

基于多播技术 RTI 时间管理服务设计的研究^{*}

李拥军¹ 刘步权²

(华南理工大学计算科学与工程学院 广州510641)¹ (国防科学技术大学计算机学院 长沙410073)²

摘要 高层体系结构 HLA 已经成为分布式仿真领域的热门技术,HLA 规范的核心是基于“公布/订购”关系基础之上的盟员间的数据交换策略,多播技术能够有效地适应这一需求并在众多的 RTI 软件中得到了广泛的应用。具有高可靠性要求的时间管理服务是 RTI 软件设计的难点,然而多播技术本质上是一种不可靠的 UDP 数据传输方式,本文提出了一种使用多播技术来实现时间管理中最大可用逻辑时间 GALT 计算的机制。

关键词 高层体系结构,多播,时间管理,最大可用逻辑时间

Research for the Design of Time Management Services in RTI Based on Multicast

LI Yong-Jun¹ LIU Bu-Quan²

(School of Computer Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)¹

(School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073)²

Abstract High Level Architecture has been one of the hottest technologies in distributed simulation area. The key idea in HLA is the Publishing/Subscribing policy of data exchange among federates, and multicast protocol can effectively adapt to this demand and in fact has been widely applied into many RTI software. Time management with high reliability is one challengeable question in designing RTI software, but multicast protocol is a non-reliable UDP data-exchanging mechanism essentially. In this paper, a reliable implementing technology based on multicast protocol is put forward in computing GALT (Greatest Available Logical Time) in time management.

Keywords High level architecture, Multicast, Time management, GALT

1 引言

为了满足大规模、多军种协同作战和仿真训练的需要,美国国防部在已有的各种仿真应用的基础上提出了高层体系结构 HLA (High Level Architecture)^[1~4] 标准,用以指导美军的各种仿真。现在,基于高层体系结构 HLA 的仿真技术已经发展成为分布式仿真领域的热门技术,受到了各国学者的普遍关注。

目前有两种 HLA 标准,即美国国防部建模和仿真办公室 DMSO 制订的 HLA 1.3^[5] 以及国际标准化组织 IEEE 制订的 IEEE 1516 标准^[1~4]。由于后者是在前者的基础上修改和完善而成的,因此后者比前者更严密、更合理。本文将遵循 IEEE 1516 标准来分析和阐述问题。

自从 HLA 标准提出之后,各国的科研机构纷纷加入到 HLA 技术的研究行列,并且开发了许多有效的仿真运行支持平台 RTI (Runtime Infrastructure) 软件。HLA 中的核心思想是“公布/订购”关系,而按照 HLA 标准实现的软件则被称之为 RTI。在 HLA 中,盟员 (Federate) 程序之间并不能够直接通信,一个盟员只能将信息公布给 RTI,或从 RTI 订购信息;这样,当公布盟员向 RTI 更新消息时,RTI 会将该消息发送给所有的订购盟员。因此,HLA 的“公布/订购”思想是一种典型的“一点”对“多点”的消息传输机制,而这正好符合多播机制的实现原理。事实上,很多 RTI 软件都采用了多播技术来完成消息在网络中的传输。

时间管理服务是 RTI 中最难实现的核心部件之一,它的主要特点在于时间管理机制必须采用可靠的消息传输机制,而多播是一种基于 UDP 协议的不可靠消息传输机制。如何采用多播技术实现 RTI 软件中的时间管理服务正是本文所要研究和解决的问题。

本文第2部分简要介绍了 HLA 的基本内容;第3部分论述了 HLA 中的时间管理服务;第4部分解释了多播技术的基本原理;第5部分描述了基于多播技术实现 RTI 中的时间管理服务的策略;最后进行了小结。

2 分布式仿真中的高层体系结构

高层体系结构 HLA 是一种最新的分布式仿真规范,并已广泛地应用于国民经济的各个部门。HLA 并不针对特定的仿真,而是可以适用于各类仿真的通用框架协议,旨在解决分布式仿真应用程序的互操作和可重用问题。HLA 主要由四部分组成:框架规则、盟员接口规范、对象模型模板 OMT (Object Model Template) 以及联盟开发和执行过程 FEDEP (Federation Development and Execution Process)。

