

关于 HLA 研究的几个问题^{*}

吕良权 赵沁平

(北京航空航天大学计算机学院 北京100083)

Seldom Questions about HLA Research

LU Liang-Quan ZHAO Qin-Ping

(Computer School, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract With the requirement of actual simulation application and the development of simulation standards, this paper analyzes HLA/RTI services characteristics, and then summaries the advantage and disadvantage of HLA. It is pointed out that RTI performance measurement and RTI to RTI communication protocol are urgent research projects of HLA/RTI.

Keywords HLA, RTI, Simulation, DIS, Interoperability

1. 引言

国家要保持强大的、现代化的国防力量和军事威慑手段,就必须保证经常性的军事训练和演习,而现代化战争规模越来越大,综合性越来越强,科技水平越来越高,耗费资金越来越多,军事实战演练的情况也随之发生同样的变化。为确保战争目标的实现,并尽可能降低代价,就需要对各种可能出现的复杂情况和各种可能实现的战略、战役、战术等进行反复、科学、客观的论证评估;另外大规模军事演练往往带有国际政治敏感性和受到有关国际条约的约束。这一切都对军事仿真演练,特别是军事发展演练技术、手段、方式的突破和有关信息基础设施的大规模建设提出了越来越迫切的需求^[1]。

1983年,美国国防部高级项目研究计划局(DARPA)和美国陆军共同制定了一项合作研究计划——SIMNET(Simulation Networking),该计划使仿真系统从单独的仿真器发展到集团的训练系统。到1989年,已将分布在美国和德国的11个军事基地的260多个车辆和飞机仿真器互联,形成了世界上第一个分布式虚拟战场环境,用于进行复杂战场任务的训练^[1,2]。

美国军方和工业界在SIMNET基础上,共同倡导并着手建立异构型网络互联的分布交互仿真(Distributed Interactive Simulation)系统,把它作为美国面向21世纪的一种信息基础设施。1993年正式成为IEEE标准(IEEE Std 1278 - IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation),简称为DIS标准。1995年进行了修订,成为绝大多数DIS应用系统所遵循的标准,该版本也被称为DIS3.0^[3,4]。

由于DIS本身的局限不适合大规模多兵种演习,1994年美国DARPA和美军大西洋司令部(USACOM)联合开展了一个高级概念技术演示项目——战争综合演练场(Synthetic Theater of War, STOW)。STOW分别于1997年和1998年进行的两次大规模演示获得巨大成功。美国国防部仿真与建模办公室(DMSO)根据STOW的体系结构提出了高层体系结构(High Level Architecture, HLA)草案,并宣布不再采用DIS标准而只支持基于HLA体系结构的仿真系统。该草案于

2001年正式演变成成为IEEE标准——IEEE Std 1516 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture,简称为HLA标准^[3,6,7]。

我国在军事仿真和分布式虚拟战场等方面的研究开发起步较晚,但是发展较快。尤其是HLA标准刚刚出现,大家都希望抓住机遇,实现突破,达到世界先进水平。

HLA标准包含3个部分^[7]:框架与规则(Framework and Rules)、盟员接口规范(Federate Interface Specification)和对象模型模板规范(Object Model Template Specification)。其中盟员接口规范是主要内容,具体提供盟员接口规范定义的服务支持机软件被称为RTI(RunTime Infrastructure)。由于HLA并没有定义或建议RTI的具体实现技术,因此RTI的研究与实现成为HLA研究的一个重点课题。

2. DIS 标准及其分析

DIS是由美国军方最早倡导并成为仿真领域的第一个IEEE标准,而且直到1998年IEEE还对其进行过修订补充,同时目前仍有大量的基于DIS标准的仿真系统存在,所以,为了更充分理解HLA,有必要对DIS标准进行简要分析。

遵循DIS标准的仿真应用系统具有以下特点^[2,4,5]:

