

算图的结构,使其能映射到阵列上。因而,确定一个合理的阵列结构是非常重要的,将影响阵列设计的整个过程。这个阵列结构就是所谓的阵列模型。

在文献中,有些模型是隐式体现在设计出阵列中的。如:Kung 在早期的设计^[1,2]中有些含有广播线,这种结构称为半 SYSTOLIC (Semi-Systolic)。

有些是显式讨论的,这些模型比较重要,因为它们是以形式化给出的。Moldovan 建立了一个模型^[12],用三元组 $(G; F, T)$ 表示, G 是阵列的拓扑结构,处理单元之间按近邻原则互连; F 是处理单元要完成的操作集; T 指定了处理单元进行特定运算及传输数据的时序。但是,该模型的定义不是非常严格,它仅明确限制了阵列的结构,而对阵列的执行机制作任何规定,另外,对 F 和 T 也没有任何约束。参数法^[15,16]采用的模型在阵列的执行机制和结构上作了进一步的约束,它限制拓扑结构是严格一致的及数据在阵列中只能直线传输。

上面是专用阵列的模型。通用机必然要采用不同的模型,但是目前也只有类似于传统多机系统的描述。

目前,阵列模型非常混乱,不同的研究者均依个人喜好采用自己的模型,多数是隐式的,其结果是关于阵列的研究很混乱。如:在任务调度时,文^[21]考虑了通信延迟,计算与通信重叠,Cache 和存储器等因素,这些研究成果不能为专用阵列所用。

如何采用一些评价尺度,用模拟的方法对不同模型进行定量比较,进而提出一些模型,有充分的灵活性、高的计算能力及可实现性。这对 SYSTOLIC 计算的研究有重要的指导意义。

3.2 大问题的划分技术

LSGP 和 LPGS 处理后的计算图与原图维数相同,对于高维(四维以上)的问题,DM 和 GPM 原则上是可以进行超低维阵列设计的,但是超低维设计的阵列效率会很低。目前在文献中还没有一个具体的低维设计实例,这也说明了这一问题。一个解决方法是只用高维算法的某几维来设计阵列,利用该法有一些设计实例,但是,没有任何系统化方法能支持这一点,此时问题的根本点在于:该选取哪几维?我们认为可将数据重用度作为选择基准,程序重构技术^[10]作为实现技术。 (下转第 69 页)

(上接第 8 页)

予了大力支持。政策上,DoD 的仿真与建模办公室(DMSO)专门成立了 AMG(体系结构管理组)负责 HLA 框架内有关标准的制定,以使 HLA 一开始就沿着健康的道路发展,DoD 明确规定今后军事领域内的仿真活动必须在 HLA 的框架下开展,已有的仿真系统要转换成 HLA 兼容方式;财政上,DoD 投入资金支持 HLA 方面的研究工作,并资助 HLA 核心 RTI 原型的开发。

新的技术往往首先应用于军事领域,HLA 也不例外,但 HLA 并不局限于军事领域,由于 HLA 从更高层次上理解仿真的要求和特点,它在结构和功能上是合理和完善的,能适应各类型仿真的发展,并支持它们之间的互操作和可重用。因此 HLA 在商业领域也有很好的应用前景,如娱乐业的网络游戏的开发等都可以应用 HLA 框架,事实上目前 DoD 正积极寻求与商业领域的合作^[2],可以说 HLA 将对未来仿真的应用与发展产生深远的影响。

参 考 文 献

[1] DMSO, High Level Architecture Baseline Definition,

August 15 1996, <http://www.dmsi.mil>

- [2] J. S. Aronson, Approaches to Runtime Communications for Distributed Simulations, Proc. of 1997 Spring SIW
- [3] J. O. Calvin, et al, An Introduction to the High Level Architecture (HLA) Run-Time Infrastructure (RTI), Proc. of the 15th DIS Workshop, 1996
- [4] D. Fullford, Distributed Interactive Simulation: It's Past, Present, and Future, Proc. of 1996 Winter Simulation Conference, 1996
- [5] R. Weatherly et al, Aggregate Level Simulation Protocol, Proc. of the 1991 Summer Computer Simulation Conference, Maryland, July 1991
- [6] Steve Vinoski, CORBA: Integrating Diverse Applications Within Distributed Heterogeneous Environments, IEEE Communications Magazine, (14) 2 1997
- [7] 邱小刚,黄柯棣,HLA 中对象模型的分析,全国仿真会议,张家界,1997
- [8] 童军,李伯虎,分布交互仿真技术的新发展,全国仿真会议,张家界,1997

