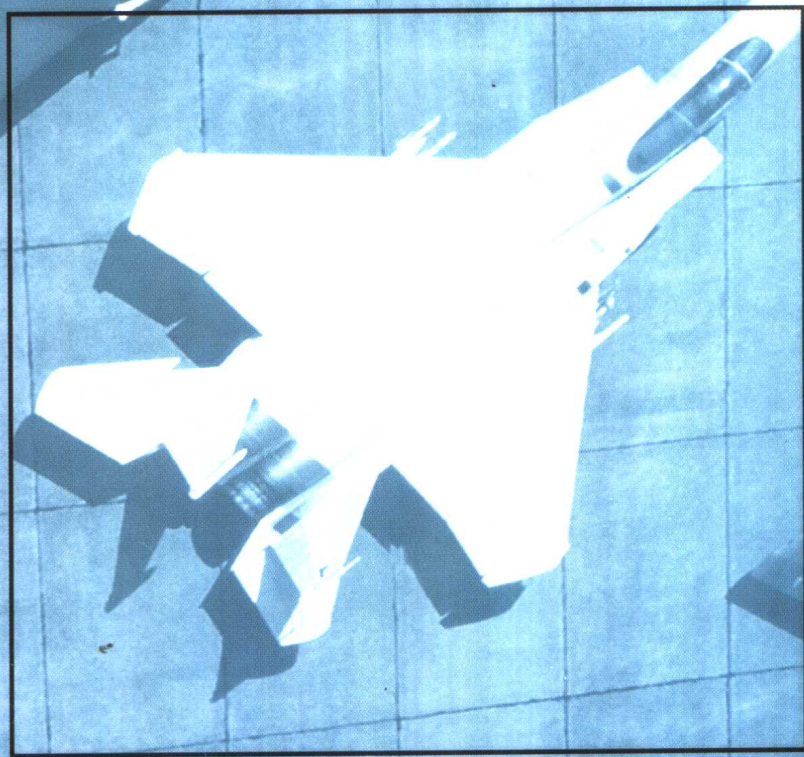




郭齐胜 张伟 杨立功 等 编著

分布交互仿真及其 军事应用

FENBU JIAOHU FANGZHEN
JIQI JUNSHI YINGYONG



國防工業出版社

<http://www.ndip.cn>

分布交互仿真及其军事应用

郭齐胜 张 伟 杨立功 等 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

分布交互仿真及其军事应用/郭齐胜等编著. —北京:
国防工业出版社, 2003.9

ISBN 7-118-03239-5

I. 分... II. 郭... III. ①电子技术-实验-计算机仿真②电子电路-计算机仿真③计算机仿真-应用-军事 IV. E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077084 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 293 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:18.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

分布交互仿真是系统仿真的一个新的方向,发展速度很快,相关的文献资料很多,但国内至今还没有这方面的著作或教材。本书的编写正是为了填补这一空缺。本书是在装甲兵工程学院研究生教材《分布交互仿真》(2001年6月版)的基础上,并参考国内外相关文献和我们自己近年来的科研、学术成果编著而成的。

本书力图比较全面、系统地介绍分布交互仿真技术。全书共分10章,第1章简要介绍分布交互仿真的产生、发展、分类、特点、关键技术和应用;第2章介绍分布交互仿真的体系结构及通信机制;第3章介绍分布交互仿真的通信协议,主要是DIS协议(IEEE 1278)和HLA;第4章介绍分布交互仿真中的DR算法和时间同步算法;第5章介绍人在回路仿真器;第6章介绍分布交互仿真中的计算机生成兵力;第7章介绍分布交互仿真的管理系统;第8章介绍模型与仿真的VVA及可信度评估;第9章介绍分布交互仿真的应用程序开发;第10章介绍分布交互仿真在军事装备学中的典型应用。

本书由郭齐胜、张伟、杨立功、徐丙立、徐如燕、王文悦、李斌和王杏林共同编写,其中第2章、第8章和4.3节由张伟编写,第5章由杨立功编写,第6章由徐如燕和杨立功编写,第7章由徐丙立编写,9.4节由王文悦编写,1.1节、4.4节、6.3.4节和9.2节由李斌编写,第10章由王杏林和郭齐胜编写,其余内容由郭齐胜编写,张伟审核。编写过程中得到了装甲兵工程学院科研部组织计划处李胜利处长、训练部研究生处谢刚处长和指挥管理系王凯副主任的大力支持以及装备作战教研室研究生董志明、李巧丽、宋敬华、谢薇、傅光华和贾利军的帮助。在此一并表示感谢。

