

文章编号: 1001-2486 (2002) 03-0072-04

HLA 联邦的桥接扩展和影响时空一致性的实例分析*

王召福, 刘晓建, 金士尧

(国防科技大学计算机学院, 湖南长沙 410073)

摘要:随着计算机技术和仿真应用的发展,越来越需要组建大规模分布仿真系统,HLA 框架的定义和应用为此提供了很好的契机。使用桥接技术把不同的联邦连接起来是构建大规模联邦的有效方法,其中桥接邦元更适合于不同 RTI 的异地连接。桥接 HLA 联邦会带来影响系统时空一致性和性能的新问题,时间推进和所有权转移是两个有代表性的例子,需要重点解决。

关键词:HLA; 网关; 桥邦元; 时间推进; 所有权转移

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Exploiting the Bridge Linking HLA Federations and Two Examples about Time-Space Consistency

WANG Zhao-fu, LIU Xiao-jian, JIN Shi-yao

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Large-scaled distributed simulation system is urgently required in simulation community. The rapid evolution of HLA technology urges us to connect the different federations using gateway. The bridge federate can be adopted to maintain information transfer and system consistency. Furthermore, we have discussed some introduced problems about the time-space consistency. The time advancement and ownership transfer are examined broadly as two examples.

Key words: HLA (High Level Architecture); gateway; bridge federate; time advancement; ownership transfer

由于分布处理、网络计算、人机交互、多媒体、虚拟现实等计算机仿真技术的飞速发展,以高层仿真框架 HLA 为代表技术的先进分布交互仿真系统成为当前军事仿真领域的研究重点。HLA 较好地考虑了仿真应用的互操作和可复用问题,定义了对象模型模板、接口规范、规则等框架性协议。2000 年 9 月,HLA 被定为国际分布仿真通用标准 IEEE1516^[1]。

基于 HLA 实现分布仿真系统是近几年国内军事仿真研究的热点,并且实现了一些原型系统或者小规模分布仿真系统,例如国防科技大学计算机学院于 1999 年研制成功了银河高性能分布仿真系统,它是我国首次实现 HLA 规范的分布仿真平台,解决了系统体系结构、时间推进、数据分发管理、多媒体表现等多项关键技术,实践表明它适用于局域网的中小规模的多系统仿真^[2]。

由于军事研究的分布特点以及大规模军事仿真应用的需求,在基于局域网的中小规模分布仿真系统的基础上,我国急需进一步研究满足广域网大规模分布仿真的系统。设计和实现大规模的分布仿真系统,有很多问题尚需深入研究,如仿真系统的构建、实体间的动态时空一致性等关键问题。

本文在分析如何将基于局域网的 HLA 联邦联结组建成大型联邦的基础上,进一步分析了“桥接”状态下的时间推进和所有权转移问题,对构建基于 HLA 的大规模分布仿真系统有重要的意义。

1 HLA 联邦的扩展技术

1.1 分布仿真的规模扩展需求

在分布交互仿真系统中,满足系统可扩展性是指,系统规模的增加所带来的计算和通信等开销的

* 收稿日期: 2001-12-08
基金项目: 国家部委级基金项目资助 (51404020201-KG01.1.7)
作者简介: 王召福 (1975—), 男, 博士生。

增长不会明显地影响到系统的正常运行。

如何在现有中小规模仿真系统的基础上构建大规模分布仿真系统，并保证大规模分布仿真系统的性能在可接受的范围之内，是系统可扩展性设计的具体要求体现。HLA 分布仿真系统的构成包括多个层次的互操作问题，这些互操作层次可以概括地分为通信网络层、RTI 层、模型层和应用层^{3]}。在从基于局域网分布仿真实现广域网分布仿真的过程中，要较好地实现系统的可扩展性，需要对各个层次进行仔细设计和分析。

把原有的较小规模的系统组建成大规模系统的好处是可以尽可能地复用原来的设计和实现，减少重新定义大规模仿真系统的费用和难度。从网络构成的角度进行分析，基于局域网的小规模仿真系统通过网关结点相互连接的情形如图 1 所示。不过这样的复用还存在一些技术问题需要解决，在这种结构下，从 RTI 的层次看，构成大规模系统的不同子系统可能是基于不同的 RTI 软件运行的，需要进一步解决 RTI 之间的互操作问题；从对象模型的层次分析，这样的系统是多个联邦对象模型的联结，需要重新考虑数据表示的一致性和属性更新控制等问题。