1. 异构型网络结构;
2. 各结点完全自治(没有中心计算机);
3. 各结点拥有完全相同的视景(地形、实体模型等)数据库;
4. 统一采用地心坐标系(GCC坐标)来维护空间一致性;
5. 网上只传输描述实体状态或者事件的PDU;
6. 实体每隔一段时间发布一次心跳(实体状态PDU)消息;
7. 采用DR(Dead Reckoning)算法来减轻网络负载;
8. 数据传输采用UDP/IP广播方式。

DIS标准定义的核心内容是PDU和DR算法。DIS3.0标准共定义了27种PDU和9种DR算法公式。IEEE Std 1278.1 a-1998中PDU的定义又增加了40余种。DIS应用系统之间的

^{*} 本课题得到国家十五863重大应用课题05-ZD06资助。

分布信息交互如图1所示,所有应用程序的交互数据都是 DIS 标准定义的 PDU,基于 IP 协议使用 UDP 通讯广播方式进行互操作。

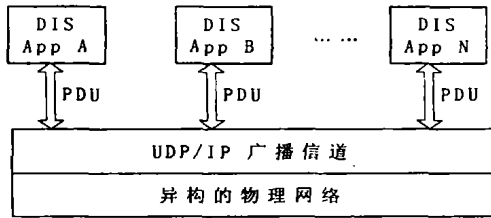


图1 DIS 系统的交互体系结构

DIS 标准虽然取得了一定成功,但最终被 HLA 所取代,主要原因是因为 DIS 自身体系结构所固有的缺陷不适应仿真发展的要求^[4]。

首先,DIS 广播通讯模式要求仿真系统中的所有交互数据都广播到整个网络中。这浪费了网络带宽,大规模系统中广域网的主干极容易成为瓶颈,使得许多具体应用受到很大限制。

其次,DIS 广播通讯模式让应用程序被动地接收所有交互数据,其中很可能包括应用程序并不关心的数据,那么对于此应用程序来说这些数据就是垃圾信息,而且随着仿真规模的扩大这些垃圾信息成正比例增加。

第三,DR 算法增加了主机的负载。DIS 标准要求所有系统都使用 DR 算法模型来推算所有远程实体的当前状态。仿真系统一般每秒钟进行数十次左右的仿真循环^[8],每次仿真循环中都可能进行复杂的仿真计算、图形更新等操作,那么在数千甚至上万实体规模的仿真中,每一次系统仿真循环中都要应用 DR 算法来推算所有的实体位置状态的任务过于苛刻。

第四,DIS 标准没有定义描述静止实体的方法。树木、房屋的损坏无法在网络环境中交互,从而分布式环境动态变化的一致性难以得到保证。

第五,没有与 C4ISR 等系统之间的交互接口。这让平台级战术仿真系统、聚合级战役仿真系统、以及实战 C4ISR 等系统之间无法互联以达到互操作,从而不能使仿真演练变得更加方便、客观、实用。

3. HLA 标准研究

HLA 标准文档有3个部分:框架与规则(Framework and Rules)、盟员接口规范(Federate Interface Specification)和对象模型模板规范(Object Model Template Specification)。根据框架定义 HLA 体系分为规则、接口规范、对象模型模板三个部分,如图2所示,这3个部分有机地结合在一起共同构成 HLA 仿真体系结构。

