收者之间的一个发送接收关系, 仿真数据的发送接收关系可表示为:

$$\langle \text{sender}, \text{receiver}, \text{data} \rangle$$

仿真实例及其所分配的组播组关系可表示为:

$$\langle P, M \rangle$$

其中, P 为所有参与发送或接收动作的实例; $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, 对于任意 $i (i \leq n)$, M_i 为 P 内部的一个数据发送接收映射关系。

1.2 组播组分配方案

在 HLA(高层体系结构)中, 联邦成员利用区域来表达自己的公布订购信息, RTI 根据公布和订购信息的匹配计算建立数据源与目的结点间的对应关系, 匹配计算确定了实例的感兴趣集合, 之后则要根

* 收稿日期: 2002-08-29

基金项目: 国家部委项目基金资助

作者简介: 曲庆军(1975-), 男, 博士生。

据实例间的局部映射关系分配组播组。

一个数据源和目的地的映射关系可以表示如下:

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

其中 s 为数据源, d_i 为 s 的某个目的结点机, $\bigcup_{i=1}^n d_i$ 为 s 的所有目的地集合。组播组通信首先要为这种映射关系分配一个组播组, 其次指导 $\bigcup_{i=1}^n d_i$ 对应的结点机集合加入该组播组中, 最后指导 s 对应的结点机向此组播组发送数据。

组播组有不同的分配方案, 主要存在以下三类:

① 基于网格的组播分配(grid-based)方案: 是一种典型的组播组分配方案, 在 HLA 1.3 规范中, 人们将路径空间划分成等粒度大小的网格, 每个网格对应一个组播组, 实例加入与其公布(订购)区域相交网格对应的组播组以发送(或接收)数据。但是在 IEEE 1516 规范中, 网格法需要将所有维组成一个路径空间, 之后实现网格划分, 然后将每个网格分配一个组播组, 该方案过滤效率较低。

② 基于发送方(sender-based)的地址分配方案: 以数据的产生方为依据, 为每个数据源分配组播组。根据数据源粒度的不同, 可以是仿真对象实例, 仿真结点机, 仿真结点机所在的局域网等。基于该方案, 在数据发送方和接收方之间必定存在公布订购信息交互, 只有根据这些公布订购信息, 数据发送方才能正确地指导接收方加入相应的组播组。

③ 基于接收方(receiver-based)的分配方案: 以数据目的地为依据, 为每种目的结点的组合分配组播组。在 HLA 中, 由于数据接收成员不断地进行动态变化, 基于接收方的分配方案, 需要不断地为变化的接收方动态地分配组播组, 从而浪费许多 CPU 资源, 但是该方案最大限度利用了组播组资源。

在实现 IEEE 1516 规范中, 采用基于网格法的组播组分配方案, 其过滤效率变得过低, 而基于接收方的数据又与 DDM 目标相矛盾, 因此, 在 DDM 弱服务器模式体系结构中, 采用基于数据源的组播地址分配方案。

2 KD-RTI/DDM 中的组播分配策略

在 IEEE 1516 中, 更新对象属性、发送交互都需要和区域进行关联。而联邦成员订购时却能订购到对象类和交互类层次。因此, 如何选择数据源的粒度成为一个重要问题。

当数据源粒度采用联邦成员、对象类时, 网络上虽然存在较少冗余数据, 但是由于发送方没有足够的粒度分辨能力, 使得很多成员接收到无关数据, 从而引起处理机 CPU 资源的浪费。当数据源粒度采用实例属性时, 网络组播组资源是一种稀缺资源, 在中小型仿真应用中, 实例可能存在几百到数千, 每个实例一般存在至少 10 个属性, 再加上交互类消耗的组播组和 RTI 系统消耗的组播组, 因此基于属性实例(Attribute Instance)的实现不太现实, 尽管该方法能够实现较为精确的数据过滤。

Watsen 和 Zyda 在研究早期 DIS 仿真应用时发现, 人们主要关心的是仿真实体及其状态, 当对每个仿真实体采用组播通信方式时, 在带宽和 CPU 消耗方面具有较为理想的效果^[3]。同理, 在 HLA 中, 如果每个实例(Object Instance)具有自己的组播组地址, 联邦成员在数据发送和接收上能够实现效果最优。

