分布交互仿真环境中的计算机生成兵力

Computer Generated Forces in Distributed Interactive Simulation Environment

庞国峰　赵沁平

（北京航空航天大学计算机系　北京100083）

Abstract　First of all, this paper presents the concept of CGF(Computer Generated Forces) system and its important role in DIS(Distributed Interactive Simulation). Then, the current result of the research on several typical CGF systems in the world is introduced comprehensively. At last, the CGF systems' hardware and software architecture, technical realization and development tendency in the future are elaborated in this paper.

Keywords　DIS(Distributed Interactive Simulation), CGF(Computer Generated Forces), HLA (High Level Architecture)

一、引言

良好的训练是和平时期保护部队战斗力的重要手段。由于实兵演习代价昂贵，国内外在军事训练中广泛采用了模拟训练的方式。最初的模拟训练侧重于在单个的武器仿真平台上训练驾驶员或武器操作员。随着计算机技术，尤其是网络技术的迅速发展，使多个武器仿真平台互连而形成一个虚拟的战场环境，进而在这个虚拟的战场环境中进行大规模的协同与对抗演练成为了可能。

1993年，美国国防部高级项目计划局(DAPAR)和美国陆军共同制订了一项合作计划，即SIMNET (SIMulation NETworking)计划，其最初目的是希望将分散于各地的多个地面车辆(坦克、陆军战车)仿真器用计算机网络联接起来，进行各种复杂任务的综合训练，并演示验证联网的人在回路(Man-in-the-loop)仿真器在作战环境下的效能。到1989年SIMNET计划结束时，建成了分布于美国和德国的十一个基地，拥有260余个地面车辆仿真器、飞机仿真器以及指挥中心和数据处理设备的综合仿真网。根据使用SIMNET过程中积累的经验，美国军方认为在作战环境中应增加实体的数量，提高作战环境的复杂度与真实性，于是在SIMNET的基础上发展了异构型网络互联的分布交互仿真(DIS, Distributed Interactive Simulation)系统。美国的DIS研究和发展十分迅速。1992年3月在第六届国防DIS研讨会上，美国陆军的仿真、训练与装备司令部STRICOM (Simulation, Training and Instrumentation COMmand)提出了DIS结构，并从第一届研讨会就开始着手制订DIS的协议标准。1993年DIS Version 1.0 PDU协议规范正式成为IEEE标准(IEEE 1278)。在1992年的I/ITSEC会议上展示了一个DIS演示系统，30多台模拟器、计算机生成兵力和指挥控制系统采用DIS PDU标准通过以太网相联，环境背景模拟太平洋附近的军事基地及附近海域，收到了较好效果。1993年的展示规模更大，包括30多家DIS研究机构和50多台模拟器，其中还有一些真实实体和远程联接的模拟器，这次展示的成功引起了广泛的关注。

DIS所构成的虚拟战场环境，主要用于战术演练，其基本的仿真单元称为实体，包括具有真实交互设备的武器仿真平台仿真实体、虚拟的武器平台仿真实体和由计算机生成和控制的武器仿真实体，后者称为计算机生成兵力(CGF, Computer Generated Forces)，它可以在一个仿真结点上提供多个实体或构成威胁环境，从而降低建造DIS系统的费用。计算机生成兵力系统在DIS系统中起着重要作用，它不仅可以增加虚拟环境中仿真实体的数量，提高虚拟战场环境的复杂度与真实性，而且CGF系统所生成的实体的种类和数量为战场想定开发者设计演示系统时提供了依据。同时，CGF系统生成的实体可以具有一定程度的智能性，它也为研究、实现和验证某些人工智能技术提供了研究对象。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

二、计算机生成兵力

计算机生成兵力(CGF),又称为半自动兵力(Semi-Automated Forces),是能在DIS构成的分布式虚拟环境中产生具有一定智能行为的武器实体仿真软件。计算机生成兵力能在虚拟环境中与其它真实的、虚拟的或其它计算机生成的实体及构造型(聚合类)实体相交互。计算机生成兵力实体由计算机程序(算法)控制和指导其行为。

计算机生成兵力与人在回路的仿真实体相对应,但在外观表示、物理行为,甚至战术对抗中的某些智能方面可与人在回路的仿真器相比。计算机生成兵力可以是单个的武器平台,但多数情况下是作战单元一级的构造型(聚合类)实体,可以在一个仿真结点提供多个实体。

