

基于分层 Agent 的军事分析仿真在线辅助决策系统研究

杨 妹¹ 杨山亮¹ 赵鑫业¹ 杨政军² 周 云¹

(国防科学技术大学信息系统与管理学院 长沙 410073)¹ (湖南省高速公路管理局 长沙 410016)²

摘 要 指挥与控制是军事分析仿真在线辅助决策系统中研究的主要对象之一。通过分层 Agent 方法对军事分析仿真在线辅助决策系统的指控关系进行建模,将战役级仿真中的指挥和控制划分成战略层、战术层和执行层,并对各层 Agent 功能进行描述。系统采用基于 BOM 组件的高性能 RTI 仿真方法,最后以一个空地攻防对抗系统的实例说明了该建模方法的应用。

关键词 分层 Agent, BOM, 高性能 RTI, 军事分析仿真评估系统

中图法分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Hierarchical Agent in Military Analysis Simulation for On-line Decision Support System

YANG Mei¹ YANG Shan-liang¹ ZHAO Xin-ye¹ YANG Zheng-jun² ZHOU Yun¹

(College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)¹

(Hunan Expressway Management Bureau, Changsha 410016, China)²

Abstract Command and Control(C2) are one of the major objects in Military analysis simulation for on-line decision support system. Hierarchical Agent-based framework was proposed to modeling C2 and the relationship between them with three layers which are strategic level, tactical level and execution level. The implementation of the models was complied with the simulation engine of BOM-based HPC-RTI. The example of Air-Ground system illustrates the application of the proposed approach.

Keywords Hierarchical Agent, BOM, HPC-RTI, Military analysis simulation

1 引言

面向实时辅助决策的作战分析仿真是以实时战场数据为驱动、以战役级高性能仿真为基础、面向作战计划评估的、旨在为高层指挥员在实时作战过程中的指挥决策提供辅助支持的系统。使用分析仿真系统为实时辅助决策进行支撑,需要能快速直观地展示可能的军事行动流,它在给定联合部队兵力和部署、敌方能力和可能 COA、目标区域(Objective Area)和其他军事行动的环境因素等情况下,确定有效的 COA 并对其进行比较,研究分析每一个 COA 的优缺点。文献[1-3]对面向实时作战决策支持的动态驱动仿真(DDDAS)进行了初步的研究;文献[4-6]在 DDDAS 的基础上对军事分析仿真评估系统中涉及的关键技术进行了分析,提出了构建我国军事分析仿真评估系统的总的设计构想。

指挥控制(Command and Control, C2)是信息化战争条件作战的核心,对指挥控制的建模是合理描述信息化战争的关键。与训练仿真不同,分析仿真着眼于在不确定性条件下通过对多个样本进行仿真获得统计结果从而对其进行分析评估。但是国内以往的军事分析仿真系统过多地强调了作战实体的武器系统及其控制的建模,而忽略了 C4ISR 在其中的作用^[7]。

对于指挥控制的主体——指挥员的建模,一方面需要描述指挥员的决策能力和信息处理能力,另一方面需要描述不同指挥员之间的关系,界定指挥员的功能范围,使仿真系统中的指挥员与真实世界中的指挥员具有相似的协同作战能力。同时,为了评估指挥员决策命令对战争的影响,还需研究作战实体、资源、环境等要素。使 C4ISR 过程形成一个由感知、处理、决策、行动构成的 OODA 环。

涌现性是军事复杂系统的重要特征之一,不确定性是战争的基础。使用基于多 Agent 的模型对战争中实体的行为的模拟是一种研究战争不确定性的方法。在面向联合层次的大规模战争中,为了向最高层联合指挥官的决策提供支持,对战争中具有不同能力的指挥员 Agent 进行分析,可以将其划分为战略、战术和执行 3 个层次。在不同层次中的 Agent,由于具体功能上存在差异,采用组件式建模方法可以进一步提高软件的可重用性和开发效率。本文的目的是研究层次式 Agent 对战争中指控关系和实体建模的方法,揭露军事系统的涌现性和不确定性特征,通过层次 Agent 进行高性能分析仿真来支持军事指挥人员的决策。本文首先分析层次式 Agent 与指挥控制之间的相似性,然后根据作战仿真的需求将指挥控制使用 3 层 Agent 来描述,接着研究了基于 HLA 高性能仿真引擎中使用 BOM 组件建立分层 Agent 模型的开发方