不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

编 著 者

2003年8月

目 录

第 1 章 分布交互仿真概述	1
1.1 分布交互仿真的产生	1
1.2 分布交互仿真的发展	2
1.2.1 SIMNET	2
1.2.2 DIS	2
1.2.3 ALSP	6
1.2.4 HLA	6
1.3 分布交互仿真的分类与特点	8
1.3.1 分布交互仿真的分类	8
1.3.2 分布交互仿真的特点	9
1.4 分布交互仿真的关键技术	10
1.4.1 体系结构	10
1.4.2 信息交换标准	10
1.4.3 DR 机制	11
1.4.4 时钟同步技术	11
1.4.5 接口处理机制	12
1.4.6 计算机生成兵力	12
1.4.7 VVA	12
1.4.8 仿真管理技术	13
1.5 军用仿真技术面临的挑战	13
1.5.1 仿真对象的复杂性	13
1.5.2 军事需求问题	14
1.5.3 技术需求问题	15
参考文献	18
第 2 章 分布交互仿真的体系结构及通信机制	19
2.1 DIS 体系结构	19
2.1.1 DIS 中的基本概念	19
2.1.2 DIS 逻辑拓扑结构	20
2.2 HLA 体系结构	21
2.2.1 HLA 中的基本概念	21
2.2.2 HLA 逻辑拓扑结构	21
2.3 两种体系结构的互联	24

2.4 分布交互仿真的通信机制	25
2.4.1 网络通信服务需求	25
2.4.2 传输方式	26
2.4.3 Multicast 技术	27
参考文献	29
第3章 分布交互仿真的规范和标准	31
3.1 DIS 协议(IEEE Std 1278)	31
3.1.1 PDU 的种类	32
3.1.2 PDU 示例	33
3.2 HLA 标准	37
3.2.1 HLA 规则	38
3.2.2 HLA OMT	38
3.2.3 HLA 接口规范	42
参考文献	48
第4章 分布交互仿真的 DR 算法与时钟同步	49
4.1 DR(Dead Reckoning)算法	49
4.1.1 算法描述	49
4.1.2 推算定位模型(DRM)表示法	49
4.1.3 推算定位公式	50
4.1.4 DR 算法的执行过程	51
4.2 时空一致性	52
4.2.1 时空一致性的概念	52
4.2.2 时空一致性影响因素	52
4.3 时钟同步	53
4.3.1 时钟同步的概念	53
4.3.2 同步方法分类	54
4.3.3 硬件同步	54
4.3.4 软件同步方法	55
4.3.5 用点名模式实现时钟同步	57
参考文献	63
第5章 分布交互仿真中的人在回路仿真器	64
5.1 仿真器的组成和工作原理	64
5.2 新型坦克综合训练仿真器	64
5.2.1 功能需求	64
5.2.2 总体设计	65
5.2.3 性能仿真	67
参考文献	76
第6章 分布交互仿真中的计算机生成兵力	77
6.1 概述	77

6.1.1 CGF 的地位	77
6.1.2 CGF 的特点	78
6.1.3 CGF 的研究进展	78
6.1.4 CGF 的研究课题	81
6.2 CGF 系统的一般工作原理	83
6.3 CGF 的体系结构	84
6.3.1 基于 DIS 的体系结构	84
6.3.2 基于 HLA 的体系结构	84
6.3.3 基于多 agent 的体系结构	85
6.4 CGF 的自治行为仿真	86
6.4.1 智能决策	86
6.4.2 三级智能决策方案	91
6.4.3 基于人工神经网络的智能行为仿真	96
6.5 CGF 的物理行为仿真	99
6.5.1 坦克的机动性仿真	99
6.5.2 飞机的机动性仿真	105
6.6 CGF 中的 AI 技术	107
6.6.1 已经运用的知识表示技术	107
6.6.2 可能运用的知识表示技术	108
6.6.3 知识获取	111
6.6.4 研究展望	113
参考文献	114
第 7 章 分布交互仿真的管理系统	115
7.1 分布交互仿真管理系统研究现状	115
7.1.1 国外研究现状	115
7.1.2 国内研究现状	116
7.2 分布交互仿真管理的主要内容	117
7.2.1 管理的主要内容	117
7.2.2 管理内容简介	118
7.3 两种管理的框架结构	129
7.3.1 分层递阶管理模式	129
7.3.2 “四加三”管理模式	132
7.4 分布交互仿真管理的关键技术	134
7.4.1 网络需求	135
7.4.2 时钟同步	136
7.4.3 实时数据记录与回放	136
7.4.4 分析统计与信息提取	138
7.4.5 全系统维护	138
参考文献	138