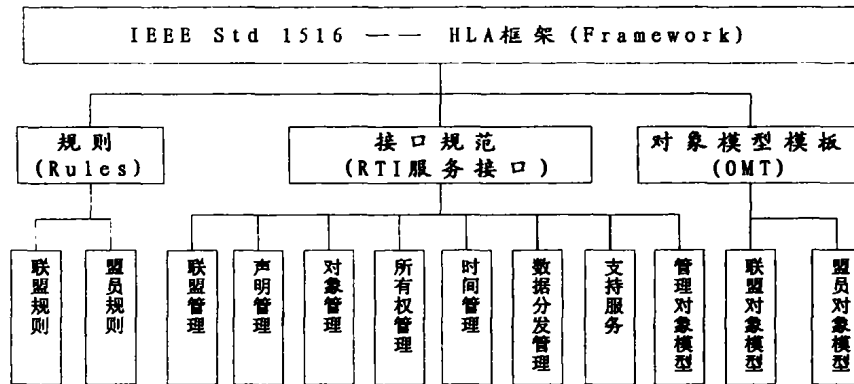


图2 HLA 框架

HLA 规则共有10条,包括5条联盟(Federation)规则和5条盟员(Federate)规则。HLA 把一次仿真演练运行总体称为联盟,参与其中的应用程序称为盟员。HLA 规则定义了 HLA 应用系统的信息交互体系结构,如图3所示。交互信息的描述与解释定义在联盟对象模板(FOM)中,其格式必须遵循对象

模型模板(OMT)。这样 RTI 就能根据 OMT 格式读懂 FOM 中的内容,并负责为所有的应用程序(即盟员)完成具体的信息交互。在 HLA 体系结构中,RTI 起着类似分布式操作系统的重要作用。

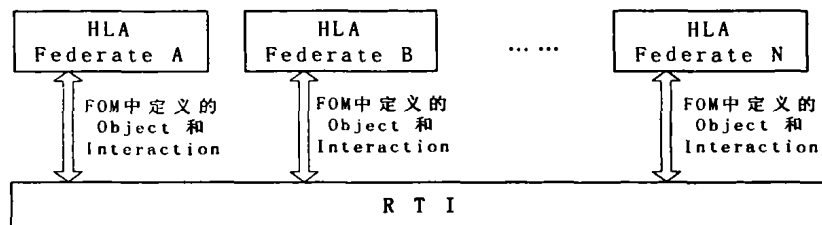


图3 HLA 系统的交互体系

RTI 提供的具体服务功能由 HLA“盟员接口规范(Federate Interface Specification)”定义,包括联盟管理(Federation Management)、声明管理(Declaration Management)、对象管理(Object Management)、所有权管理(Ownership Man-

agement)、时间管理(Time Management)、数据分发管理(Data Distribution Management)、支持服务(Support Services)、管理对象模型(Management Object Model)8个部分^[7]。下面我们根据这8类服务来具体研究分析 HLA。

联盟管理的主要服务是联盟的创建、暂停、恢复、删除,以及联盟中盟员的加入和退出。在 DIS 演练中,所有参加演练的应用系统加入与退出都是完全独立自主的行为,因此协同演练的顺利进行需要系统操作人员的保证。而 HLA 联盟管理提供了演练行为的管理和控制,所以 HLA 体系结构不再要求系统操作人员提供保证,就可以让演练(联盟)更加有序地进行。

声明管理的核心是订购(Subscribe)与发布(Publish)。如同生活中一个家庭只有“订购”了报纸和牛奶才可能收到报纸和牛奶,牛奶厂也要通过广告等形式“发布”消息通知大家,它能够提供牛奶以及可以提供哪些牛奶品种一样,盟员的消息发送和接收都必须事先进行发布与订购的“声明”之后,RTI 才会根据这些声明信息传递交互数据。这种服务为 HLA 应用系统提供了一种基于对象类型和交互类型的数据过滤方法。

HLA 对象管理服务是维护分布式环境一致性的基本方法,是 DIS 标准中 PDU 交互思想的延续和扩展。HLA 把 DIS 中实体(Entity)概念扩展为“对象”(Object),把各种事件(Event)归纳为“交互”(Interaction)。对象管理服务的主要内容包括“对象”实例的生成、删除、属性更新和各种“交互”消息的发送与接收。DIS 标准中只能用实体状态 PDU 来描述某个具体的对象实例,HLA 则可以在 FOM 中自由地定义包括树木、桥梁等静态对象或者是聚合实体的具体属性描述数据,这样 HLA 系统既可以方便地维护动态地形,也可以灵活地与 C4ISR 等系统实现互联。

所有权管理为联盟运行提供一种对象属性所有权合理有序转移的方法。DIS 体系中实体的所有权是固定的,HLA 所有权管理的使用,可以方便地在分布环境下进行缴获车辆、器械维修等战术仿真。因此,HLA 仿真更加真实合理。