本文受国家自然科学基金项目(61074108)资助。

杨 妹(1985—),女,博士生,主要研究方向为作战仿真, E-mail: yangmei@nudt.edu.cn; 杨山亮(1987—),男,博士生,主要研究方向为作战仿真。

法,最后提供了空地攻防对抗仿真系统的设计实例。

2 分层 Agent 与联合作战的指挥与控制

2.1 层次式 Agent

基于 Agent 的模型 (ABM), 亦称为基于个体的模型, 主要用来评估模型对系统的整体影响, 对个体的行为和个体之间的交互进行仿真。其个体可以是单个实体或由多个实体组成的对象。在多 Agent 系统中, 模型模拟多个 Agent 同时进行的操作和交互, 通过多个个体的简单行为规则反映出系统的涌现特性, 用以重建和预测复杂系统的复杂现象。这一建模思想体现了“整体的功能大于部分功能的简单相加”的哲学思想和 KISS 原则 (Keep it Simple and Stupid)。Wooldridge 等人认为, Agent 是具有自主性、交互性、反应性、主动性等特性的硬件或软件计算系统, 并附加有诸如知识、信念、意图等心智概念或其他情感^[8]。

层次式 Agent 是根据一定的规则将 Agent 划分为不同层级进行组织的方法。在自然界中, 个体的行为在社会活动中通常体现出一定的层次关系^[9]。例如, 动物行为学认为, 动物群体的行为具有分工, 在底层进行一些基本的反射运动、定向和基本的感知, 在顶层实现如喂养、重建和生存等重要活动, 在中间层进行筑巢、打扮等复杂行为。

层次式 Agent 中的关键是层级的划分和各层级及其内部 Agent 之间的交互。层次式 Agent 之间交互的基本原则是某一层级中的 Agent 只能与同层级 Agent 或相邻层级的 Agent 之间进行交互。

对于一个由 L 层 N 个 Agent 构成的 MAS 系统 (Multi-agent system), 构成某一 Agent (标记为 $Agent_m$) 的具交互能力的组件可能有:

感知组件。感知组件描述了传感器的感知能力。若 Agent 具有 k 个传感器, 则传感器空间为 $S=S_1 \times S_2 \times \cdots \times S_k$, 感知组件的感知真实度函数为 $p_i: S \rightarrow \{0, 1\}$, 所有感知的集合为 P 。

行为组件。若 A 是智能体所有可能行动的集合, 那么某一行为可以定义成函数 $f: S \rightarrow A$ 。所有行为的集合为 B 。

行动 A_m 具有行动的执行为 Agent _{i} , 接收者为环境 E 或其他实体 Agent _{j} 。Agent 之间的交互也是一种行动, 通过有向链接进行。每一个链接有一个“强度” I 定义了交互的运行的有效性。强度为 1 的链接使得交互可以自由地执行, 强度为 0 的链接使交互不能进行。所有从 Agent _{i} ($1 \leq i \leq N$) 到 Agent _{j} ($1 \leq j \leq N$) 之间的链接构成了一个链接网络。

层次 Agent 将这些有向链接定义为 3 类。同级交互定义为 $f(n \rightarrow n, I)$, 上级向下级的交互定义为 $f(n+1 \rightarrow n, I)$, 下级向上级的交互定义为 $f(n-1 \rightarrow n, I)$ 。

2.2 指挥和控制

在对指挥和控制进行研究之前, 先定义以下术语^[10,11]:

联合军事行动: 是指按照特定的指挥关系组织的联合部队和提供服务的部队所进行的军事行动。

指挥和控制: 受到指派的指挥员在任务完成过程中通过分配和附属的兵力而行使权力和进行指导。其也称为 C2。

联合军事行动的计划编制: 由与联合军事行动有关的计划编制活动组成。通过为联合部队进行动员、部署、投入使

用、调遣和遣散作计划, 它将国家战略目标转换成为了活动。

1—4 层计划: 包括指挥员的估计 (集中于产生多个 COA, 可以是 COA 简介、命令指示、指挥员的估计或者备忘录)、基本计划 (描述了概念计划、主要兵力、支援概念和完成任务的预期时间)、概念计划 (以简短的格式描述的行动计划) 和行动计划 (是一个完整详细的联合计划, 包含概念计划的完整描述, 确定了特定的部队、功能支持以及执行计划和结束评估所需的资源)。

