

面向平行军事系统的领域仿真知识工程研究

邱晓刚, 张鹏

(国防科技大学信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 军事仿真模型是军事知识的一种表达, 作战仿真的主要目的是获得军事问题的新知识, 验证或演示已有的认识。平行军事系统利用计算实验获得新的知识, 再将其扩充到原有知识体系, 并通过多次迭代来认识复杂军事系统, 这对其中的人工军事系统建模提出了挑战。通过研究平行系统演化中军事知识的转化过程, 探索将知识工程与仿真建模相结合的途径。从知识工程的角度, 提出了基于平行军事体系的知识集成、知识表达和知识演化思想, 并讨论了所需研究的关键技术: 军事知识结构及其描述、面向联合作战的本体构建、军事系统的“平行”度量、战场动态演化实验设计等。

关键词: 平行军事系统; 知识工程; 平行战场; 本体建模

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 08-1665-06

DOI:10.16182/j.cnki.joss.2015.08.002

Knowledge Engineering in Simulation of Parallel Military System

Qiu Xiaogang, Zhang Peng

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

Abstract: Military model is the integration and representation of military knowledge. The main task of military simulation is either to verify the exist knowledge or to produce new knowledge about military activities. By computational experiment, it is able to gain new knowledge about the parallel military system, which is able to enrich the origin knowledge system. Combined with parallel system technology, it's possible to study the evolution process of military knowledge, which is able to help us understand the complexity of military system. From the perspective of knowledge engineering, the processes of knowledge integration, representation and evolution were studied, and some key technologies were discussed, including ontology modeling, the measurement of parallel and the design of parallel battlefield.

Keywords: parallel military system; knowledge engineering; parallel battlefield; ontology modeling

引言

作战仿真通过模拟作战的进程和结局来研究作战的一种有效途径。各种层次的战法研究、指战人员训练、武器装备发展战略论证、武器装备编配论证、武器装备的作战效能评估与战技指标论

证,都是在一个逼真的虚拟战场环境中通过对作战过程的仿真来实现。因此,作战仿真是国防领域仿真应用的基础,是研究战争的有效途径,可用于研究战略问题、战役问题和战术问题^[1]。

如何客观、准确地描述真实军事世界事物的特征与本质,一直是建模与仿真所需解决的难题之一。从知识工程的角度来看,作战仿真的主要目的是从描述构成真实军事世界的各个部分的特征与本质出发,获取对军事问题的一些新的认识,完善已有的知识结构,或消除军事实践中的不确定因素,提高决策能力。



收稿日期: 2015-05-15 修回日期: 2015-06-15;
基金项目: 国家自然科学基金(91024030);
作者简介: 邱晓刚(1963-), 男, 江西, 教授, 博导, 研究方向为系统仿真、平行应急管理; 张鹏(1987-), 男, 重庆, 博士生, 研究方向为系统仿真, 知识建模。

http: www.china-simulation.com

• 1665 •

传统作战仿真的建模与仿真实验是分离的,从建模到新认识的形成过程是开环的。信息化时代,由于作战极其复杂,为了透视战争迷雾,需要作战仿真的建模与实验运行实时互动,将形成的认识反馈到建模,再进行实验得到新的认识,构成闭环。为此,我国王飞跃教授提出了平行军事体系(系统)的概念^[2]。

平行军事系统要求人工军事系统能够与实际军事系统平行演化,这是对人工系统建模的巨大挑战:人工系统在实验运行过程中需要动态调整模型来实现与实际系统的平行。解决的基本思路是赋予人工系统学习能力,即知识获取和融合的能力,使之能够进行人机协同或实现自主学习。人工系统的模型实质上是领域知识的描述和表达,因此,人工系统学习的实质是改进其所蕴含的知识。为此,本文以国防领域对平行军事体系研究的迫切需求为背景,从军事领域仿真工程的角度,提出进行面向平行军事体系的领域仿真知识基础工程的研究思路 and 关键技术,针对军事领域仿真与平行系统的特点,探索用于仿真的军事领域知识描述的基本知识单元的构成和描述方法,为未来进一步研究人工系统的学习能力奠定基础。

1 知识工程与仿真建模

领域知识是指某一领域内的概念、概念之间的相互关系以及有关概念的约束集合。知识工程是以知识为处理对象,研究知识系统的知识获取、知识表示、知识应用与创新的科学。领域知识的获取和梳理是领域工程的基础,也是知识工程进行知识表达和知识应用的前提。知识表示是利用计算机能接受并进行处理的符号和方式来表示人类在改造客观世界中所获得的知识。通过知识编码,将原始知识转变成一种具有特定结构的知识,方便交流和传播。知识创新,就是在知识应用过程中不断丰富和完善知识体系的过程^[3]。知识工程的研究已有大量成果,比如:中科院的陆汝钤研究员对知识工程、知识科学进行深入研究;北京科技大学的杨炳儒教