计算机生成兵力有多种分类方法。按其参与基于虚拟环境仿真演练的作战方式分,可分为地面CGF(坦克、装甲车辆、单兵等)、空中CGF(固定翼飞机、旋转翼飞机、自主飞行的导弹等)、水中CGF(水面CGF和水下CGF)以及辅助性的CGF,如电子战CGF(雷达、干扰器等)、弹药CGF(地雷、火炮、炸弹等);按其参与演练的不同地位分,可分为指挥型CGF,它不仅参与作战,而且可向下级作战单元发布、传达命令,具备一定的战场决策和任务规划能力,作战型CGF和后勤支援型CGF(如担负运输、补给任务的实体)等;按生成实体的数量和组织形式分,可分为武器平台级CGF和作战单元级CGF;按技术实现分,可分为具备智能行为的CGF和不具备智能行为的CGF,本文所讨论的CGF仅限于具备智能行为的CGF系统。

CGF系统的研究对象划分为平台级和单元级(聚合级)两类,这两类仿真之间的有效联接与相互转换也成为CGF系统的研究重点之一。CGF系统平台级实体归属到DIS中虚拟实体类,而单元级实体则纳入了聚合类仿真的范畴,这样,对CGF平台级与单元级仿真联接与转换机制的研究就转化为虚拟类仿真与构造型(聚合类)仿真之间联接与转换机制的研究。此外,虚拟类仿真应用领域主要是训练,而构造类仿真的应用主要为分析与确认新型武器系统与新战术的有效性,它在分布交互式作战模拟中有重要应用。

计算机生成兵力的目的在于增加虚拟环境中仿真实体的数量,为参演的人在回路的仿真实体提供作战对手或友军支援,提高虚拟战场环境的复杂度与真实性,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。

三、国外发展状况

计算机生成兵力是仿真领域中一个新的研究方向,研究与开发计算机生成兵力,不仅能满足培训人员、检验新技术、新战术等应用性要求,而且可以带动仿真技术、人工智能技术、控制技术等基础研究。目前由于国外有关CGF的文章或技术报告大部未解密公开,因而我们对国外计算机生成兵力研究发展状况了解相对较少。

根据现有资料,国外已进行的典型CGF项目有ModSAF、CCTT-SAF和OpenSAF等。

1. **ModSAF**(Modular Semi-Automated Forces)是由美国Loral公司为SIMNET开发的计算机生成兵力系统,可并入SIMNET或DIS,作为其中的一个仿真结点。ModSAF中的实体有平台级和单元级两类,其中单元级已经实现了排一级作战单元的行为仿真。ModSAF的主要作用是构建了一个CGF系统的硬件与软件结构(图1),并定义了任务帧(Task Frame)的概念,它把CGF实体的行为定义为一系列有限个按阶段划分的任务帧,因而CGF实体状态的变化就由这些任务帧的转移来实现。ModSAF明确了人作为CGF系统的操作员在系统中所起的作用:人作为一个超控实体,可以随时中断实体任务的执行或命令实体执行一个新的任务,这样当CGF实体的智能不足以处理战场的某个突发事件时,人可以对实体的状态进行干预。ModSAF由两种类型的工作站组成,一种是SAFstation,它提供给操作员控制CGF系统的接口。操作员通过SAFstation接口发布超控命令,SAFstation软件为操作员提供了虚拟战场的二维平面地图显示,包括地形和实体。操作员还可利用绘图工具生成运动路线和军事控制标尺,如阶段线、指挥部、战斗位置点等。另一种是SIMstation,用于计算实体的状态,并参与控制实体的行为。这两类工作站构成了ModSAF的硬件与软件基础,其内部通讯采用专门开发的持久对象(Persisted Object,PO)协议,对外则采用统一的DIS PDU协议标准与其它实体进行交互。PO协议并不从属于DIS协议,它专用于ModSAF在网络上为其管理的实体传输信息。PO协议中包含有实体的物理状态数据,同时还包含实体任务、子任务、状态等行为信息。PO协议也以类似的方式对单元级实体的状态进行了描述。ModSAF中可以有多个SIM-