联合军事计划编制是一个适应性过程, 在一个网络化的协作环境中进行, 需要高级领导人员之间的对话、并发和并行的计划开发, 以及多个计划编制层次的协作, 是对指挥员头脑中的战略和完成军事目标的条件集合 (终状态) 进行转换开发成联合计划和命令的过程。在详细的计划中, 由上述定义和联合作战计划编制过程可以看出:

指挥是战争的艺术, 主要关注人的交互, 以指挥人员的知识、技能和经验为基础; 控制是战争的科学, 主要关注如何使用技术和信息化手段来实现战争的目的;

指控关系是联合军事行动中的主线, 它将各部队联结在一起完成共同的目标; 同时, 司令员由于可以与其他民间领导、高级指挥员、下属指挥员进行不同层次的交互, 因此相对于其他军事人员具有更广泛更全面的视角, 是指控关系的中心;

指挥官是将战术行动与战略目标联系在一起的主体, 联合军事计划和命令体现了指挥员的指挥艺术;

计划细节中描述了各部队为了实现共同的军事目标必须采取的行动, 这些行动需要各部队按计划组织实施并通过协同合作来完成;

联合军事行动计划编制需要计划编制人员与高层指挥官之间频繁地进行交流。

2.3 层次 Agent 和指挥控制之间的相似性分析

联合作战分析仿真面向高层指挥官决策, 指挥和控制是其中的主要因素。下面将联合作战分析仿真中的指挥和控制问题与层次式 Agent 建模方法进行比较, 研究其异同 (见表 1)。

表 1 C2 与层次式 Agent 比较

	C2	层次式 Agent
自主性	从高层向低层下降	可选
交互性	根据组织结构进行交互和协同作战	由交互链接网络定义的交互能力
反应性	某些条件允许的某些实体可以进行反应性行为	可选
主动性	从高层向低层下降	可选

从表 1 可以看出, C2 与层次式 Agent 在很多方面都具有相似性。使用层次式 Agent 方法对 C2 建模, 对于评估作战方案、研究指导指挥员决策都具有一定积极作用。特别地, 各层次 C2 中有些问题可以抽象成规则性、技术性的程序描述, 很适合采用 Agent 建模方法^[4]。

3 作战分析仿真中层次式 Agent 设计

根据军事复杂系统模型体系, 作战空间实体可以按照建模层次、军兵种和作战层次等形式进行分类^[4]。大规模作战分析仿真从作战层次上看主要为面向战略层的仿真。根据指挥关系, 即在计划实施期间的组织结构, 可以划分为如下等

级:战略层、战术层和执行层,如图1所示。图中的无向线段表示双向链接。各层角色功能描述如下:

战略层:为自主式 Agent,可受人控制,表示最高层指挥官,负责全局态势图的生成,并通过进行基于知识库的推理制定计划,产生战略级决策命令指导下级 Agent 的行为决策。战术层形成的突发性行为或对战场环境的新的感知在战略层被转换成决策智能体可以理解的规则集或新的态势图。战术层的行为受控于该层。

战术层:为半自主式 Agent,表示高层指挥员,负责将执行层中多个下级 Agent 生成的传感器报告进行信息融合形成对本地战场环境的新的认知,并进行战术级行为决策,如“按编队飞行”的命令。执行层的个体行为受控于该层。

执行层:为反应式 Agent,表示具体的作战单元,是作战任务的执行实体。负责通过传感器模型或互联的实时传感器感知环境信息,以及进行反应式行为。采集后的信息通过层次式 Agent 的通信网络将其传输给上级战术层,如“调整高度”的命令。

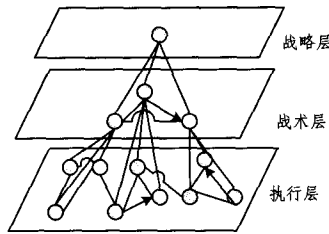


图1 作战分析仿真中 Agent 的层次划分

根据第2节中指出的层次 Agent 的交互原则,战略层 Agent 无法与执行层 Agent 直接进行交互。而且战略层 Agent 和战术层 Agent 所制定的方案和计划的粗略程度不同,前者为指导性原则,不能由执行层 Agent 直接采用,后者则可以被执行层直接应用到行动中。为了对实际作战过程中出现的越级指挥进行模拟,仿真中的战略层 Agent 设计为具有角色降级的能力,即可临时充当战术层 Agent,向执行层 Agent 下达命令。

