

基于 HLA/RTI 的仿真系统设计*

凌云翔 王召福 刘晓建 金士尧

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

摘要 结合雷达电子对抗仿真实例, 论述了基于 HLA/RTI 的分布交互式多机仿真系统的体系结构、底层通信网络、运行支持系统、仿真应用对象模型和仿真运行管理及其设计与实现问题。

关键词 高级体系结构, 运行支持系统, 对象模型, 管理对象模型

分类号 TP302.1

Design of Simulation System Based on HLA/RTI

Ling Yunxiang Wang Zhaofu Liu Xiaojian Jin Shiyao

(Department of Computer, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract This paper discusses the principles of designing HLA/RTI architecture, communication mechanism, Run-Time Infrastructure, Object Model, and Management Object Model about distributed interaction simulation system.

Key words High Level Architecture (HLA), Run-Time Infrastructure (RTI), Object Model (OM), Management Object Model (MOM)

综合仿真的最新发展强调需要有自己的系统架构和通讯机制, 以满足仿真的互操作性、可重用性、可伸缩性、实时性和协同性^[5]。建立在 IEEE1278-2.x 系列标准上的分布交互仿真(DIS), 立足于通过建立一致的标准通信接口来规范异构的仿真系统间的信息交换。由于缺乏可靠的对象间通讯和适当的时间管理服务, 采用广播方式发送数据, 因此网络带宽浪费严重, 不利于系统规模的增长。为此, 负责军事领域仿真的美国国防部建模与仿真办公室(DMSO)提出了一个全新的高级体系结构 HLA^[1] (High Level Architecture)。HLA 能将更广泛范围的仿真系统集成到一个综合环境中; 同时, HLA 采用面向对象的方法学来分析系统, 建立不同层次和粒度的对象模型, 从而促进了仿真系统和仿真部件的重用。

HLA 是建立在 DIS 经验基础之上的, 是从体系结构上对 DIS 的不足进行完善, 而不是简单地对 DIS 进行协议和接口层次上的修改。但是, HLA 只是构造建模与仿真通用技术框架的一个起点和基础, 这个标准无论从体系结构上还是从可操作性上均流于空泛, 分布交互仿真的进一步发展, 有赖于对 HLA 标准的研究与实践。为此, 我们开展了基于 HLA/RTI 的分布交互式多机仿真系统的研究与设计, 试图提供一种支持分布交互仿真应用开发的高性能平台。

1 基于 HLA/RTI 的分布交互式多机仿真系统体系结构

HLA 中将实现某种特定仿真目的的仿真系统称为联邦(Federation)。联邦由若干交互的仿真应用和其它一些相关的应用(统称联邦成员 Federate)、运行支持系统 RTI(Run Time Infrastructure)和联邦对象模型(OM)构成。联邦成员可视为由若干对象构成, 成员之间的交互是通过 RTI 提供的服务来实现的。RTI 在 HLA 中占有重要的地位, 是联邦运行的核心^[3]。基于 HLA/RTI 的分布交互式多机仿真系统的体系结构如图1所示, 系统设计问题主要包括: 底层通信网络、运行支持系统 RTI、仿真应用对象模型 OM 和仿真运行管理。

* 国家部委基金资助项目
1998年6月23日收稿
第一作者: 凌云翔, 男, 1972年生, 博士生

2 通信网络

HLA 并未具体规定 RTI 的实现问题。RTI 的六种服务对于仿真是相对完备的基础服务,可以基于 CORBA 实现其功能,也可以在网络协议和标准基础上实现具有特定性能要求的 RTI。如何选择 RTI 的底层支持是一个慎重的问题,很大程度上取决于应用领域的需求。

雷达电子对抗是一个典型的综合仿真系统,所需的分布式仿真环境(软、硬件平台)在体系结构上可采用 HLA/RTI。按照功能划分,整个系统由红、白、蓝三方构成^[1]。白方为电子对抗主控仿真机,主要功

能是电子对抗战况的设定及过程控制、多媒体仿真表现环境;红方为雷达仿真机群,完成对三大类多种雷达的仿真;蓝方为飞行器仿真机,模拟突防飞机的飞行情况。由于参与仿真的各实体所充当的角色和效能参数不同,对各自仿真平台的需求也有所不同;而且各实体并非孤立节点,相互之间还有协同或者对抗的关系。系统的机间通信主要具有以下几个特点^[5]:一帧内传递的信息量大(帧时间为 ms 级);传输的距离较长(200m 内);要求的速度快(以保证实时为目标);具有互操作性(人-机交互)。