新一代仿真技术框架 HLA^{*}

New Generation Simulation Technical Framework: High Level Architecture

史扬 金士尧 张晨曦

(国防科学技术大学计算机学院 长沙 410073)

摘要 High Level Architecture is a new technical framework for simulation proposed by U. S. DoD, it's main purposes are to solve the interoperability and reusability of simulations within DoD domain. RTI plays the key role in HLA framework, it is the infrastructure of simulation execution. This paper first introduces the background and concept of HLA, then analyzes the details of HLA and discusses the key implementation issues of the HLA/RTI.

关键词 High Level Architecture (HLA), Run-Time Infrastructure (RTI), DIS, ALSP, Interoperability, Reusable, Common Object Request Broker Architecture (CORBA)

计算机仿真技术是以相似原理、系统技术、信息技术及应用领域的相关专业技术为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设计中的系统进行动态实验研究的一门多学科综合技术。计算机仿真由于其有效性、经济性、安全性和保密性等优点而受到各行各业的重视,目前正广泛地应用于军事及国民经济的各个领域。计算机仿真发展到今天,受社会需求和相关技术的影响有了很大的发展,开展仿真活动的方式有了很大的变化。本文介绍一种目前受到广泛关注的新的仿真技术框架—HLA,并讨论了有关问题。

1. HLA 提出的背景

1.1 现代仿真发展的特点及要求

随着社会的发展和科学技术的进步,社会各领域所面临和解决的问题也越来越复杂,作为研究重要手段的计算机仿真技术也相应地发生了变化。总的来说现代仿真应用呈现出以下特点:

1. 仿真规模由小到大,从局部到整体。例如在军事领域中,武器系统的仿真已由控制和制导系统仿真应用向全武器系统及其全生命周期的仿真发展。

2. 由集中向分布式发展。例如在大规模的作战演习中可以通过分布交互仿真,借助于网络技术将地理分散的人员和作战平台与建立在计算机技术为基础的虚拟仿真(VS)、计算机生成的兵力(CGF)、作战规划系统等结合在一个共同的环境实现复杂的仿真。

3. 由单一到多样化。例如现代的军事仿真要求将陆海空等不同的仿真应用集成到一起实现联合军事演习。

现代仿真发展的新特点对仿真领域的开发活动提出了新的要求。总的来讲,它对未来仿真的发展提出了三点新要求:

现代仿真发展的新特点对仿真领域的开发活动提出了新的要求。总的来讲,它对未来仿真的发展提出了三点新要求:

①不同类型的仿真系统间的集成。对物理分布不同类型的仿真应用集成,如将基于等时间步长的实时连续系统仿真、基于 ALSP 标准的聚集级仿真、实际的 C4I 系统集成到一个分布交互的综合环境中。

②仿真应用间的互操作性。支持仿真应用之间的协同工作,以灵活地构成符合不同目的的仿真。

^{*} 本课题受国家自然科学基金和国防预研基金资助,史扬 博士生,研究方向为计算机仿真、分布并行处理技术。金士尧 教授,博士生导师,主要研究领域为高性能机体系结构,先进仿真机系统。张晨曦 教授,博士生导师,项目资助者,主要研究领域为高性能机体系结构、动画技术。

③仿真软件的可重用性,各仿真领域开发的仿真构件能够重用以减少重复开发,减少开发代价,缩短开发周期。

1.2 现有仿真技术的不足及HLA的提出

DIS(分布交互仿真)^[4]是在80年代中期, DARPA 为陆军研制的 SIMNET 的基础上发展而来的,DIS 可使多个仿真应用通过网络进行交互作用,虽然 DIS 解决了异构仿真结点在一个综合环境下的交互问题,但它存在以下主要缺点:首先,DIS 仅适用于实时平台一级的仿真,不能将更广范围的仿真系统集成到一个综合环境中;其次,DIS 使用广播方式发送数据,且不能有选择性地只发送发生变化的实体状态信息,因此网络带宽浪费严重,限制了系统规模的增长。

ALSP^[5]是在 DIS 成功的基础上发展而来,它的提出是为了解决聚集级的仿真应用,如多军种联合演习等,它存在的主要不足是:ALSP 只能进行离散事件、逻辑事件的仿真。

