

HLA 仿真

与

UML 建模

齐欢代建民 吴义明 等著



科学出版社

www.sciencep.com

TP312
D093:1

8

HLA 仿真与 UML 建模

齐欢 代建民 吴义明 等著

图注版编目：IP：数独

HLA 仿真与 UML 建模 / 齐欢等著. — 北京：科学出版社，2004

ISBN 7-03-013121-2

UML - 语言设计 / (美) R. M. Martin 著. — 北京：机械工业出版社，2004
I. H... II. ... III. ... IV. ... V. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据 (2004) 第 037344 号

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了高层体系结构 HLA (High Level Architecture) 和统一建模语言 UML (Unified Modeling Language)。全书共分五章, 内容包括 HLA 体系结构、UML、HLA 与 UML 的集成以及基于 HLA 的实例开发等。HLA 体系结构主要介绍了 HLA 的规则、对象模型模板和运行支撑环境的接口规范说明, 对 UML 的常用视图也进行了较清楚细致的介绍。HLA 与 UML 的集成主要是利用 UML 对 HLA 标准的各个环节进行建模。

本书可作为从事 HLA 仿真应用程序开发、软件开发、建模与仿真等研究工作的科研人员和工程技术人员的参考书, 也可作为大专院校系统工程、计算机科学、控制科学等专业学生的教科书。

图书在版编目 (CIP) 数据

HLA 仿真与 UML 建模 / 齐欢等著. - 北京: 科学出版社, 2004.4
ISBN 7-03-013143-6

I. H… II. 齐… III. ①计算机仿真 - 程序设计 ②面向对象语言, UML - 程序设计 IV. ①TP391.9 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 027354 号

责任编辑: 王雨舸 / 责任印制: 高 嵘

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2004 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2004 年 4 月第一次印刷 印张: 12 1/2

印数: 1-1 000 字数: 305 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

计算机仿真技术自诞生以来,已在航空航天、军事、核工业以及其他行业中发挥着不可替代的作用,与多媒体、网络并称为发展前景最好的三大计算机技术。随着虚拟现实技术的蓬勃发展,在我国,已经有越来越多的科研单位和企业在进行计算机仿真技术的研究和开发,研究领域包括仿真建模、计算机辅助设计与制造、可视化计算、各种模拟驾驶培训、遥控机器人、数据和模型可视化、娱乐和艺术、城市设计与规划以及远程操作等。

在计算机出现以前,人们只能采用物理仿真。那时的仿真技术附属在其他有关学科之中。随着计算机技术的发展,在仿真领域中出现了大量共同性的理论、方法和技术问题,致使仿真逐渐形成一门独立的学科。

随着数字计算机硬件与软件的发展,从 20 世纪 70 年代开始,数字计算机仿真也迅速发展起来。数字计算机仿真的特点是精度高、重复性好、通用性强、价格便宜,至今已发展了许多计算机仿真程序包和仿真语言,使用起来特别方便。因此,仿真技术在生产管理、工程技术、军事研究、科学试验、国民经济、重大决策以及在社会科学和自然科学等领域内得到了广泛的应用,其效果是十分显著的。

计算机仿真技术是近 30 年发展起来的一门综合性很强的新兴技术学科,它涉及系统分析、控制理论、计算方法和计算机技术等。计算机仿真就是利用系统模型对实际系统进行实验研究的过程。当在实际系统进行实验研究比较困难甚至无法实现时,仿真技术就成了十分重要,甚至是必不可少的工具。计算机仿真这一方兴未艾的学科与计算机技术结合后必将产生巨大的生产力,让人们的工作和生活更加轻松,更加富有色彩。

近年来,随着计算机技术、信息技术和系统技术的飞速发展,计算机仿真的应用领域不断拓宽,国民经济发展特别是军事需求的强大推动,促使计算机仿真这一新生儿在理论和实践两方面都走上了快速发展的道路。仿真技术在诞生之初的应用领域不算很多,时至今日,计算机仿真已被广泛应用于航天航空、通信、船舶、交通运输、军事、化工、生物、医学、社会经济系统等自然科学与社会科学的各个领域,其重要性已广为人知。随着计算机仿真应用领域的拓宽,计算机仿真需要解决的问题也越来越复杂,许多问题靠单个仿真系统已经无法解决,必须依靠多个仿真系统进行联合协同仿真,因此,分布仿真已成为计算机仿真领域的前沿和热点之一。

与传统的单个系统仿真相比,分布仿真的关键问题是多个仿真系统间的互操作问题,随着仿真系统越来越复杂、开发成本越来越高,仿真系统的可重用性也被迫切地提出来了,为此,美国国防部有关单位通过大量的研究,提出了建模与仿真的高层体系结构 (high level architecture, HLA), HLA 主要解决了仿真系统间的互操作和仿真系统的可重用,其显著特点是通过运行支撑环境 RTI (run-time infrastructure) 提供通用的、相对独立的支撑服务程序,将仿真应用同底层的支撑环境分开,即将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层通信传输三者分离,隐蔽了各自的实现细节,从而使各部分可以相对独立地进行开发,并能充分利用各自领域的先进技术。相对于早期的 DIS 标准,HLA 解决了仿真系统的灵活性和可扩充性问题,减少了网络冗余数据,满足了复杂大系统的仿真需要。2000 年 9 月 HLA 已正式成为 IEEE 建模与仿真标准 (IEEE1516)。美国国防部从 2001 年起就不再支持非 HLA 的仿真,国外其他很

