

文章编号: 1002-0640(2009) 03-0079-05

# 基于智能体技术的 CGF 行为模拟研究\*

孙少斌, 陈 璐, 张仁友  
(蚌埠坦克学院, 安徽 蚌埠 233050)

摘 要: 为了有效模拟 CGF 物理行为和智能行为的不同特性, 提出了一个复合 CGF 智能体模型, 将 CGF 的行为模拟分为认知、内部环境、规划决策和行动四个模块, 该模型综合了反应式行为模式和基于规划模式两方面优点。利用行为模式采用层次化方法建立 CGF 物理行为模型, 使 CGF 智能体能对动态战场环境做出灵活的反应。结合 CGF 不同类型任务规划决策方法的分析介绍了基于规划模式的 CGF 智能行为模拟方法, 使 CGF 智能体能按照战术原则进行作战任务规划。采用基于军事命令控制结构对 CGF 进行组织和控制, 为 CGF 间的指挥协同提供了与实际作战环境相似的框架。

关键词: CGF, 物理行为, 智能行为, 行为模式, 任务规划

中图分类号: TP31 文献标识码: A

## Study on Agent-based CGF Behaviors Simulation

SUN Shao-bin, CHEN Lu, ZHANG Ren-you  
(Bengbu Tank Institute, Bengbu 233050, China)

**Abstract:** In order to effectively simulate the physical behaviors and intelligent behaviors of CGF agents, a composite model of CGF agents is introduced, which divides CGF behavior simulation into four modules: perception, inner environment, mission planning, and action. The model combines the use of patterns of reactive behavior with plan-based patterns. A hierarchical modeling method is adopted to model CGF physical behavior by using behavior pattern. The patterns of reactive behavior allow CGF agents to react flexibly to changes in its battlefield environment. Based on the introduction of different missions planning, CGF intelligent behaviors simulation by using plan-based patterns is discussed. The plan-based patterns provide CGF with the ability of devising plans deliberately according to its tactical tenets. The hierarchical framework of CGF organizing and controlling based on military command structures provides CGF with a mechanism to command and coordinate in a manner similar to that found in real battlefield.

**Key words:** CGF, physical behaviors, intelligent behaviors, behavior-based patterns, mission planning

### 引 言

分布式作战模拟能在较低的成本下比实战演习提供更多的不同战场环境、态势和突发事件, 而且可以重复再现, 是研究和演习现代战争最经济而有效的手段。计算机生成兵力 CGF (Computer

Generated Forces) 是作战仿真中自动的或半自动的作战实体(如坦克、飞机或步兵), 这些实体由计算机生成和控制, 也可能有操作者协助控制。作为分布式作战仿真系统的重要组成部分, CGF 可以为作战仿真系统提供作战对象、友邻支持兵力等补充部分, 从而提高系统的灵活性和降低训练成本, 是作战仿真的关键热点研究领域, CGF 的真实性直接影响到作战仿真训练的科学性、可靠性、客观性和训练效果。

CGF 建模技术受到了高度重视, 发展起了许多不同的建模技术, 主要有基于有限状态机(FSM)的建模方法、基于规则系统(RBS)的建模方法、基于控制论的建模方法和基于智能体(Agent)技术的建模

收稿日期: 2008-02-27 修回日期: 2008-04-02  
\* 基金项目: 获军队科技进步二等奖  
作者简介: 孙少斌(1966-), 男, 山东招远人, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 计算机软件与作战仿

方法。CGF 研究的核心问题是如何生成真实可信作战行为,由于战场环境的高度非线性、强对抗性和不确定性,使得一般的建模方法很难适应 CGF 建模的需要。

智能体是具有一定智能的自治实体,为了满足其目标能自主或半自主行动,并与环境和其他智能体交互,不仅交换数据而且能模拟人的交互行为进行协作和协商。智能体具有自治性、反应性、面向目标性(主动性)和社会性四个主要特性。与传统的其他仿真建模方法比较,智能体技术采用“自底向上”的建模方法,系统没有集中式的控制,智能体通过相互间的协作和竞争,独立追求实现自己的目标,其结果是一个动态变化的环境,很适宜于对复杂自适应系统的建模与仿真,是战场环境中 CGF 行为模拟的理想方法。