在 HLA 中, 所有的交互类具有相同的类句柄。当联邦成员发送交互时, 为了保证足够的粒度分辨能力, 区分出哪一个联邦成员在进行发送交互, 防止联邦成员发送交互时之间的相互干扰, 每个成员的每个交互类分配一个组播组。

根据上述原因, 在 DDM 1516 中, 采取如下组播组分配策略:

① 每个联邦成员的每个对象实例分配一个组播组

② 每个联邦成员的每个被发送交互类分配一个组播组

由于 DDM 采用弱服务器模式, 每个联邦成员的局域 LRC(Local RTI Component)具有一定的自主能力, 它们能够独立地分配与自己注册实例相关联的组播组。同理, 当联邦成员公布交互类时, LRC 为

该交互类分配一个关联组播组。当联邦成员分配组播组时, 为了防止各个联邦成员分配的组播组相互重叠, 必须首先实现对全局组播组空间的有效划分, 然后由成员在自己的子组播空间内独立自主地分配组播组, 如图 1 所示。

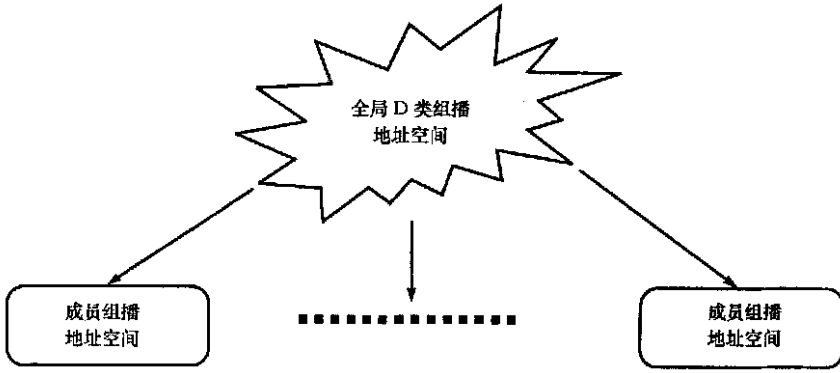


图 1 组播空间分配示意图

Fig. 1 Assignment of multicast address

每个联邦成员在自己的子组播空间内分配组播地址, 最后组播地址由如下要素组成: 联邦 ID、联邦成员 ID 和联邦成员自主分配递增整数, 如图 2 所示。其中联邦 ID 是考虑多联邦互联时的组播地址分配格式。

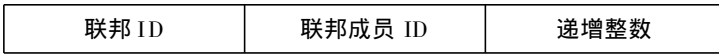


图 2 联邦成员组播地址形成方式示意图

Fig. 2 Multicast address components of federate

3 组播组在 DDM 弱服务器模式中的具体应用

对象实例注册时, 联邦成员为该实例分配一个关联组播地址。当实例进行属性更新时, 联邦成员首先调用属性区域关联服务, 将属性和更新区域进行关联, 然后根据局域 LRC 中的其它成员的区域定购信息进行匹配计算, 得出实例属性的接收成员, 之后更新成员利用 LRC 向接收成员发送加入组播组消息, 最后更新成员再向该组播组中发送相应的对象属性。

HLA 仿真应用中的区域信息在不断地进行动态变化, 包括三种情况: (1) 当对象实例在分布式虚拟环境中运动时, 将会引起实例更新区域的变化; (2) 其它成员根据当前状态更改自己的定购信息; (3) 联邦成员发送交互行为的关联区域是瞬时的。因此, 实例属性的接收成员也会随着公布定购信息的不同而不同。