授主要从逻辑的角度对知识工程进行深入研究;浙江大学潘云鹤教授等从形象思维方面入手研究了语义知识与图形图像之间的转换。然而,在仿真建模领域关于知识工程的研究相对较少。

建模仿真领域的知识工程,将研究如何梳理领域仿真所需的知识体系,并使之向模型体系转化,通过仿真执行获得领域的新知识。仿真模型是系统知识的一种表达方式,是对领域知识的抽象和集成,是领域知识的再加工。建模过程是人们认识领域、改造领域的过程,它是一个反复的、逐渐精化的过程。通过梳理领域知识并建立概念模型体系,并将领域知识用成体系的仿真模型来表达,实现领域知识向仿真模型的转化。实质上,仿真过程就是一个知识应用和创新的过程,通过计算实验获得对复杂系统的新知识,丰富我们的知识系统。

2 军事领域仿真工程

在军事领域,随着集成仿真活动的增加,逐步出现了一些仿真对象几乎涵盖整个军事领域的仿真活动。为了提高仿真活动的效率,必然要求对整个军事领域的仿真活动开展进行统一的管理、协调,减少重复的活动。这样一种系统规划整个军事领域的仿真、为整个领域的仿真提供支撑的活动,称为领域仿真活动。

军事领域仿真工程是针对军事领域各种各样的仿真需求,应用系统工程的方法构建可重用、可共享的仿真资源,包括模型、数据、作战规则、平台工具和标准^[4]。它主要研究将军事领域的知识转化为可重用、可共享的仿真模型体系的工程理论与方法。它试图将军事领域中的各种仿真活动作为一个整体进行筹划,通过仿真技术和仿真系统研发及应用单位的有机联合,逐步确立军事领域仿真的标准体系,建设可重用的仿真资源以及可共享的基础实施,高效地支持军事领域中的各种类型的仿真应用。其目标是促进军事领域仿真活动从各部门独立自治的分散活动方式,走向集成协同的全局活动方式,实现军事领域的知识与计算机技术

的高效结合。

联合作战战场范围广阔、作战对象多元、信息流量大。为了提高效费比,要求能采用已有的仿真软件模块来构成新的联合作战仿真系统^[5]。要达到这一目的,必须在开发任一仿真系统时,不孤立地设计与实现其中的模块,而是考虑整个领域的需求,使模块具有可重用性。当前,我军不同的模拟项目往往采用各自的资源、术语和格式来描述现实世界,从而导致开发出的模型和数据不一致,系统之间的互操作性差。因此,必需建立相应的机制以保证各个部门开发的模拟资源经过了权威部门的校核、验证和认可。因此,需要研究军事知识向模型和数据转化的机制和方法,探索作战模拟技术对军事知识(智慧)的集成以及全军协同建设作战模拟资源的机制,支持作战模拟评估系统的研制和应用。

3 平行军事体系

军事平行体系是平行军事系统的集合。平行军事系统由真实军事系统和与其平行运行的人工军事系统构成,用于对实际军事体系进行研究、管理和控制^[6]。平行军事系统技术以构建一个能够反映战场各要素的相互关系以及运行推演的人工战场为基础,以作战仿真计算实验为手段,将计算实验的结果作用于真实战场的一种方法。平行军事体系通过对最新的态势进行超实时仿真分析与评估,使得指挥员能够“看见”未来并迅速理解军事行动的展开,不断匹配、优选、调整和补充未来方案。平行军事体系的应用有助于加快信息优势转为决策优势的速度,从而获得执行优势,应对快速变化的战场。

国外很早就有类似于平行军事体系的研究。为适应信息化条件下作战的转型需求,各个军事强国积极探索适应新形势、新要求的作战新理念和新思路。美军开展了基于动态数据驱动仿真的嵌入式辅助决策系统研究,意欲形成一种战前与战中一体、方案制定与分析评估一体的作战决策支持系统,美国陆海空三军先后制定了将仿真系统嵌入 C4ISR