第 8 章 分布交互仿真的 VV&A 及可信度评估	140
8.1 概述	140
8.1.1 问题的提出	140
8.1.2 仿真可信度研究的发展状况	140
8.1.3 仿真可信度研究中的关键问题	141
8.2 模型与仿真的 VV&A	143
8.2.1 VV&A 的概念	143
8.2.2 有关人员及其职责	143
8.2.3 VV&A 的基本原则	144
8.2.4 VV&A 工作过程	145
8.3 仿真可信度	148
8.3.1 仿真逼真度的概念	148
8.3.2 仿真可信度的概念	150
8.3.3 仿真可信度与 VV&A 的关系	151
8.4 分布交互仿真可信度	152
8.4.1 分布交互仿真系统可信度分析的技术途径	153
8.4.2 测试与评估环境	154
参考文献	155
第 9 章 分布交互仿真的应用程序开发	156
9.1 基于 DIS/Windows Sockets 的应用程序开发	156
9.1.1 Windows Sockets 概述	156
9.1.2 有关 Windows Sockets 的重要概念	156
9.1.3 DIS 系统通信机制分析	157
9.1.4 基于 Windows Sockets 的通信过程	157
9.1.5 应用示例	159
9.2 基于 DIS/DVE_Link 的应用程序开发	160
9.2.1 DVE_Link 简介	160
9.2.2 DVE_Link 通信管理	161
9.2.3 DVE_Link 实体管理	161
9.2.4 应用程序开发实例	164
9.3 基于 HLA/RTI 的应用程序开发	166
9.3.1 联邦开发执行过程	167
9.3.2 应用示例	170
9.4 HLA 实现当中面临的挑战性问题	181
9.4.1 FOM 灵活性问题	182
9.4.2 网络实时性问题	182
参考文献	183
第 10 章 分布交互仿真系统及其军事应用	184

10.1 分布交互仿真系统示例	184
10.1.1 系统的体系结构	184
10.1.2 系统的组成	184
10.1.3 系统的特点	186
10.2 分布交互仿真用于军事训练	187
10.2.1 引言	187
10.2.2 指标体系分析	187
10.2.3 作战方案优劣评估	188
10.2.4 结论	188
参考文献	189
附录 A 部分英文缩写的中英文对照	190
附录 B FED 文件	192

第 1 章 分布交互仿真概述

1.1 分布交互仿真的产生

20 世纪 80 年代以来,随着世界范围内冷战的结束,各国政府纷纷把投资重点转向经济建设,大量削减军费开支,并着手大规模地削减常备军的规模。军事演习不仅受政治环境的影响,同时还受到经济条件的约束。此外,随着武器技术的发展,武器装备的费用也随之增加。目前,大型武器系统的高额费用已成为当今各国武器发展的一个至关重要的制约因素。据有关资料显示,美国每十年各主要武器系统平均成本大约增长四倍,扣除通货膨胀的因素,平均每年增长仍高达 9% ~ 10%,即每二十年增长 5 倍 ~ 6 倍。面对巨额的军费开支,美国的高级分析家已经认识到:不真正承认财力上的限制就不可能发展可信赖的国家安全态势,在形成一种平衡而又负担得起的国家安全态势方面需要进行综合考虑。因此,以某种有效的经济的方式进行军事演习、训练与武器系统研制就成为各国军方摆脱困境的途径。发展系统仿真技术就是一种很好的方法。

系统仿真技术具有经济、安全、不受天候场地限制等优点。

(1) 经济性。我军的目标之一是打赢一场高科技条件下的局部战争,我们的假想敌是美军。美军的一名坦克炮长一年可以打 100 发炮弹,我军的一名坦克炮长一年仅可以打 4 发炮弹。现在,武器装备的造价十分昂贵,就弹药来说,一发 88 式坦克炮弹价值 1 万元人民币;一发红箭 73 反坦克导弹价值 8 万元人民币;而一发红箭 8 炮射导弹的价值超过 20 万元人民币。如此昂贵的弹药,如何进行训练? 如果增加实弹训练,费用将十分可观,如果减少实弹训练,将来一旦爆发战争能不能保证我军战略目标的实现? 利用系统仿真技术可以较好地解决这个问题。例如仿真一门炮,首先根据实物建立它的数学模型,然后根据数学模型建立仿真模型,再把仿真模型放到计算机中并加上相应的炮控设备就建成了一门“仿真炮”,也可以说是一台射击仿真器。只要数学模型、仿真模型达到一定精度,用这门炮进行射击,它的射弹散布与真实炮的射弹散布是比较吻合的。如果进行射击考核,就可以用它来代替真实的炮,所达到的效果几乎一致。这门炮建成以后,用它来实施训练,花费将会相当小。

(2) 安全性。每年用实装进行训练都有这样那样的事故发生,事故发生的原因大都是操作人员不熟悉装备、违反操作规程导致的。如果先用仿真器进行训练,待操作人员熟悉操作之后再动用实装将会大大减少事故的发生。因为用驾驶仿真器来进行训练,不管怎样违反操作规程也绝对不会造成车毁人亡的事故。

