

基于 HLA 的聚合级 CGF 初探

郭齐胜 杨立功 徐如燕 王杏林
(装甲兵工程学院仿真室,北京 100072)
E-mail: gtt62&263.net

摘要 聚合级 CGF 作为大规模分布交互仿真系统的重要组成部分,在军事领域中具有十分广阔的应用前景,HLA 是分布交互仿真体系结构的发展方向,因此,基于 HLA 的聚合级 CGF 的研究应该得到足够的重视。该文对基于 HLA 的聚合级 CGF 研究进行了初步探讨,阐述了研究意义,分析了研究现状,提出了主要关键技术及其研究构想。

关键词 计算机生成兵力 聚合与解聚 分布交互仿真 高层体系结构

文章编号 1002-8331-(2001)19-0041-03 文献标识码 A 中图分类号 TP391.9

A Tentative Probe into the Aggregated Computer Generated Force Based on HLA

Guo Qisheng Yang Ligong Xu Ruyan Wang Xinglin

(Simulation Center, Armored Force Engineering Institute, Beijing 100072)

Abstract: As an important part of large scale distributed interactive simulation system aggregated Computer Generated Force has a vast application vistas in military field. HLA is the progress aspect of DIS system architecture. Therefore the aggregated computer generated force based on HLA should be attach importance to. The paper has a tentative probe into the aggregated computer generated force based on HLA, expatiates the meaning, analyzes the present status, puts forwards the main key issues and the study ideas.

Keywords: computer generated force, aggregation, disaggregation, distributed interactive simulation, high level architecture

1 聚合级 CGF 研究的意义

仿真技术具有安全、经济、无破坏性和可多次重复等优点。分布交互仿真 (Distributed Interactive Simulation, 简称 DIS) 是一种新的仿真技术,其基本思路是通过网络技术将异地异构的各种人在回路仿真器、计算机生成兵力 (Computer Generated Force, 简称 CGF, 是指仿真战场环境中由计算机生成和控制的仿真实体^[1], 这些实体不需要人的交互而自动地对仿真战场环境中的事件和状态做出反应) 以及其它仿真设备或者实装、兵力等有机地联结为一个整体, 形成一个在时间和空间上互相耦合且一致的虚拟合成环境, 人可以自由地、实时地与之交互, 从而完成军事人员训练、战术方案的有效性验证与评估、武器系统效能评估等任务。近年来分布交互仿真技术发展十分迅速, 尤其是在国防军事领域得到了广泛应用。由于受到经费、人员、场地等因素的限制, DIS 系统中人在回路的仿真器数量不可能太多, 大量需要的是 CGF, 以增加仿真实体的种类和数量, 为参演的人在回路的仿真实体提供作战对手或友军支援, 提高系统仿真环境的复杂度和真实性, 增强用户 (参训人员) 的沉浸感, 并且为战场想定开发者设计演示系统时提供依据。因此, 要充分发挥分布交互仿真的作用, 必须依靠和研究 CGF。

CGF 分为平台级和聚合级两种^[2]。平台级 CGF 指的是每个仿真模型所描述的实体是单一的武器平台 (如一辆坦克), 主要用于小规模 (比如营以下分队) 的战术演练。但对于更大规模的分布交互仿真演练, 如我军对台登岛作战仿真, 仅靠这些平台

级的 CGF 实体是无法满足要求的。究其原因主要有两个: 一是 CGF 模型本身的问题。平台级的 CGF 模型虽然进行了一定程度的简化, 但如果一台计算机仿真太多的 CGF 实体, 它本身的资源就会受到很大的限制, 这样一来, 要进行大规模的仿真, 系统中就必须有大量的计算机节点, 于是引发了第二个问题, 即网络的负载能力。(实体) 节点多必然导致网上的信息交互量大增, 从而网络带宽受限、信息传递延迟、数据丢失、误传的情况将不可避免地发生, 进而会影响整个系统的运行效率, 最终将会严重影响仿真结果的可信度。聚合级 CGF 是通过将一定规模的作战单位 (如坦克连) 的作战行为进行足够的建模, 使它在虚拟环境中不需要人的控制也能模拟完成与真实的作战单元相同的任务, 主要用于分析与确认新型武器系统与新战术的有效性。研究聚合级 CGF 具有非常重要的意义。

