

面向 Agent 的导弹作战仿真概念模型设计

李 瑛, 毕义明

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 以面向 Agent 的方法为基础, 通过概念模型设计来描述导弹作战仿真建模, 实现问题域的表达。通过分析概念模型的表达要素, 利用一系列规范形式来描述所建立的 Agent 模型及其扩展模型。提出一种面向 Agent 的概念化范例指导导弹作战仿真概念模型的分析与设计, 并给出详细的过程与步骤。与其他现有面向 Agent 方法比较, 此构造概念模型的技术能够在导弹作战仿真建模之初就抽象出系统中的实体、实体活动、实体间的交互等要素, 直接反应在概念模型中, 为系统仿真提供了一套行之有效的概念建模方法。

关键词: 导弹作战仿真; 概念模型; 面向 Agent 的建模; 面向 Agent 的分析; 面向 Agent 的设计

中图分类号: TP 391.9

文献标志码: A

Design of Agent-oriented conceptual model for missile combat simulation

LI Ying, BI Yi-ming

(The Second Artillery Engineering Coll., Xi'an 710025, China)

Abstract: This paper describes the missile combat simulation system to express the practical problem by the design for conceptual models (CM) based on the Agent-oriented method. For analyzing the expressive factors of CM, a series of standard forms are adopted to describe the Agent model and its extended model. An Agent-oriented conceptual paradigm is presented to guide the analysis and design of CM for missile combat simulation, and the detailed process and steps are also given. Compared with other existing Agent-oriented methods, the technology of constructing the conceptual model (CM) provides an available method for conceptual modeling of the system simulation, which makes it possible that some factors such as entity, activities, and interactions among the systems could be abstracted at the beginning of modeling the missile combat simulation and is straightly depicted in the CM.

Keywords: missile warfare simulation; conceptual model; Agent-oriented modeling; Agent-oriented analysis; Agent-oriented design

0 引言

作战系统是一种极其复杂的动态随机系统, 具有规模大、因素多、结构关系复杂、状态多维等特点, 对其进行建模仿真非常困难。军事概念模型, 作为军事人员和建模人员之间有效的交流工具, 能够让建模者更加清楚地认识和把握需要模拟的作战系统和需要解决的作战问题。通用、规范的军事概念模型的设计将为仿真模型的设计提供一种科学的依据和表述方法。因此, 在建模过程中用概念模型描述仿真模型是首要的、至关重要的一步。

概念化的建模过程需要一个合理的抽象集和一种正确的方法论对系统的分解、分析和设计进行指导。传统的系统概念建模方法如 ERD、DFD、IDEFX、StateMate、

UML^[1-4]都可以应用到军事概念建模中。另一方面, 基于军事作战的特点, 在这些一般性方法的基础上, 支持军事领域建模的方法学, 如面向过程建模方法和面向对象建模方法。但前者关心的焦点是作战过程, 不太注重作战系统结构分析; 而后者是先对系统的组成对象建模, 然后才对系统建模, 建模过程是自底向上的。

传统的建模理论和方法不再适应复杂作战系统中灵活、复杂组织关系及强交互特性的描述。Agent 建模方法和技术的提出顺应了复杂系统建模的需要, 基于 Agent 的建模与仿真已成为当前建模与仿真领域的研究热点^[5], 在军事仿真领域也已经有了不少应用。因此, 本文提出一种面向 Agent 的概念化范例用以指导导弹作战建模仿真的分析与设计。此范例把问题域和计算域分开, 着重于问题域

结构,即实体及实体间的关系的理解,分析的结果是需求体系结构模型,将系统结构、实体行为和系统功能统一在一个视图之下,是一种抽象的信息处理模型。

1 作战概念模型理论

1.1 基本概念

作战概念模型是对现实作战行动的一致性描述,通过采用独立于任何仿真实现的语法、语义和图表等工具,为建模人员提供与特定任务相关的作战行动的规范化描述。作为把作战系统抽象成仿真模型的一个中间环节,概念建模可以大大减小问题域和求解域之间的差异,从而更有效地解决作战问题。