多科研单位也在努力进行这方面的研究,因此,基于 HLA 的分布仿真将是国内外今后仿真发展的主要方向。

统一建模语言 UML 是一个通用的可视化建模语言,用于对软件进行描述、可视化处理;构造和建立软件系统制品的文档。它记录了对必须构造的系统的决定和理解,可用于对系统的理解、设计、浏览、配置、维护和信息控制,UML 适用于各种软件开发、软件生命周期的各个阶段、各种应用领域以及各种开发工具,是一种总结了以往建模技术的经验并吸收当今优秀成果的标准建模方法。UML 标准并没有定义一种标准的开发过程,但它适用于迭代式的开发过程。UML 不是程序设计语言,而是一种通用建模语言,是一种综合的通用建模语言。UML 并不试图成为一个完整的开发方法,其最终目标是在尽可能简单的同时能够对实际需要建立的系统的各个方面建模。

UML 适用于各种应用领域的建模,包括大型的、复杂的、实时的、分布式的、集中式数据或计算的、嵌入式的系统。HLA 是目前最新的计算机仿真标准,体系结构庞大而又复杂,主要用于分布式交互仿真系统的开发。利用 UML 对 HLA 体系结构进行建模是非常适合的,本书也正是在这一方面做一点尝试。

本书共分五章。第一章是绪论,介绍了仿真技术的发展概况、HLA 的提出背景,还简要介绍了统一建模语言 UML。第二章重点介绍了 HLA 的体系结构,系统地介绍了 HLA 的规则、RTI 的接口规范,包括联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分发管理,还系统地介绍了对象模型模板 OMT。第三章介绍了统一建模语言 UML,内容包括 UML 综述和 UML 的相关概念,重点介绍了 UML 的相关视图。第四章是本书的精华部分,重点介绍 HLA 的 UML 建模,利用 UML 对 HLA 的整个体系结构进行了建模,内容包括联邦开发和执行过程的统一建模、HLA 分布式 OMDT 的 UML 模型设计、HLA 体系结构中 RTI 所包含的六大管理的统一建模,并对六大管理用 UML 进行了建模,使得复杂的 HLA 体系结构变得清晰明了。第五章介绍了两个基于 HLA 标准的仿真应用程序的开发过程,一个是汽车厂生产链管理仿真系统开发,另一个是导弹打飞机游戏开发。与其他计算机仿真标准相比,开发基于 HLA 标准的应用程序有很多无法比拟的优点,这两个实例的开发充分体现了这一点。

本书的纲目由齐欢、吴义明、代建民、王小平、刘云峰共同讨论确定。在整个编写过程中,齐欢对每一章作了具体的指导,吴义明组织了整个编写工作。本书编写的任务分工为:第一章由吴义明编写,第二章由郑妮、余峰共同编写,第三章由郑俪璇编写,第四章的所有图形由代建民完成,对图形的审核由吴义明完成,文字编写由卢健、郑妮和余峰共同完成,第五章的第一个实例由晏春平完成,第二个实例由吴义明完成。

HLA 和 UML 都是很新的知识,很多方面还有待于进一步做深入的研究,本书也只是在利用 UML 对 HLA 体系结构建模方面做了一些初步尝试。虽然我们在写作中竭尽全力,但由于水平有限,时间较仓促,加上我们对 HLA 和 UML 的理解很有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请大家批评指正。

本书的出版得到了教育部“研究生教育创新工程”基金和中国航天科工集团航天支撑技术基金的资助,在此表示衷心感谢。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 仿真的概念与应用	(1)
1.2 仿真发展概况	(2)
1.3 高层体系结构 HLA 简介	(3)
1.4 统一建模语言 UML	(6)
1.5 小结	(7)
第二章 HLA 体系结构	(8)
2.1 引言	(8)
2.1.1 HLA 的组成	(8)
2.1.2 HLA 的基本思想	(9)
2.1.3 HLA 的主要特点	(10)
2.2 HLA 规则	(10)
2.2.1 联邦规则	(10)
2.2.2 联邦成员规则	(11)
2.3 RTI 接口规范	(12)
2.3.1 联邦管理	(13)
2.3.2 声明管理	(20)
2.3.3 对象管理	(25)
2.3.4 所有权管理	(31)
2.3.5 时间管理	(38)
2.3.6 数据分发管理	(48)
2.4 对象模型模板 OMT	(57)
2.4.1 概述	(57)
2.4.2 对象模型鉴别表	(59)
2.4.3 对象类结构表	(60)
2.4.4 交互类结构表	(62)
2.4.5 属性表	(64)
2.4.6 参数表	(67)
2.4.7 枚举数据类型表	(69)
2.4.8 复杂数据类型表	(70)
2.4.9 路径空间表	(70)
2.4.10 FOM/SOM 词典	(73)
2.5 小结	(74)
第三章 统一建模语言 UML	(76)
3.1 UML 综述	(76)
3.1.1 UML 的历史	(76)
3.1.2 UML 简介	(77)
3.1.3 UML 的目标	(80)