1.2 联邦之间的“桥接”

在 HLA 的初始设计中，假定了联邦的组成是由同一 RTI 软件协同同一组邦元程序。扩展的 HLA 分布仿真系统可能有多个 RTI 软件相互连接组成大的联邦系统，这样每个单独的联邦可以独立开发，而且可以方便地限制联邦之间数据的可见性。

不同的联邦之间如何互联是一个重要的问题。在网关结点机上提供的软件，我们称之为桥接软件，它要负责协调原来不在同一联邦中的对象之间的数据交互，桥接软件还要辅助维护全局的时间同步、事务管理等功能^{4]}。

在多个联邦经过桥接软件连通，组成一个大规模联邦的情形下，HLA 系统中的邦元和 RTI 的语义与最初的 HLA 定义相比都发生一些改变，从而也带来一些新问题。

桥的功能实现在网关结点机上。目前主要技术包括两类：

(1) 联邦信关

邦元信关可以连接多个邦元程序（功能特点如图 2 所示），从而实现联邦的联系。它与邦元之间的通信不是通过 RTI 接口，而是采用自定义的信息传送方式。采用这种方式连接不同的联邦，信关并不作为邦元出现在任何联邦中，但是为了有效传递联邦之间的数据，要求信关能够理解所连接的两个联邦。

这种方式的优点是设计灵活，比较典型的应用是把遗留的非 RTI 仿真程序（DIS 仿真系统）连接到 HLA 仿真系统中，联邦信关负责信息格式的转换。另外信关模式还常用于联邦之间的安全性控制。这种结构的缺点是信关负载大，缺少通用性，不同联邦之间的交互操作受很大限制。在以系统扩展为目的把不同的联邦进行连接时，不建议使用这类结构。

(2) 联邦代理

联邦代理是作为邦元同时加入到双方联邦的桥接程序，用于连接的两个联邦代理程序之间进行信息交换。联邦代理也可以看做是由两部分组成，甚至可能配置在两台结点机上（功能结构如图 3）：

S_f ：基于 RTI- f 的联邦（联邦 F ）之代理，作为邦元加入到基于 RTI- g 的联邦（联邦 G ）中。

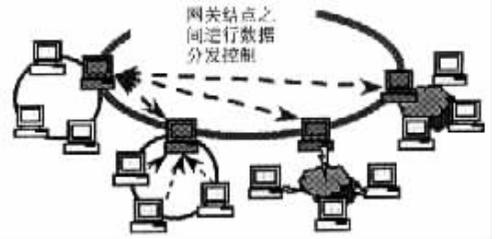


图 1 多个联邦的互联扩展

Fig.1 Linking the federations

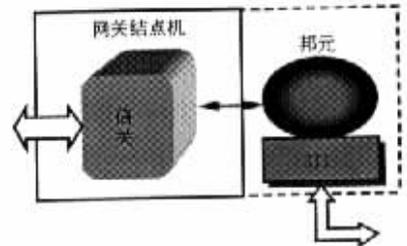


图 2 信关结构

Fig.2 The gateway

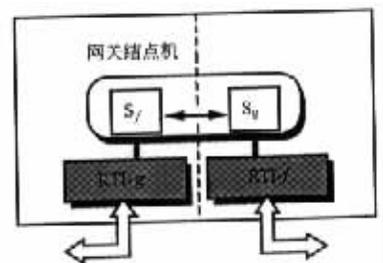


图 3 联邦代理结构

Fig.3 The federation proxy

S_g : 联邦 G 的代理, 作为邦元加入联邦 G 中。

S_f 、 S_g 和代理之间的数据转换功能模块、同步控制功能模块等一起, 构成连接两个联邦的桥接软件。由于它们是作为联邦的正常邦元加入到系统中, 因此我们把这个代理和其他功能模块一起称为“桥邦元”。

为了实现完整意义上的大规模 HLA 联邦, 桥邦元要提供的功能必须包括属性的发布、订购、所属权管理、逻辑时间声明、全局状态的保存和同步等功能。比较而言, 桥邦元结构更符合 HLA 规范的要求, 能提供更丰富的功能特点, 本文第二部分的讨论就基于这类结构展开。