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

station，每一个 SIMstation 都保留有 PO 数据库。数据库中的内容是依靠 PO 协议通过网络接收到的 ModSAF 实体信息，一旦在演练中有一个 SIMstation 出现故障，网络上的其它 SIMstation 就可以承担起对原来故障的 SIMstation 仿真的实体进行计算工作。在整个演练过程中，SIMstation 之间仿真实体的负载平衡是自动进行的，采用这种结构和 PO 协议，有利于扩充系统实体的数量和功能。

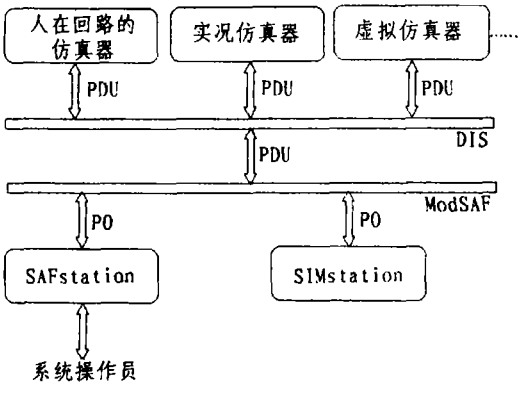


图1 ModSAF 的结构

2. **CCTT-SAF**(Close Combat tactical Trainee) CCTT-SAF 中 SAF 的硬、软件结构与 ModSAF 类似，但提高了实体的智能水平，这是因为在 CCTT 中定义了战斗指令集的概念。战斗指令集(CIS, Combat Instruction Sets)是把军用指令、条令、命令以及仿真实体的反应行为通过知识获取的途径转化为计算机能理解的代码，应用有限状态机技术实现实体智能行为的仿真。一个 CIS 包含了一组参数，这些参数从运动、射击、通讯和反应几方面来描述实体要执行的命令，每个参数都规定有取值范围和缺省值。在 CCTT-SAF 中，友方兵力和敌方兵力各有一套 CIS，同时 CIS 按仿真的兵力类型以及兵力单位的级别分为不同的类别，如营级 CIS、连级 CIS、排级 CIS 等，CCTT-SAF 系统中的仿真单元只要知道如何执行 CIS，就可以具有灵活而丰富的智能行为。仿真单元有时需要按照预先安排，在执行完一个 CIS 后，转到另一个 CIS 执行；但大多数情况下，仿真单元要在某一固定时间段内执行某些 CIS，然后再执行原来的 CIS，所以每个仿真单元都需要建立起一个 CIS 堆栈。初始时刻 CIS 堆栈中只有一个 CIS，即要被最初执行的 CIS，当仿真单元接到新的命令时，就将新命令的 CIS 压入堆栈，转而执行新的 CIS，当这个新的 CIS 执行完后，就将其从堆栈中弹出，仿真单元再重新执行原来的 CIS。由于 CIS 功能丰富且容易扩充，目前在 CCTT 中已实现了约200多个 CIS，同时，研究者们正在研究 ModSAF 中的任务帧与 CCTT-SAF 的 CIS 相互替换。

3. **OpenSAF** 在 ModSAF 基础上，美国国防部高级项目计划局投资开发了下一代的 CGF 系统，并已应用在 STOW-97(Synthetic Theater of War-97)项目中。在继续侧重提高 CGF 实体智能行为水平和仿真精确度及可信性的同时，满足与 HLA(High Level Architecture)兼容，并可应用于增强的战场仿真环境(综合环境，包含大气、海洋、天气和时间变化的综合战场仿真环境)。OpenSAF 可集成到聚合类实体的仿真模型中，用于分布交互式的作战模拟和战争推演。它引入的指挥实体采用了人工智能和 METT-T(Mandate, Enemy, Terrain, Task-Time)算法，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。OpenSAF 在一定程度上代表了未来 CGF 系统的发展方向。目前，上述的三个典型的 CGF 系统仍处于不断的开发、维护与完善当中，以满足 DIS 技术不断发展的需要。