3.2 UML 的基本概念	(81)
3.2.1 UML 视图	(81)
3.2.2 用例图	(84)
3.2.3 静态视图	(87)
3.2.4 状态图	(93)
3.2.5 交互图	(95)
3.2.6 构件图	(98)
3.2.7 配置图	(100)
3.2.8 模型管理视图	(100)
3.3 小结	(102)
第四章 HLA 与 UML 的集成	(105)
4.1 概述	(105)
4.2 联邦开发和执行过程的统一建模	(106)
4.2.1 FEDEP 模型概述	(106)
4.2.2 设计联邦	(107)
4.2.3 开发联邦	(108)
4.2.4 HLA RTI 运行支撑环境	(111)
4.2.5 联邦集成、测试和运行	(111)
4.3 HLA 分布式 OMDT 的 UML 模型设计	(113)
4.3.1 分布异地建模协同环境框架设计	(113)
4.3.2 分布异地建模的系统设计	(115)
4.4 HLA RTI 的统一建模	(117)
4.4.1 引言	(117)
4.4.2 联邦执行管理	(128)
4.4.3 声明管理	(130)
4.4.4 对象管理	(134)
4.4.5 所有权管理	(139)
4.4.6 时间管理	(145)
4.4.7 数据分发管理	(150)
4.5 小结	(154)
第五章 基于 HLA 的仿真应用实例开发	(155)
5.1 汽车厂生产链管理仿真系统开发	(155)
5.1.1 背景介绍	(155)
5.1.2 功能简介	(155)
5.1.3 系统开发	(155)
5.2 导弹打飞机游戏开发	(178)
5.2.1 背景介绍	(178)
5.2.2 系统开发	(178)
5.2.3 系统运行与仿真结果分析	(188)
5.3 HLA 仿真应用展望	(188)
参考文献	(191)

第一章 绪 论

HLA(high level architecture)是继 DIS(distributed interactive simulation)、ALSP(aggregate level simulation protocol)之后由美国国防部于 1996 年 8 月制订的一种新的计算机仿真标准,并于 2000 年 9 月被 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 电气和电子工程师协会)接受为标准,即 IEEE1516。HLA 可作为开发更大更复杂的计算机仿真的标准,而且还具有其他仿真标准不具有的一些优点。UML(unified modeling language)是面向对象技术发展的产物,它很好地解决了在各类软件设计开发过程中遇到的一些困难,同样也可以用于解决计算机仿真系统设计和软件开发过程中的困难;对于已经开发的一些复杂系统,利用 UML 进行建模也会增强对原软件体系结构的理解,从而能更好地利用原系统的功能并进行二次开发。

1.1 仿真的概念与应用

仿真界专家和学者对仿真下过不少定义。艾伦 (A. Alan)在 1979 年 8 月出版的《仿真》期刊上对众多的定义进行了综述,其中雷诺 (T. H. Naylor)于 1966 年在其专著中对仿真作了如下定义:“仿真是在数字计算机上进行试验的数字化技术,它包括数字与逻辑模型的某些模式,这些模型描述某一事件或经济系统 (或者它们的某些部分)在若干周期内的特征。”其他定义只作了一些概括的描述,比如仿真就是模仿真实系统;仿真就是利用模型来做实验等。从这些有关仿真的定义中不难看出,要进行仿真试验,系统和系统模型是两个主要因素。同时由于对复杂系统的模型处理和模型求解离不开高性能的信息处理装置,而现代化的计算机又责无旁贷地充当了这一角色,所以系统仿真 (尤其是数学仿真)实质上应该包括 3 个基本要素:系统、模型、计算机。而联系这三项要素的基本活动则是:模型建立、仿真模型建立和仿真试验,如图 1.1 所示。

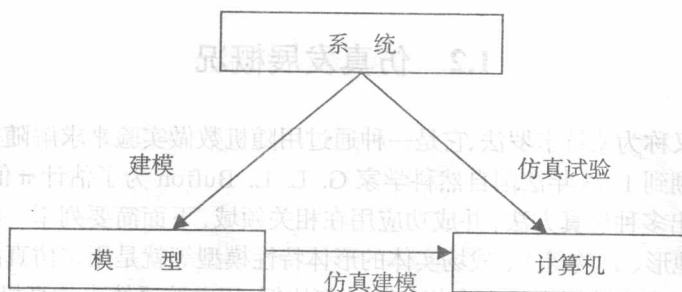


图 1.1 仿真三要素图

从图 1.1 可以看出,仿真和计算机已经不可分割地连接在一起了,于是计算机仿真 (computer simulation)应运而生。计算机仿真是近 30 年发展起来的一项新技术,它是一门由系统工程、现代数学方法和计算机技术等相结合的新兴学科。

计算机仿真技术是以计算机技术、网络技术、图形图像技术、面向对象技术、多媒体、软

件工程、自动控制、数学理论、相似原理、信息技术与处理、系统技术及其应用领域有关的专业知识为基础,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想的系统进行试验研究的一门综合性技术。据最新的统计资料表明,计算机仿真技术是当前应用最广泛的实用技术之一。

仿真技术在发展初期多用于生物、原子物理等学科。随着计算机科学的发展,仿真技术已广泛应用于航空航天系统、交通运输系统、库存系统、市场预测系统,以及人口、生态、能源规划和国民经济的各个领域,并取得了明显的效果。计算机仿真的主要用途是:

(1) 计算数学模型。例如求解代数方程、微分方程、偏微分方程等,特别是对需要进行大量运算的统计分析和寻优计算特别有效。

(2) 设计新型控制系统的综合控制方案及参数选择、实现最佳规划等。

(3) 实施大型企业的科学管理方案及生产、操作人员的仿真培训工作。

(4) 系统生产集成后的性能测试试验。

(5) 计算机仿真技术可应用于产品型号研制的全过程,包括方案论证、技术指标论证、设计分析、生产制造、试验、维护、训练等各个阶段。

仿真技术不仅仅应用于简单的单个系统,也应用于由多个系统综合构成的复杂系统。

香农(Shannon)认为,有下列情况之一时,应考虑采用仿真的方法:

(1) 不存在完整的数学公式,或者还没有一套解答数学模型公式的方法。离散事件系统中的许多排队模型就属于这种情况。

(2) 虽然有解析法方法,但数学过程太复杂,应用仿真可以提供比较简单的求解方法。

(3) 解析解存在而且是可能的,但超出了个人的数学能力,因而应该估算一下,建立模型、检查并且运行仿真模型的费用比起内外求助以获得解析解,何者合算。

(4) 希望在一段较短的时间间隙内能观测到过程的全部历史,以及估计某些参数对系统行为的影响。

(5) 在实际的环境中无法进行实验观测,只能采用仿真,如对在行星间的运载工具的研究。

(6) 需要对系统或过程的长期运行进行比较,而在仿真环境中可以随意控制时间,使它加快或减慢。

1.2 仿真发展概况

最早的仿真又称为蒙特卡罗法,它是一种通过用随机数做实验来求解随机问题的技术。这种方法最早可追溯到 1773 年法国自然科学家 G. L. L. Buffon 为了估计 π 值所进行的物理实验。后来又发展出多种仿真方法,并成功应用在相关领域,下面简要列举一些例子:战场上使用的电子沙盘(地形、地物等)、战场实体的形体特性模型等就是用来仿真战场环境的,它利用的是这些模型与真实战场之间存在相似的几何比例;用电路系统来仿真机械系统,如利用一个 R. L. C 网络电路来模拟弹簧系统运动,因为它们运行特性所遵循的微分方程相似且参数一一对应。除此之外,还有一些其他仿真应用的早期实例,在此不一一列出。

早期的仿真因受限于当时的科学技术水平,使得一些好的方法不能得以实现和加以利用,例如蒙特卡罗法的有效应用就是在数字计算机发明之后才开始的。随着计算机技术日新月异的发展,使各种大规模复杂的计算成为可能,同时微分方程的数字解法、离散相似法等理论的发展与完善也为数字仿真提供了强有力的支持。

现在,计算机仿真被广泛应用到了社会的各个方面,其理论也逐渐发展并逐步完善起来。从计算机仿真的发展历史和应用来看,推动计算机理论发展的应用领域主要来源于军事、国防领域,几乎每一次大的技术进步都是先在军事方面展开应用,然后再推广到民用方面。

1978年美国空军上尉 J. A. Thorpe 首次系统地描述了联网仿真技术功能及要求,希望实现参训人员在分布式虚拟战场环境中分辨不出训练系统与真实的战场环境。1983年美国国防部高级研究计划局 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 制定了 SIMNET (simulation networking, SIMNET) 计划,希望将各军兵种使用的仿真器连接到网络上,形成共享的仿真环境,进行各种复杂任务的综合训练。SIMNET 是同构型的广域网系统,它第一次实现了作战单元之间的直接对抗,并能在其所在的虚拟作战环境中进行营以下规模的联合兵种协同训练和战术对抗研究。

SIMNET 形成了新的仿真概念:将多种仿真应用集中到同一个时空环境中。其基本技术原则被以后计算机仿真技术的发展所继承。

在 SIMNET 的基础上,美国军方与工业界进一步发展了异构型风格的分布交互式仿真技术——DIS,其目的是将不同时期的仿真技术、不同厂家的仿真产品和不同用途的仿真平台集成在一起,实现交互功能。DIS 是 SIMNET 技术的标准化和扩展。DIS 标准和协议的核心是建立了一个通用的数据交换环境,通过协议数据单元(protocol data unit, PDU)的使用,支持异地分布的真实、虚拟和构造的平台级仿真之间的互操作。在 DIS 发展的同时,DARPA 发起了一个聚合级分布式作战仿真的实验,随后委托 Mitre 公司对实验进行分析研究。Mitre 公司对照 SIMNET 对实验进行了分析,提出了聚合级仿真协议(aggregate level simulation protocol, ALSP)。ALSP 的目标是使现有的多个聚合级作战仿真应用可以通过局域网或广域网交互。在概念上,每个仿真系统控制其自身对象,并且共享有关其自身与其他仿真的信息。ALSP 吸取了 SIMNET 技术中的一些原理,如没有中心节点、地理分布、自主属性和基于消息的协议等,同时发展了一系列聚合级仿真所需的技术:时间管理、数据管理和体系结构等。

SIMNET、DIS、ALSP 都是同类功能仿真应用(武器平台、模拟仿真器、计算机生成兵力 CGF、聚合级仿真模型)的互联,只有有限的互操作性,不能满足越来越复杂的作战仿真需求。为此,美国国防部于 1995 年发布了建模与仿真主计划(M&S master plan, MSMP),决定在国防部范围内建立一个通用的仿真技术框架,用来保证国防部范围内的各种仿真应用之间的互操作性。技术框架的核心是高层体系结构(high level architecture, HLA)。HLA 在 1996 年 8 月完成基础定义,随后为北约各国采纳,并于 2000 年 9 月被 IEEE 接受为标准。美国国防部规定 2001 年后所有国防部门的仿真必须与 HLA 相容。

1.3 高层体系结构 HLA 简介

HLA 是在 DIS、ALSP 的基础上发展起来的,针对范围更广泛的复杂系统,采用集成方式建立仿真系统的一种体系结构。1996 年 8 月 DMSO(the defense modeling and simulation office, USA)正式公布了 HLA 的规范;1996 年 9 月 10 日,美国国防部 DOD(the department of defense, USA)规定 HLA 为美国国防部所有仿真的标准技术结构,由 EXCIMS(the executive council on modeling and simulation)通过 AMG(the architecture management group)来管理执行。AMG 是 EXCIMS 的一个分支机构,专门负责 HLA 的实施。规定指出 DOD 的各个部门应在 1997 财政年度的二季度前检查其所有的仿真项目和计划,以便建立与 HLA 相容的计划;DOD 将取