第一, 采用聚合级 CGF 可以用少量的网络节点大量增加战场实体, 扩展作战仿真的规模。如建立团一级作战模型, 假设聚合级 CGF 模拟的基本作战单位是连或单独行动的排, 那么可以区分成陆战单位 40-45 个、炮兵单位 15-20 个、防空单位 30-35 个、工程兵单位 5-7 个、空军单位 10-15 个, 总计作战单位达 100-120 个。如果采用平台级 CGF 进行仿真, 实体总数将达上千个, 如果是师、军或更高级部队的作战仿真, 实体数量将会更大。从我国目前初步建成的几个 DIS 系统 (如“综合防空多武器平台仿真示范系统”^[3]、“分布式虚拟战场环境”^[4]) 来看, 虽然它们都联进了一定数量的 CGF, 但由于都是平台级 CGF,

基金项目: 国家 863 高科技计划 (编号: 863-306-ZD10-02-2), 教育部骨干教师资助计划 (编号: 2001JC09)

作者简介: 郭齐胜, 博士, 教授, 博士生导师。目前主要研究方向: 系统建模, 计算机生成兵力, 计算机视景仿真。杨立功, 博士研究生, 研究方向为计算机生成兵力技术。徐如燕, 博士研究生, 研究方向为人工智能和军事专家系统。王杏林, 博士研究生, 研究方向为作战仿真。

© 1994-2011 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

这就决定了这几个 DIS 系统的规模不可能很大,参加的实体数量不可能很多(200 个左右)。要完成几个团,或者是师、军参加的作战仿真,如果不研究聚合级 CGF,现有的系统是不可能满足要求的。

第二,采用聚合级 CGF 可以有效地节省网络带宽,减少网上的信息交互量。当系统中平台级 CGF 数目 n 增加时,网络带宽消耗成 $O(n^2)$ 级数增长,这直接影响仿真系统的规模,限制了分布交互仿真的应用。而聚合级 CGF 是对个体共性的提取,消除了个体间的差别,因而使信息减少。比如可以使用聚合实体状态信息代替其所描述的实体状态信息发送,这样就可以有效地减少网上的信息交互量。

第三,开发聚合级 CGF 便于模拟部队的层次结构及各种不确定因素。实际作战中经常出现战斗单位的分解与合并、指挥关系的转属等情况,如作战中的支援、加强、配属等战术行为。一个聚合级作战单位的分解可采用两种方式完成,一种是用方案命令的方式,它事先对待分解单位进行划分,分解的单位以数个单位的编号共同配置在一个阵地(位置)上,并填写好相应的方案数据表。另一种方式是采取自动决策的方法,当某种情况出现后被分解单位就自动派出约定的那一部分兵力,构成一个新的作战单位。对这种方法,要事先编好变化方案,并赋予一定的自动决策功能。作战单位的自动合并与分解相似,一般是较低、较小单位向较高、较大级别单位并拢,并以后者的配置(中心点坐标,幅员大小)地域为准。合并后较小单位的独立性消失,以较大单位的各种特征为准。聚合级 CGF 在这其中所能起的关键作用是它具有这种分解与合并的功能。如果上述这些情况完全由平台级 CGF 来实现的话,整个系统的管理将会非常混乱,不利于作战仿真的顺利完成。