(3) 不受天候场地限制。不管外界的环境怎样,不管身处何方,只要装入相应的模型就可以在所需要的环境中训练。例如,虽然是在白天,装入夜间的模型便可以进行夜间科目的训练。

传统的单台仿真器解决了单个成员的训练问题,但不能很好地满足协同、分队战术等

高级训练任务的需求。最好的驾驶员、最好的车长以及最好的炮长组合在一起,他们的战斗力可能很差。单车的战斗力强,他们组成一个排、一个连的战斗力也不一定强。为了满足更高层次的需要,必须使仿真器从单台独立运行模式向联网交互运行模式发展,正是这种网络化需求产生了分布交互仿真(distributed interactive simulation,简称 DIS)。

分布交互仿真就是在 SIMNET(Simulation Network)的基础上产生的。DIS 是一种基于计算机及高速通信网络的仿真训练系统,它将分散于不同地点、不同类型的仿真设备或系统集成成为一个整体,使之相对每个用户皆表现为一个逼真的浸入环境,并在此环境下支持高度的交互式操作。所谓“高度的交互式操作”,是指 DIS 的虚拟环境对交互操作的支持水平与训练时的设定严格一致。例如,在训练中分配三位参与者分别为同一辆车的车长、驾驶员和炮长,则 DIS 须使三者通过网络的协同与实际的车内协同相一致,而不论三者的实际地理位置如何。

1.2 分布交互仿真的发展

自从 1983 年,美国国防部高级研究计划局(DARPA)和美国陆军共同制定的 SIMNET 研究计划启动以来,分布交互仿真技术走过了四个主要阶段:SIMNET 的研制和使用阶段,DIS 的研制和使用阶段,ALSP 阶段和 1995 年以后的高层体系结构(Hight Level Architecture,简称 HLA)的研究使用阶段。

1.2.1 SIMNET

1983 年,美国国防高级研究计划局和美国陆军共同制定了一项合作研究计划,即 SIMNET 研究计划。此计划不是以提高受训人员操作武器系统的熟练性为目的,而是将分散在各地的多个地面车辆(如坦克、装甲车)仿真器用计算机网络联接起来,进行各种复杂任务的训练,演示验证实时联网的人在回路中的作战仿真和作战演习的可行性,最终达到降低训练成本,提高训练的安全性及减小对环境的不良影响的目的。

在 SIMNET 系统中,每个单独的仿真器都能分别独立地仿真 M1 主战坦克、装甲车、雷达车、A-10 对地攻击机等武器装备,并能模拟采用苏军战术的计算机生成兵力(Computer Generated Force,简称 CFG)。坦克仿真器能仿真包括导航、武器及显示系统的全部特性。此系统以德国和欧洲中部的一个 50km × 70km 的战场环境为作战背景。数据库内有详细的数字化地图,坦克间通过长距离的声音和电子消息的传输进行通信。20 世纪 80 年代末 SIMNET 计划结束时,它已发展成为具有约 260 个地面车辆仿真器和飞机飞行仿真器、通信网络、指挥所和数据处理设备等互联的网络,分布在美国和德国的 11 个城市。SIMNET 计划的成功,使人们看到了发展仿真器联网运行技术的光明前景。

1.2.2 DIS

在 20 世纪 80 年代后期,根据在使用 SIMNET 中所积累的经验,认为在作战想定中应使敌方在数量上优于己方,因此仿真器的数量大大增加了,于是在 SIMNET 基础上发展了异构性网络互联的分布交互仿真技术。SIMNET 中的许多原则,如对象/事件结构、仿真结点的自治性、采用 DR(Dead Reckoning)算法降低网络负载等都成为今天 DIS 的基础。1989

年3月,由美国 Central Florida 大学的仿真与训练研究所(Institute of Simulation & Training, 简称 IST)主办召开了第一届 DIS 研讨会,并成立了工作小组,此后每年举行两次。DIS 在美国的研究和发展很快,1992年3月在第六届 DIS 研讨会上,美国陆军仿真训练装备司令部(Simulation, Training and Instrumentation Command, 简称 STRICOM)提出了 DIS 的结构,并着手制定 DIS 协议。

以 SIMNET 计划的成功为标志,对 DIS 技术的研究已经走过了十几年。从仅支持基于同构网络的分支交互仿真发展为对基于异构网络分布交互仿真的支持,从概念性研究到在人员训练、武器研制、战术演练和空中交通管制仿真等军事和非军事方面的成功应用,DIS 技术已经逐步走向实用,并进一步进行了标准化的尝试和努力,且已经制定出了 DIS2.0 标准。