消对在 1999 财政年度前没有达到与 HLA 相容的仿真的进一步支持,并于同年开始完成从 DIS 标准到 HLA 标准的转换,在 2001 财政年度前清除所有非 HLA 相容的仿真。

在 HLA 中将用于达到某一特定仿真目的的分布式仿真系统称为联邦 (federation),它由若干个相互作用的联邦成员 (federate) 构成。最主要的一组联邦成员是仿真应用 (simulation),仿真应用使用实体的模型来产生联邦中的某一动态行为;其他类型的成员有联邦管理器、数据收集器、隐形观察器等。联邦成员构建联邦的关键是要求各成员之间可以互操作。在 HLA 中,互操作定义为:一个成员能向其他成员提供服务并接受其他成员的服务。

成员由若干互相作用的对象构成,对象是成员的基本元素。对象被选择构成成员是为了完成联邦运行的某一功能,如记录数据、仿真某个实体(飞机、坦克、导弹等)的动态行为等。实际上,成员是一类粒度比对象更大的可重用单元。但在 HLA 的规范中,不考虑如何由对象构建成员,而是在假设已有成员的情况下,考虑如何构建联邦。联邦也可以作为一个联邦成员加入到更大的联邦中。

有关 HLA 的概念如下:

- 联邦 (federation): 由若干相交互的联邦成员、一个共同的 FOM 以及 RTI 构成的集合,作为一个整体用于达到某一特定的仿真目的。
- 联邦成员 (federate): 参与的所有应用都称为联邦成员,简称成员。
- 仿真应用 (simulation): 使用模型来获得实体动态行为的一种联邦成员。
- 对象 (object): 构成成员的基本元素,用于描述真实世界的实体,其粒度和抽象程度适合于描述成员间的互操作。在任一给定时间,对象的状态定义为其所有属性的集合。
- 对象模型 (object model): 用于表达客观世界的一组对象的集合,它描述了各对象的属性,对象之间的联系和交互。
- 类 (class): 一组具有同样性质、行为、公共关系和语义的对象的集合。
- 运行支持系统 RTI (runtime infrastructure): 通用的分布系统软件,用于集成各种分布的联邦成员,在联邦运行时提供具有标准接口的服务。
- 所有权 (ownership): 一个联邦成员拥有一个属性的所有权指该成员有责任在联邦运行时更新和提供该属性的值。

HLA 标准大致经历了 4 个发展阶段:

(1) 初始定义阶段 (1994 年 6 月~1995 年 3 月)。形成了关于 HLA 的初始定义,并在 1995 年 3 月召开的 DIS 春季会议上发布。

(2) 基本开发阶段 (1995 年 3 月~1996 年 9 月)。由 AMG 通过了联邦原型开发 HLA 的基本定义,DOD 于 1996 年 9 月正式采纳 HLA。

(3) 技术发展阶段 (1996 年 9 月~1998 年 9 月)。在这一阶段,主要注重于加强规范制定的稳定性并符合工业标准;开发和公布了一系列免费软件,如 RTI (runtime infrastructure)、OMDT (the object model development Tool) 等,创建和开展了 HLA 的服务支持,包括联邦成员适应性测试能力等。

(4) 标准和全面实施 (1998 年 9 月以后)。2000 年 9 月,HLA 已被正式接受为 IEEE 标准,即 IEEE 1516。DMSO 已将工作重点从技术开发转向全面实施。

HLA 体系结构是一个开放的、面向对象的体系结构,其基础是构件技术。构件技术是开发大型应用的一种方法。它引入了一种机制,不仅可以用来表示面向对象的软件实体本身,还可以提供一种把软件实体装配成完整应用的方法。构件技术不仅减轻了大型软件的开发负担,

降低了大型软件的维护费用,还提高了软件模块的可重用性。

HLA 通过定义对象模型、仿真应用程序之间的编程接口来实现构件的装配。它的最显著的特点就是通过提供通用的、相对独立的支撑服务程序 (RTI), 将应用层同其底层支撑环境功能分离开, 隐蔽了各自的实现细节, 可以使这两部分相对独立地开发, 最大程度地利用各自领域的最新技术; 同时, 可以实现应用系统的即插即用, 并针对不同的用户需求和不同的应用目的, 实现联邦快速、灵活的组合和重新配置, 保证了联邦范围内的互操作和重用。

RTI 向客户方提供应用标准的接口, 屏蔽了许多与分布式计算有关的细节, 如对象的定位、网络连接的建立和请求的发送等。这一点与 OMG (object management group) 制定 CORBA 规范的原则是一致的, 它使得 RTI 的实现有很大的自由度, 并使 RTI 的易用性体现得非常充分。但是, 这样过多地屏蔽实现细节使仿真应用难以控制底层 RTI 所提供的服务质量。