下面分别对各层 Agent 进行描述:

假定环境的变化被抽象成为一个离散时间状态序列,所有任意离散时刻环境的瞬时状态形成的状态集可以描述为:

$$E = \{e_0, e_1, \dots\}$$

其中, e_0 为初始环境状态。

有限行为集 $A = \{a_0, a_1, \dots\}$ 对环境状态的转换函数为:

$$\sigma: A \times E \rightarrow E = e_0 \xrightarrow{a_0} e_1 \xrightarrow{a_1} \dots e_{n-1} \xrightarrow{a_{n-1}} e_n \xrightarrow{a_n} \dots$$

交互链接定义为具有发送方、接收方、交互内容和强度的函数:

$$f(\text{Agent}_{\text{sender}}, \text{Agent}_{\text{receiver}}, C, I)$$

战略 Agent:

$$\text{Agent}_S = \langle P, \text{choose}, \text{implement}, \text{communication} \rangle$$

P 为所有可能计划的集合,计划的执行可以描述为函数:

$$\text{implement}; P \rightarrow \mathfrak{S}(E, X_T)$$

其中, X_T 为受战略 Agent 决策命令控制的战术 Agent 的集合, $\mathfrak{S}$ 是幂集符号。

决策部件 choose 定义为函数:

$$\text{choose}; E \times R \rightarrow P$$

其中, R 为规则库集合,通过基于规则的推理根据事实得到可执行的计划。

交流部件 communication 表明 Agent 获取环境中有关文化、社会、经济等能够影响到战争高层决策的重要因素定义为:

$$\text{communication}; E \rightarrow P_\sigma$$

P_σ 为非空集合。

战术 Agent:

$$\text{Agent}_T = \langle A, \text{choose}, \text{implement} \rangle$$

决策部件 choose 定义为函数:

$$\text{choose}; E \times C \rightarrow P$$

其中, C 为交互链接 $f(\text{Agent}_T, \text{Agent}_{\text{self}}, C, I)$ 中的交互内容集合。

P 为所有可能计划的集合,计划的执行可以描述为函数:

$$\text{implement}; P \rightarrow \mathfrak{S}(E, X_E)$$

其中, X_E 为受战术 Agent 决策命令控制的执行 Agent 的集合, $\mathfrak{S}$ 是幂集符号。

执行 Agent:

$$\text{Agent}_E = \langle A, \text{change}, \text{see}, \text{weapon}, F \rangle$$

F 为搭载武器系统的平台集合。

Agent 的行动对环境产生影响, change 组件描述 Agent 的运动等属性的影响,定义为:

$$\text{change}; E \times A \rightarrow \wp(E)$$

其中, $\wp$ 是幂集符号。

感知部件 see 定义为:

$$\text{see}; E \rightarrow \text{Per}$$

武器部件 weapon 定义为:

$$\text{weapon}; S \rightarrow \wp(\text{Agent}, E)$$

其中, S 为武器系统的资源。

在这一层次式设计中,高层的 Agent 对其下级 Agent 具有绝对的控制权,同级 Agent 之间可以通信,下级 Agent 能将情报信息向上级 Agent 通报。

Agent 的层次式设计也描述了模型的感知能力和自治性。感知能力既包括所拥有的战场传感器对敌方兵力的探测能力,也包括通过通信网络与其它 Agent 进行交互所获得的情报信息。越高层次的 Agent,其能感知的战场空间范围越大,对战场态势的把握能力越强。自治性体现了 Agent 初始化和控制自身行为的能力以及对非预期情况的反应能力。

4 基于 HLA 高性能仿真引擎的建模与仿真

仿真引擎是仿真系统运行的核心,与具体模型对象和仿真应用逻辑无关。为了满足作战分析仿真高速运算、可组合性、互操作性、人/机交互测试性和多样本运行的建模与仿真需求^[4],文献[5]中提出了一种基于高性能 RTI 的仿真引擎。基于高性能 RTI 的建模与仿真框架主要由系统服务层、HPC-RTI 仿真引擎、BOM 组件式建模框架和应用层组成。模型开发人员主要进行应用层模型结构与数据的开发,与 BOM 组件式建模框架接口。具体的模型开发方法在下一小节中介绍。