随着分布交互仿真需求的发展,人们在研究过程中逐步发现,DIS 仍不是一项成熟和完善的技术,DIS 技术正面临着诸多问题,而且正是由于上述的某些特点和原则,使问题很难得以解决。

一、应用范围

由于 DIS 技术的局限性,目前 DIS2.0 标准只是较好地解决了“人在回路”的实时仿真。CGF 的研究虽有进展,但仍未解决对人推理行为的描述和 CGF 的聚合、解聚问题。在构造型仿真方面,聚合级仿真协议(Aggregate Level Simulation Protocol,简称 ALSP)的研究发展较快,但由于它是与 DIS 并行发展的,其体系结构与 DIS 完全不同,要想将其纳入目前的 DIS 中还不太可能。此外,将真实系统纳入 DIS 的研究还处于起步阶段,至今还没有什么成果。

二、交互与通信方式

目前 DIS 只支持单一的基于无连接的广播方式(Best-Effort Broadcast)交互数据。这种方式的特点是:无连接的广播方式不能保证无误数据发送和接收;数据的发送方以无连接的广播方式向网络上发送交互信息,而不管这些信息是否为其它仿真结点所需要;网络上的其它结点只能被动地接收网络上的交互信息,通过判断来决定信息的取舍。

这种方式的不足之处在于信息的接收方必须首先将网络上的所有信息接收下来,然后就是否对自己产生影响作出判断,处理有价值的信息,抛弃无用信息。研究表明,随着 DIS 中实体数目的增多,仿真结点间的信息交互量将呈指数增长。由于对于信息的判断工作完全由接收方来完成,这就大大地增加了接收方的处理负担。这也是限制 DIS 中实体数量增加的瓶颈问题。

此外,这种交互方式虽然能较好地满足“人在回路”的实时仿真需要,但是对于由事件驱动的和时间驱动的仿真就不适用了。例如对于由事件驱动的仿真,由于无连接的通信方式可能造成数据丢失,一旦驱动仿真运行的事件在传输过程中丢失,仿真便无法正确运行。对于这类仿真来说,必须采用有连接的、无误的传输方式。因此,采用单一的交互和通信方式也是 DIS 很难支持其它类型仿真应用的原因之一。

三、协议的扩展

随着 DIS 应用范围的不断拓展,一些新的仿真对象和交互作用类型将相继出现。这就要求在 DIS 标准中要不断增加一些新的内容来描述这些新现象,从而导致了 DIS 标准的不断扩充和不断复杂化。因此,可以说 DIS 标准的复杂化是 DIS 应用范围拓展和功能

强大的必然结果。基于上述事实 DIS 标准的发展将面临如下困难:

(1) 人们一直在讨论 DIS 标准到底应该支持多少种特定的仿真应用(即 DIS 技术的应用范围问题),但直到现在仍是难有定论。

(2) 不断有许多新的交互协议等待被批准为 DIS 的新标准。

虽然每次标准的更新将使 DIS 支持更加广泛的仿真应用,但由于标准格式和内容变化,新标准将不再支持原先开发的仿真应用,即新标准不具有向下兼容性。这正是新标准发展过程中有待解决的问题。

此外,对于某一具有特定目标的应用来说,可能只需要 DIS 标准中部分内容(即 DIS 标准的子集)的支持就可满足仿真需求,而完全没有必要采用全部的 DIS 标准。因此,复杂的 DIS 标准将会给开发功能相对简单和单一的仿真带来许多困难和不便,使简单仿真的开发和维护复杂化。

因此,我们有必要研究一种新的 DIS 标准发展机制来支持 DIS 标准的研究。这一机制应支持如下功能:

- 便于将对新实体、新事件及新交互作用的描述加入原有 DIS 标准中,而不是简单地重新制定标准;
- 新标准对原来开发的仿真应用应提供全面支持,实现 DIS 标准的升级与更新。

四、数据描述方式多样化

在 DIS 发展过程中,人们逐步认识到 DIS 标准缺乏灵活性,如它采用了固定的状态变量单位、通用的坐标系统和统一的状态变量分辨率(可分辨的最小值)。这一方法虽然能够保证仿真间的交互作用在通常定义的空间范围内进行,但却给某些特定的仿真应用带来了许多不便。如在对雷达这一专用测量系统的仿真中,雷达设备有其特有的坐标系统、单位集和测量分辨率要求,这些均与测量系统的特殊任务和要求相一致。对于这类仿真,如果 DIS 中仅采用单一的数据描述方式,就会造成许多人为的转换工作,并可能浪费有限的通信带宽。研究表明,仅由仿真结点坐标描述不同而引起的坐标变换就将占用仿真结点处理能力的 30%。由此可见,DIS 标准应能灵活的支持多种数据描述方式。