构造作战概念模型时,用标准的语义和语法表达,抽取与具体实现无关的模型元素,有利于模型组件的重用,同时增强组件的互操作,能够满足大规模作战仿真的需要。

1.2 概念模型表达要素

在建立作战系统的概念模型时,建模人员首先将建立仿真模型所需要的元素从真实世界中抽取出来,在此抽象的基础上,建立概念模型。因此,作战概念模型的主要内容应该包括作战系统组成及其之间的关系、作战系统状态和作战过程的描述。由于作战系统组成的划分不同,概念模型的内容可能有所不同,但实质都是一样,都是经过抽象和简化操作后构造的,它不是作战系统的复制品,而是满足包括系统要素、结构、运行、功能与环境等方面相似性的建模需求的。其抽象后的模型表达要素与作战系统元素间的对应关系如表1所示。

表1 作战系统与模型表达要素对应关系

| 作战系统 | 概念模型 |
|------|------|
| 系统内涵 | 任务空间 |
| 系统要素 | 作战实体 |
| 系统结构 | 实体关系 |
| 系统状态 | 实体状态 |
| 系统运行 | 实体行为 |
| 系统功能 | 实体交互 |

2 导弹作战仿真概念模型设计

导弹部队的作战需由多型号、多个导弹旅和各种作战保障部队共同完成作战任务,作战过程中涉及兵力、武器装备、作战阵地等要素的部署。在对抗环境中,还涉及体系间的进攻、对抗以及环境变化等,是一种极其复杂的动态随机系统,具有规模大、因素多、结构关系复杂和状态多维等特点,要对其进行仿真建模非常困难。在构建具体 Agent 模型时,如果建模阶段就能对被仿真的作战系统进行正确的概念化抽象,那么导弹作战仿真系统就能比较容易地建立及应用。

2.1 面向 Agent 的建模

根据上述对导弹作战概念模型表达要素的分析,本文定义的面向 Agent 的概念化建模方法,是通过把大多数的作战实体作为 Agents,以反应各实体在作战空间的角色和

职责。单个 Agent 的状态由其各自的智能组件来表达,而它的行为由其基于共同任务的通信能力、在预定模式中的交互能力、从某一系统移动到另一系统的移动能力、从外界接收有用信息的自学习能力以及接受环境改变的自适应能力来描述。

2.1.1 通用 Agent 模型

为了实现模型 Agent 之间的交互和模型 Agent 的可重用性,本文构造通用 Agent 概念模型,对 Agent 内部特性及其参与仿真的外部条件进行规范化描述和格式化说明,具体描述如下。

(1) Agent 模型可由一个二元组来描述,即 $\langle A, I \rangle$ 。

A (agent classes): Agent 类,表示实际应用领域中 Agent 的集合;

I (interaction): 交互类,表示 Agent 类之间的所有交互集合。

(2) Agent 类包括若干功能模块及其相应的局部信息与数据区,主要负责控制 Agent 的运行行为,并协调 Agent 与用户、其他 Agent 和环境的相互作用。其结构可由一个七元组描述,即 $\langle IA^1, MC, E, KS, O, MT, B \rangle$ 。

IA^1 (information attributes): 属性集,包括 Agent 名称、标识、位置、目的等信息;

MC (mental components): 智能组件集,用来定义 Agent 的心智状态,根据其内部状态决定其行为模式;

E (environment): 环境,是 Agent 面临的外部环境,内部状态和外部环境构成 Agent 推理和行为的基础;

KS (knowledge-system): 知识系统,包含 Agent 进行决策规划和推理时所需要的关于任务分解方法、问题求解的知识库及推理机制等知识集合;

O (ontology): 本体论,是认识应用领域的方式;通过对概念、术语及其相互关系的规范化描述,勾画出应用领域的基本知识体系和描述语言;

MT (message transmission): 消息传递机制,其又可用五元组进行描述,即 $\langle L, IP, CM, MM, IM \rangle$ 。其中, L (communication languages) 为通信语言,指 Agent 个体或集合的通信语言类型; IP (interaction protocol) 为交互协议,用来对参与交互的 Agent 的交互类型进行定义; CM (methods for communication) 为通信方式; MM (methods for migration) 为移动方式; IM (intelligent methods) 为知识获取和推理方法;而 Agent 类的能力可以用 $(CM \cup MM \cup IM)$ 的集合形式来定义。

