

聚合级 CGF 关键技术的研究

杨新颖, 龚光红

(北京航空航天大学先进仿真技术航空科技重点实验室, 北京 100083)



摘要: 基于 HLA 高层体系结构的多粒度 CGF 模型是分布交互仿真领域的关键技术, 在综合了动态聚合解聚算法、动态资源分配、聚合级模型再构等聚合级 CGF 关键技术基础上, 提出了一些建设性的解决方案, 并在此基础上开发出一套多粒度的装甲部队 CGF 原型系统, 验证了对聚合级 CGF 关键技术研究结果的可行性。

关键词: CGF; 聚合; 解聚; 分布交互仿真; 多粒度; 模型再构

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2006) S2-0583-04

Research on Key Technologies of Aggregated CGF

YANG Xin-ying, GONG Guang-hong

(Advanced Simulation Technology Key Lab, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: CGF (Computer Generated Force) with multi-granularities is a main key issue in the field of distributed interactive simulation. Based on synthesizing several key problems in the Aggregated Computer Generated Forces such as dynamic algorithm of aggregation, dynamic distribution of resources and CGF remodeling techniques, some constructive solutions were also provided. A CGF prototype of armor with multi-granularities was provided. This system testifies the feasibility of the key technologies.

Key words: CGF; aggregate; disaggregate; distributed interactive simulation; multi-granularities; remodeling

引言

多粒度(多分辨率)CGF模型在分布交互仿真中占有举足轻重的地位。基于HLA高层体系结构的多粒度CGF模型可以分布在网络上异地异构的计算机上,通过模型高低分辨率之间的动态转换来实现对客观事物不同细节度的模拟,从而满足各种规模仿真的需求。

模型是自然和人文事物的抽象,也是仿真中的主体。由于研究目的和规模的不同,模型对事物描述的细节度就会存在差异,从而引发了对于不同细节程度模型(即多粒度模型)的研究。

多粒度模型之间相互转换的技术就是聚合和解聚,模型聚合是把高分辨率的模型转化成低分辨率的模型或者将模型的高分辨率子模型转化成低分辨率子模型,模型解聚和模型聚合相反。

聚合级CGF不仅可以通过少量的网络节点大规模地增加战场实体,扩展仿真的规模,减少网络信息交互量;同时还可以模拟部队的层次结构及各种不确定因素;并且逐步成为虚拟演练系统并进入到C³I的需要。对于聚合级CGF的研究,目前国际和国内都没有规范化的标准和突破性的引领技术,有关聚合级模型的研究还处于起步阶段。

本文论述了聚合级CGF的多个关键技术,提出了一些新概念,在理论上提供了一些建设性的解决方案,并在此基础上实现了一套基于HLA的聚合级装甲部队原型系统。

1 聚合级系统的体系结构

1.1 聚合级原型系统概念模型

大规模多武器平台攻防作战仿真系统中往往含有师团级作战单元,本文结合坦克师的整体编排和作战特点,深入探究聚合级CGF的关键技术和解决方案。

原型系统编制如图1所示。按照军事规则和作战想定,分任务分批次完成作战任务,其间体现所有聚合、解聚的动态过程。

1.2 聚合级 CGF 的模块结构

聚合级模型可以看作是平台级模型的延伸,图2给出了聚合级模型模块的示意图。它说明聚合级不仅要包含原平台级已有的模型模块(动力学模型、火控模型等);还包含对平台级原有模块的再构(毁伤模块、路径规划模块);而且还要在此基础上拓宽出新的功能模块(如队形编制、指挥控制、变粒度决策算法模块)。

除此之外,聚合级模型不仅要实现变粒度模型的无缝转换,而且还要顾及同级之间的耦合关系。

2 聚合级 CGF 关键技术研究

2.1 聚合级资源的动态分配

聚合级CGF要实现对不同粒度实体模型的仿真,解聚

收稿日期: 2006-04-13 修回日期: 2006-06-09

作者简介: 杨新颖(1981-),男,河北人,满族,博士生,研究方向为计算机生成兵力,虚拟现实技术;龚光红(1968-),女,四川人,土家族,教授,副院长,研究方向为先进分布仿真技术,计算机生成兵力技术,虚拟现实与虚拟采办等。