基于 HLA 的仿真系统逻辑结构如图 1.2 所示。在这种结构中, RTI 犹如软总线, 满足一定要求的成员可以在联邦运行时随时插入到软总线上。

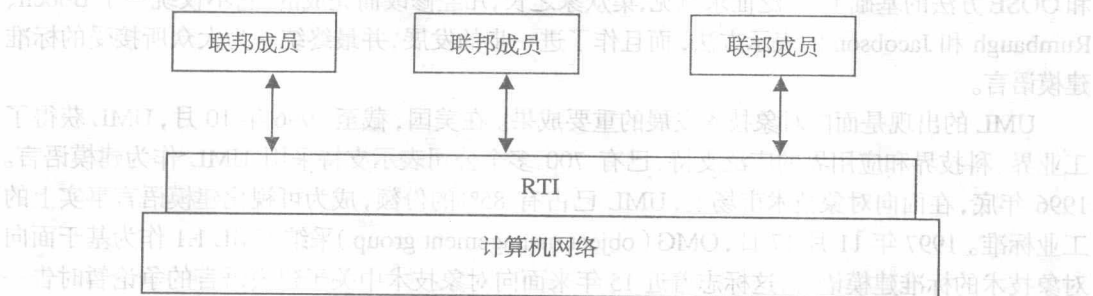


图 1.2 基于 HLA 的分布式仿真系统结构示意图

相对于 DIS 和 ALSP, HLA 针对一般的复杂系统, 提出了动态仿真模型的统一描述方法。基于这种统一的模型形式, 分离出了建立和展开动态仿真需要的公共功能, 由此建立公共的服务来实现这些功能: 处理对象的加入和退出、确定对象间的通信关系、处理对象间的通信和协调对象的时间推进等。

DIS、ALSP 和 HLA 三者均是采用集成的方式来构建大规模的仿真系统, 因而其思路是一致的, 但由于它们构建的仿真系统所要求展开的仿真模型或仿真的对象不同, 因此在结构、实现方式等各方面有较大的差异。这里宏观上作一些简要的比较:

(1) 仿真对象。DIS 用于展开含仿真器、实物的实时系统; ALSP 用于展开聚合级的离散事件系统; HLA 的目的是展开所有的各类系统。

(2) 在系统层, DIS 的展开只需要处理通信, 而 HLA 和 ALSP 还要处理各单元展开的时间推进协调。

(3) 都能支持动态建模, 但 HLA 中的通信描述比 DIS、ALSP 更具有柔性。

(4) DIS 使用广播方式, HLA 可以使用多种方式。

(5) HLA 作为一项宏大仿真系统工程的一部分, 立意更高。

HLA 是比分布交互式仿真 (DIS) 更高级的一套计算机仿真标准, 主要表现在几个方面:

(1) DIS 只能用于实时系统, 而 HLA 可以用于多种时间管理策略。

(2) DIS 把数据嵌入到体系结构中, 这样使得协议在仿真效率和灵活性上大大地降低, 而 HLA 没有要求这样做。

(3) DIS 采用广播的数据传输方式,而 HLA 采用有选择性地在联邦成员之间进行数据传输的方式,这样能够更好地控制网络流量,有效地防止在仿真运行过程中因网络负载过大而导致仿真系统不能正常地运行。

总之,DIS 和 ALSP 是一种从底层可行技术上,针对有限的一类问题提出的复杂大系统仿真的方法,而 HLA 是针对国防部门所有可能的复杂大系统仿真问题,从问题本身出发提出的复杂大系统仿真的方法,因而 HLA 在体系结构上更完备,是未来复杂大系统仿真的发展方向。

1.4 统一建模语言 UML

面向对象的分析与设计(OOA&D)方法的发展在 20 世纪 80 年代末至 90 年代中出现了一个小高潮,UML(unified modeling language)是这个高潮的产物。UML 是由著名的面向对象技术专家 Grady Booch,Jim Runbaugh 和 Ivar Jacobson 发起,在著名的 Booch 方法、OMT 方法和 OOSE 方法的基础上,广泛征求意见,集众家之长,几经修改而完成的。它不仅统一了 Booch、Rumbaugh 和 Jacobson 的表示方法,而且作了进一步的发展,并最终统一为大众所接受的标准建模语言。

UML 的出现是面向对象技术发展的重要成果。在美国,截至 1996 年 10 月,UML 获得了工业界、科技界和应用界的广泛支持,已有 700 多个公司表示支持采用 UML 作为建模语言。1996 年底,在面向对象技术市场上,UML 已占有 85% 的份额,成为可视化建模语言事实上的工业标准。1997 年 11 月 17 日,OMG(object management group)采纳 UML 1.1 作为基于面向对象技术的标准建模语言,这标志着近 15 年来面向对象技术中关于建模语言的争论暂时告一段落。UML 代表了面向对象方法的软件开发技术的发展方向,具有巨大的市场前景,也具有重大的经济价值和国防价值。

UML 是为了简化和强化现有的大量面向对象开发方法而开发的。利用传统程序设计语言(如 Fortran 和 C 语言)的软件开发方法出现于 20 世纪 70 年代,在 80 年代被广泛采用。软件工程领域在近年取得了前所未有的进展,其成果超过软件工程领域过去 10 年至 15 年来的成果总和。其中最重要的、具有划时代重大意义的成果之一就是统一建模语言 UML 的出现。

UML 采用了成熟的建模技术,广泛适用于各种应用领域,是一种定义良好、易于表达、功能强大,且普遍适用的建模语言。它融入了软件工程领域的新思想、新方法和新技术。它不仅支持面向对象的分析与设计,更重要的是能够有力地支持从需求分析开始的软件开发的全过程。

采用 UML 作为我国统一的标准建模语言是完全必要的:首先是因为过去数十种面向对象的建模语言都是相互独立地发展的,UML 可以消除一些潜在的不必要的差异,以免用户混淆;其次,通过统一语义和符号表示,能够稳定我国的面向对象技术市场,使项目根植于一个成熟的标准建模语言;同时也可拓宽相应的支持工具和开发环境的应用领域,从而加强领域分析和软件设计开发的能力。

需要说明的是,UML 是一种建模语言,而不是一种方法。在原理上,任何方法都应由建模语言和建模过程两部分所构成。建模语言提供用于表示设计的符号(通常是图形符号),建模过程则描述进行设计所需要遵循的步骤。统一建模语言 UML 统一了面向对象建模的基本概念、术语及其图形符号,为人们建立了便于交流的共同语言;人们可以根据所开发的类型、环境和条件,选用不同的建模过程。UML 是一个通用的标准建模语言,可以对任何具有静态结