就当前的研究现状看,群机系统的研究出现两个方向。一方面为通用传输网络,另一方面是专用的硬件互连部件,具有代表性的有 Memory Channel 和 SCRAMNet。基于以上考虑,从目前军用仿真应用的要求出发,我们设计了一套面向强实时分布式仿真应用的硬件平台 YHSIM Sys,整个系统结构如图2所示。图中,每个结点都是一个功能独立的仿真机,但结构却完全类似,一般都由仿真主机、网络接口 NI、网络路由器 NR 组成。

YHSIM Sys 采用二维 Turos 网结构的交换设备 YH-Hub 作为基本路由设备,支持4~16个结点规模的仿真。网络接口设备设计为标准 PCI 总线插板,接口卡上的主芯片是 NI,主要功能是作为网络收发数据的接口,完成消息的收发、错误及同步控制等功能。交换设备中的主芯片是 NR,采用虫孔维序路由技术,在内部有四个相邻结点,这使得消息在网络中延迟小,可同时处理多个无冲突消息。NI 和 NR 是 MPP 中使用的互联技术,支持点对点的消息传递 MP(Message Passing)方式。经测试,计算结点与 Hub 之间的最大距离为100m,一个 MP 信息包的传输时间小于10 μ s。

通信网络的上层软件是 RTI。因 HLA 同时支持基于 Internet 的通信服务,满足弱实时的任务,所以为保持一致,我们以驱动程序的读写接口为基础,设计了一套 Socket 接口,具体接口可参见有关报告。

3 RTI 通讯机制

HLA 的一个重要特征是将仿真应用与底层的通信和基本功能相分离,由 RTI 提供的服务来实现底层的通信和基本功能,联邦成员不必涉及底层的网络编程,因而可将精力放在应用领域有关的仿真应用开发上。所以说,RTI 又是分布仿真系统的通讯中心。HLA 文档规定 RTI 提供的六种运行时服务包括联邦管理(FM)、声明管理(DM)、对象管理(OM)、所有权管理(OWM)、时间管理(TM)和数据分布管理(DDM)。因为 RTI 的功能从实质上说主要

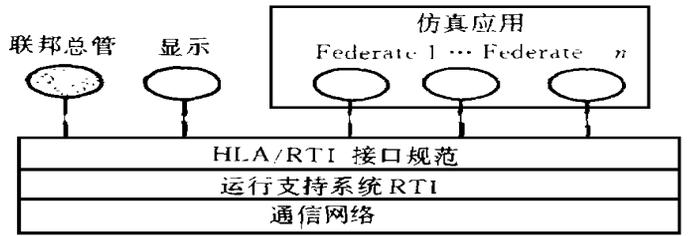


图1 基于 HLA/RTI 的分布交互仿真系统结构

Fig. 1 Distributed interaction Simulation architecture based on HLA/RTI

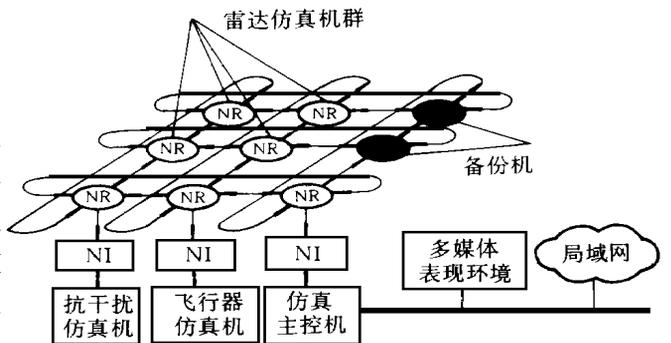


图2 仿真机机群的体系结构

Fig. 2 multi-computers architecture of simulation

是负责时间的推进和数据的传送, 所以核心功能为时间管理(TM) 和数据分配管理(DDM), 这也是 HLA 与 DIS 的主要区别^[3]。

RTI 通过时间管理支持实时时钟和逻辑时钟的推进, 协调各成员之间的同步。而 DIS 中各仿真的时间推进是独立的, 并不需要时间管理。我们在雷达电子对抗综合仿真系统中采用了帧时间步进和事件驱动两种仿真推进方式, 实现的时间管理包括: 时间获取, 包括请求获取联邦时间、成员时间、最小下一事件时间和 LBTS, 其中 LBTS 是 Lower Bound on the Time Stamp, 表示时戳顺序信息的低限, 小于 LBTS 的时戳信息不需要获得许可即可由 RTI 传送给成员; 设置与获得成员的时间推进量, 如果成员的当前时间为 T, 时间推进量为 L, 则成员产生的未来事件的时间不能小于 T + L; 成员推进仿真时间, 通常成员推进时间要受到其它成员的约束, RTI 接受请求后将处理这种约束, 保证各成员的时间能协调推进。