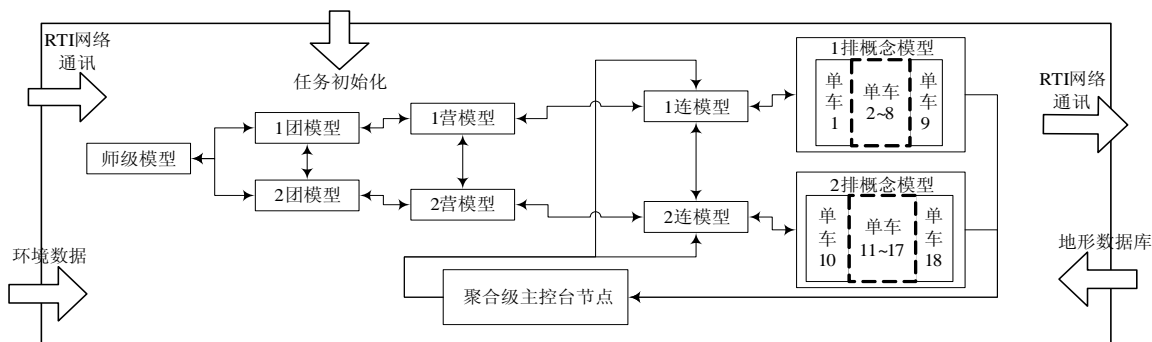


图 1 原型系统概念体系结构

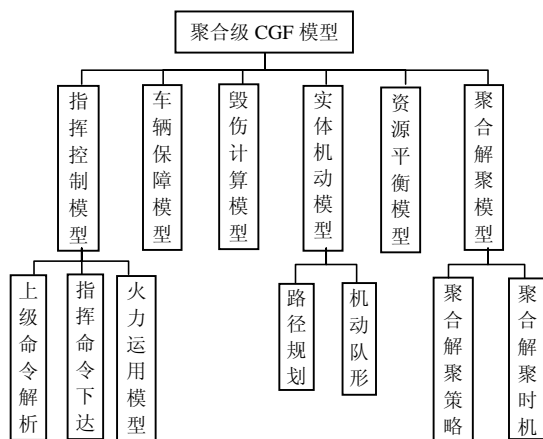


图 2 聚合级 CGF 模型模块

至平台级时会出现仿真实体大规模的增加和机器资源相对有限之间的矛盾，在聚合级 CGF 系统的设计中，这要靠聚合解聚时动态分配机器资源来实现的。

图 3 给出了连聚合级模型、平台级模型和聚合级主控台在仿真应用中的信息流。主控台功能之一是负责收集网络上被注册成平台级兵力的联邦成员当前状态，然后根据资源使用状态完成解聚时平台级资源的分配，即系统资源的动态调配。连指挥车管制 9 辆下属单车，连解聚指令下达时，主控台可将 9 个平台级模型动态分配到不同机器的不同节点上，并依序完成车号分配、路径规划、初始化队形、动态注册对象等过程，从而完成解聚过程，实现仿真解聚的无缝转换。仿真聚合命令下达后，平台级模型注销实例，聚合级主控台感知后将机器资源回收，平台级资源释放后待命。

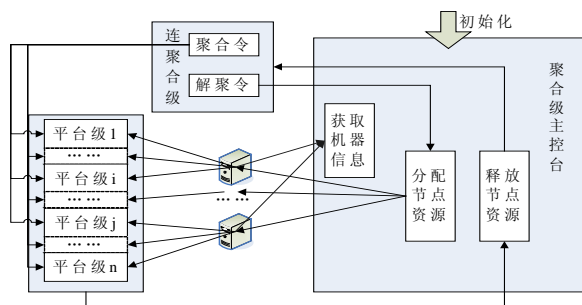


图 3 变粒度时资源的动态分配

在主控台获取众多平台级节点资源状态时，由于网络数

据量骤增而产生网络堵塞现象，使得部分信息丢失，造成多粒度模型调配失误。解决这一问题的办法是采用网络传输延迟，依照平台级的节点号将线程挂起相应个时间单位。

假设线程挂起的单位时间为 Δt ，平台级在连中的编制为第 n 量车。如图 4 所示，平台级在收到主控台获取机器资源的信息交互后，将线程挂起 $n\Delta t$ 个时间单位，使得主控台对各平台级节点状态能够有效接收。