当实例属性的接收成员变化时, 由于先前的属性更新已经引起一些联邦成员加入该实例关联的组播组, 因此, 通过比较前后两次接收成员的变化, 可以得出接收成员存在如下情况: (1) 该联邦成员先前位于组播组中, 而当前不属于接收成员集合; (2) 该联邦成员先前没有加入组播组, 而当前需要加入该组播组; (3) 该联邦成员先前位于组播组中, 而当前仍然属于接收成员集合; (4) 该联邦成员先前没有加入组播组, 而当前仍不属于接收成员集合。对于第一种情况, 更新成员需要向该成员发送“退出组播组”消息; 对于第二种情况, 更新成员需要向该成员发送“加入组播组”消息; 而对于第三、四种情况, 更新成员不需要发送任何消息。图 3 详细解释了区域变化时组播组内成员的变化情况。

在图 3 中, (a) 假设存在一个公布成员, 该成员内存在一个对象实例, 且该实例关联一个特定组播组; (b) 表示该对象实例存在四个定购成员, 当该对象实例进行第一次更新时, 根据公布定购信息进行匹配计算, 得出定购成员 2 和成员 3 需要加入该实例的关联组播组, 之后实例向该组播组发送属性更新; (c) 表示当公布定购再次改变时, 实例需要重新进行区域匹配计算, 得出相应的接收成员, 之后和先前组