五、通信有效性

通信技术是 DIS 实现信息交互和共享的方法和手段。近年来,通信有效性问题一直是 DIS 中讨论的焦点。从广义上讲,通信在客观上面临如下两方面的矛盾:

一方面是通信设备、通信介质和通信技术客观上受通信带宽和处理器处理能力的极大限制;另一方面是随着 DIS 技术应用范围的拓展,要求 DIS 支持越来越多的实体和事件间的信息交互。这种需求客观上导致了交互信息量的急剧增加,从而进一步加重了通信的处理载荷。

因此,要实现更多有价值信息在有限带宽上的通信,当务之急是提高通信的有效性,即尽可能减少不必要的、冗余的信息传输,使有限带宽充分为有效的信息所利用。

1. 与实体状态更新相关的通信有效性

在 DIS 中,实体状态信息的交互是通过 PDU 来实现的。对于运动实体(如飞机、导弹、车辆等)来说,实体状态 PDU(Entity States PDU,简称 ESPDU)中描述了实体状态的全部信息,包括位置、姿态、速度、加速度,角速度、角加速度等。目前在 DIS 标准中对实体状态

信息的传输作了如下规定:

(1) 当 DR 模型对实体状态信息的推算与实体真实状态信息间的偏差超过给定允许值时,则进行实体状态信息的传输;

(2) 当实体状态信息在相对较长的时间间隔内(如 5s)一直未被传输,则进行实体状态信息的传输,用以告知其它仿真结点自己仍在运行;

(3) 实体状态信息以 PDU 的形式向所有其它仿真结点发送。

由此可以看出,实体状态信息的传输是以 PDU 的形式进行的,PDU 中又包括了实体的全部状态信息,这就决定了每次传输都要传输实体的全部状态信息。由于 DR 模型对实体各状态推算的准确度的差异,在绝大多数情况下,DR 模型对实体某个状态信息推算超差将导致实体全部状态信息的传输,即虽然只有一位信息变化了,也不得不传送全部的 PDU 信息。显然,这种传输机制缺乏有效性,即被传输的实体状态信息中包含了许多本不需要传输的冗余。

因此,我们需要研究一种只对超差的实体状态信息进行滤波和传输的机制,从而大大减少仿真中信息的传输量和处理量,节省有限带宽。

2. 与信息分辨力相关的通信有效性

在实际应用中,不同测量装置对实体间相对位置的测量敏感度是不同的。因此,在 DIS 中不同的仿真交互实体对于同一实体状态信息的分辨力要求往往也是不同的。我们将这一问题称为数据的不确定性容限。比如,当距离较远时,人眼看到的敌机可能只是一个小黑点,随着距离越来越近,人眼便能分辨敌机的型号、运动方向乃至速度等更为详细的信息。再如,对于同一距离,人眼分辨能力和雷达分辨能力就相差很远。在距离很远时,人眼对于敌机的距离变化是不敏感的,而雷达却能以公里的数量级较为准确地定位。但当距离只有几百米时,人眼便能准确地分辨距离,而雷达则无能为力了。因此,同一物理量在不同情况下就应采用不同的单位、分辨力和有效位数进行传输。

在目前的 DIS 标准中,为了使实体状态信息的分辨力能够适应所有仿真交互实体的要求,往往将实体状态信息分辨力定得较高,这就导致了許多实体状态信息以较高的分辨力和较多的有效位数在网络上传输,从而降低了通信的有效性。

因此,我们需要研究一种能解决实体状态信息的不确定性容限问题的机制,对不同分辨力要求的交互作用采用实体状态信息的不同分辨力传输,从而为分辨力较高的交互提供更充裕的带宽,提高通信有效性。

3. 采用 DR 机制增加通信有效性

DR 机制早在 SIMNET 计划中便被采用,仿真结点可以基于一些简单的一阶或二阶运动学 DR 模型,对与之相关的其它结点中的仿真实体位置和姿态进行推算,从而将实体状态信息的通信量减少十倍以上。这一机制的优势明显,但在目前 DIS 标准中,DR 机制的使用仍然仅仅停留在对实体位置和姿态的推算上。

基于 DR 机制巧妙的构思,我们可以进一步将这一机制引入对其它信息量的推算。比如,随着 DIS 的复杂化,对夜视技术和红外探测技术的仿真也将逐步引入。因此,物体表明的温度模型将变得必不可少,物体温度值也就成为一个重要的信息量。将 DR 机制应用于对物体温度值的推算同样可以扩大技术信息通信量,增加通信有效性。