## 1 基于智能体的 CGF 模型

CGF 应能按照其扮演的角色自主地遂行战斗任务,能进行连续规划和分队任务的执行,并能根据战场环境的变化自主调整作战行为。实际的作战兵力是人和武器的有机结合,人的技、战术水平和武器的性能决定了其战斗力。对于特定的武器其性能是确定的,战斗人员的技术水平决定武器性能的发挥程度,其战术素养决定特定战场环境下如何使用武器各种性能及采取何种作战行为。为了真实反映实际作战兵力的行为特点,CGF 模型既包括作战实体的物理模型(如:武器类型和性能等),也包括作战兵力的智能行为模型(如:任务规划和战术运用)。

为了利用认知智能体和反应式智能体优势,同时简化设计,采用复合智能体体系结构。根据 CGF 作战行为模拟的实际需要将 CGF 模型分为物理行为模型和智能行为模型。物理行为模型主要实现武器系统的技战术性能,为了便于对各种不同武器装备的模拟,将各种武器性能按照作战用途和战场使用特点进行概括抽象,结合智能体的实现特点把 CGF 物理行为模型分为感知、通信协调和作战行动三个基本模块。感知代表对战场的观察和侦查能力,通信模块代表通信及指挥控制能力,行动模块通过一系列的行为模式实现 CGF 的各种作战动作(如机动、开火等)。作战实体人的智能因素通过 CGF 智能体内部环境状态和决策规划模块实现,内部环境状态既保存 CGF 对外部环境认知的符号表示,又表示 CGF 的个性特点和能力,决策规划模块模拟 CGF 按照角色作战原则进行任务决策和规划的智能行

为。如图 1 所示。

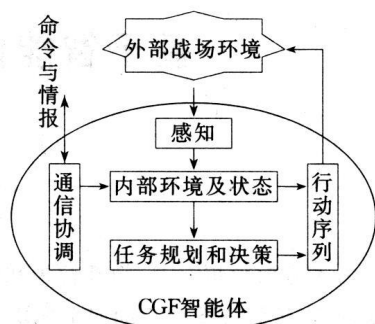


图 1 CGF 智能体模型结构

## 2 环境的表示和感知

### 2.1 战场环境的数字化表示

CGF 智能体感知信息的主要来源是战场环境信息数据库,数据库包含作战环境全局性的完全信息,并按照分类信息进行组织的,包括地理环境信息、兵力态势情况信息等。这类知识代表了作战环境中实体状态及实体之间的关系,战场环境信息包括地形数据库和态势数据库。

地形数据库采用数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model),利用原始数据通过工具离线产生,按照作战仿真要求的分辨率对地形进行信息采样并存储为一系列网格点,每个网格点保存地形的高程和土质类型等特征信息。除了通常的网格高程和土质类型信息外,一些特殊的地形可以保存更精确的信息,如建筑、树以及像路和河等线状特征信息。地形数据库以离散分布的具有高程和特征数据的散点来模拟光滑、连续、动态分布的战场地形表面,是地形三维显示最为重要的空间信息和核心数据,也是 CGF 进行地形计算和分析推理的主要依据,如点到点的通视计算、察看高程和实体摆放等。

态势数据库保存所有作战实体的位置、类型、性质和当前的作战态势,信息按照作战实体的性质(敌、我)分类存储以有利于 CGF 交战对象的选择等。态势数据库的信息由作战训练的想定进行初始化,并随着训练过程各实体的实时变化动态更新,是 CGF 获得其他实体信息的主要来源。

### 2.2 战场环境的感知

CGF 智能体基于对外部战场环境的认知进行决策和动作,感知模块定义了 CGF 智能体对战场环境的感知能力并感知环境的特定信息,同时控制和过滤对外部环境的认知,以使智能体不被外部环境过多信息淹没。感知模块的基本功能是感知外部战场环境的信息并转化为智能体的内部符号表示,模

拟CGF对环境的感知特性和侦察能力,代表CGF武器装备的侦察性能。特定的CGF智能体所能感知到的信息取决于其武器装备的信息获取能力,对于步兵和坦克分队主要是光学观察能力。感知的信息来源是战场环境数据库信息,虽然数据库具有全局性的完全信息,CGF能感知的信息同时受感知能力和环境因素(如实体距离、掩蔽物、能见度等)的影响。

