

基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统设计

沈宇军, 桑景瑞, 王向飞

(军械工程学院 装备指挥与管理系, 河北 石家庄 050003)

摘 要: 聚合级装备保障 CGF 系统提高了基于分布式战场环境的装备保障仿真训练的复杂度和逼真度, 是装备保障仿真训练系统的重要组成部分。在简要分析聚合级 CGF 系统基本概念和结构的基础上, 提出了基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统的体系结构, 在理论上初步探讨了系统的运行机制和通信机制。

关键词: 装备保障; 多 Agent; 移动 Agent; 聚合级 CGF; KQML

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2006) 12-2275-04

Design of aggregated equipment support CGF system based on multi-agent

SHEN Yu-jun, SANG Jing-rui, WANG Xiang-fei

(Department of Equipment Command and Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The aggregated equipment support CGF system improves the complexity and fidelity of the equipment support simulation training system based on distributed battlefield environment, which is the important part of the equipment support simulation training system. Based on the brief analysis of the basic concept and structure of aggregated CGF system, the structure of aggregated equipment support CGF system based on multi-agent is presented, and the mechanisms of system operation and communication are discussed.

Key words: equipment support; multi-agent; mobile agent; aggregated CGF; KQML

0 引 言

装备保障是战争物质基础和技术基础的重要组成部分, 是保持和恢复部队战斗力的主要手段。由于政治和经济因素的影响, 不可能经常搞代价昂贵的实地装备保障演习, 因此仿真训练就成为了研究装备保障系统和提高装备保障能力的重要手段。

计算机生成兵力 (computer generated forces, CGF) 是指仿真战场环境中由计算机生成和控制的仿真实体, 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^[1]。装备保障 CGF 就是通过对装备保障力量的特性和行动进行建模, 并由计算机程序实现的装备保障仿真实体。在装备保障仿真训练中, 它模拟实际的装备保障力量参与到虚拟的作战环境中, 依靠自身具有的知识与智能与作战部队进行近似实战的交互, 用自主的保障行为模拟装备保障力量的行动, 形成一支高逼真度的“虚拟装备保障部(分)队”。无疑, 装备保障 CGF 系统是装备保障仿真训练系统的重要组成部分, 提高了基于分布式战场环境装备保障训练的复杂度和逼真度, 降低了训练成本。

本文在简要分析聚合级 CGF 基本概念和结构的基础上, 根据战术级装备保障系统的特点, 引入基于多 Agent 的复杂系统建模方法, 对聚合级装备保障 CGF 系统的体系结构, 运

行机制和通信机制进行了较为详细的设计并在理论上进行了初步研究。

1 聚合级 CGF 系统概述

1.1 聚合级 CGF

在实际的仿真系统中, 依据 CGF 实体自主性的不同^[2], 分为: 半自主兵力模型, 主要描述战场的底层实体, 模型所描述的行为属于智能性较低的反应式行为; 智能兵力模型, 除了具有反应式行为外, 同时具有高级的智能行为, 能够独立的完成面向目标的规划、决策及相应的行动过程; 指挥兵力模型, 主要描述战场的指挥实体的指挥控制活动, 它具有前两种兵力模型的所有能力, 同时, 由于与指挥有关的决策、规划等认知过程以及面向的任务都涉及到多个下属及敌方单位。

依据 CGF 自身结构的不同又可分为: 平台级和聚合级两种^[3]。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, 主要用于小规模战术演练。平台级 CGF 系统中只包含半自主兵力模型战场底层实体。聚合级 CGF 是通过在一定规模作战单位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。聚合级 CGF 系统中既包含半自主兵力模型、自主兵力模型, 还包含指挥兵力模型。因此聚合级 CGF 比平台级 CGF 的模型复杂程度更高, 设计和实现的难度更大。

收稿日期: 2005-04-16。

作者简介: 沈宇军 (1975 -), 男, 江苏涟水人, 博士研究生, 研究方向为计算机生成兵力; 桑景瑞 (1968 -), 男, 河北石家庄人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为分布式仿真; 王向飞 (1977 -), 女, 河北保定人, 博士研究生, 研究方向为分布式仿真。

对于大规模的分布交互作战仿真演练,依靠聚合级 CGF 能够解决仅靠平台级 CGF 进行更高级别作战仿真训练所带来的网络节点剧增、网上信息交互量陡然增加而导致模拟实体数量难以扩大等问题,还为 CGF 能够模拟作战(保障)部(分)队的层次结构及各种不确定因素、支持作战决策和作战(保障)指挥,以及作战(保障)仿真训练系统并入 C³I 系统等目标的实现奠定了基础。因此,聚合级 CGF 系统建模与仿真作为构建大规模分布式虚拟战场环境的关键技术之一,已经成为当前军事仿真训练系统设计的重要任务。