除了以上不足,DIS 和 ALSP 从一开始就没有考虑仿真互操作和可重用问题,因此影响了仿真应用从深度和广度的发展。随着现代化作战中武器系统、指挥系统等日益复杂,采用分布仿真和提高作战仿真活动的效率成为仿真技术能否在国防领域中成功应用的关键,国防领域未来的各种大规模分布仿真要集成多个部门开发的不同类型的仿真应用,因而提高仿真效率的主要途径是各部门在各阶段开发的仿真应用能互操作与重用^[1]。

在此背景下,负责军事领域仿真的美国国防部建模与仿真办公室(DMSO)于1995年提出了一个全新的仿真技术框架HLA(高层体系结构)。其目的是解决各种类型仿真应用之间的互操作和仿真部件的可重用。HLA 能将更广范围的仿真系统集成到一个综合环境中,如将基于 DIS 协议的平台级实时连续系统仿真、基于 ALSP 协议的聚集级作战仿真系统、实际的 C4I 系统集成到一个分布交互的综合环境中,提供更大规模、灵活多样的仿真。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^[6]。

2. HLA 定义及组成

2.1 HLA 定义

HLA 是为解决军事领域内仿真应用之间的互操作性和可重用性提出的通用的仿真技术框架,它

定义了构成仿真各部分的功能及相互间的关系。HLA 的原始概念于1995年3月提出,在经过四个原型系统的开发与试验后,于1996年8月正式公布了 HLA 的定义、组成、和接口规范说明。HLA 主要由三部分组成^[1]:①规则;②对象模型模板 OMT;③接口规范。

在 HLA 中,为实现某种特定的仿真目的而组织到一起,并能彼此进行交互作用的仿真系统、支撑软件和其他相关的部件就构成一个联邦(Federation),所有参与到一个联邦中的应用系统被称为联邦成员(Federate)。联邦成员可以是任意类型的仿真应用或联邦成员管理器、数据收集器、真实的实体代理仿真或消极观察器等。图1所示为联邦组成的逻辑示意图。

HLA 的规则规定了所有联邦及其所必须符合的要求,表述了 HLA 中各个部件的功能划分和逻辑关系,体现了 HLA 为达到其目的的构思和原则。HLA 规定了十个规则,规则的约束条件确保联邦成员对 HLA 的兼容性。对象模型模板 OMT 的作用是提供一种标准的文档化的格式来描述联邦及其成员的对象模型信息,它包括两个部分:FOM(联邦对象模型)和 SOM(仿真对象模型)。FOM 提供一个联邦各成员间所有用于交换的数据的详细说明;SOM 给出每个联邦成员能够提供给联邦的自身能力的详细说明。接口规范则详细定义了 RTI(运行支持平台)提供给联邦成员的功能调用。

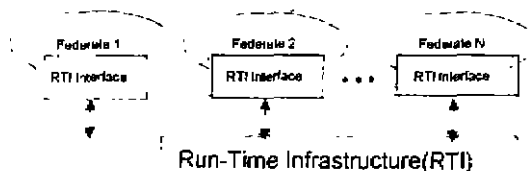


图1 联邦组成逻辑示意图

2.2 HLA/RTI 的功能

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,即在一个联邦的执行过程中,所有的联邦成员按照 HLA 的接口规范说明所要求的方式同 RTI 进行数据交换,实现成员间的互操作。RTI 提供的功能相对于联邦成员是透明的,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,同时遵循共同 RTI 接口的仿真应用可灵活组成功能各异的联邦,有利于仿真构件的重用以满足不同的需要。RTI 作

为联邦执行的核心,其功能类似于某种特殊目的的分布 OS,为联邦成员提供运行时所需的服务。RTI 提供六大类服务^[2]:

- 联邦管理:主要提供管理联邦运行的服务,如创建、动态控制、修改和删除联邦的执行等。

- 声明管理:为联邦成员声明它们希望创建和接收的状态和交互信息提供服务。

- 对象管理:提供在声明管理中对所描述的各类实例的控制服务,如提供创建、删除对象,以及更新对象数据和交互数据等服务。

- 所有权管理:提供联邦成员间转换对象的所有权属性,在联邦执行的任意时刻,其中对象的任一属性应有一个成员来负责其值的更新,这时称该成员拥有属性的所有权,属性的所有权可以在成员之间转移,所有权管理服务即用来处理属性所有权的迁移和接收。