### 2.3 CGF的内部环境和状态

内部环境是CGF对共享的外部环境认知的符号表示,它并不等同于外部环境,而是经过感知模块过滤和优化了适合CGF特定功能的信息编码,受CGF感知能力和环境因素的影响,感知的信息可能不完全或不准确。内部环境主要包括实体信息、自身状态和命令控制信息。实体信息是CGF感知到的其他CGF的信息,包括实体的类型(步兵、坦克、飞机等),实体的位置(坐标),实体的性质(敌方兵力或友邻)等,这些信息以实体状态信息链表形式保存,链表按某种方式进行排序,如敌方兵力按威胁程度排序,己方兵力按作战编制排序,以方便对象选择、火力运用、队形保持和协同。CGF自身的状态信息(物理的和心理的)主要包括作战能力(机动能力、生存能力和火力等特性)和个性信息。命令信息包含CGF直接上级的状态和命令信息,包括任务和意图。

## 3 任务规划和目标决策

### 3.1 任务的表示

CGF智能体的行动是意图驱动的,CGF的意图来自于其作战任务,即CGF为了实现其任务根据战场环境的动态变化而采取相应的作战行动。由于战场环境的动态变化和CGF对环境感知信息的不完全性,CGF有多种多样的任务。为了简化设计和优化目标决策,根据各种作战任务的不同特性将CGF的任务归结为命令任务和反应式任务两类。

命令任务是CGF上级分配的作战任务,来自于直接上级的命令和对上级意图的理解。命令任务有相对较为长期的目标,通常需要仔细规划才能实现,持续的时间相对较长。命令任务不仅影响CGF自身还可能影响到编成内的其他CGF智能体,它反映了作战单位之间的约束和协作关系。

反应式任务是CGF对战场环境突发事件自主反应确定的任务,是CGF在某些特定压力情况下的本能行动和对战场环境动态变化的自主反应。反应

式任务只影响CGF自身,通常是不需要复杂的规划便可执行的例行化任务,一般只需要执行几个行为模式便可完成,持续时间相对较短,使智能体能对环境变化做出灵活的反应。反应式任务反映了CGF的自主性和不同个性,增强了CGF对战场环境动态变化反应的实时性和真实性。

任务的基本定义包含五部分:属性,权值,状态,度量方法及实现任务的动作序列。表示如下:

```
Mission = < p, w, s, mm, {a} >
p = order or emergency
w = weight
s = state {inactive, active, achieved, ...}
mm = measurement method
{a} = an action set for achieving the goal
```

任务的属性表明了任务的类型和来源。任务的权值表明该任务的重要程度,CGF智能体可能基于其内部环境调整任务的权值。任务的状态表示任务是活动的,不活动的,实现的状态或其他特定领域的状态。度量方法将感受到的外部输入转变为量值度量目标的实现程度,这允许智能体基于情况区分任务优先级和调整状态。行动是实现该任务应采取的行动集合,以一系列行为模式表示。

### 3.2 任务规划

任务规划的目的就是确定CGF当前的作战任务及完成任务应采取的动作序列,包括任务规划和任务实现计划的规划。CGF通常成建制协调行动,在作战编成内各CGF担任特定的角色(连、排长或单兵),不同角色任务规划具有不同的特性。担任指挥员角色的CGF(指挥型)需要对两种类型的任务进行规划,一般CGF只需对应急性任务进行规划。

#### 3.2.1 命令任务的规划

作战仿真中分队级CGF的作战任务通常由训练想定或通过导调干预获得,命令任务的规划主要是进行任务分解,指挥型CGF将分队作战任务及约束条件分解为下级CGF任务。系统中每个CGF角色的命令任务由其上级CGF规划和分配,最顶层CGF的命令任务由训练的作战想定赋予或通过导调人员干预获得。指挥型CGF根据角色的战术原则,结合所属CGF实体的实际状态进行任务的分解和分配。以规则形势表示的战术原则决定了不同分队任务的组成和分解方法,如坦克连进攻任务包括火力支援和进攻任务,在所属实体状态相同情况下子任务可随机分配,在所属实体状态不同情况下按战术原则区分主次进行分配。

命令任务的执行计划通过地形推理,进攻,防

御, 机动四个应用模糊逻辑的推理模型实现, 计划的结果是实现该任务的以行为模式表示的动作序列。地形推理模型是一个通用的地形分析和推理模型, 为其他模型提供输入, 为进攻、机动模型选择运动路线, 为防御模型确定敌方可能的进攻路线。进攻模型为指挥员规划进攻类型任务的执行, 规划的元素包括确认目标, 确定进攻的特性(面向地域的或面向兵力的)选择进攻类型, 路径选择(通过地形推理模型), 上级给定的约束条件(如沿某一进攻轴线前进)和边界。防御模型通常假定敌方的力量较强(至少比较主动), 规划重点考虑最大限度发挥武器系统的效能, 确保火力互相支援, 规划考虑包括可用的准备时间, 敌人的方位和主要进攻方向, 确定敌方可能的进攻路线。机动模型规划分队从一个位置移动到另一个位置时的机动任务, 主要是机动路径的规划选择、机动的队形等。