除上述三个 CGF 系统外，一些 DIS 研究机构还开发了一些小型的专用 CGF 系统。如美国中央佛罗里达大学的仿真与训练研究所(IST，Institute for Simulation and Training)同美国国防部高级项目计划局和美国陆军的仿真、训练与装备司令部签订了智能仿真兵力的研究项目，进行 CGF 领域的研究工作。IST 已开发了步兵(DI, Dismounted Infantry) CGF 系统，它的操作员接口与 CGF 仿真器均由低成本的个人计算机作硬件平台，两台微机可以生成12个 DI 实体。DI 火力小组具有同指挥所通讯、发现视线距离内的敌方实体并报告、移动和改变速度、向敌方 DI 开火、被敌方实体发现和消灭等能力。美国马萨诸塞州的 BBN 公司开发的 AIRNET SAF(航空网半自动兵力)实现了固定翼飞机和旋转翼飞机的 SAF 系统，其硬件平台为两台 MIPS UNIX 工作站，一台作飞行状态仿真器，另一台作操作员接口并提供战场的二维平面显示图，这个 CGF 系统的 FWA 和 RWA 具有一定程度的自治性。综合国外的 CGF 系统的研究，有以下几个特点：

(1)开发适合于 CGF 系统的实体动力学模型、硬软件体系结构、智能行为表达(包括知识获取、推理与行为表达)以及仿真的有效性、可信度的检验的一套标准；

(2)提高 CGF 系统的集成度和通用性，扩大

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

CGF 的种类、数量和级别；

(3)寻求与聚合类实体统一和更为自然的接口，开发适用于聚合类实体内部通讯的协议，以有效管理 CGF 系统的实体；

(4)提高 CGF 实体的智能行为水平和仿真精确度，增强 CGF 系统的自治性，将人的干预减少到最低限度。

四、CGF 系统的技术实现和发展趋势

美国 IST 的 Mikel D. Petty 在他的 CGF 专题文章[2]中，对 CGF 的关键性研究方向进行了概括，这些研究方向包括：(1)CGF 的动作规划；(2)模型网络化和模型细节度可变的仿真；(3)CGF 系统的知识获取和表示方法；(4)自治性方法建模；(5)系统及网络结构；(6)有效性检验；(7)CGF 操作员接口；(8)地形表示和基于地形的任务规划；(9)战场态势监视；(10)作战单元与武器平台的路径规划；(11)协同作战行为的实时协调；(12)智能化目标的识别与选择；(13)CGF 实体的自学习能力；(14)对 CGF 实体的恐惧感、自保护能力和失误性的建模；(15)CGF 的行为规范。

从这15个方面看，CGF 的研究重点，在于其实体智能行为的实现。CGF 的行为分两层，低级行为(又称物理行为)和高级行为(又称反应行为)，其中，低级行为包括航线跟踪、地形回避、编队队形保持以及根据预先规定命令或指令进行动作；高级行为包括，对于武器平台仿真实体一级，主要是根据战场态势对攻击、逃逸作出决策，以及根据地形拓朴信息作路径规划，而对于单元一级的仿真实体，主要是要求具备自主地推断战场态势对双方兵力的影响，并据此作出实时的任务规划，同时向下级单元发布命令和向上级通讯等能力。

目前，实现 CGF 的智能行为主要采用人工智能技术，一般说来，对于单个武器平台仿真实体，采用实时专家系统和控制技术，例如，在前述的 AIRNET 中，实现了一个较完善的空战战术专家系统以进行歼击机实体的智能行为的仿真。这个专家系统由一系列的战术规则和搜索策略组成。当歼击机 CGF 实体接受任务后，会自动根据战场态势规则库进行搜索，直到搜索到一条合适的战术规则，根据这条战术规则所规定的控制条件来控制该实体的动态行为，搜索策略可采用模糊评判和神经网络技术；对单元级实体，任务是对战场态势进行实时的分析与决策、进行任务规划，具体的步骤是：(1)分析任务；(2)分析当前态势；(3)更新当前态势；(4)决策或预测出可能的行动路线；(5)分析若采取此路线其对该实体生存力的影响；(6)改变、执行或等待上级实体或操作员的命令。

目前，战场态势的实时决策多采用动态规划算法，即在 OpenSAF 中所采用的 METT-T 算法。也有的 CGF 系统采用有限状态机(FSM)、模糊控制、基于事例的推理等技术或算法来进行实时决策。

CGF 中智能行为的实现，很重要的一个方面是寻求一个统一的知识获取方法，把军事条例、命令以及以往战例中积累的正反两方面的战术经验提取出来，转化为一系列的任务或作战规则，进而转化为计算机能理解和执行的代码，这方面，CCTT 中实现的 CIS 可作为范例。