1.2.3 ALSP

分布交互仿真领域将仿真分为三类:实物仿真、虚拟仿真和构造仿真。与实物仿真、虚拟仿真运行在实时、单独层次上相比,构造仿真中仿真实体的粒度(Granularity)更大,将实体集合聚合成更大的单位,将其看作是一个简单的对象,一般为给实时运行。在解决系统中包含 10 万个以上实体的大规模仿真问题时,DIS2.X 采用计算机生成兵力(CGF)的方式来处理。ALSP 与 CGF 相比,其优点在于聚合级实体对网络带宽的要求较低,这也是聚合级仿真得到重视的原因。

1991 年 1 月,DARPA 提出了 ALSP,并于 1992 年 7 月开发了第一个正式投入使用的 ALSP 系统,用以支持军事演习。

但是,值得注意的是,ALSP 的应用范围远没有 DIS2.X 广泛,ALSP 是主要针对离散事件和逻辑时间的仿真系统。应用局限于军事演习领域的构造仿真,不能实现与其它两类仿真(实物仿真和虚拟仿真)间的互操作,尤其是当 ALSP 系统与实时、连续、平台级的 DIS2.X 系统中的实体交互时,其聚合级的部队实体需要解聚成为单独的实体,在实时仿真时钟下实现与 DIS2.X 系统中实体的交互作用。完成交互之后,在适当的时刻需要重新聚合成部队级的实体,在非实时仿真时钟下运行。实现这一过程在目前的 ALSP 体系结构和技术条件下是比较困难的。同时,ALSP 目前的体系结构在系统性和完备性方面还需进一步的发展和深入研究。

1.2.4 HLA

一、HLA 的发展背景

分布交互仿真技术发展的内在动力是围绕解决建模与仿真(M&S)中的互操作性和可重用性问题。尽管 DIS 在军用和民用领域得到了广泛的应用,但是仍然面临上述主要问题。美国国防部充分认识到当前建模和仿真的能力与状况,吸收和继承了 DIS 和 ALSP 协议的有益思想制定了一系列目标,其中,使仿真系统之间及其 C⁴I 系统之间的互操作和建模与仿真资源重用的目标直接导致了 HLA 的制定。

1995 年 10 月,美国国防部(DoD)公布了国防部建模与仿真主计划(DoD M&S Master Plan),提出了建模与仿真的六个目标,其中一个目标就是在 DoD 范围内开发一个建模与仿真的公用技术框架。这个目标又包括三个子目标,在体系结构方面号召开发一种高层体系结构 HLA。HLA 的目的是为了支持仿真应用间的互操作性和仿真部件的可重用性。1996 年 9 月召开的第十五届 DIS 研讨会成为最后一届讨论 DIS 的会议,下一届会议开始讨论的内容是 DIS++——采用 HLA 体系结构的分布交互仿真。如果说 DIS 体系结构是从被动地迎合地理上分布的仿真器互联要求的基础上发展并标准化的话,那么 HLA 的建立则完全是为了主动地建立一种更适于各种类型的模型和仿真系统以及 C⁴I 系统之间实现互操作的体系结构。

二、HLA 的组成

HLA 的定义包括 3 个部分:

- (1) 框架与规则集(Framework and Rules) IEEE P1516。
- (2) 联邦接口规范(Federate Interface Specification) IEEE P1516.1。

(3) 对象模型模板(Object Model Template – OMT) IEEE P1516.2。

三者的关系是:规则集中规定的联邦对象模型 FOM(Federation Object Model)和仿真对象模型 SOM(Simulation Object Model)的建立必须用 OMT 记录,而 OMT 记录的信息有利于联邦成员与 RTI(Run Time Infrastructure)进行方便的交互,三者相互作用,紧密联系,这三部分中任何一部分的改动都会影响其他两部分的改变。

三、HLA 的核心 RTI

HLA 是一个开放的、支持面向对象的体系结构。它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。RTI 是 HLA 体系结构的运行支撑系统,它将应用层同其底层支撑环境功能分离开,即将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层传输三者分离开来,可以使各部分相对独立开发,尽可能地利用各个不同领域的最先进的技术,同时可方便地集成和管理新的仿真系统。RTI 提供联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分布管理等六种服务。

四、HLA 特点

与 DIS 相比,HLA 具有如下显著特点:

- (1) HLA 支持多种类型仿真间的交互;
- (2) HLA 采用了客户/服务器(Client/Server)的技术和概念,而不像 DIS 中只简单采用了点对点的广播方式;
- (3) HLA 采用 FOM/SOM 技术和方法描述对象属性与对象间的交互作用,便于模型的建立、修改、生成与管理和仿真资源的再利用;
- (4) RTI 中提供了声明管理服务,减少了冗余信息的传输,从而大大提高了信息传输的有效性,减小了处理器的处理负担,为构成大规模的分布交互仿真提供了可能。