2 影响时空一致的实例分析

利用桥邦元连接组成的大规模分布仿真系统, 必然有很多子联邦之间的信息交换通过桥邦元进行。这些信息的交互面临的最大挑战在于可能导致邦元理解上的时空不一致。在这里以 HLA 仿真中时间推进协议和所属权转移协议为例说明桥邦元带来的问题以及可能的解决方案。

为了讨论方便, 这里只考虑两个联邦的桥接。如果限制多个联邦的拼接只能通过多个桥软件依次连接, 分析问题的方式和结论类似^[4]。

2.1 时间推进

HLA 框架中定义的时间推进是需要确认的协议, 每个时间受限邦元的逻辑时间只有在和它相关的所有时间管制邦元都允许的情况下才能推进。以时间步进方式为例(图 4), 每个邦元使用 TAR (Time Advance Request) 或者 TARA (Time Advance Request Available) 来宣布自己的时间推进请求。两个原语都带有一个参数表明自己要推进的时间长。通过调用服务, 邦元保证不会再发送时戳小于指定时间值的消息。RTI 判断当所有时间管制邦元都已同意发出请求的邦元进行时间推进时, 则通过 TAG (Time Advance Grant) 服务通知这个邦元, 这个邦元即把自己的逻辑时间推进到 TAG 指定的参数值。

在引入了桥邦元的时间推进中, 允许时间推进的信息需要跨桥传送: 假定 F 联邦的 RTI 接收到所有邦元的时间推进请求(包括代理), 时间推进的情况也已经决定, 并且已经通过 TAG 服务通知出去。代理 S_g 收到的时间推进许可信息将以“时间已推进”消息的形式传送到桥的另一端, 代理 S_f 将向联邦 G 要求推进到消息中指定的时间。等到联邦 G 中的时间推进协商完毕, 它将把时间信息通过桥发送给另一端的联邦 F 。图 4 是一个简单的流程实例。

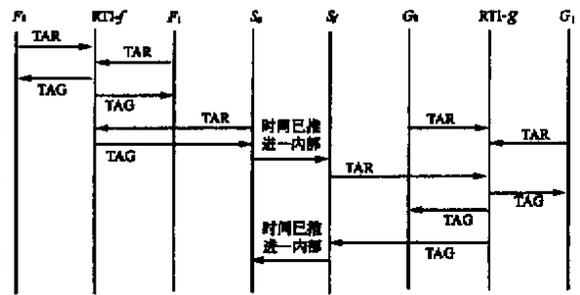


图 4 时间推进流程示意图

Fig.4 Example of time advancement

和无桥邦元的情形比较, 这里最大问题是邦元独立推进时间的概念被打破了, 整个联邦需要一个统一的逻辑时间通过桥邦元向另一个联邦提交。如果要保证逻辑上的完全正确, 就必须通过强制措施控制邦元的独立推进时间, 对于每次时间推进操作, 所有邦元都推进到相同的最小可能时间, 交由桥邦元的代理参与到对方联邦中, 否则导致联邦对时间理解的不一致。

显然, 这样的限制使得系统性能受到很多影响, 如果所有的时间推进请求都存在跨联邦的一致性处理, 则时间推进的花销将是极大的瓶颈。

对于这个问题, 我们目前在研究的一个解决办法是改进 RTI 软件, 提供时间推进限制组的概念, 从而有效限制不同子联邦之间的时间约束关系, 尽可能减少时间推进信息在桥邦元之间的传送。

和无桥邦元的情形比较, 桥邦元作为特殊的软件, 其提出时间推进请求的方式也值得关注。代理程序发出时间推进请求的情况包括了两种: 从桥邦元内部接收到的推进请求和独立发出的推进请求, 两种请求的处理方式不同, 对于这种不对称现象, 代理必须正确选择两类动作, 而对于每个联邦来说, 还必须区别对待两类请求, 否则会导致协议的死锁问题。

2.2 所属权转移

所属权转移问题是保证系统时空一致性的又一个重要问题。在引入桥邦元之后，它的控制也存在一些改变，如果仅仅基于原来语义进行处理，可能会带来对象属性认识的不一致问题（空间不一致问题）。所属权转移协议的基本要求是避免同一个属性在同一时间被两个不同的邦元控制。HLA 不要求属性在所有时间都有所属，属性的所有权可以被当前所有者有条件（有其他邦元请求所有权）或者无条件（不管是否有其他邦元请求所有权）放弃。