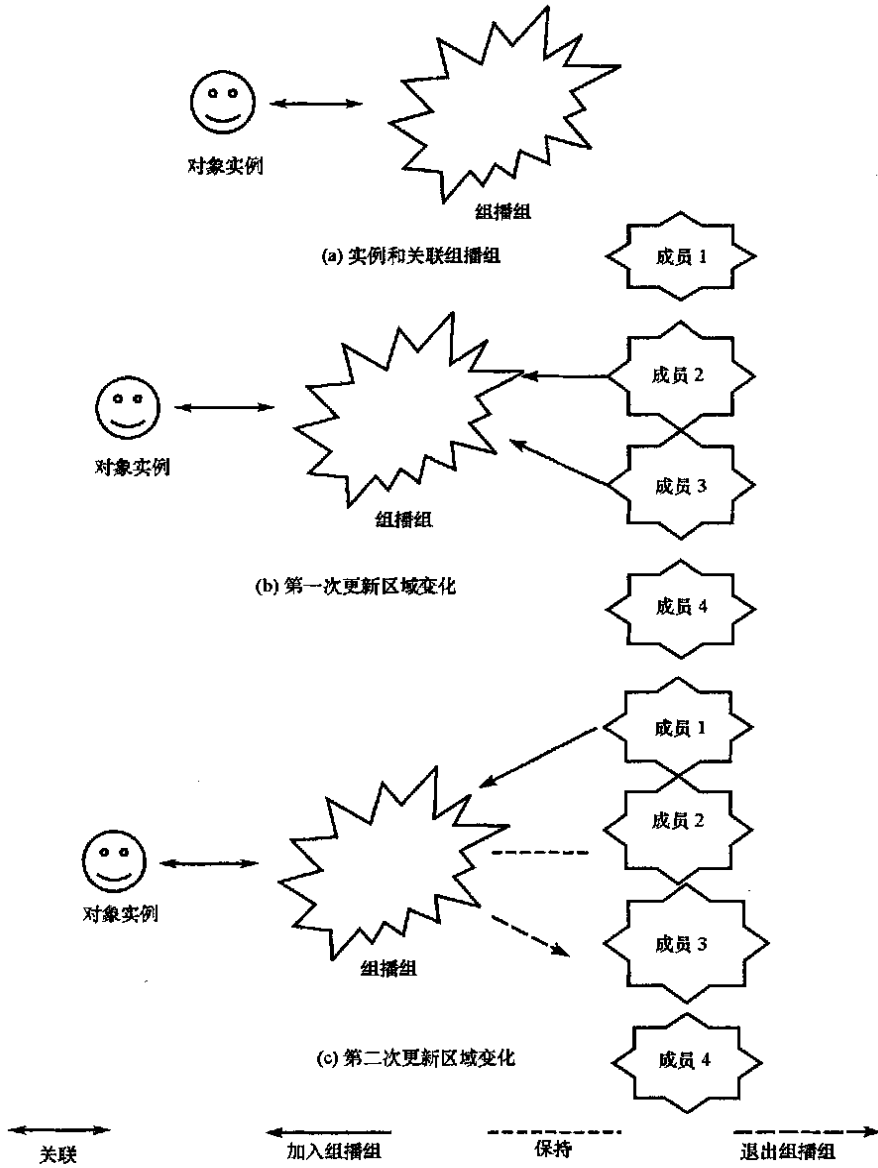


图 3 区域动态变化时组播组的具体应用

Fig. 3 Multicast application when regions are dynamic

播组内的接收成员进行比较, 得出组播组内的变化成员, 更新成员在通知组播变化成员后, 最后向该组播地址发送属性更新。

同理, 当联邦成员公布交互类时, 该成员中的 LRC(局域 RTI 组件) 为每个交互类关联一个组播地址。在联邦成员利用数据分发管理服务发送交互时, 该成员中的 LRC 利用保存的其它成员的订购区域信息, 匹配计算出该交互的接收成员集合, 然后通知相应的接收成员加入该交互类关联的组播组中, 最后发送成员向该组播组内发送交互数据。当该联邦成员随后第二次发送交互时, LRC 同样进行匹配计算得出相应接收成员集合, 然后将当前接收成员集合和先前接收成员集合进行比较, 得出“加入”、“退出”成员, 在这些成员实现相应的加入或退出后, 最后向组播组中发送该交互数据。

4 组播应用存在的问题和解决方法

在 HLA 中, 组播应用能够减少网络冗余数据的传输, 提高网络带宽的利用, 能够有效地满足数据分发管理服务的目标。但是, 在 KD-RTI 数据分发管理弱服务器模式实现测试过程中, 发现测试模型中存在着数据更新“丢包”现象。

测试模型采用如下方式:假设存在一个联邦,该联邦拥有两个联邦成员,其中一个联邦成员不断注册对象和发送属性更新,另一个联邦成员订购对象类,且在发现该实例后迅速进行实例注册和反射相同属性更新。第一个成员根据属性更新次数和反射属性次数进行比较,判断是否存在“丢包”现象。

在测定更新频率下,当实例属性更新采用不可靠传输,即应用组播组传输实例属性时,第一个联邦成员更新次数和反射次数存在差别,也就是属性更新过程存在“丢包”现象。经过分析认为:当第一个成员注册对象实例后立即进行属性更新时,它需要向第二个成员依次发送“加入组播”消息和“属性更新”消息,而消息通过网络传输时存在一定时延,当第二成员在没能完成“加入组播”动作时,第一成员已经向第二成员发送“属性更新”消息,从而使得第二成员没能完成属性接收,当然也就不能反射相应的实例属性。

解决这个问题存在两种方法:(1)延迟实例注册服务和属性更新服务之间的时间调用。该方法牺牲 RTI 的一些性能,因此没有采用。(2)实例注册后的首次属性更新服务调用采用 TCP 协议传输,之后均采用组播传输。该方法能够有效地解决属性“丢包”现象。

在大规模 HLA 仿真应用中,网络上信息传输适量时,“加入组播”和“属性更新”消息之间存在着足够的时间延迟,该延迟使得接收方能够充分完成“加入组播”动作,客观上反而保证了各联邦成员消息之间顺序接收执行,属性“丢包”现象却没有发生。这也是一般分布式应用是数据弱一致性的原因,它涉及的因素较为复杂。

5 小 结

组播技术的应用能够有效提高 RTI 的性能,降低网络冗余数据的传输,提高网络带宽的利用率,减少接收成员 CPU 的资源浪费,充分满足 DDM 服务的两大目标要求。

参 考 文 献:

- [1] 曲庆军,等. 大规模虚拟环境中兴趣管理的研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(4): 485- 487.
- [2] 史扬. 新一代仿真技术框架 HLA/RTI 中数据过滤技术的研究和实现[D]. 长沙:国防科学技术大学,1999.
- [3] Abrams H A. Extensible Interest Management For Scalable Persistent Distributed Virtual Environments[D]. Dissertation. Naval Postgraduate School, Monterey, California. 1999.
- [4] 姜进磊, 杨光信, 史美林. 基于逻辑环的可靠多播协议[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(11): 1- 3.