1.2 聚合级 CGF 系统的基本结构

聚合级 CGF 是能动的仿真实体,它可以在作战仿真环境中模拟高级别作战(或保障)群队的各种状态和行为。按照功能划分,一个基本的聚合级 CGF 应由以下几类部分构成:

(1) 指挥类单元。指挥类单元能够根据态势信息生成决策,并监督决策的执行,具有情报信息汇总处理、任务和态势分析、生成多个方案并进行优化决策、监督决策执行并对反馈信息进行响应和做出实时调整的能力。指挥类单元相当于聚合级 CGF 的“大脑”,并具有自主学习和记忆的能力。

(2) 任务类单元。任务类单元是聚合级 CGF 执行决策,完成任务的主体。为了完成任务,它应当拥有任务规划和分解、情况汇报、遇到特殊情况进行有限决策的能力。此外,为了更加逼真地描述真实作战或保障群队的行为,任务类单元应具有重新组合、派生新的任务类单元的能力,并且生成的任务类单元还具有归建能力。

(3) 信息类单元。信息类单元用以实现聚合级 CGF 内外部的信息沟通和信息共享,分为对外信息类单元和内部信息类单元。对外信息类单元用以接收外部指令和收集战场环境信息,并完成对外部环境的信息发送;对内信息类单元用于聚合级 CGF 内部的消息传输,包括指挥控制的指令、情况汇报和信息共享等。信息类单元中应有消息队列、通信地址簿和优先仲裁等组件。

(4) 管理类单元。管理类单元专用于聚合级 CGF 系统中各级实体的动态管理,实现聚合和解聚操作,具体功能包括:重新组合、派生或归建任务类单元,对其生成、注册与删除进行统一管理、模型分辨率的动态调整等。聚合和解聚的能力是聚合级 CGF 实现资源部署和反应灵活性以及可调仿真分辨率的关键能力,而且一旦聚合级 CGF 系统进入仿真环境,必须自动处理自身结构的动态变化,以适应战场环境和所担负任务的变化。

(5) 操作员界面。操作员界面用于聚合级 CGF 系统的初始化和在仿真过程中实现操作员对聚合级 CGF 行为的直接干预。

2 基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统结构设计

兴起于 20 世纪 70 年代的 Agent 技术已经成为研究复杂系统的重要手段。一般认为 Agent 是可以感知其所处环境,并且能根据自身的目标,作用于环境的计算实体。另一方面,单个智能 Agent 的能力受其知识、计算资源的限制,不能解决大型的复杂的分布仿真系统问题。因此,多个交互的 Agent 组成的系统成为解决复杂问题的重要手段。由于多 Agent 系统适

合于模拟人类社会系统和社会活动的特点,在美国等西方国家的很多作战仿真系统中得到了广泛的应用,如 IFOR、WAR-SIM2000、CFOR 和 OneSAF 等^[2]。此外,Agent 的移动性(通过网络迁移到另一台计算机上运行的特性)、学习性等特性也有助于更加逼真地模拟作战实体的战场行为。由此可见,利用多 Agent 技术实现聚合级 CGF 在技术有相当的优势。

为了更加逼真地模拟作战单位的状态和行为,聚合级 CGF 系统的结构和运行设计一般都仿照所仿真单位的内部实体编制结构和实际的信息交互关系。本文研究的聚合级装备保障 CGF 系统所仿真的是师属的装备保障力量。在实际作战中,上级装备机关根据当前担负的装备保障任务,对装备保障力量进行装备保障部署。装备保障部署的样式有:梯队式部署、按方向部署、按方向成梯队部署、分群(群体)式部署和网状式部署等样式^[5]。其中分群(群体)式部署,就是装备保障力量分成若干部分,分别组成装备前进(方)保障群、基本保障群和机动保障群或若干综合保障群,每群具有较强的综和保障能力,能供能修。保障群下设若干保障组,包括抢修组、器材保障组、机加组和弹药补给组等。师装备指挥所可以根据当前保障任务,组合各种保障组形成保障群队,机动到保障地域对作战群队实施保障。这种部署形式的优点是适应作战部署,便于保障,既相对独立,又相互照应,灵活机动,具有综合保障能力,不以某类(种)装备为保障对象,而以作战单元整体为保障对象,符合高技术战争非线性作战的要求。本文研究的聚合级装备保障 CGF 就是一个典型的保障群结构的仿真单元,由作为上级的保障群 Agent、作为下级的保障组 Agent 和各种功能 Agent 互联而成,利用单个 Agent 的智能和多 Agent 之间的合作、协调和协商机制来仿真保障群的指挥控制以及保障分队的战场状态和行为。