时间管理是 HLA 中的一个特殊服务,其核心是根据并行离散事件仿真(PDES)思想为联盟中盟员提供一个逻辑时间同步的机制,并实现消息在分布环境中顺序的一致性^[7,10]。

数据分发管理是更细微和灵活的数据过滤方法。声明管理过滤方法只是基于对象分类,而不考虑对象属性值;数据分发管理则可以定义具体对象属性值范围(即域,region),并根据属性值来过滤。比如说,一辆坦克使用数据分发管理只订购 10 公里范围内的坦克,那么与它相距 20 公里的坦克数据就不会被收到,它也就不会“看到”这辆坦克。因此,数据分发管理不仅可以帮助应用程序进一步过滤接收数据,而且其仿真效果也更符合实际情况。

在一次联盟运行中,对象、对象实例、域等都有名字(Name),也有一个 32 位无符号整数表示的标识(Handle)。支持服务可以为盟员提供名字到标识的相互转换服务。另外支持服务还提供关闭和启动 RTI 功能等服务。总体上说 HLA 支持服务主要是为方便系统设计者而提供的一些工具性方法,与仿真本身的需求没有直接的联系。

管理对象模型提供了在联盟运行过程中访问 RTI 操作信息的方法。联盟中盟员可以使用管理对象模型观察和控制联盟执行的情况,与 HLA 联盟管理服务一起使用可以完成联盟运行的暂停、保存、重起、恢复继续等功能。另外在一次联盟运行中,交互数据都静态地定义在 FOM 中,通过管理对象模型可以动态地调整联盟中的交互数据定义。HLA 管理对象模型为演练管理器一类的盟员提供了一些方法和机制,以达到对演练(联盟)过程的监控。

综上所述,与 DIS 相比,HLA 标准具有如下主要优点:

1. 信息过滤方法使得 HLA 应用程序只收到自己感兴趣的信息,避免了垃圾信息,减轻了负载。
2. FOM 的灵活方式,给所有的应用(如 C4ISR 系统)提供了一种灵活的接口。
3. 可以把静态对象的信息交互定义在 FOM 中,因此可以维护动态地形。
4. 增加了可靠(reliable)交互模式,避免了重要信息的丢失问题。
5. 时间管理服务不仅保证了整个分布式联盟中数据信息的顺序一致性,而且也提供了一种协同操作同步的方法。
6. 所有权管理服务使得仿真更加合理。

HLA 虽然有许多优点,但是 HLA 实践者对 RTI 的抱怨仍非常普遍^[9],以至于美国 DMSO 宣布放弃了 1998 年来一直奉行的由自己生产与维护 RTI 的策略而将采取商业化模式^[6]。2002 年 9 月后 DMSO 相关的仿真系统中,RTI 将完全在商业竞争下由 RTI 使用者自由选择。其原因主要有两点。

首先,HLA 没有定义或推荐 RTI 具体实现方法。作为一个崭新的领域,很多机构和单位开始研究和实现 RTI,我国也已经出现了多种 RTI。因为 HLA 与 RTI 还处于起步阶段,包括美国 DMSO 在内的所有 RTI 效率都不太好,尚不能满足使用者的要求。

其次,HLA 也没有定义或推荐 RTI 之间的协调方法。HLA 标准虽然宣称其目的之一是解决“互操作(Interoperability)”,但如图 3 所示,这种互操作只局限于 RTI 的盟员接口之上,而 RTI 内部如何处理完成这些服务以及 RTI 与 RTI 之间如何来协调这些服务没有任何方法或建议,也就是说 RTI 盟员接口之下的互操作问题 HLA 没有解决。与之对应的 DIS 标准中定义了通讯模式为 UDP 广播,通讯内容为 PDU,所以如图 1 所示,DIS 标准完整地解决了互操作问题。从这点上说,HLA 还是不完善的标准。目前让不同厂家的 RTI 能够协调工作共存于同一联盟中还是一个难题。