模型的运行依赖以 HLA 框架为基础的仿真引擎。最底层为系统服务层,它为仿真引擎提供操作系统相关服务的支持。高性能 RTI 仿真引擎由通信层、事件管理层和 RTI 服务

层构成,其中,通信层定义了通过共享内存或高速网络进行高速消息传递的接口以及与其它系统通过网络进行连接的接口,事件管理层提供仿真引擎的核心服务,用于协调进程的创建、事件处理和进程的终止,以及与事件相关的仿真克隆的管理和仿真回退框架。RTI 服务层主要包含 5 类 RTI 管理服务(时间管理、声明管理、对象管理、数据分发管理和联邦管理)。

系统中不仅存在基于 Agent 建模方式构成的联邦成员,也存在非 Agent 联邦成员,如态势显示成员、数据采集成员、战场环境成员等,各成员的互联方式如图 2 所示。

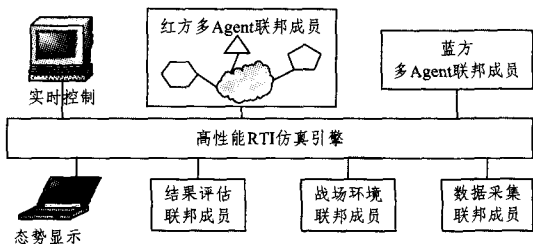


图2 基于多 Agent 的联邦成员互联

4.1 BOM 组件式模型开发方法

作战分析仿真的分层 Agent 中,不同层次的 Agent 功能不同,实现各种能力所需要的功能模块也不尽相同。例如,执行 Agent 需要传感器模块来实现对环境的感知能力,战略 Agent 需要知识库推理模块来完成基于知识库的推理。即使在同一层次的 Agent,完成相似功能所需的具体模块的实现也可以不同。例如,执行 Agent 的感知行为可能基于雷达,也可能基于红外传感。

仿真运行过程中,想定中的实体的某一功能(如通信、感知等)可能因为受到敌方攻击而受损甚至失去功能。为了减少失去功能的模块对内存的占用,可以将该模块从内存中删除。具有运行时即插即用能力的组件化开发方法为此提供了一种有效的途径。

BOM 是一种以 HLA 为核心的组件式建模方法,促进了联邦成员的重用和互操作。BOM 模板不仅为仿真模型提供了面向组件的规范化描述,也提高了模型运行时的即插即用功能。图 3 中描述了基于 BOM 的多 Agent 成员开发过程。

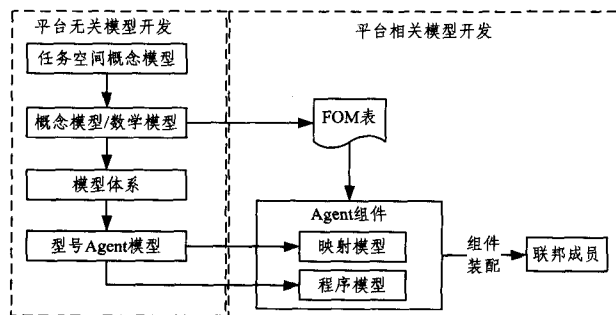


图3 模型开发过程

BOM 可以与面向对象的软件设计思想相结合,来提高代码的复用性,减少开发人员的工作。通过模型体系以及型号模型的开发体现了面向对象的继承、泛化等思想。文献[12]描述了 BOM 组件开发的原理并实现了辅助工具,用于从模型体系到型号模型的开发并将其映射生成 BOM 组件从而进行装配,生成可以直接与 HLA 互联的联邦成员可执行程序。

4.2 分层 Agent 的通信

联邦成员运行时,各 Agent 之间的通信方式与传统的 HLA 联邦中联邦成员之间的通信方式并不完全相同。Agent 与其它 Agent 和环境进行的数据交互主要有两种情况:(1)传感器感知其所处环境中的实体和资源信息;(2)层次式 Agent 之间通过层次式通信网络进行消息传递,包括向上级报告、向下级发送指令命令以及同级之间进行协作。