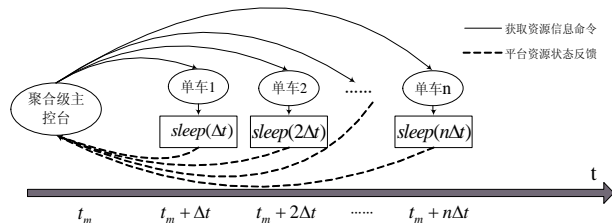


图 4 避免网络堵塞的线程挂起时间图

2.2 聚合解聚的动态实现

战场形势瞬息万变，各级指挥员根据战场形势并结合自身作战经验指挥战争的行为建模一直是 CGF 建模技术中的难点，在聚合级 CGF 中，聚合解聚时机的决策最为重要。

本文介绍一种作者研究的决策评估算法，首先引入一个定义。

定义 1: 设 X_1, X_2, \dots, X_n 为 n 个彼此不相关的，对随机变量 X 做贡献的，无论离散或连续的随机变量；贡献权重为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 。在某一相关变量 $t=t_0$ 时， $P(X_1=x_{1_0})=p_1, \dots, P(X_n=x_{n_0})=p_n$ ，则定义 X 的广义数学期望 $E(X)=\sum_{i=1}^n \omega_i p_i$ 。

引入三个影响解聚时机的重要因素：想定疏开位置、聚合级指挥车距近敌距离和聚合级毁伤率。

考虑到三个因素对最终结果贡献程度不同，按照重要程度将权重分别定为 60、30、10。

规则 1: 当随机变量 X 的广义数学期望 $E(x) > 80$ 时，可以认为满足期望条件。

想定疏开位置是理想的解聚点，所以偏离越远解聚概率越小，本文采用正态分布 $f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$ ，如图 5a 所示， x_0 为疏开位置。

指挥车距最近敌人距离也对解聚时机影响很大，本文采

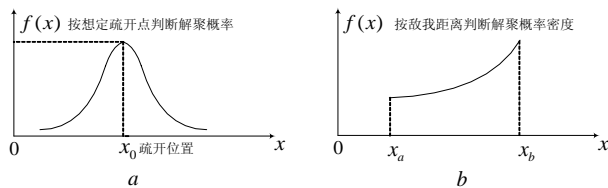


图5 疏开、距敌概率密度曲线图

用的概率密度函数为 $f(x) = \frac{1}{e^{x_b} - e^{x_a}} e^x$, 见图 5b, 其中 x_a 为开始有被袭击可能的危险距离, x_b 为彻底被摧毁的距离。

聚合级的毁伤率反映了部队战斗能力,也影响着解聚指令的决策。本文用下文将介绍的模糊推理方法计算出来的聚合级毁伤率作为评估标准,令 $p_3 = 1 - D$ 。

将上面的三种概率乘以各自权重,按照规则 1 的判断标准就可以进行聚合级解聚指令的决策。聚合的决策与解聚相仿,也可采用这种多点评估的方式进行设计。

2.3 基于平台级的聚合级模型再构技术

聚合级 CGF 模型中有些模块需要对原有平台级模块加以继承并改进,本文称为再构技术。基于平台级模型的再构技术并非对原有对应模块的简单叠加,而是在不同粒度耦合关系的基础上开发新算法的技术。下面分别介绍两个典型的聚合级模型模块:毁伤模块和局部路径规划模块。

2.3.1 毁伤模块

聚合级毁伤模块将隶属于下级的相似功能模块信息融汇在一起,按照特定算法实现对聚合级模型毁伤的评估。

平台级兵力节点根据自身与目标的方位关系以及交火过程中的射弹散布设计出毁伤计算模型。聚合级毁伤模型要根据综合再构的设计思想吸收下属的毁伤汇报,利用模糊理论设计出新的算法。

首先将平台级毁伤模型计算结果模糊化,论域 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ 表示毁伤程度的五个级别:无、轻、中、重、毁。建立模糊集合 $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$ 。模糊运算采用的隶属度函数如下图所示,从而完成精确值的模糊化。