有条件转移协议（图 5）由当前所有者发起，邦元 F_0 调用 NAOD (Negotiated Attribute Ownership Divestiture) 服务，声明要放弃的属性，RTI 调用 RAOA (Request Attribute Ownership Assumption) 服务来寻找其他接管属性所有权的邦元。某个感兴趣的邦元将通过 RAOAIA (Request Attribute Ownership Acquisition If Available) 服务进行响应。RTI 在找到新的所有者后，调用 RDC (Request Divestiture Confirmation) 服务通知当前所有者。最初的所有者调用 CD (Confirm Divestiture) 服务放弃所有权。RTI 调用 AOAN (Attribute Ownership Acquisition Notification) 把所有权赋予新的所有者，然后调用 AOU (Attribute Ownership Unavailable) 服务通知其他感兴趣的邦元暂时不能获得所有权。

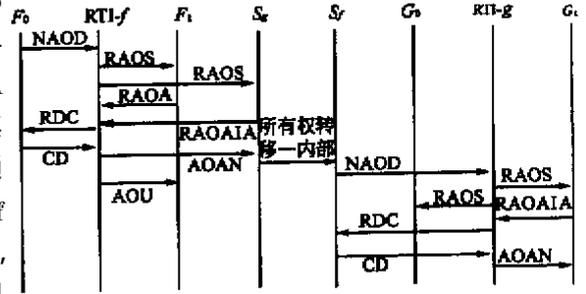


图 5 所有权转移流程示意图

Fig.5 Example of ownership transfer

在引入了桥邦元之后，则不能再允许出现没有所属的属性，否则两个 RTI 会同时把所有权赋予两个不同的邦元。为防止这类现象，则在属性不属于实际功能邦元时，至少一个代理要维持属性的所有权。这样的限制影响到通过桥传递控制权的情形：代理 S_g 通过桥发布新获得所有权的属性，请求找到所有者。代理 S_f 启动一个有条件的放弃协议。如果协议执行成功，则属性的所有权转移到联邦 G 中的某个邦元中，系统的属性所有权保持一致的状态。若不能找到新的所有者，则代理 S_g 必须无条件放弃属性的所有权，而暂时让代理 S_f 保持着这个属性的所有权。

上述情况带来的一个直接后果是属于某个邦元所有（实际上是属于代理邦元，无法赋值）属性会在未知的时间段内没有确定的值。目前我们在大规模分布仿真实体迁移项目中研究的解决办法是给代理增加小部分的建模能力，用于维护未知时间段内最近的值，然后等待属性交接给新的邦元。限制属性的所有权在桥邦元之间的传送可以避免这类的问题，缺点是削弱了组建后联邦的功能和灵活性。不过在性能指标比较重要的情况下，应该考虑限制的策略。

3 结论

本文分析了通过桥接软件把多个联邦组建成大规模仿真系统的可行性，认为采用代理邦元的体系结构更符合 HLA 规范的要求，能提供更丰富的功能特点。

当然采用桥邦元连接多个邦元实现大规模联邦仍存在很多时空一致性、系统性能方面的问题需要解决，本文以时间推进、所属权转移两个 HLA 仿真系统中的关键问题为例，分析了引入桥邦元后带来的一些问题并讨论了可能的解决方案。

参考文献：

- [1] High Level Architecture Specification Version 1.3 [S]. DMSO US, 1998.
- [2] 金士尧, 党岗等. 银河高性能分布仿真系统的设计与实现 [J], 计算机研究与发展, 2001, 38 (4).
- [3] Michael D Myjak. RTI Interoperability Study Group Final Report [C]. <http://siso.sc.ist.ucf.edu/siw>, 1999.
- [4] Juergen Dingel, David Garlan, Craig A Damon. A Feasibility Study of the HLA Bridge [R]. School of Computer Science Carnegie Mellon University, CMU-CS-01-103.
- [5] Anand Natrajan. Consistency Maintenance in Concurrent Representations [D]. A Dissertation Presented to the Faculty of the School of Engineering and Applied Science at the University of Virginia, 2000.