HLA 的联邦成员接口规范^[13]定义了分布式环境中各种类型的联邦成员进行互操作所需的标准服务和接口,成员之间的兴趣管理可通过对象管理服务、声明管理服务和数据分发管理服务共同完成。对于联邦成员的内部组件在成员内所进行的通信并未强制定义,由成员自己实现。对于大规模分析仿真,这种兴趣管理不足以提供高效的仿真运行支撑。文献[14]在仿真平台范围内提出的兴趣管理方法有效地解决了大规模仿真应用中的数据过滤问题,为 Agent 的传感器组件实现“感知”能力提供了基础。

层次式 Agent 之间进行消息传递所使用的通信网络是问题域中逻辑上的“通信”。其基本的信息交互能力体现为 BOM 组件之间的通信,由 BOM 组件框架实现。若作战分析仿真系统在研究特定战法如“网络中心战”时需要研究“通信”网络的效能,可以单独设计“通信”网络组件,以网络容量、网络延时等作为参数^[15]。

5 设计实例

仿真实验的进行从对想定的描述开始。本节使用典型的空地攻防对抗系统作为研究对象,研究分层 Agent 建模方法在作战分析仿真中的可行性。想定从红蓝双方的角度描述了部队的目标,具体如下:

红蓝双方各有一个重点保护对象——价值标注为 100 的高价值区域。战区大小为 600 * 600 的方形区域。仿真时间为 2014 年 9 月 12 日,战区天气为:晴,20℃~27℃,南风,微风。

红方的防御性防空作战任务为保卫其“高值”区域免受空袭和导弹袭击,使联合部队得以在该区域进行有效的集结和行动。主要防御目标为空中固定翼或旋转翼飞机以及 TM。进行防空作战的主要资产包括:某机场有 F-16 战斗机 20 架,并以双-35 高炮营作为该机场的主要防空兵力。3 架空中预警机(AEW)使用其远程雷达来监视远程威胁。

蓝军的进攻作战任务为使用 10 架战斗机和 15 架轰炸机,以及地面 TM 作为主要兵力攻击红方,以便主力部队投入战斗和夺取红方“高值”区域。

根据前文所述设计思想进行建模与仿真,以评估空军作战计划的空地攻防对抗系统,对红蓝双方兵力进行建模,模型体系结构如图 4 所示。

其中,层次 C2 通过继承关系使高层指挥员获得下级指挥员的能力,对下级指挥员进行控制。C2 类主要实现指挥员的决策能力和自治能力。C2 类通过与 Physical 类进行组合装配可以构成智能体,实现智能体诸如感知、通信、交战等功能。例如,某战斗机实体可以由 ExecutionC2、Fighter、Missile 组成,组合关系如图 4 所示。环境类 Environment 类为智能体提供环境建模,可以泛化成陆上 Land 类和空中 Space 类,

建立地形、天气等环境信息的模型。

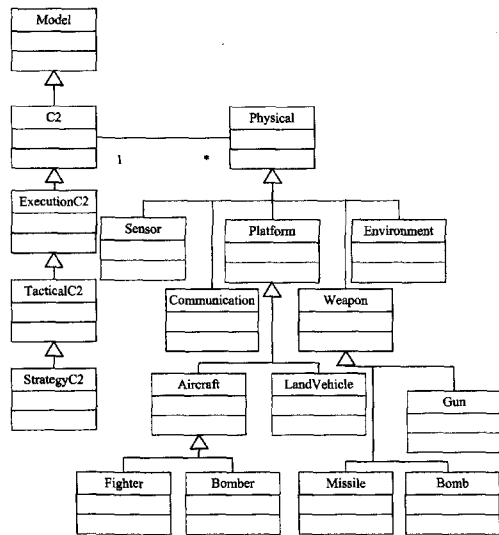


图4 模型体系结构图

交战裁决通过裁决对象类进行,分为空空裁决、空地裁决和地地裁决。例如,空空裁决使用随机数的方法确定是否有毁伤,其裁决过程如图5所示。

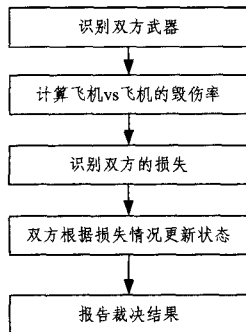


图5 裁决流程图

本实例主要示例了大规模多军兵种作战环境中某一战区的建模;对于全战场空间的建模,可以依据本实例通过扩展模型体系结构扩展其规模。

结束语 感知、信息处理、决策和行动构成了军事复杂系统中的OODA决策环。层次Agent建模方法,既系统地研究了军事事实体的这4种能力,也提供了对实体之间指控关系的