第四,开发聚合级 CGF 系统是虚拟演练系统并入 C³I(Command control, communication, Information)系统的需要。C³I 就像是人的眼睛、耳朵、神经和大脑,把指挥、控制、通信和情报这现代战争的四大环节有机地结合在一起,使指挥机关能够随时了解瞬息万变的战场态势,进而统观全局,对部队实施准确而高效的作战指挥。C³I 系统在目前全军的指挥通信及作战演练等方面起着极为重要的作用。分布交互仿真系统能提供友好的交互界面、可视的战场环境和较高的仿真可信度,并且具有一定的仿真规模。它将来势必要并入 C³I 系统,这样才能利用现有的网络资源进行大规模的分布交互仿真演练。聚合级 CGF 系统能够有效地模拟军队的层次结构模型,适合 C³I 系统的组织指挥体系。因此,必须开发适合并入 C³I 的聚合级 CGF 系统,这是完成分布交互仿真系统与 C³I 系统无缝结合的关键。

第五,开发聚合级 CGF 系统是模拟武器群体行为的需要。CGF 实体类似于人工生命,其个体行为往往和群体联系在一起并受到群体的影响。武器平台也是一样,它在作战中体现的也是一种群体行为。因此,研究 CGF 实体的行为,主要是实体间的交互与合作行为,这是 CGF 领域研究的重要方向。平台级 CGF 系统不能很好地模拟这种群体行为,聚合级 CGF 系统能担此重任。

2 聚合级 CGF 研究进展

关于 CGF 的研究进展详见文献 [1]。从该文中可以看出:

(1) 美国对 CGF 的研究非常重视,美国国家自然科学基金一直给予资助,很多研究所(如佛罗里达中央大学仿真与训练研究所)和公司(如 Loral 公司)专门从事这方面的研究。(2) CGF 的

研究成果主要集中于平台级,聚合级 CGF 的成果较少,代表性的成果有 ModSAF 和 OenSAF。ModSAF 中的聚合级 CGF 可以实现营一级作战单元的行为仿真。OenSAF 是美国国防部高级项目计划局在 ModSAF 基础上投资开发的下一代 CGF 系统,重点是在提高 CGF 实体智能行为水平和仿真可信度的同时,满足与高层体系结构 HLA (High Level Architecture) 兼容。目前正在进行的研究主要有 Integrated Eagle/ModSAF^[4,5,6] 和 UK DERA Linkage^[7] 等工程。从公开的文献来看,国外聚合级 CGF 的详细资料几乎没有,技术也很不成熟,如体系结构由于兼顾多种通讯协议而非常复杂,动态聚合解聚模型过于简化,平台级与聚合级 CGF 的时间同步等问题也都处于进一步的探索之中。国内对聚合级分布交互仿真问题进行了初步探讨^[8,9,10],文献[8]参照 HLA,重点讨论聚合级分布交互仿真系统的体系结构,文献[9]讨论聚合级仿真协议 ALSP 的结构和时间与对象管理等问题,文献[10]在平台级分布交互仿真协议 DIS2.X 的基础上,重点研究了怎样设计聚合状态 PDU 以减少网上信息流量问题,文献[11]对飞机 CGF 的联邦对象模型和仿真对象模型的设计进行了初步探讨。基于 HLA 的聚合级 CGF 系统的研究至今一片空白。人们知道,HLA 是分布交互仿真体系结构的发展方向,DIS2.X 和 ALSP 两者中分布交互仿真协议正在被高层体系结构 HLA 所替代。美国国防部规定 HLA 为美国国防部所有仿真的标准技术结构,并且取消了对在 1999 财年前没有达到与 HLA 相容的仿真的进一步支持。在 2001 财年前清除所有非 HLA 相容的仿真^[12]。由此可见,进行基于 HLA 的聚合级 CGF 的应用基础研究具有非常重要的理论和实际意义。

3 聚合级 CGF 的关键技术及其研究构想

3.1 聚合级 CGF 的关键技术

聚合级 CGF 系统中要解决的关键问题主要有:聚合级 CGF 系统体系结构的通用性与科学性、聚合与解聚模型的真实性与算法的快速性、军事知识的自动或半自动获取方法的有效性、军事决策的实时性;决策时机实时性(即在需要决策的时刻,立即进行决策);决策过程实时性(即在规定时间内得到决策结论)。