### 3.2.2 反应式任务的规划

反应式任务是 CGF 对战场环境变化的自主反应式任务, 反应式任务的规划主要基于对战场环境的认知, 这些认知信息符号化地表示在 CGF 内部环境中。根据内部环境中的敌方兵力信息判断对自己的威胁情况, 根据地理环境信息和友邻信息判断与友邻的协同情况, 从而确定对当前环境的反应式任务, 并根据自身的状态赋予反应式任务适当的权重。反应式任务规划是基于规则的, 规则定义了不同战场环境下各种可能的反应式任务, 表示为条件、动作二元组的形式, 条件表明了该任务的前提条件, 是实现任务应采取的动作, 是可以执行的行为模式。反应式任务与外部环境的变化联系紧密, 能够对外部环境的变化做出快速反应。

任务的规划通过维护 CGF 的任务链表实现, 在任务链表中加入新任务时检查新任务是否透明, 透明的表明该任务可以与其他任务同时执行, 可以与链表第一个被标记为透明的任务合并, 多个透明的任务以这种方式避免不必要的复制, 任务的微小修改和任务覆盖可以得到有效处理。

### 3.3 目标决策

CGF 通常同时有多个可能互相冲突任务, 如服从上级的命令、保持编成内的队形、保存自己、攻击敌人等。同时执行这些可能冲突的任务会导致 CGF 的行为异常, 失去模拟的真实性。单个 CGF 智能体某一时间只能追求一个目标, CGF 目标决策就是决定当前要实现哪一个目标。目标的决策通过目标优先级的机制做出, 而不是预先确定的状态转移, 对

于每一个活动的任务, 通过应用优先级函数赋予其相应的优先级, 具有最高优先级的任务便是当前要实现的目标并主宰 CGF 智能体的当前行为。

目标优先级的计算考虑两个因素: 静态优先级和动态优先级。静态优先级主要由任务的类型和 CGF 个性及内部状态确定, 通常命令任务具有较高的静态优先级, 直接上级分配的任务是 CGF 追求的最主要目标, 不同的 CGF 根据其内部状态可能对不同类型任务的静态优先级进行适当的调整。动态优先级取决于当前的环境和当前的活动任务的特性并以任务的权重值进行表示, 动态优先级根据任务满足程度、约束条件和环境变化动态调整, 智能体也可能放弃不可能实现的目标。

任务的执行优先级通过优先级函数结合静态优先级和动态优先级计算获得, 决策模块动态计算链表中的每个任务的优先级, 基于优先级对链表进行重新排序, 保证最前面的任务节点是当前要执行的任务, 并检查每个任务的状态实时删除已完成或不可能完成的任务。

## 4 行动的描述和执行

### 4.1 CGF 行动的描述

CGF 有各种各样的行动, 对每一种行动都直接编码实现是不现实的。为了简化设计增强系统的模块化, 借鉴线性代数的思想采用层次化建模方法, 将 CGF 各种作战行为通过基本的行为表示和合成实现, 这样可以大大简化 CGF 模型实现并增强灵活性。基本行为既是 CGF 武器装备物理性能的完整描述, 构成了 CGF 物理行为模型, 又是 CGF 所能执行的最简单不需再分解的作战行为, 构成了表示 CGF 其他复杂作战行为的行为基。确定 CGF 基本行为主要原则是行为的独立性, 通常可以将物理模型所代表的武器一种性能的使用确定为一个基本行为, 如坦克单车 CGF 侦查、移动、射击等动作。同时, 基本行为集合必须是完备的, 即该领域中的所有其他高层复杂行为都可以由基本行为来进行合成。

通过基本行为基的基础之上定义一组合成操作来构成复杂行为(动作序列), 合成操作即是利用基本行为来生成复杂行为的运算。行为模式建模中主要的合成操作有: 并行操作, 表示两个并行的基本行为; 串行操作, 表示顺序执行的两个基本行为; 分支操作, 根据条件, 从两个基本行为中选择一个执行; 循环操作, 在条件成立的前提下, 循环执行该基本行为, 否则跳出循环。这几种行为操作所表示的动作序