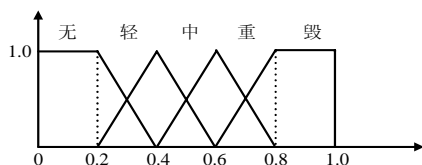


图6 毁伤模块模糊化隶属度函数

将所有 n 个隶属于本级的下级毁伤结果模糊化后,综合成一个 $n \times 5$ 阶的矩阵,本文以连级下的所有 9 辆单车为例。

$$R_{95} = \begin{bmatrix} \mu_{\tilde{A}}(x_{11}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{12}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{13}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{14}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{15}) \\ x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ \mu_{\tilde{A}}(x_{21}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{22}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{23}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{24}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{25}) \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ \dots\dots\dots \\ \mu_{\tilde{A}}(x_{91}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{92}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{93}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{94}) & \mu_{\tilde{A}}(x_{95}) \\ x_{91} & x_{92} & x_{93} & x_{94} & x_{95} \end{bmatrix}$$

定义聚合级毁伤结算模型的参考值

$$D = \max(\sum_{i=1}^9 R_{ij} / 9, \{j / j \in N, j \in [1, 5]\})$$

将矩阵中的每个元素都缩小为原来的 $1/n$, 目的是为了综合相加的时候保证最终概率结果的合理性,使 D 最大的 j 值所对应的 X 值就是最终模糊结果。

2.3.2 路径规划模块

聚合级的局部路径规划沿用平台级的思想,并在此基础上结合自身队形特点设计出新的算法。

下面简单介绍单车模型的圆形避障算法。圆形避障一般针对大小不超过 10×10 米的障碍物,一般是独立树、屋等,如图 6 所示,当路线 SE 与圆形障碍物相交时,需要对路线进行重新规划,即在 S 点和 E 点之间插入一些节点,使得路线能够绕过障碍物。

其算法如下:

1.以圆形障碍物的中心 O 为圆心,以 $2r$ (r 为圆形障碍物半径) 为半径作圆,求出与线段 SE 的两个交点 A 和 B,将这两个点插入到链表中。

2.求出通过 A、B 的切线相交的两个点。

3.算出其中距离圆心 O 较近的点,记为 P,将 P 插入到链表中,算法成功退出。

通过规划,得到最后的路线为(S, A, P, B, E),如图 7 所示。

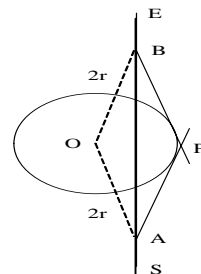


图7 圆形避障示意图

聚合级路径规划的再构算法实现步骤如下:

1.如果队列成直

线,根据聚合态的队形寻找距离最大的两台车,然后以最大距离线段为直径作圆,见图 8a。如果队列非

直线,找到这样不共

线三个点,使得所有其他单车均在以此三点为顶点的三角形内部,然后作三角形的外切圆,半径为 R ,见图 8b。

2.将平台级圆形避障算法结果点(S, A, P, B, E)向安全端平移 $1.2R$ 个单位(见图 9),得到聚合级局部避障路线(S', A', P', B', E')。

由于聚合级指挥车航向的变化会使远离长车的单车局

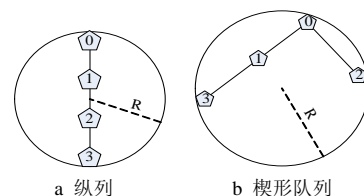


图8 安全圆示意图

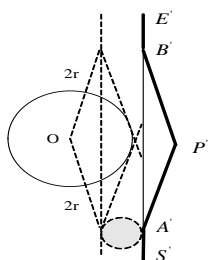


图 9 聚合级避障路线

部跳出“安全圆”，故对缩短行走路线和保证安全系数两方面进行折中，取 $1.2R$ 作为最终安全圆半径。

3 仿真应用

按照图 1 的概念结构开发出一套基于 HLA 高层体系结构的聚合级装甲部队原型系统，各联邦成员节点运行在 6 台联网的计算机上，根据预先编写的 FOM/SOM 词典在 RTI 支撑环境下进行实时通讯。

聚合级主控台负责维护平台级资源信息，上级下达聚合、解聚指令时主控台根据机器闲置情况动态分配资源，图 10 为聚合级主控台运行时截图。

序号	运行设备ID	运行设备名称	所属主机IP地址	主机名称	模拟成员名称
0	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform3
1	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform4
2	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform5
3	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform6
4	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform7
5	0x0	无	223.1.2.13	xieryangqi.wug	TankPlatform8
6	0x0	无	223.1.2.71	Guanwenyuan	TankPlatform9
7	0x0	无	223.1.2.71	Guanwenyuan	TankPlatform10
8	0x0	无	223.1.2.71	Guanwenyuan	TankPlatform11