数据分配的目的在于限制联邦中成员接受的信息范围, 以减少成员处理的数据量和可网络上传输的数据量。而 DIS 是广播式消息发送, 使得以上管理没有必要。支持 DDM 的基本概念是路径空间 RS (Routing Space), 仿真实体通过 RS 描述向外部发送的以及从外部接收的数据的特征。这种描述通过定义 RS 中的子集——空间区域(region) 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, 发送或接收数据与区域建立起映射关系。

实现数据分布的匹配至关重要。我们采用基于网格(grid-based) 的多目广播方法, 可以在成员之间(生产者 and 消费者) 方便地建立连接关系。如把战场划分为若干个等大小的地理网格, 把电磁波按频率划分为频段网格。每个网格对应一个多目标广播组, 各个联邦成员感兴趣的区域被 RTI 规格化为网格的集合, 网格用来决定应该把哪些更新属性和交互参数传递给协作者。

4 HLA 对象模型

开发仿真系统的一个关键步骤是设计与建立仿真应用的对象模型 OM (Object Model)^[4]。HLA OM 分为三个层次: 底层是对象, 中间层是联邦成员, 上层是联邦。成员由若干对象组成, 能完成某一种特定的仿真功能, 是能重用的软构件。

HLA OM 的主要目的是描述联邦与成员中的对象间的关系。对象属于某个类, 类描述了对象的共同特性, 所以对象间的关系可以归结为类之间的关系。HLA 中有两种类: 对象类(Object Class) 和交互类(Interaction Class), 它们分别用于刻划系统的元素与元素间的关系。参与联邦的对象必须具有一些性质才能互操作, HLA OM 提供了一些概念来描述这些性质: ① 对象类的可公布(P) 与可订购(S); ④ 交互类的初始化(I)、感知(S) 和响应(R); ④ 属性的可迁移(T)/可接受(A)、可更新(U)/可反应(R)。

OM 可以用各种形式来描述, 但在 HLA 中规定了一种统一的表格描述方法——OMT 来规范 OM 的描述。HLA 的 OMT 主要由对象类结构表、对象交互表、属性/参数表和 FOM/SOM 词典等四个表组成, 每个表描述了 OM 的一个方面。

雷达电子对抗仿真系统中, 我们遵循了如下原则, 设计并实现雷达、飞机等仿真应用(Federate) 成为 RTI 下的软构件:

① 各个对抗实体的描述应考虑多种使用环境与条件, 而不是仅针对某一特殊场合; ④ Federate 使用 HLA 规定的接口向外发送信息; ④ Federate 能正确响应来自 RTI 的消息; ④ 使用 OMT 来设计与建立仿真应用的对象模型(OM)。

5 仿真运行管理

图1所示的结构中, 对于在 RTI 支撑下集成了诸多成员的分布仿真, 需要强有力的管理机制, 联邦总管(Federation Manager) 就是管理功能的具体执行者。HLA 的管理对象模型 MOM (Management Object Model)^[2] 支持联邦总管的开发。MOM 是 RTI 中管理功能的 FOM, MOM 使用相同的机制用于联邦总管和成员之间的信息交换。MOM 的内容包括:

(1) 管理对象模型(Management Object Model)

定义了 MOM 中对象的类结构及其相关属性。MOM 定义了一个 Manager 类和它的三个子类: Federate, Federation 和 RTI。Federate 子类定义了与 Federate 和 RTI 有关的功能,它含有 FederateHandle, FederateStatus 等属性。Federation 子类定义了与 Federation 和 RTI 有关的功能,它含有 FederationName, FederationStatus 等属性。

(2)管理交互模型(Management Interaction Model)