通过以上分析,我们设计了基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统的基本结构,如图 1 所示。

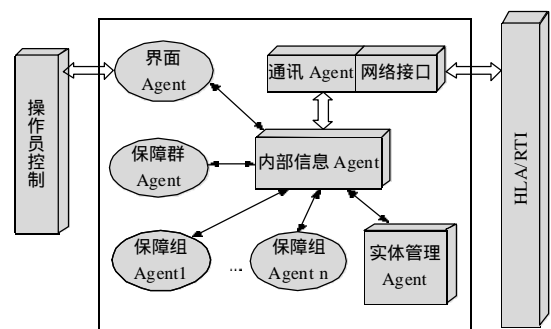


图 1 基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统结构

各 Agent 的功能设计如下:

(1) 界面 Agent。是面向操作员的接口,用于接受操作员的初始化信息、向操作员报告 CGF 系统的状态和实现操作员对 CGF 的直接干预。

(2) 保障群 Agent。是指挥控制单元,能够根据态势信息和上级指示生成保障行动的决策,完成保障力量的临时编组,并监督决策的执行;针对特殊情况有自动实时调整的能力;根据态势和下级汇报生成保障需求,请示上级,控制整个 CGF 系

统协调工作。

(3)内部信息 Agent。是维持整个 CGF 正常运转的信息通道,负责保障群 Agent 与保障组 Agent、保障组 Agent 之间,通讯 Agent 与其它各种 Agent 之间、管理 Agent 与其它各种 Agent 之间的信息交互和共享。还能够对信息进行分类、管理和控制。

(4)通讯 Agent/网络接口。通讯 Agent 与网络接口单元配合完成统一管理和控制 CGF 与外部环境之间的信息交互,包括:上级和友邻作战部队、伴随保障分队、下级保障指挥所和保障分队等外部实体与 CGF 的信息交互,仿真管理系统的相关指令等。

(5)管理 Agent。负责聚合级 CGF 系统中各级 Agent 的动态管理,包括:保障群 Agent 和各保障组 Agent 的注册、在保障群 Agent 的控制下实现保障组 Agent 的聚合和保障分队 Agent 的解聚操作,以及生成、初始化和删除伴随保障 Agent(移动 Agent)等。

(6)保障组 Agent。代表本级 CGF 的所属保障分队,是装备保障 CGF 的决策执行单元。保障组 Agent 自身封装了相应的属性和功能,并且还可根据情况自主产生相应的动作。保障组 Agent 既可以在 CGF 的初始化阶段确定,也可以在作战实施阶段由保障群 Agent 下达指令重新组合生成新的保障组 Agent,并在管理 Agent 的协调下完成模型分辨率的改变。

3 基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统运行机制设计

在实际作战中,装备保障指挥机关通常要根据作战态势和战场的实际情况,采用诸如伴随保障、前出保障和后方基地保障相结合的保障方法来保证部队弹药供应、战损装备修理和物资器材供应。相应地,聚合级装备保障 CGF 会根据指挥所下达的命令指示采取保障组 Agent 重新聚合成新的保障分队 Agent 实施前出保障,该保障分队 Agent 仍留在 CGF 系统内,通过内部模型计算和与作战群队的交互,模拟其实际的保障行动,任务完成后,该保障分队 Agent 在完成消耗计算后进行解聚。同理,聚合级装备保障 CGF 还可根据需要,生成伴随保障 Agent,利用 Agent 的移动性驻留到作战群队 CGF 系统中与其进行交互,模拟伴随保障行动,任务完成后,返回装备保障 CGF,进行消耗计算和解聚。采用移动 Agent 原理模拟伴随保障,既符合保障实体的实际战场行为,又减少了网络的数据流量,并且为进一步模拟更加复杂的伴随保障行动提供了可能。