DIS、ALSP 和 HLA 的综合比较见表 1-1。

表 1-1 DIS、ALSP 和 HLA 的综合比较

DIS	ALSP	HLA
平台级建模 (以连续系统为主)	聚合级建模 (以离散事件系统为主)	平台级和聚合级建模 (包括连续系统和离散事件系统)
虚拟仿真/实况仿真	构造仿真	虚拟仿真/构造仿真/实况仿真
广播式通信/点对点通信	广播式通信	一点对多点通信
数据通信 PDU 规范 (IEEE1278-1)	规定联邦的数据交换,在接口控制文件中说明,但没有标准格式	在 SOM 和 FOM 中定义数据通信格式
网络接口按 IEEE12178-2 标准	由 AIS(ALSP Infrastructure Software)提供网络接口	由 RTI(Run-Time Infrastructure)提供网络接口
实时仿真	守恒的时间管理模式	多种时间的管理服务

目前,国外典型的分布交互仿真系统主要有:

- (1) STOW2000。
- (2) WARSIM2000。

国内的分布交互仿真系统主要有:

- (1) 多武器平台攻防对抗综合仿真示范系统(航天总公司二院)。

- (2) 分布式虚拟环境(北京航空航天大学)。
- (3) 装甲数字化营作战仿真系统(装甲兵工程学院)。

1.3 分布交互仿真的分类与特点

1.3.1 分布交互仿真的分类

从系统的物理构成来看,DIS 系统是由仿真结点和计算机网络组成的。仿真结点负责实现本结点的仿真功能,包括动力学和运动学方程的求解、运动模拟、视景生成及音效合成、特殊效果(烟雾、爆炸和碰撞效果、风雨雷电等自然效果)合成、人机交互等。各结点负责计算其内部的一个或多个仿真实体的状态,并把这些状态及其内部事件通知其他结点。仿真结点还负责接收其他结点发送来的状态和事件信息,并计算这些信息对本结点的影响。分布在不同地域的仿真结点通过计算机网络联结起来,采用局域网(Local Area Network,简称 LAN)、广域网(Wide Area Network,简称 WAN)及网桥(Bridge)、路由器(Router)和网关(Gateway)等互联设备联结这些结点。

从组成单元的性质上看,可把 DIS 系统划分为以下三类仿真:

(1) 虚拟(Virtual)仿真:包括各种类型的人在回路仿真器和计算机生成兵力,例如计算机控制的坦克(Computer Controlled Tank,简称 CCT)。

虚拟仿真是指系统和军队在合成战场上模拟作战,往往表现为真人操纵模拟系统的模拟,人成为控制回路的中心。回路中的人和一个类似的、结成网络的敌军进行战斗,敌军可能也是联合体,这个联合体由虚拟部队——实际操纵仿真器的人和完全由计算机生成的半自动化兵力(SAF)组成——即在人提供作战监控情况下由计算机模拟车辆和武器。回路中的人借助模拟系统使人成为控制回路的中心,来练习操纵动力装置的技巧(例如飞行)、决策技巧(例如对行动的火力控制资源)或通信技巧(例如作为 C⁴I 部队的成员)。虚拟仿真中,人的行为由真人模拟,尽管不能感受真实战斗的许多压力,但通过使用视景、音响和运动效果来尽可能适当地增加紧张程度,提供给他们一个逼真的、能感受到威胁的战术环境,以激发逼真的个人和组织行为,并能逼真地反映一场战斗的各个方面。这种由计算机创造出来的视景被许多人视为“虚拟现实”或“综合环境”。如坦克训练仿真器,波西尼亚的空中轰炸模拟都是虚拟仿真的例子。

(2) 构造(Constructive)仿真:包括高层聚合模型、模拟军事演习(Wargames)和一些分析模型。

构造仿真是一种战争演练模型和分析工具,通常是由模拟的人操纵模拟的系统。构造仿真的主要历史实例包括图上演习、沙盘作业和海军用舰船模型进行的作战模拟。实际上,这些古老的方法仍在使用。例如,美国陆军坦克营指挥官及其参谋人员,为了看到和演练他们在沙漠风暴行动中的作用,在德国驻地用购买的军事模型在表示沙特沙漠的沙盘上进行演练活动。如今,计算机辅助演习已大部分取代图上演习、沙盘作业。美国陆军正在使用陆军通信和电子司令部开发的“虚拟沙盘”——一种基于“虚拟现实”的疏散配置的指挥所。在那里,每个指挥官的虚拟环境包括一个虚拟视频墙、虚拟作战地图投影、交互式三维沙盘模型和远方会议参加者的可视化会议室。在某些情况下,一个司令官