2.1 框架规则

HLA 描述了十条规则用以指导 RTI 设计和仿真应用程序的开发。其中,联盟规则和盟员规则各设立了五条规则。这些规则依次是:(1)联盟必须包含一个符合对象模型模板规定的联盟对象模型 FOM (Federation Object Model);(2)联盟中所有与仿真相关的对象实例的表示应该在盟员中进行,而不

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(项目编号:10071097)。李拥军 博士生,副教授,主要研究领域为计算机网络体系结构、主动多播技术、网络计算。刘步权 博士,主要研究领域为分布式仿真、分布对象技术、操作系统。

是在 RTI 中进行;(3)在联盟执行期间,所有在盟员间交换的仿真数据都应该通过 RTI 进行;(4)盟员应该按照 HLA 接口规范与 RTI 通信;(5)同一实例属性在联盟执行的任何时刻最多只能为一个盟员所拥有;(6)盟员必须有一个符合对象模型模板规定的仿真对象模型 SOM (Simulation Object Model);(7)盟员应该能够更新/反射 SOM 中描述的任何实例属性,并能够发送/接收 SOM 中描述的交互实例;(8)在联盟执行期间,盟员能够动态转移或接收 SOM 中描述的实例属性的所有权;(9)盟员应能改变在 SOM 中描述的实例属性值的条件;(10)盟员应能管理好本地时间,以保证与其它盟员协同数据交换。

2.2 盟员接口规范

盟员接口规范描述了 RTI 和盟员之间进行信息传输的一套标准服务。IEEE 1516 标准定义的服务包括六大部分:联盟管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分发管理。

(1) 联盟管理。联盟管理服务用于管理联盟执行期间的活动,例如创建、加入和删除联盟;同步点的设置和使用;联盟的断点保存和恢复等功能。

(2) 声明管理。声明管理服务描述了基于对象类或交互类的“公布/订购”关系,确定了数据在网络中的数据流动形式。

(3) 对象管理。对象管理服务是指盟员更新实例属性和发送交互类的标准服务。所有的消息必须通过对象管理服务来进行。

(4) 所有权管理。所有权管理服务用于支持对象实例的属性所有权在联盟内从一个盟员转移给另一个盟员。

(5) 时间管理。时间管理服务确定了分布式系统中的消息排序机制,在下一节将会重点讨论。

(6) 数据分发管理。数据分发管理服务是一种基于“区域”的“公布/订购”方式,只有公布区域和订购区域重叠时,公布者的发送消息才能够发送到订购者。数据分发管理服务进一步减少了无关数据在网络中的传输。

2.3 对象模型模板

对象模型模板 OMT 规范定义了仿真中的对象、对象属性和对象间信息交互的格式,使仿真应用程序之间能够对需要交互的信息达成一致的理解,也便于仿真的重用。在一次仿真中流动的所有数据都必须按照对象模型模板的格式进行设置,这样在以后需要扩展仿真规模或者将现有的仿真集成到其它仿真中时能够实现“即插即用”。

2.4 联盟开发和执行过程

联盟开发和执行过程 FEDEP 是 2003 年 3 月制订的最新的 IEEE 标准。FEDEP 模型阐述了在一个联盟生命活动周期中必须遵守的 7 个步骤:定义联盟的目标、完成概念模型的分析、设计联盟、开发联盟、计划集成和测试联盟、执行联盟和准备结果输出、分析数据和评测结果。FEDEP 模型为基于 HLA 技术开发仿真应用提供了指导。

3 时间管理机制

时间管理服务主要用于保证接收者能够按照逻辑时间的大小接收分布式仿真中的消息,使得分布式仿真能够按照“因果关系”正确地表现仿真的真实场景。HLA 中的时间管理机制来源于并行离散仿真,分为保守推进机制和乐观推进机制两种。

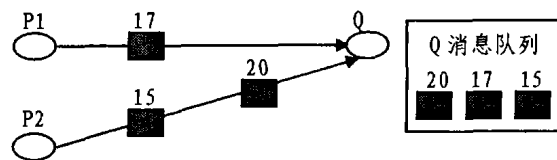


图1 保守推进机制的原理

在并行离散事件仿真中,图1描述了保守推进机制的基本原理。进程 P1 和 P2 向进程 Q 发送时戳为 17、20、15 的消息时,那么进程 Q 一定按照 15、17、20 的消息次序接收消息,而不会出现其它逆序的情形。而乐观推进机制则可以出现逆序的情形,但当任意时刻进程收到过时的消息时,需要通过回卷进程状态来保证仿真的正确进行。