此外，在开发 CGF 系统时，聚合类实体聚合与解聚的时机和条件、仿真的有效性、可信度等指标的度量等都是需认真考虑的问题。

CGF 作为 DIS 系统的一个子集，有着一些与 DIS 需共同考虑的问题，如：(1)具有真实感的、含有物理变化的和增强拓朴信息以应用于路径规划的三维地形的生成与显示；(2)支持实时决策的战场态势二维地图的生成与显示；(3)网络传输负担的控制；(4)CGF 系统与 DIS 系统中其它仿真实体的声音及其它交互手段的实现；等等。

美国国防部仿真与建模办公室(DMSO)为了在异构型仿真系统之间提供更为强大的互操作性，从1995年开始启动了 HLA(High Level Architecture)的研究工作。1996年末，美国建模与仿真执委会(EXCIMS)将此结构推荐给国防部秘书处进行考证，并欲使之标准化。HLA 在 DIS 和聚合类仿真协议的基础上进一步扩展了 DIS 的概念和仿真范围，更易于把以往开发的战场演练模拟系统联入仿真。HLA 的逻辑结构如图2。仿真程序(HLA 中称为联邦)都连接到运行时结构(RTI，Run Time Infrastructure)上而彼此不直接相连，由 RTI 来管理整个仿真过程。RTI 在得到联邦成员提出的发送和接收对象状态信息的请求后，才为其提供相应的服务。HLA 被认为是下一代的 DIS 的基础，是今后发展的一个重要趋势。目前，OpenSAF 已实现与 HLA 兼容，其它许多 CGF 系统也宣布将在设计上考虑与 HLA 兼容。

结束语 DIS 技术在军事应用和工业民用领域有巨大潜力，计算机生成兵力是其研究领域的重要

(下转封四)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（上接第76页）

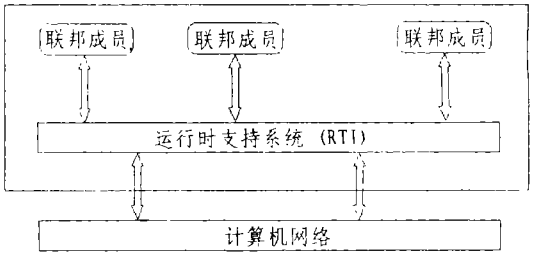


图2 HLA体系结构

方面，但构造CGF系统需要人工智能、控制技术、软件方法等多方面的技术支持以及仿真对象的专业背景知识，实现理想的CGF系统难度很大。我们开发的分布式虚拟环境网（DVENET，Distributed Vritual Network）[4]中，实现了小分队规模的计算机生成的歼击机和坦克，完成了部分低级智能行为的仿真，成功地运用到了基于DVENET的战术演练对抗中。目前，DVENET正处于发展和完善当中，在后续课题中将深入开展CGF的研究工作，以实现较为完善的CGF系统。

参考文献

1 IEEE Computer Society. IEEE Standard for Information Technology Protocols for Distributed Interactive Simulation Applications. IEEE Std 1278-1993

2 Petty M D. Computer Generated Forces in Distributed Interactive Simulation. Critical Reviews, Vol. CR58

3 Vrablik G R, Calder R B. Networked Simulation of Multiple Aircraft Using Semi-Automated Forces. AIAA-92-4170-CP

4 赵沁平，等. 分布式虚拟环境网络（DVENET）设计与实现. 见：智能计算机接口与应用进展——第三届中国计算机接口与智能应用学术会议论文集. 电子工业出版社，1997

计算机科学

（1974年1月创刊）
第26卷第3期（月刊）
1999年3月25日出版
中国标准刊号：ISSN 1002-137X / CN51—1239/TP
定价：7.50元 国外定价：5美元
邮发代号：78—68
发行范围：国内外公开

主管单位：国家科学技术部
主办单位：国家科技部西南信息中心
编辑出版：《计算机科学》杂志社
重庆市渝中区胜利路132号 邮政编码：400013
电话：（023）63500828 传真：（023）63502473
主　　编：朱宗元
印 刷 者：国家科技部西南信息中心印刷厂
总发行处：重庆市邮政局
订 购 处：全国各地邮政局
国外总发行：中国国际图书贸易总公司（北京399信箱）
国外代号：6210M

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net