(1) 符合 HLA 框架的聚合级 CGF 系统的体系结构的构建。聚合级 CGF 应具备对战场态势进行分析和实时的任务规划与战场决策能力,因此,其体系结构中要考虑指挥问题、与平台级 CGF 的转换问题、与分布交互仿真系统体系结构的一致性问题。国外现有的聚合级 CGF 并不完全遵循 HLA 标准,正在对 HLA 标准进行改造^[4]。可以从一开始就设计符合 HLA 标准的聚合级 CGF 的体系结构。

(2) 动态聚合解聚模型与算法的研究。仿真过程中,聚合级 CGF 会处于不同的状态:聚合状态、完全解聚状态、解聚状态、伪解聚状态、部分解聚状态^[10]。这几种状态在一个仿真应用中通常是相互转化的,这就需要一种实时的、动态的聚合解聚算法。国外目前虽然进行了一些这方面的研究,但动态的聚合解聚问题一直没有根本解决。文献[13]提出了一种解聚算法,它考虑了解聚单元的地形约束问题和通视性问题,此算法使用一个预定义的模板来分配解聚实体,然后通过不断的修改模板来满足各种约束条件,算法的实时性不好,且没有从正面解决各种约束的满足问题。

(3) 指挥决策问题。作战指挥决策及其实时性是聚合级

CGF 系统的又一大特点。要使聚合级 CGF 具有对战场态势进行分析和实时的任务规划与战场决策能力,必须解决好知识库的组织、基于数据库的知识发现、实时决策方法等问题。从决策的角度讲,CGF 中有 4 个关键问题^[14,15,16]:知识获取、知识表示、知识利用和实时决策。现有的 CGF 采用规则形式组织知识库,与普通的知识库、专家系统一样,其瓶颈是知识获取^[17],文献^[18,19]提出了一些初步的解决方法。知识在 CGF 中要用于分析与决策。在在线、动态的仿真环境下,往往需要 CGF 作出实时决策^[20,21]。不少系统为了提高决策的实时性,采用硬编码的规则库,大大限制了 CGF 系统的可移植性和灵活性。因此,提出了可调规则库和神经网络的方法^[15]。除了规则形式,有的文献提出使用框架、对象等形式组织知识库^[13]。国内有代表性的研究成果是基于规则的三级智能决策方案^[22]。

(4) 联邦对象模型 FOM 和仿真对象模型 SOM 的设计与实现。

3.2 聚合级 CGF 关键技术的研究构想

(1) 利用多 Agent 之间的合作、协调和协商机制,构造基于多 agent 的聚合级 CGF 的体系结构(如图 1 所示)。根据功能设计了 4 类 agent:

(a) 界面 agent:与操作员进行交互,接受操作员的初始化信息和控制命令,将它们发送给信息 agent;接收信息 agent 的有关信息,并进行显示。(b) 信息 agent:信息 agent 主要用于信息获取、处理以及对信息进行分类、管理和控制。(c) 指挥 agent:指挥 agent 根据信息 agent 传来的信息进行判断情况、定下决心、拟定计划和下达命令等战术决策全构成的仿真。(d) 下级 agent:以坦克连为例,下级 agent 为坦克排(我军有三辆坦克),而坦克排中排长车同时也为该排的指挥 agent,其下级 agent 为坦克单车 agent。下级 agent 根据身份的不同有不同的功能。如果为最底层的 agent,则其功能主要是实体物理行为的仿真,如实体运动学动力学仿真、武器系统仿真等,智能行为仿真的认为相对较轻。如果下级 agent 仍为一个聚合级实体,则除实体的物理行为仿真外,指挥决策仍为该实体的主要功能。