在并行离散事件仿真中,时间管理和时间推进由进程自身负责;但在 HLA 中,时间管理由 RTI 进行,时间推进由盟员程序向 RTI 请求,由 RTI 决策并决定是否允许盟员进行时间推进。

在 HLA 中,盟员可以通过下列 5 个服务来实现时间的推进,前 4 个服务为保守推进服务,后一个服务为乐观推进服务。

- (1) TAR: Time Advance Request
- (2) TARA: Time Advance Request Available
- (3) NMR: Next Message Request
- (4) NMR A: Next Message Request Available
- (5) FQR: Flush Queue Request

由于 HLA 支持保守推进机制和乐观推进机制,以及两者的混合推进机制,因此当一个盟员向前推进时,RTI 首先确定是否能够允许该盟员向前推进,以及是否因为该盟员的推进能够带动其它盟员一起向前推进。时间管理通过设立一个时间推进的阈值来进行,当盟员推进的逻辑时间小于该阈值时,则同意其推进;若大于该阈值时则不能同意其推进并挂起它们(乐观推进机制例外)。在时间管理服务中,该阈值被命名为最大可用逻辑时间 GALT (Greatest Available Logical Time)。GALT 在 HLA 1.3 中被命名为 LBTS (Least Bound Time Stamp)。

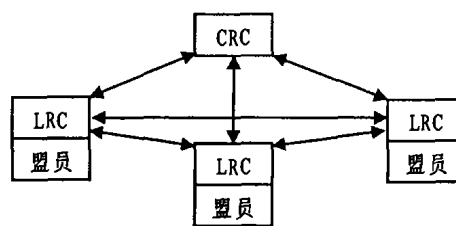


图2 分布式 RTI 体系结构

图2描述了 RTI 软件最常使用的一种分布式体系结构,在这种结构中,每个盟员程序设立一个局部 RTI 部件 LRC (Local RTI Component),在 LRC 之上设立一个负责全局控制的中央 RTI 部件 CRC (Central RTI Component)。所有 LRC 和 CRC 构成一个逻辑上的 RTI,盟员消息的发送和接收等都必须通过 LRC 进行。通常的 RTI 软件在实现时间管理服务时采用 LRC 来进行计算 GALT。本文不再沿用已有的算法,而是由局部 RTI 服务器自己进行,中央 RTI 服务器不再参加。

4 多播技术

网络进入 20 世纪 90 年代,实时多媒体通信、视频点播、电

视频会议、分布式网络游戏、计算机协同精神等都要求计算机网络体系结构支持多播(multicast)。IP多播技术的研究主要包括两方面的问题:一是组成员的管理和维护;另一个是任何构建多播生存树。在本地局域网多播传输是利用物理层多播进行的。而在广域网多播传输解决方案一般在与端用户直接相连的网络,多播路由器负责参与组成员的管理,并采用本地局域网多播实现IP多播。比如:在Ethernet中IP多播的低24位填入Ethernet多播地址的低24位,从而利用物理硬件完成IP报文的多播。在因特网体系结构中,多播组成员管理与维护由IGMP定义的。IGMP目前具有三个兼容的版本:IGMP v1^[6]是基础;IGMP v2^[7]增加低延迟离开机制;IGMP v3^[8]增加了源筛选机制和服务。在以上定义的IGMP多播组管理协议中,复杂的机制主要集中在主机部分;为了抑制“响应爆炸”,主机采用了“逐组响应”、“延迟发送”、“抑制响应”等复杂的方法;而IGMP中的路由器部分的机制极其简单。

多播路由器可以判断出在它直接相连的网段中是否存在多播组的成员。如果存在多播组成员,多播路由器就可以向上级多播路由器发送消息,申请加入一个多播组,并将上级多播路由器发送过来的多播数据包转发给多播成员主机。