- 时间管理:为各联邦成员对数据的不同传输要求提供服务,提供协调联邦成员各自不同的局部时钟管理的服务。在 HLA 中,成员的运行可视为一系列计算,其中一部分计算称为事件,一些事件与其它成员相关,从高层来看,联邦相对于 RTI 是一组相互交换带时间戳事件的成员集合,而 RTI 是事件的交换机。时间管理服务的目的是保证 RTI 能在适当时间以适当方式和顺序将来自成员的事件转发给相应的成员。

- 数据分发管理服务:其目的是限制一个大规模联邦中成员接收的信息的范围,这样一方面可减少成员处理的数据量,另一方面可减少网络上传输的数据量。支持数据分发的基本概念是路径空间,它是一个多维的关键空间,联邦成员用它来描述其希望接收与发送的数据。路径空间的子集称为区域,联邦成员可以指定一个定购区域,以通知 RTI 只有落入此区域的数据才发送给它。联邦成员也可以为一个对象指定一个更新区域,这表示成员将保证当它更新对象属性时,如属性值进入了更新区域则将更新的属性值发出。

这六类服务对仿真领域来说是功能完备的,能满足绝大多数仿真应用的要求,同时它又是精炼的,只提供完成仿真交互所必不可少的功能,以保证 RTI 简洁高效。

2.3 HLA 对互操作和可重用性的支持

2.3.1 OMT 的组成 按 HLA 规则规定,所有的联邦及联邦成员必须拥有各自的对象模型 OM,即联邦对象模型 FOM 和仿真对象模型 SOM。

FOM 提供一个联邦内部各成员间所有用于交换的数据的详细说明,如公共的对象类及其属性、交互类及其关联的参数等信息;SOM 提供每个成员仿真能够提供给联邦的自身能力的详细说明。OMT 则是描述 OM 的标准化的框架,采用标准化的描述是为了提供通用的、易交流的、易理解的机制来描述联邦。

OMT 的完整信息包括两部分:OMT 和 OMT 扩展。其中 OMT 记录的是:对象类定义(结构)、交互、属性等。而 OMT 扩展则提供描述对象间关系的补充机制,记录对仿真有用的、有助于理解仿真应用但又不能记录在 OMT 中的信息。联邦运行时 RTI 需 OMT 中的信息但一般不需要 OMT 扩展中的信息。

由 OMT 形式描述的 FOM 和 SOM 被存入相应的数据库中,作为建模和仿真资源库的一部分,提供联邦执行开发过程中使用或重用。

2.3.2 OM 对互操作的支持 HLA 将互操作定义为一个仿真能向其他仿真提供服务及能接受其他仿真的服务,OM 对互操作的支持表现在 OMT 有效地记录了一个仿真能提供什么样的服务,服务通过公布/定购属性和发出响应交互来实现,而 FOM 和 SOM 则详细记录了相关的信息。在 FOM 中还使联邦的能力与联邦的需求相匹配。这些信息在联邦运行时提供给 RTI,使各个仿真能协调地交换信息。

OM 采用了类的层次结构来扩展联邦成员定购信息的能力,通过定购一个对象类的所有属性,联邦成员可以收到全部属于该类(及其子类)实例的属性变化值,从而达到交换互操作的目的。

2.3.3 OM 对重用的支持 重用意味着一个仿真或仿真组件能支持多个应用。在 HLA 中,仿真和仿真组件可以在 RTI 的支持下,按不同的方式配置形成不同的仿真环境,以满足不同的应用需求。HLA OM 对重用的支持有两点:一是注意可重用部件对于人的可理解性;二是它使通过 OMT 的定义使联邦和联邦成员成为了一种粒度比类更大的可重用部件。

1. 增进开发者对可重用部件的理解。仿真与仿真组件重用的一个基本前提是开发者能充分理解可重用部件的能力,确定可重用部件是否满足自己的应用要求。HLA OM 集中描述了联邦的外部特征:它具有的能力,这正是开发者选择重用部件的依据。OMT 采用了简明的、易于理解的标准的表格方式