下面就以派出保障分队跟随作战群队进行伴随保障行动为例简要说明聚合级装备保障 CGF 系统的运行,其原理示意图如图 2 所示。

(1)首先,操作员或仿真管理系统通过界面 Agent 对 CGF 系统进行初始化。界面 Agent 将信息送入内部信息 Agent,内部信息 Agent 对信息进行分类和管理,并相应地与各 Agent 交互,装入作战背景数据,明确保障群 Agent 和各保障组 Agent 的初始位置、状态、能力、分辨率、保障关系以及各 Agent 间的相互关系。

(2)在作战实施阶段,通讯 Agent 接收到上级的伴随保障指示或友邻部队的保障请求,将信息送入内部信息 Agent 进行

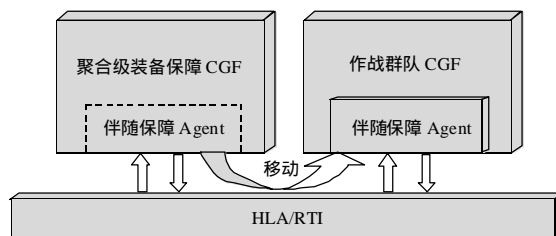


图 2 伴随保障 Agent 实现原理

处理,内部信息 Agent 通知保障群 Agent 取走该信息。

(3)保障群 Agent 综合战场环境信息和刚收到的指示信息,依据自身的知识库和推理系统进行分析、决策和规划,生成具体实施方案。

(4)保障群 Agent 将决策方案通过内部信息 Agent 与管理 Agent 进行交互,并通知相应的保障组 Agent,与管理 Agent 一起完成伴随保障 Agent 的聚合。管理 Agent 对其进行注册,并删除其原有的若干保障组 Agent。

(5)伴随保障 Agent 通过 RTI 网络平台移动并驻留到所需保障的作战群队 CGF 系统中,依据自身的知识库和决策能力自主地与作战群队 CGF 进行实时的交互,模拟伴随保障行动。

(6)伴随保障任务完成后,伴随保障 Agent 通过 RTI 平台移动回装备保障 CGF 系统,在保障群 Agent 的协调下,同管理 Agent 一起进行消耗计算和解聚操作。

(7)管理 Agent 删除伴随保障 Agent,并将消耗情况和解聚情况通过内部消息 Agent 通知保障群 Agent,保障群 Agent 再根据消耗情况进行重新编组,并等待进一步的指令。

4 基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统通信机制设计

多 Agent 系统中的一个关键问题就是通信。良好的通信机制是多 Agent 系统中各 Agent 之间相互共享、传递信息,进行协调与合作,共同完成复杂任务的前提,也是具有良好学习能力的体现。黑板系统是传统的多 Agent 系统中的通信方式。在多 Agent 系统中黑板提供公共工作区,Agent 可以交换信息、数据和知识。但是当系统中 Agent 的数目很多时,黑板中的数据量会呈指数增长,导致系统的效率降低^[6]。而且,这种通信方式也缺乏灵活性和智能性。

对于大规模基于 HLA 的聚合级作战仿真,由于聚合级 CGF 内部通讯任务频繁,各种指令、请示等信息种类繁多,交互信息的管理控制难度大,因此,我们在 CGF 系统内部采用专门负责其内部信息交互的信息 Agent 来解决这个问题。每个 Agent 在启动时将自己的有关信息向该 Agent 登记,并在退出时删除自己的信息,同时,在需要和其它 Agent 进行合作和协调时也是通过该 Agent。也就是说,在聚合级 CGF 系统内部建立集中式的通信服务机制,信息 Agent 实际上就是一个通信服务器。信息 Agent 的内部结构图如图 3 所示。在聚合级 CGF 系统中,消息结构应用 KQML(knowledge query and manipulation language)通信语言标准。

在信息 Agent 中,各组成模块的功能如下:接收消息队列:用作消息接收的缓存,具有记录所接收的消息内容、消息

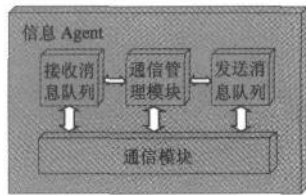


图3 信息 Agent 结构

序列以及消息优先级等的功能；发送消息队列：用作消息发送的缓存，具有记录所发送的消息内容、消息序列以及消息优先级等的功能；通信管理模块：其构成也包括自身的知识库和推理机，具有智能的消息收发管理、消息序列时间管理和消息优先级管理等功能，避免由于同步问题造成的因果错误；通信模块：处理和控制在其它 Agent 进行的消息传递。