B (behaviors): Agent 的行为,并可以对其他 Agent 产生影响,其描述可以采用以下形式: $B = \langle E, S, Q, \Psi \rangle$ 。式中, E 是所有事件的集合; S 是状态集合; Q 是 P (所有动作函数的集合) 中所有元素以及这些元素构成的可能的动作序列的集合, Ψ 是一个行为函数,其说明如下

$$\Psi: E \times Q \times S \rightarrow S$$

$$\Psi(e, q, s_0) = s_1$$

式中: $e \in E, q \in Q, s_1 \in S$, 均为变量。

(3) IC(interaction class)由一个三元组描述: $\langle IA^2, CA, TA \rangle$ 。

IA^2 (intent attributes):意图属性集,是合作、协作、协调、竞争等各种交互意图分类的集合;

CA(content attributes):内容属性集,是细节、语言行动、交互协议、知识、语言、方法论等交互内容分类的集合;

TA(transport attributes):传输属性集,是传输方式(客户-服务器、点对点等)、传输模式(同步、不同步)、传输结构(存储式、黑板式等)等内容的集合。

在具体领域应用中,Agent 的交互并不需要满足所有的属性,可以根据特定交互需要进行选择。

2.1.2 Agent 扩展模型

在 Agent 系统设计中,体系模型是由 Agent 个体模型或其他体系模型通过关联而组成的具有相同结构的系统抽象,通过隐藏不必要的细节而构建更高层次的 Agent 类。体系模型的行为通过其包含的 Agent 个体模型的行为来表达,采用综合、集成、合成等抽象方法对 Agent 个体模型进行扩展。

本文定义一个十元组的扩展 Agent 模型,即 $\langle A, GC, AC, CS, B, G, C, IP, O, L \rangle$ 。

A(agent classes):指应用领域系统内所有 Agent 类的集合;

GC(generalized classes):所有综合类的集合;

AC(aggreated classes):所有聚合类的集合;

CS(cooperative societies):所有合成组织集合;

B(beliefs):所有初始信念集合;

G(goals):应用领域中所有 Agent 类的目标集合;

C(capabilities):应用领域中与所有 Agent 类相关的 Agent 能力集;

IP(interaction protocols):应用领域中被证实所有可能的交互协议的集合;

O(ontologies):在 Agent 交互中讨论所涉及的各领域的本体描述集合;

L(agent communication languages):系统中所用到的所有 Agent 通信语言的集合。

扩展模型给出了描述多 Agent 系统以及在系统分析和设计的过程中建立需求的一种思路。

2.2 面向 Agent 的分析

面向 Agent 的分析,旨在从行为主体入手,更好地理解问题域的结构,从信息处理的角度尽可能地映射现实问题的结构特征,这种需求分析的结果具有更广泛的实用性和重用性。其过程描述如图 1 所示。

(1) 根据作战问题分析区分所有可能的实体和活动。在导弹作战中主要涉及到装备实体、人员实体等典型实体。而每一类实体又可根据模型粒度的需要,向下分解至导弹武器系统实体、工程装备实体、指挥所、发射营等向下一、二级的实体。根据实体执行活动属性和功能的不同又可区分为指挥、控制、机动、发射、伪装等活动内容。