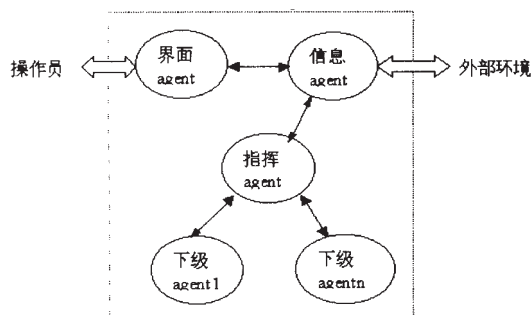


图 1 基于多 agent 的聚合级 CGF 的结构

(2) 聚合与解聚的数学模型主要解决作战能力和空间位置的聚合、带约束(如解聚单元之间的最小约束距离、最大间隔距离、地形障碍等)问题的解聚单元的定位和兵力问题,聚合与解聚数学模型的算法重点解决快速性,可以采用混沌遗传算法

(利用混沌优化的遍历性和遗传算法的反演性)等快速的优化方法进行求解。

(3) CGF 中的知识库存储决策时所需的知识。知识可以来自领域专家,但也可以自动或半自动生成。为了降低知识库的构造成本,可以在有一定领域知识的基础上,研究实现自动的知识获取。同时,要考虑到不确定性知识的表示和生成,以及在动态环境下的知识库更新。

(4) 智能指挥决策根据仿真中的态势,包括实体的当前状态、行动目标和环境影响等,从规则库中选取合适的决策规则,控制虚拟实体的行为。研究当前状态数据与规则条件的匹配、冲突消解、匹配失败的处理等问题。另外,还要研究实时性问题,实现实时智能决策。

4 结束语

作为大规模(团以上)分布交互仿真系统的重要组成部分,聚合级 CGF 在军事领域中具有十分广阔的应用前景,例如:新概念武器的先期技术演示、新的战法训法研究、作战指挥人员训练、武器装备论证与作战效能评估、武器装备综合技术保障等。该文对基于 HLA 的聚合级 CGF 问题进行了初步探讨,其关键技术正在深入研究之中。(收稿日期:2001 年 6 月)

参考文献

- 杨立功,郭齐胜.计算机生成兵力研究进展[J].计算机仿真,2000,17(3)
 - 李伯虎等.综合仿真系统研究[J].系统仿真学报,2000,12(4):2000,12(5):429-434
 - S A Schricker, E J Barbosa, R G Smith. Enhancing the Realism of Pseudo-Disaggregated Entities[C]. Proceedings of the 8th CGF&BR Conference, 1999.5:609-615
 - S A Schricker, R W Franceschini, D R Stober et al. Architecture for Linking Aggregate and Virtual Simulations[C]. Proceedings of the 6th CGF&BR Conference, 1996.7:427-434
 - D R Stober, S A Schricker, T R Tolley et al. Lessons Learned on Incorporating Aggregate Simulations into DIS Exercises[C]. Proceedings of the 14th DIS Workshop, 1996.3:391-396
 - A Cox, J Maybury, N Weeden. Aggregation Disaggregation Research-A UK Approach[C]. Proceedings of the 13th DIS Workshop, Orlando FL, 1995.9:449-464
 - 柏彦奇等.聚合级分布交互式作战仿真体系结构研究[J].计算机仿真,1999,16(4)
 - 张国峰等.聚合级仿真系统中几个问题的研究[J].计算机仿真,1999,16(4)
 - 叶雄兵等.分布式仿真聚合协议的研究[M].军事系统工程理论创新与实践,2000:118-123
 - 林新等.基于 HLA 的计算机生成兵力研究[J].系统仿真学报,2000,12(5):478-480
 - 黄健.HLA 仿真系统软件支撑框架及其关键技术研究.博士学位论文.长沙:国防科学技术大学研究生院,2000
- (以下参考文献略)

(上接 24 页)

- Blinn James F. Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures[J]. Computer Graphics, 1977, 11(2):192-198
- R L Cook, K E Torrance. A Reflectance Model Computer Graphics[J]. Computer Graphics, 1981, 15(3):307-316

- QingJin Peng, Martin Loftus. A New Approach to Reverse Engineering Based on Vision Information[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1998, 38:881-899
- 陆宗祺等.微型计算机图像基础[M].华东理工大学出版社,1997
- 刘惟信.机械最优化设计[M].清华大学出版社,1994