图 10 聚合级主控台运行界面

(上接第 582 页)

3.3 周期长度过小的避免

在采用计算机编程计算的方法跟踪混沌系统的运行时，由于任何计算机对浮点数的存储、处理均是近似的，不可避免地有舍入误差的存在，因此数字计算式的混沌系统运转一段时间后，其离散输出序列本应为无穷大的周期却变为有限，即出现伪周期现象。对于一维映射混沌系统，采用双精度计算时(保证 16 位有效数字)伪周期在 10^8 的量级。一般地，混沌系统的结构参数并不唯一，且单一结构参数的分布都保持一定的范围。因此，若利用吸引子转换技术，即利用除掉周期窗口后的混沌区产生周期小于伪周期的混沌序列，再将所得的混沌序列前后接合成一个，则必然可以克服伪周期现象导致的周期过小的缺点。例如，若以仅有一个结构参数的对数映射作为混沌随机序列发生器，计算时保证 16 位有效数字，混沌区内的每个混沌结构参数点仅使用一次，则所得混沌随机序列的周期下界即可达到 $10^8 \times 10^{15} = 10^{23}$ 。如此大小的周期已可胜任任何扩频通信和计算机网络通信对扩频序列周期的要求。

原型系统根据想定、战场环境和各节点当前状态判定聚合、解聚的时机。图 11 为系统聚合和解聚时二维态势节点的局部显示。

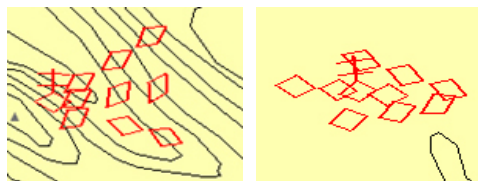


图 11 聚合、解聚时二维态势局部显示

4 结论

多粒度 CGF 建模一直是分布交互仿真领域的难点，本文着重讨论了聚合级 CGF 的几个关键技术，给出的解决算法合理有效，并且应用在聚合级装甲部队原型系统工程项目中。

参考文献:

- [1] Liu Bao-hong, Huang Ke-di. The Research of Multi-Resolution Modeling[C]//ASME'2001 Sept. 2001.
- [2] Hirotugu Akaike, Genshiro Kitagawa. The Practice of Time Series Analysis[M]. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- [3] 郭齐胜. 基于 HLA 的聚合级 CGF 初探 [J]. 北京: 计算机工程与应用, 2001. (19): 41-43.
- [4] 曲行达. CGF 系统中多级智能决策实现方法 [J]. 北京: 北京航空航天大学学报, 2004. 30(7): 644-647.
- [5] 张国春. 模型的聚合与解聚 [J]. 北京: 计算机仿真, 2003, 20(3): 1-4.

4 结论

混沌系统的非周期性和对初始条件的高度敏感性，使得借助混沌映射迭代产生伪随机序列成为未来扩频码生成的一个方向。本文以 Logistic 映射为例给出的初始值的选取、映射双精度浮点算法的修正及克服伪周期现象导致的周期过小等问题，都是在混沌映射生成扩频码的实现过程中遇到的。计算机仿真结果证实，经过上述三种处理后产生的扩频序列，其周期长度、同步特性、多址性能、自相关性能和互相关性能均满足理想扩频码的特征，具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 何松柏. 一类混沌映射扩频序列的研究 [J]. 电子与信息学报, 2004, 26(2): 260.
- [2] 王亥. 数字混沌扩频通信系统[J]. 北京邮电大学学报, 1998, 21(4): 7.
- [3] 刘卫洪. 混沌序列用于 DS-CDMA 可行性研究 [J]. 昆明理工大学学报, 2005, 30(6): 48.
- [4] 梅文华. 跳频通信 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [5] 孙云山. 混沌序列码实现方法及应用 [J]. 电路与系统学报, 2003, 8(4): 50.
- [6] 陈勇. 卫星扩频系统中的长混沌序列 [J]. 解放军理工大学学报, 2004, 5(4): 34.