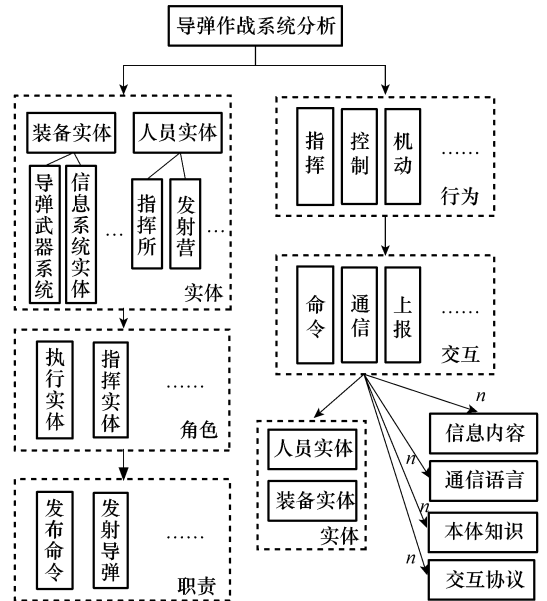


图 1 面向 Agent 的分析概念化方法示意图

(2) 决定每一个实体在系统中的角色。值得注意的是,一个实体可能会在相同或不同的上下文中充当不同的角色。如旅机关在受领上级命令中是执行实体,在对旅作战指挥中又充当指挥实体。因此,要根据角色的定义及与实体相关的活动,列出每个实体、角色的所有可能的职责。并根据实体、角色和职责的描述映射到相应的 Agent 类,如导弹实体对应于导弹武器 Agent。

(3) 对每一项独立的活动,分析它执行的条件和顺序以决定所有的交互内容。对每一种明显的交互,确定与它相关的实体、交换的细节、典型的行为模式、通信时的言语行动以及相关的知识,这些有助于后面 Agent 的心智状态及本体的设计。

(4) 精炼分析。对建立的每一个 Agent 及交互的描述,剔除繁杂、冗余的信息。有时,还需要转换交互描述,使得通信能够更加正式、有意义,更具有普遍意义。

利用面向 Agent 的思想方法对作战系统建模,主要围绕作战系统中的主动对象——Agent、Agent 活动,建立作战仿真模型,其他对象的建模,如环境条件、地形等要素可以根据 Agent、Agent 活动的建模需要进行,不必过分强调模型体系的完整性,这样便于理清作战建模的思路,突出作战建模的主题和重点。

2.3 面向 Agent 的设计

面向 Agent 的设计主要根据前面描述的实体集、活动集和交互集,进行分析,建立一个包含对系统的组织(软件结构、Agent 类和接口)、Agent 类的内部结构及交互的描述的 Agent 模型,建立基于 Agent 的系统以适应具体的应用。其设计过程主要包含以下六个步骤。

步骤 1 根据问题领域的分析,以 Agent 的心智状态为依据,设计不同的 Agent 类。主要涉及以下五个方面:

步骤 1.1 对每一个实体,从分析阶段开始就根据通用 Agent 模板设计、定制 Agent 模型;

步骤 1.2 对每一个类,从它的所有的交互描述中集成相关的信念集和协议集;

步骤 1.3 对每一个类,从它的所有的交互描述和职责中集成承诺集;

步骤 1.4 对每一个类,添加能力集以说明它的所有职责;

步骤 1.5 对第一个类,建立它的所有交互可能用到的语言和本体论。

步骤 2 定义 Agent 交互类(接口、信息结构等)。在任何应用中,选择现有的交互协议集,判定这些交互哪些是静态的,哪些是动态的。如果一个成员需要移动到其他位置进行本地通信才能完成交互,则认为这个交互即是动态交互。