4. RTI 现状及机遇

前面提到由于 HLA 标准自身的原因,对于 RTI 来说,目前存在运行效率低下和不同厂家 RTI 之间没有互操作性两个主要问题。对于我国的研究人员来说,这是挑战同样也是重要的机遇。解决好这两个问题,将提高 RTI 的可用性,充分展现 HLA 优点并极大地推动 HLA 发展。

目前,国内外出现了许多种 RTI,但究竟哪种更好一些呢?要回答这个问题,就必须首先确立一套 RTI 性能的量化评价指标。有了它就可以具体比较不同 RTI 的性能,RTI 的生产者也可以有明确的改进目标而使 RTI 越来越符合实用要求。

另一个需要解决的重要问题是 RTI 的互操作。有两条途径,一是让所有的仿真系统都使用统一的 RTI,另一个是建立一套大家共同遵守的 RTI 到 RTI 网络交互协议。DMSO 关于 RTI 商业化策略转变的事实告诉我们在目前情况下,要求所有仿真系统使用统一规定的 RTI 是不现实的。那么由主要的 RTI 生产者协商,提出一套 RTI 与 RTI 之间互操作的协议就成为值得尝试和努力的方向。

目前我国已经有数家单位实现了 RTI。但是它们之间既不能实现互操作,也没有哪一家能有说服力地阐述自己的

(下转第 96 页)

点)的地址再转发。目的是通知原路上各个节点,本节点(如图3中F点)有某个数据文件,那么以后这些中间节点(如图3中B、D点)就可以直接同F通信,从而减少以后搜索该数据经过的节点数,而数据也流向请求活跃区。在Freenet中,采用沿原路径返回数据文件,而不是请求的响应包,这就极大地扩散了数据文件,但也加重了网络的负担。而在Gnutella中,也采用沿原路径返回方法,但是可以选择返回请求响应包或者数据文件。响应包没有通知中间节点的功能,请求源和请求目的地也没有直接通信。

(2) 当对等点要加入或退出网络,或是更新文件时,它也要通知别的节点,这也是数据扩散的一种方式。在文[6]中提出了一种“本地目录”的方法:每个节点维持一个简单目录,以保存以该节点为中心,以某定长为半径的圆周范围内对等点的数据信息。这是针对当前典型应用平台的一种优化。这显然是一种基于宽度优先的扩散策略。这是让数据向各个方向扩散。我们认为在一个物理松散的网络环境下,更应该强调数据的相关性、更加面对用户的需求。基于前面提到的第二个基本观点数据应尽量流向请求活跃区,我们采取折衷式的深度优先的策略:将加入、退出、更新信息发给直接相邻节点,而其相邻节点的一个子集(一个向本节点请求频率高的集合)再以同样方式转发出去,消息生存期(TTL)当然是有限制的。结果自然也是流向请求活跃区。

通过以上几个方面的处理,结果是每个对等点的本地目录信息保存的是几方面的内容:

- 直接相邻节点的信息。
- 本节点曾经向其请求过数据的对等点信息。
- 曾经转发过请求,并有成功响应的目的节点信息。
- 曾经向本节点请求过数据的节点的信息。

可见,目录服务维护了许多数据的关联信息。这样使得相应的对等网络具有动态的自适应性:它可以使网络的拓扑结构向着有利于用户需求的方向变化,可以使一些更有能力的节点提供一些相对集中的服务,具有类似传统集中式结构下服务的优点。这些策略都是努力创造一个基于数据的、与地域无关的网络环境。

2.4 挑战

数据搜索策略与对等网络的路由机制有关。在实际应用

中,路由问题并不容易解决,P2P网络的离散性和动态性是其一切困难和挑战的源泉。目前,Gnutella网络被组织为一种二层结构,超级节点路由其中大部份数据,一般节点则基本上不负责路由数据。芝加哥大学的研究人员对Gnutella进行彻底的研究后发现Gnutella在互联网上的运行效率不够高,原因是它的基础架构不符合互联网最基本的拓扑学原理:互联网连接的方式是使数据从纽约通过芝加哥传输到旧金山,Gnutella则没有考虑到互联网基本的拓扑结构,可能使数据绕道东京,再被传输到旧金山。这就提出了有关路由的问题是如何使P2P网络的拓扑结构能自适应最佳的互联网物理网络。