5 结束语

聚合级装备保障 CGF 是分布式装备保障仿真训练的重要组成部分，也为进一步构建大规模分布式作战仿真提供了

(上接第 2274 页)

当定位一个移动的目标时，需要考虑 course(方向)和 speed(速度)。

当一个参与单元接收到了 PPLI 报文，并非一定要根据报文中的时间和位置数据来调整自己本身的数据，这中间存在一个优先级的选择问题。我们定义时间质量(Q_t)、地理位置质量(Q_{pg})、相对位置质量(Q_{pr})和相对方位质量(Q_{ar})，在相对导航与定位中，我们将参与单元分为 5 类：网络时间参考点(NTR, Q_t 为 15)、定位参考点(PR, Q_{pg} 为 15，不用 TOA 来调整自己的位置，它相对于导航不是必需的，但是当存在时，可以提高位置质量)、导航参考点(NC，用来确定(U, V)平面的坐标原点， Q_{pr} 为 15, Q_{ar} 为 7)、主用户(用主动同步达到细同步)和辅助用户。

基本的源选择思路是选择优先级高的来源调整自己的数据，但是具体的情况时，可以考虑选择测距或者直接获得原点技术两种不同的技术来调整数据。

3 提高定位精度

通过 TOA 得到的定位数据是初始的数据，由于报文在传输过程中的传输延迟和传播速度的问题，以及无线电传播自身的多径效应等问题，得到的定位数据存在着误差(通过 TOA 方法计算得到的伪距)，因此我们可以和其它的定位技术(GPS 或者惯性导航 INS)相结合，采用数据融合的方法来减小定位误差，提高定位精度。

采用人工神经网络的方法，我们将不同途径得到的数据送到输入端，通过中间层的计算和误差校正处理，发送到输出端，因为采用的是前向反馈网络，将输出端的数据反馈到输入端，直到我们达到的数据满足数据精度的需要。

功能框图如图 3 所示。

4 结束语

16 号数据链是各国现役的数据链路系统，导航和定位是

可能，对此问题的研究还很薄弱。本文通过对聚合级 CGF 和装备保障系统的研究，在理论上探讨了基于多 Agent 的聚合级装备保障 CGF 系统的体系结构，运行机制和通信机制，为聚合级装备保障 CGF 的研究和开发作了有益的探索工作。

参考文献：

- [1] 王杏林,郭齐胜,徐如燕,等.基于多 Agent 的聚合级 CGF 系统的体系结构研究[J].计算机工程与应用, 2001,19:64-67.
- [2] 黄柯棣,刘宝宏,黄健,等.作战仿真技术综述[J].系统仿真学报, 2004,16(9):1887-1896.
- [3] 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):4-5.
- [4] 郭齐胜,杨立功,徐如燕,等.基于 HLA 的聚合级 CGF 初探[J].计算机工程与应用, 2001,19:41-43.
- [5] 孔令茂,牛跃峰. 战术装备保障学[M].北京:国防大学出版社, 2002.146-148.
- [6] 史忠植.智能主体及其应用[M].北京:科学出版社,2000.112-113.

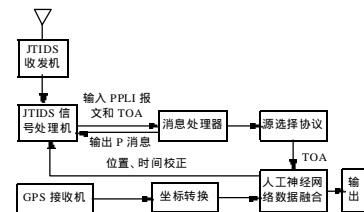


图3 提供定位精度的功能

它的基础，本文采用的用往返计时报文来达到参与单元之间的时钟同步就是为了减少用 TOA 方法定位过程中的误差，将参与单元统一在单一的坐标系中，实现了相对导航，同时我们采用数据融合(用人工神经网络的方法)来提高定位的精度，在计算机上进行系统仿真，符合了规定(北约标 5516)的精度要求。

参考文献：

- [1] 郑颖. 常用的移动定位技术的研究与应用[J]. 通信技术, 2001, (8): 34-37.
- [2] 帅平. 基于神经网络的 GPS 单点定位[J]. 测控技术, 2002, 21 (10): 12-16.
- [3] 江学明,李朝晖,白永生. 精确导航系统的鉴定方法研究[J]. 全球定位系统, 2004, (2): 45-47.
- [4] 陈晨. TIS 系统端机工作软件的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2000.
- [5] 潘俊涛. TIS 相对导航处理器软件研究与设计[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1995.
- [6] 戴继盛. TIS 网络的网管管理研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 1999.
- [7] NATO STANAG-5516. 北约 16 号战术数据链数据交换标准[S]. 第 3 版.