5 基于多播的时间管理实现策略

采用多播机制,一次性就可以将一条信息同时发送到多个目的地,而不需要重复发送多次。正是由于多播机制的高效性和简单性,使得我们在设计RTI的时间管理策略时也关注到该技术的应用,提出了“基于多播技术发送数据或状态信息;基于TCP可靠协议发送控制信息”的混合策略。

5.1 设置多播组

在RTI中应如何设置多播组呢?本文提出了基于“公布/订购”关系来确定多播组的思想。当任意一个盟员“公布”一个类并且有多个其它的盟员订购了该类的信息时,则一个公布盟员和多个订购盟员就构成一个多播组。在这个多播组中,盟员发送数据或者状态信息时采用多播技术,可以一次性将数据或者状态信息同时发送到多播组中的所有成员(自己除外)。在需要对重要信息进行确认时则采用TCP可靠传输协议来进行。

另外,由于一个公布盟员可以同时公布很多对象类,导致该公布盟员可能存在很多不同的多播组;为了减少多播组的个数,应对多播组进行合并,即当两个组中的成员完全相同时只需要使用一个多播组;当然,共享的多播组也可能因为“公布/订购”关系的变化而导致重新分配新的多播组。

5.2 时间管理策略的实现

本文讨论的时间管理策略是针对GALT的计算进行的。GALT的计算公式可归纳为:

$$GALT_i = \min\{T_j + L_j\}$$

其中: $i \neq j$; T_j 为盟员的逻辑时间, L_j 为盟员的前瞻值。

基于上述公式,时间管理策略的实现算法为:

(1) 当盟员 i 使用时间推进服务请求本地LRC向前推进到逻辑时间 T_i 时, LRC计算盟员 i 的 $GALT_i$:

a) 如果 $T_i < GALT_i$, 则调用 timeAdvanceGrant 同意盟员推进到逻辑时间 T_i 。使用多播机制向多播组中的所有成员

发送 $T_i + L_i$ 。

b) 如果 $T_i > GALT_i$, 则LRC挂起盟员的时间推进请求,盟员处于挂起状态,等待LRC将其唤醒。使用多播机制向多播组中的所有成员发送 $T_i + L_i$ 。

c) 如果 $T_i = GALT_i$, 则分两种情形:

i. 若盟员采用TAR/NMR请求时间推进,则操作同b);

ii. 若盟员采用TARA/NMRA/FQR请求时间推进,则操作同a)。

(2) 当多播组中的成员收到盟员 i 发送的消息时:

a) 使用TCP可靠传输机制向盟员 i 发送ACK确认信息。

b) 判断本盟员是否处于挂起状态,若是则重新计算GALT以决定是否继续挂起或者唤醒盟员。

(3) 如果盟员 i 在系统规定的时间内没有接收到某个盟员的确认信息,则使用TCP协议再次向相应的盟员发送 $T_i + L_i$ 。通常这种情形在局域网中并不多见,发生的概率很小。在极端的情形下,该过程可能需要持续多次。

(4) 盟员收到多播组中的所有其它盟员的确认信息后,则算法结束。

实际上,该算法不但可以用于时间管理策略的实现,在发送可靠的TSO消息时也同样可以借鉴。

结束语 时间管理服务是分布式仿真领域公认的焦点问题,时间管理服务的计算则是时间管理服务能否实现的关键,本文提出了基于“公布/订购”关系确认多播组的思想,并基于多播技术,结合TCP可靠传输机制圆满实现了时间管理服务的计算问题,本文对RTI软件的设计具有十分重要的参考价值。

参考文献

- 1 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)——Framework and Rules (IEEE Std 1516-2000). USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000. 12
- 2 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)——Federate Interface Specification (IEEE Std 1516.1-2000). USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2001. 3
- 3 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)——Object Model Template (OMT) Specification (IEEE Std 1516.2-2000). USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2001. 3
- 4 IEEE Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation Development and Execution Process (FEDEP) (IEEE Std 1516.3-2003). USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2003. 4
- 5 <http://www.dmsi.mil>, 2003
- 6 Deering S. Host Extensions for IP Multicasting [S]. RFC1112, Aug. 1989
- 7 Fenner W. Internet Group Management Protocol [S]. RFC2236, Nov. 1997
- 8 Cain B, Deering S, et al. Internet. Group. Management. Protocol, Version 3. (draft-ietf-idmr-igmp-v3-07.txt), 2002