科学描述,是当前信息化条件下以C4ISR为核心的战争的一种有效的建模方法。通过实例研究,证明了方法的可行性,为大规模军事分析仿真作战辅助决策系统的模型设计与开发提供了指导。

参考文献

- [1] 周云,黄柯棣. 动态数据驱动应用系统研究综述[C]//2005年全国仿真技术学术会议. 2005;87-89
- [2] 周云,黄柯棣,胡德文. 动态数据驱动应用系统的概念研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(8):2138-2141
- [3] 周云. 支持动态数据驱动仿真的建模适应性研究[C]//2009建模与仿真标准化年会. 2009;75-78
- [4] 黄柯棣,赵鑫业,杨山亮,等. 军事分析仿真评估系统关键技术综述[J]. 系统仿真学报,2012,24(12):2439-2447
- [5] 杨姝,赵鑫业,蔡楹,等. 面向分析仿真评估的高性能仿真系统关键技术研究[J]. 系统仿真学报,2012,24(12):2463-2467
- [6] 蔡楹,杨姝,赵鑫业,等. 分析仿真支持技术研究[J]. 系统仿真学报,2012,24(12):2448-2454
- [7] 黄柯棣,邱晓刚,建模与仿真技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2011
- [8] Wooldridge M, Intelligent Agents[M]. The MIT Press, 1999
- [9] Bacrnds G. The functional organisation of behaviour[J]. Animal Behaviour, 1976, 24
- [10] Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms[M]. 2010
- [11] Joint Operations[R]. 2011
- [12] Mei Y, Ying C, Jian H, et al. Research on Atomic Component Model Development in BOM-based HLA Simulation[C]//Proceedings 2011 2nd IEEE International Conference On Software Engineering and Service Science. Beijing, China: IEEE Press, 2011;905-910
- [13] IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S) High Level Architecture(HLA)-Federate Interface Specification. 2010
- [14] Mei Y, Z. Xin-ye, Z Yun, et al. An Interest Management in Large-scale Analytic Simulation[C]//ICCII 2013. 2013
- [15] Hiniker P J. A Model Of Command And Control Processes For JWARS; Test Results From Controlled Experiments And Simulation Runs[R]. 2002

(上接第21页)

结束语 满足用户端到端的QoS需求是面向服务计算中的一个重要课题。本文通过建立层次化的本体模型,将用户端到端的QoS需求映射到单个服务的QoS属性,并通过研究服务组合中的QoS聚合机制,来实现单个服务QoS属性到组合服务QoS属性的聚合。通过将两者进行结合,能够基于端到端的QoS需求,来实现服务组合中各个服务的选择。如何基于用户端到端的QoS需求来实现QoS驱动的服务组合算法将是我們下一步需要研究的问题。

参考文献

- [1] Zhou Chen, L C, Lee B S. Service Discovery and Measurement based on DAMLQoS Ontology [C] // WWW. Chiba, Japan.

ACM, 2005

- [2] 刘志忠. 多本体环境下的服务发现的相关技术研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2008
- [3] 刘志忠,王怀民,周斌,等. 一个面向语义服务发现的QoS本体[J]. 计算机工程与科学, 2007, 11: 117-121
- [4] 范小芹,蒋昌俊,王俊丽,等. 随机QoS感知的可靠Web服务组合[J]. 软件学报, 2009(3): 546-556
- [5] Kil H, Nam W. Anytime Algorithm for QoS Web Service Composition[C]//WWW2011. 2011; 71-72
- [6] 罗元盛,齐勇,等. 面向端用户的服务组合广义决策逻辑模型[J]. 软件学报, 2009(12): 138-143
- [7] 黄宏斌,刘志忠,等. 基于层次化本体模型的语义相似度计算方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009(7): 1150-1154