结束语 目前业界关于P2P的应用迅速增加,包括搜索引擎、文件共享和管理、在线协作、分布式计算等,但大多倾向于采取混合式的网络结构,即提供集中式服务来提高通信的效率。通信的一个重要方面是如何搜索对方节点,搜索机制的效率问题是其中的难点,本文主要在对搜索策略的探讨中提出一些改进效率的方法,为建立高效的P2P平台探索一些新的思路。P2P并不一定能成为以后互联网的主流平台之一,但是研究P2P为寻找更成熟的互联网计算平台是一个有益的探索,对等搜索问题也是一样。

参考文献

- 1 Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies. O'Reilly. Andy Oram
- 2 Sundsted T. The practice of peer-to-peer computing: Introduction and history A new-fangled name, but an old and useful approach to computing. <http://www-900.ibm.com/developerWorks/cn/java/j-p2p/part1/index-eng.shtml>
- 3 Gnutella's website: www.gnutella.com
- 4 Sundsted T. The practice of peer-to-peer computing: Discovery. <http://www-900.ibm.com/developerWorks/cn/java/j-p2p/part5/index-eng.shtml>
- 5 Sundsted T. The practice of peer-to-peer computing: IP Multicast-based discovery. <http://www-900.ibm.com/developerWorks/cn/java/j-p2p/part6/index-eng.shtml>
- 6 Yang B, Garcia-Molina H. Improving Search in Peer-to-Peer Networks. <http://www-db.stanford.edu/peers/>
- 7 Oram A. Gnutella and Freenet Represent True Technological Innovation <http://www.oreillynet.com/pub/a/network/2000/05/12/magazine/gnutella.html>

参考文献

- 1 赵沁平. DVENET 分布式虚拟环境. 科学出版社, 2002
- 2 何红梅. 分布式虚拟战场环境系统结构的研究与实现:[博士论文]. 北京航空航天大学, 2000. 3
- 3 <http://www.ieee.org/ieeexplore>
- 4 IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation- Application Protocol (IEEE Std 1278. 1-1995)
- 5 IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation-Communication Services and Profiles (IEEE Std 1278. 2-1995)
- 6 <http://www.dmsso.mil>
- 7 IEEE Std 1516. 1-2000 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)-Federate Interface Specification
- 8 吕良权. 分布式交互仿真应用程序开发工具 DVE-Link 的研究与实现:[硕士论文]. 北京航空航天大学, 1999. 3
- 9 Myjak M D, Clark D, Lake T. RTI Interoperability Study Group Final Report. 99F-SIW-001
- 10 Fujimoto R S. Time Management in the High Level Architecture [J]. SIMULATION, 71(6): 388~400

(上接第21页)

RTI具有技术领先或者满足仿真系统具体要求的特殊之处。这种状况已经开始妨碍HLA的进一步应用发展。所以,尽快确立一套RTI性能量化指标,同时研究一套RTI到RTI网络交互协议,让不同厂家之间的RTI可以互操作,这不仅会促进HLA的应用,也可能使我国在HLA研究和应用领域达到世界领先地位。

结论 和DIS标准相比,HLA体系结构具有许多明显的优点,这表明HLA是仿真发展的方向,它代表了分布式虚拟现实的未来。但是HLA标准本身尚不完善,导致现有的一些RTI运行效率不高,不同厂家的RTI与RTI之间也无法实现互操作。这些问题是今后HLA与RTI研究的重点。确定“RTI性能量化评价指标”和“RTI到RTI的网络交互协议”可以解决这些问题,是当前HLA/RTI研究领域的重要课题。