MOM 为 Manager, Federate 和 Manager, Federation 都定义了一些交互(Interaction)。利用这些交互,成员可以向联邦总管报告异常情况(Manager, Federate, Alert);成员可以响应总管的查询请求(Manager, Federate, Response);总管可以向联邦发出查询请求(Manager, Federation, Query);总管也可以向联邦或成员发出指示命令(Manager, Federate, Action, Manager, Federation, Action)。

MOM 定义了比目前实际需要还要复杂的类层次结构,便利了未来 MOM 的功能扩充。故可以扩充定义某些交互以完成所需的功能。总管作为一个特殊的成员,与一般的成员有相似的数据交换机制,主要区别在于定购和公布的内容有所不同,以能够控制、协调各个联邦成员的仿真行为为目的。开发联邦总管,必须了解应用领域的需求。就雷达电子对抗仿真而言,联邦总管负责整个系统从演练前的规划准备,到整个联邦的初始化、运行阶段的管理和控制,直至事后的分析与评估。运行控制流程如图3所示。

6 结束语

由于 HLA 只是构造建模与仿真通用技术框架的一个起点和基础,构造一个完善的分布交互仿真系统是不容易的。本文结合雷达电子对抗仿真实例,对基于 HLA/RTI 的分布交互仿真系统的体系结构、底层通信网络、运行支持系统、仿真应用对象模型和仿真管理进行了探讨,对于充实 HLA 标准的可操作性具有较强的指导性和现实意义。

我们下一阶段的工作包括:实现实时协同的时间调度策略,完善数据分配管理中的信息过滤机制,以及改进可靠的对象间通讯。

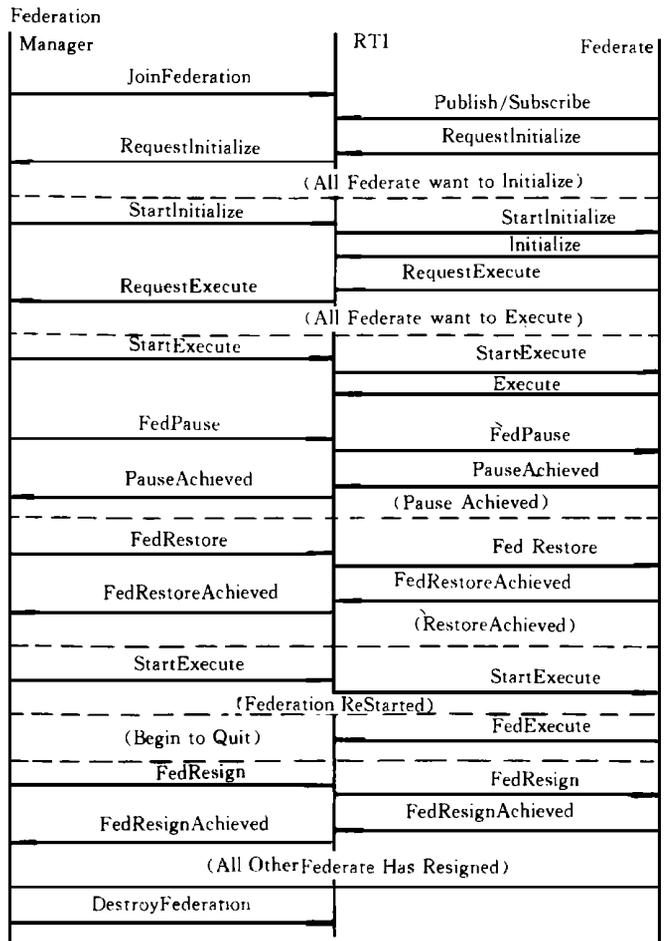


图3 仿真运行控制流程

Fig. 3 Simulation execution control flow

参考文献

- 1 Ratzberger A C. The High Level Architecture and The Next Generation Combat Simulation, 8th European Simulation Symposium, Italy, Oct. 1996
- 2 DM SO. High Level Architecture Management Object Model. Version 0.2. October 17, 1996. <http://www.dms.o.mil>
- 3 DM SO. High Level Architecture Interface Specification: Version 1.0. August 15 1996. <http://www.dms.o.mil>
- 4 DM SO. High Level Architecture Object Model Template: Version 1.0. August 15 1996. <http://www.dms.o.mil>
- 5 金士尧, 凌云翔. 现代化战争中武器对抗仿真平台的研究. 国防科技参考, 1997, (4)