列可以表示CGF的一种复杂行为,在这些复杂行为的基础之上重新进行操作运算,可以得到更加复杂的行为,这样,CGF所有作战行为模型就可以通过一组基本行为基础之上进行合成操作运算建立起来。

#### 4.2 CGF任务执行和监控

任务规划后CGF任务链表中的每个任务都含有实现该任务的动作(以行为模式表示)序列,行为模式通过编码可以直接调用子程序实现,任务的执行通过调用任务行动列表中的行为模式实现。CGF总是选择任务链表中具有最高优先级的任务执行,同时根据任务的度量方法判断任务的实现程度实时修改任务的状态,任务完成或当战场环境变化导致任务不可能成功完成,将该任务标记为相应的状态,规划决策模块根据任务的执行状态实现CGF任务链表的维护。

### 5 CGF团体组织及协作

由于战场环境的特殊性,CGF智能体与一般智能体有所区别。在作战环境中CGF实体必须以建制为单位协调行动,不同角色的CGF具有不同程度的自主性,各种角色的CGF之间有一定的隶属和控制关系,下级CGF必须按照其上级的命令和指挥执行作战任务。为了更好地模拟CGF实体间的作战和控制关系,按照作战实体编制控制关系的层次结构对CGF智能体进行组织和控制,如图2所示。

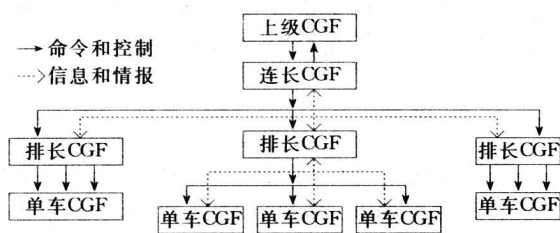


图2 CGF智能体的团体组织控制结构

采用基于军事命令控制结构对CGF智能体进行组织和控制,为CGF作战单元间的控制及通信联络提供了与实际作战环境相似的框架,可以方便地模拟实际作战兵力的指挥协同关系。将CGF智能体组织成编成作战单位,一方面保证了各CGF实体能按照作战原则成建制的协调行动,保证模拟的真实性,并能随着战场消耗情况对角色进行重新分配。另一方面层次化的CGF角色组织结构,可以容易地将复杂的作战任务规划分解为几个较小的问题,提高CGF规划的效率。如图2所示,一个发送给连长的作战目标被分解成三个低一级的排的作战任务,各

排长又将其作战目标变为其控制的更低级的三个单坦克的作战目标。

在层次化的CGF智能体组织结构中上层的CGF智能体控制下层的智能体,实现比其下级更大规模和更长时间的作战目标的规划,负责向下级分配任务并监控所属单位完成任务的情况。下层的CGF智能体隶属于上层CGF智能体,接受上级CGF的命令和任务并规划执行,在执行上级分配任务的同时对战场环境变化做出自主反应。命令的传递直接按层次结构由上而下,而情报信息在同层间共享和上报,因而在同层和向上传。

### 6 结束语

本文讨论了基于智能体技术实现CGF行为模拟的有关问题,针对战术训练的实际需要采用了基于实际军事控制结构的CGF组织结构,设计了层次化的CGF复合智能体模型结构,模型按照“感知-决策-动作”方式进行控制,同时根据CGF物理行为和智能行为的不同特点,综合利用了行为模式和基于规划两方面特性,能较好地模拟实际作战兵力的物理行为和智能行为,结合系统的导调控制能较好满足训练需要。目前,CGF设计中没有考虑心理和情绪因素,在一定程度上影响了CGF行为的真实性,需要将来进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 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):18-21.
- [2] 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,2001,38(19):21-24.
- [3] 航义.基于Agent的CGF行为建模技术研究[J].计算机仿真,2003,20(8):40-43.
- [4] 刘秀罗.CGF建模相关技术及其在指挥控制建模中的应用研究[D].长沙:国防科学技术大学,2001.
- [5] Jeremy W B, Graham S H. Executing Group Tasks Despite Losses and Failures[A]. In Proceedings of 10th Conference on Generated Forces and Behavioral Representation[C]. Norfolk, Virginia, 2001.
- [6] Jeremy B, Richard H. A Hierarchical Distributed Planning Framework for Simulated Battlefield Entities [EB]. <http://siteseer.ist.psu.edu/baxter00hierarchical.html>.
- [7] Brain Logan, Route Planning with Ordered Constrains [EB]. <http://siteseer.ist.psu.edu/logan97.html>, 2004-05-07.