来记录信息,开发者可迅速把握联邦及其成员的能力。同时,HLA 还专门用 OMT 扩展来记录有益于理解联邦的信息,进一步增强了仿真部件的可理解性。

2. 建立了一种可重用的架构。HLA 中每个联邦及其成员都是一种具有特定用途的仿真应用,而 OM 描述了该仿真应用的基本能力和需求。在 OM 的描述下,结合 RTI 提供的服务,仿真应用成了一种可重用的架构。一种架构是一类特定应用的所有基本组成单元,面向的是与这类特定应用有关的开发人员和最终用户,而这些基本单元是它们完成特定任务所必备的。从面向对象的观点来看,架构是以类、类层次结构和类库的形式出现的,OMT 说明 OM 的方式正是类层次结构。当用 OM 来描述一个特定仿真部件(联邦或联邦成员)且该部件也满足开发者的需求时,该仿真应用就能够作为一个架构而被重用。架构是一种比类粒度更大的重用单位,它以类之间密切的联系为特征,面向特定应用领域,以整个架构而不是其中的单个类来体现其重用性。一旦与应用要求相符合,架构就可以整体地被重用。

3. RTI 实现的技术问题

3.1 性能问题

RTI 是联邦执行的核心,它提供联邦成员透明的服务,以完成互操作。按照规定所有的交互信息都由 RTI 传递,因此 RTI 的性能决定仿真执行的效率。衡量 RTI 的性能指标是吞吐率及端-端延迟。

- 吞吐率:单位时间所处理的业务(服务)数。
- 端-端延迟:数据从发送端到接受端的延迟时间。

吞吐率及端-端延迟与 RTI 实现的体系结构有关,如采用集中式(RTI 服务处理集中在一个机器上)或分布式 RTI 实现,集中式实现有利于减少 RTI 服务之间调用的网络延迟(共享存储器)、可以利用现有高性能计算平台的并行处理能力,缺点是系统规模受限。小系统采用集中式结构,在系统规模较大时采用集中分布式结构是一种有效的解决方法。

3.2 实时性问题

现有的 RTI 是基于 CORBA^[4](Common Object Request Broker Architecture)标准实现的,CORBA 是对象管理集团 OMG 提出的分布式计算平台的标准,其目的是实现异构计算平台上的应用程序的互操作和可重用。按照 OMG 提出的参考模型分布式

计算平台主要由两部分组成:ORB(Object Request Broker)及服务接口。ORB 提供应用程序开发底层的通信服务,使开发者不必关心底层的通信机制;服务接口则提供应用程序之间的互操作调用。CORBA 从体系结构上制定了开放分布计算平台的标准,即各部分组成及相互关系的规范。RTI 作为仿真应用领域内的平台,它与 CORBA 在目标上是一致的,即实现应用之间的互操作与重用。目前 CORBA 得到了商业界广泛的支持,许多重要的系统供货商、系统开发商及用户都宣布支持 CORBA 规范。基于 CORBA 标准实现 RTI 有明显的优点:①具有广泛的适应性;②实现具有平台无关性,便于移植;③不需涉及底层通信,只需提供领域内(仿真领域)的接口服务(六类服务)。

基于 CORBA 的 RTI 实现也有其缺点,目前的 CORBA 2.0 标准不支持 QoS(如实时性等要求)服务,对于仿真领域实时性是不可缺少的要求(如 DIS 类型仿真),目前 CORBA 正针对 QoS 服务要求进行扩展。

3.3 对不同通信机制的支持

RTI 的一个设计目的是实现与底层通信机构的无关性,目前 RTI 的底层通信集中在以 IP 多播(IP-Multicast)通信机制实现。但是,随着 HLA/RTI 技术的进一步成熟和应用的普及,必然要求 RTI 也能支持其他通信机制下的仿真应用,如基于 ATM 的网络环境和共享存储器通信机制。ATM 是一种迅速成熟的技术,它能提供高带宽的通讯,是未来网络的发展趋势,它与基于 IP 多播的通信机制有很大的差别。共享存储机制以共享存储器作为通信媒介。它具有最高的通信带宽,以紧耦合多机系统为运行平台的 RTI 能充分利用高计算能力(由并行执行 RTI 方式获得)和低延迟实现某些特殊要求的仿真应用。今后 RTI 的开发将集中在对性能的改进和对多种网络环境的支持上。

结束语 HLA 是美国国防部(DoD)提出的一种全新的仿真技术框架,其目的是为了解决军事领域仿真应用之间的互操作性和可重用性。在 HLA 框架下,军事领域内部开发的仿真应用之间能够灵活地集成以适应不同的仿真需求,而且已开发的仿真或仿真构件能够方便地被重用以减少仿真开发代价,缩短开发周期,提高仿真效率。

目前 HLA 受到了仿真界的高度重视,特别是军方出于军事上的迫切需要,从政策和财政上都给

(下转第 4 页)