步骤 3 通过聚集用于交互和作战系统描述的术语,构建导弹作战仿真领域的本体模型。

步骤 4 通过综合、聚合 Agent 类确定组织抽象结构以形成更高层次的 Agent 类集。

步骤 5 通过确定合作或协作组织模型来明确行为抽象结构。

步骤 6 构建扩展 Agent 模型,建立关于导弹作战仿真应用的 Agent 系统。

图 2 显示了面向 Agent 设计的方法过程。

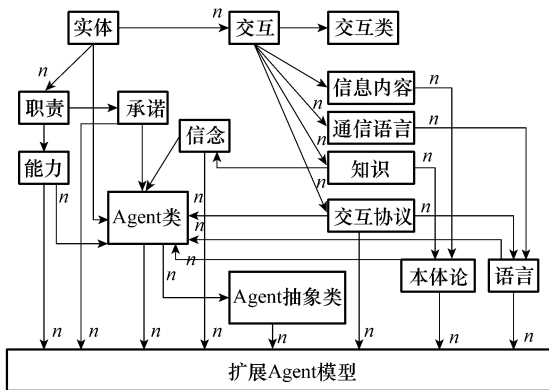


图 2 面向 Agent 设计方法示意图

3 相关工作

近年来,许多方法被广泛应用于面向 Agent 分析建模技术中,例如 DESIRE、GAIA、MaSE、Tropos、PASSI、Prometheus、AUML 等^[6-9],其中比较有影响的方法为 GAIA、MaSE 和 AUML。与此同时,也出现了一些开发环境与工具。美国海军研究生院开发了 GIAgent 仿真工具,利用多 Agent 仿真评估连级分队的组织编制改变引起的战术效应^[10]。Karen 等开发了实时作战模拟所用的 Agent 模型 IHUT,该 Agent 一是模拟人的认知活动,如战场感知、信息处理、态势评估和战场决策等,二是模拟步兵的物理行

为,包括机动、射击等。CRA 公司开发了一个图形 Agent (用于表示人的行为)的开发环境 SAMPLE,已用到美国国防部、NASA 等的一些研究项目中。Sui Qing 提出了基于自适应学习模块的 Agent 建模技术,用以实现双机格斗的 CGF 模型^[11]。

与这些方法不同的是,本文分析过程从问题域开始确定实体、活动和交互。根据交互和活动上下文的描述来建立信念,通过分析 Agent 交互集和职责集来确定其承诺。在实际应用中,不用建立所有行动的活动图,不用创建实例也不用提供一个执行结构。本文提出的面向 Agent 的概念化范例在建模分析和设计阶段的每一步都包含对活动的描述。对实体、活动、交互和 Agent 抽象的分析和解释说明更清晰,因此本文定义的 Agent 集、交互集和抽象集的结构也更易理解。

4 结束语

面向 Agent 的建模方法相对于当前广泛使用的建模方法,其优势体现在 Agent 建模方法具有更高的抽象层次,能够描述作战实体的自主性,实现实体的智能行为建模,使作战过程模型描述更加可信,作战模拟仿真更加逼真。

本文提出一种面向 Agent 的概念化范例对导弹作战系统进行了概念化分析和设计,给出了分析和设计的具体步骤。立足于微观和宏观两个层次,分别建立了通用 Agent 个体模型及扩展的 Agent 体系模型,并给出了相应的描述规范。通过应用面向 Agent 的建模方法,使得我们能够在导弹作战仿真系统建模之初就能对系统中的实体、实体活动、实体间的交互等清楚明了,并且能够反应在概念模型中,为仿真系统建模提供了一套行之有效的概念建模工具。

参考文献:

- [1] 李新强,罗雪山. IDEF0 方法在 C³I 系统中的应用[J]. 军事运筹与系统工程,2001,3(2):29-33.
- [2] 陈磊,王海丽,周伯昭. 基于 UML 的仿真系统分析[J]. 计算机仿真,2001,18(3):28-31.
- [3] 黄健,黄柯棣,邱晓刚. 任务空间概念模型研究[J]. 系统仿真学报,2000,15(2):50-52.
- [4] 柏彦奇. 系统抽象思维与联邦式作战仿真概念模型[J]. 系统工程理论与实践,2001,10(1):88-91.
- [5] 胡晓峰,罗批,司光亚,等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京:国防大学出版社,2005.
- [6] Jennings N R. An agent-based approach for complex software systems[C]//Communication of ACM, 2001:35-41.
- [7] Wooldridge M, Jennings N R, Kinny D. The GAIA methodology for agent-oriented analysis and design [J]. Autonomous Agents Multi-agent System, 2000, 3(3):285-312.
- [8] DeLoach S A, Wood M F, Sparkman C H. Multi-agent systems engineering[J]. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 2001, 11(3):231-258.
- [9] Bauer B, Muller J P, Odell J. Agent UML: a formalism for specifying multi-agent software system[J]. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 2001, 11(3):207-230.
- [10] Wooldbridgem, Jennings N R. Intelligent agents: theory and practice[M]. Knowledge Engineering Review, 1995.
- [11] 刘秀罗. CGF 建模技术及在指挥控制建模中的应用[D]. 长沙:国防科学技术大学,2001.