构和动态行为的系统进行建模。

1.5 小 结

目前我国的许多软件厂商还停留在结构化的软件开发方法上,使用的是自顶向下逐步细化的瀑布式开发方法。这种开发方法随着软件开发规模的不断扩大,成本的不断膨胀,已经逐渐不能满足软件厂商的需求。随着面向对象软件分析与设计技术的成熟,它带来的更高层次抽象、软件复用和快速应对需求变更等特点,无疑为软件厂商提高生产力和产品的健壮性带来了新的希望。然而,面向对象分析与设计需要用不同的视点进行系统分析和设计,往往给已经习惯于使用传统方法开发的企业带来困惑。

计算机仿真系统的开发也属于软件的开发,尤其是当仿真系统越来越复杂时,开发计算机仿真系统及相关软件也难免会遇到普通软件开发过程中同样的问题。当今一些计算机仿真系统的开发都有底层软件作为支撑环境,如开发基于 HLA 的仿真应用程序就需要底层 RTI 的支撑,在不了解底层支撑软件的情况下去开发基于这样底层软件之上的应用程序将是很困难的,因此即使有了底层软件的产品,也有必要对其建立 UML 模型,便于理解,便于开发具体的仿真应用。针对目前最先进的计算机仿真标准 HLA,不管是学习 HLA 或开发 RTI,还是基于已有的 RTI 之上开发具体的仿真应用,利用 UML 来建立系统模型并对其进行分析都将是非常有意义的。

第二章 HLA 体系结构

2.1 引言

1995 年 10 月,美国国防部在其建模仿真 MasterPlan 的目标中提出为国防领域的建模和仿真制定一个通用的技术框架,HLA 是该框架的核心内容。HLA 是在美国国防部建模与仿真办公室(Defense Modeling and Simulation Office, DMSO)的指导下建立的,以实现多种类型仿真间的以及仿真与命令、控制、通信、计算机与智能系统(command, control, communications, computers and intelligence, 简称 C4I)的交互,便于仿真系统和仿真部件的重用。高层体系结构(high level architecture, HLA)并不是一个系统的实现,而是一种仿真应用系统的框架体系标准,其目的是针对复杂大系统,提高建立模型与仿真的效率,促进系统之间的互操作和可重用,降低建模与仿真的费用。HLA 想特别重点解决的两个关键问题是:一是要促进仿真系统之间的互操作;二是要有利于仿真模型在不同的仿真应用中的重用。

2.1.1 HLA 的组成

作为建模与仿真的高层体系结构,HLA 给仿真开发者提供了一个描述和构造他们自己的仿真应用的通用框架。按 1996 年 8 月 DMSO 公布的规范,HLA 主要由 3 部分组成:① 规则(rules);② 对象模型模板(object model template, OMT);③ 运行支撑环境(run-time infrastructure, RTI)接口规范说明(interface specification)。

在 HLA 中,为实现某种特定的仿真目的而组织到一起,并且能够彼此进行交互作用的仿真系统、支撑软件和联邦对象模型构成了一个联邦(federation);所有参与到一个联邦中的应用系统被称为联邦成员(federate)。实际上,联邦成员还包括联邦成员管理器、数据收集器、真实的实体代理仿真或隐形观察器等。联邦成员由若干相互作用的对象构成,对象是联邦的基本元素。

HLA 的规则中规定了所有联邦及其成员必须符合的要求,表述了 HLA 中各个部件的功能划分和逻辑关系,体现了 HLA 的基本构思和原则。

对象模型模板(OMT)是使仿真系统具有互操作性与重用性的重要机制之一,它将面向对象的思想和方法引入分布仿真系统。OMT 是用来描述 HLA 对象模型的结构框架,它描述了 HLA 中对象模型的对象类、属性、交互参数以及相关信息的格式和方法。通过 OMT,HLA 定义了两类系统:一类是用来描述联邦中的各个联邦成员的,即创建各单个的 HLA 仿真的对象模型 SOM(simulation object model),建立 SOM 的目标在于使它成为一个通用的、独立于具体的联邦应用的模型;另一类是用来描述一个联邦中相互之间存在信息交换特性的那些联邦成员的,即创建 HLA 的联邦对象模型 FOM(federation object model)。建立 FOM 的目的就是借助于 OMT 提供的标准化的记录格式,为一个特定的联邦中各联邦成员之间需交换的数据的特性进行描述,以便各联邦成员在联邦的运行中正确、充分地利用这些数据进行互操作。在

HLA 中,互操作定义为:一个成员能向其他成员提供服务并接受其他成员的服务。

SOM/FOM 是一种建模的技术和方法,它便于模型的建立、修改、生成与管理,便于对已开发的仿真资源进行再利用,使建模过程走向标准化。同时,这一技术也为模型校核、验证与认可(VV&A)过程的实现提供了可能与便利。

接口规范说明文档按六大类列举了各接口的名称、用途、参数、执行的条件与结果、异常等。1996 年 8 月美国国防部颁布的 HLA 接口规范含六大类服务。上述公布的规范中,信息均用非形式化的文本方式给出。最近 DMSO 又公布了接口规范的 C++、Ada 及 Jada 等 3 种语言的描述。运行时间支撑系统(run time infrastructure, RTI)作为 HLA 接口规范所规定服务的软件实现,它的主要功能有 6 种,分别为联邦管理、对象管理、声明管理、时间管理、所有权管理和数据分发管理(2.3 节将详细介绍)。接口规范规定了 RTI 与联邦成员之间的接口,在一个联邦的执行过程中,所有的联邦成员应该按照 HLA 的接口规范说明所要求的方式同 RTI 进行数据交换,实现成员间的交互作用。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式操作系统,为联邦成员提供运行时所需的服务。

2.1.2 HLA 的基本思想

HLA 的基本思想就是使用面向对象的方法设计、开发和实现系统的对象模型来获得仿真联邦的高层次的互操作和重用。按照 HLA 的规则规定,所有的联邦和联邦成员必须按照对象模型模板(OMT)提供各自的对象模型,即联邦对象模型(federation object model, FOM)和联邦成员的仿真对象模型(simulation object model, SOM)。OMT 的作用就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,便于重用。具体来说,FOM 提供一个联邦内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。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,供联邦执行开发过程使用或重用。

HLA 的基本思想之二是正式将分布仿真的开发、执行同相应的支撑环境分离开(图 2.1)。这样可以使仿真设计人员将重点放在仿真模型及交互模型的设计上,在模型中描述对象间所要完成的交互动作和所需交换的数据,而不必关心交互动作和数据交换是如何完成的;另一方面,RTI 为联邦中的仿真提供一系列标准的接口(API)服务,满足仿真所要求的数据交换和交互动作的完成,同时还负责协调各仿真间各个层次上的信息流的交互,使整个联邦能够协调执行以提供一个综合的环境进行分布交互仿真。

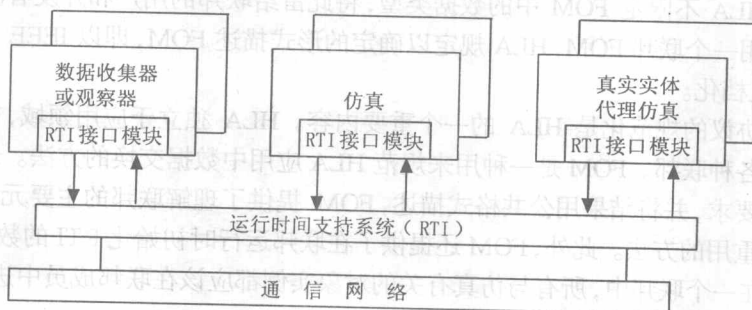


图 2.1 HLA 仿真的逻辑结构

2.1.3 HLA 的主要特点

HLA 是一个可重用的用于建立基于分布式仿真部件的软件构架,它支持由不同仿真部件组成的复杂仿真。HLA 的提出,主要是为了解决计算机仿真领域里的软件可重用性和互操作性问题,以使得仿真软件的开发应用进入标准化、规范化阶段,这与当今计算机软件领域强调的开放化、标准化的总体趋势是一致的。

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。在 HLA 中,不考虑如何由对象构建成员,而是在假设已有成员的情况下,考虑如何构建联邦。联邦也可以作为一个成员加入到一个更大的联邦中。

在 HLA 的体系结构下,RTI 为仿真系统提供通用的六大服务。通过在对象模型中声明,RTI 负责将信息按声明中的要求完成相关的网络操作,实现将变化的信息传输到需要的地方,这样就大量减少了网络负载,而不像 DIS2.x 那样采用广播的方式将所有信息传输到所有节点。同时,由于 RTI 提供了较为通用的标准软件支撑服务,具有相对独立的功能,可以保证在联邦内部实现成员及部件的即插即用(plug and play),针对不同的用户需求和不同的目的,可以实现联邦快速、灵活的组合和重配置,保证了联邦范围的互操作和重用。此外,仿真同其支撑环境功能的分离,通过提供标准的接口服务,隐蔽了各自的实现细节,可以使这两部分的开发相对独立,并且可以最大程度地利用各自领域的最新技术来实现标准的功能和服务,而不会相互干扰,这就使分布交互仿真的发展与计算机技术、网络技术和仿真技术的发展保持同步。

2.2 HLA 规则

HLA 规则规定了所有联邦及其成员必须符合的要求,表述了 HLA 中各个部件的功能划分和逻辑关系,体现了 HLA 的基本构思和原则。HLA 规则共有 10 条,前 5 条规定了一个联邦必须满足的要求,后 5 条规定了一个联邦成员必须满足的要求。

2.2.1 联邦规则

规则 1 联邦应该有一个联邦对象模型 FOM,该 FOM 格式应与 HLA 的对象模型模板 OMT 相容。

联邦对象模型 FOM 应记载运行时联邦成员间数据交换的协议和条件,它是定义一个联邦的基本元素。HLA 不限定 FOM 中的数据类型,将此留给联邦的用户和开发者决定。为了支持新用户能重用一个联邦 FOM,HLA 规定以确定的形式描述 FOM,即以 IEEE 1516.2 (OMT 标准)的格式文档化。

信息交换协议的规范化是 HLA 的一个重要内容。HLA 独立于应用领域,能用来支持具有广泛用途的各种联邦。FOM 是一种用来规范 HLA 应用中数据交换的方法。通过规范这些协议的开发和要求,并将结果用公共格式描述,FOM 提供了理解联邦的主要元素以及协助联邦部分或整体重用的方法。此外,FOM 还提供了在联邦运行时初始化 RTI 的数据。

规则 2 在一个联邦中,所有与仿真有关的对象实例都应该在联邦成员中进行描述,而不应在运行支撑环境 RTI 中进行描述。

HLA 的一个基本思想是将具体的仿真功能与通用的支撑服务相分离。在 HLA 中,不是在 RTI 中而是应该在联邦成员内对具体仿真对象的实例进行描述。RTI 提供给联邦成员的服