系统的计划,并开展了相应的工作,其根本理念和模式就是平行控制。

2000 年,美国国防建模与仿真办公室就制定了 ESI (Embedded Simulation Infrastructure)计划,其总目标是建立仿真友好的软件环境,促进 C⁴I 系统中基于仿真的使命应用设计,增强 C⁴I 系统战术的应用能力^[7]。美国空军自 2005 年以来,围绕“实时行动方案分析”相继开展了一系列研究,目的是辅助决策人员在作战级对抗环境下超实时评估己方基于效果的行动方案。系统根据当前最新战场态势,超实时预测未来,以紧耦合对抗方式动态制定行动方案,并对行动方案进行超实时分析与评估,为指挥员提供战役与战术作战级实时决策支持^[8]。2007 年,美国国防高级研究计划局提出“深绿”计划。它强调了指挥员在方案制定过程中的主导作用,是一种人在回路的指挥员驱动方式。系统由“指挥员伴侣”人机接口系统、“闪电战”仿真系统和“魔球”控制系统组成^[7]。

我国于 2012 年 6 月在北京召开了第 428 次香山科学会议,主题是“ACP 方法与平行军事体系(SoPMS)”。会议围绕平行军事系统、平行系统技术、装备体系与平行计算等中心议题进行了讨论和交流,并对多类平行军事体系的应用前景进行了探讨。自此之后,平行军事体系的思想得到广泛关注^[2]。将战场态势信息和相关作战信息实时注入人工军事系统,形成基于仿真的计算实验,“生长培育”各种可能的未来现实,然后基于各种可能,分析和评估行动方案,通过平行执行,进一步实现无预案条件下行动方案的快速动态制定,从而实现动态控制,这正是平行系统技术的核心。

4 关键技术

为了实现对复杂军事系统的动态过程平行控制,需要构建一个能够与真实军事系统和战争过程平行演化的人工战场。一方面,它应该达到与平行控制目标相一致的完备程度;另一方面,它必须与真实战场环境具有空间上的对应关系。为此,需要

从平行军事系统构建对军事知识的需求分析出发,研究军事知识到仿真模型的变换过程,提炼面向军事领域仿真的军事知识双层结构模型。同时,从作战实体的角度归纳知识单元类别,研究它们的描述方法和相互关系,为平行军事系统的基本运行框架构建、平行战场控制方法研究奠定基础。因此,拟解决的关键技术包括:

4.1 军事领域仿真的军事知识结构及其描述技术

军事领域仿真的知识存在于意识空间和仿真空间。因此,可将其划分为两类相互独立又相互关联的模型,即概念模型和仿真模型。模型是知识的一种表现形态,为此,需要首先研究军事领域仿真的军事知识结构及其描述方式。基于复杂军事系统自身的运行与进化,以及人类认识的不断深入与完善,概念模型不仅需要表现出复杂军事系统的本质,同时也应该是可以进行迭代和细化的。与此相对应,仿真模型必须既能够包含系统知识,也能灵活地响应系统模型的迭代和细化。在传统仿真中,该工作一般以人工离线方式实现。在平行系统演化过程中,需要实现两类模型动态的自动演化。

在军事领域仿真中,需要研究概念模型(面向军事领域人员)和仿真模型(面向仿真实现)这两个层次的模型。在此基础上,研究两层军事知识体系各自的特点和描述方式,并重点研究其相互的映射关系;研究构建与现实军事系统相对应的、有效和高效的人工军事系统的方法(有效是指人工军事系统能够充分、自然地展示现实系统所关心的要素,并形成与仿真空间相应的计算模型和要素。高效是指能够在受限的计算时间和空间约束下实现人工系统的演化);研究两层模型体系的元模型类别及描述方法,重点研究指挥决策知识的模型化方法;研究构建虚实战场平行交互的过程与协议;研究人工战场结构的动态调整方法的基础。

4.2 面向联合作战的本体建模技术

构建军事概念模型的目的就是要为仿真建模提供权威、正确和规范的领域知识描述。基于本体的军事概念建模方法着眼于将来发展的语义网,使之具有在语义环境中运行的能力,增强模型的语义互操作能力,使模型具有语义功能^[8]。

通常,利用本体技术来进行领域梳理和概念建模。本体论方法把领域知识分解成一组知识单元,以及它们之间的关系。它们共同构成了该领域的本体,表达了给定领域通用的观点。本体既可以用来描述简单的事实,又可以用来描述信念、假设、预测等抽象的概念;既可以描述静态的实体,又可以描述与时间推移相关的概念,如事件、活动、过程等。本体可以定义通用的、适合所有领域知识表示的术语,如空间、时间、部分等;也可以定义特定领域知识才使用的术语,如编制、装备类型等^[9]。

目前,利用本体进行军事概念建模的研究刚刚开始,还没有产生可以实际应用成果。在前期的研究中,利用本体来描述联合作战模拟案例,取得了一定的效果。案例本体描述框架分为三个层次:领域层、概念层、属性层。领域层主要指的是作战模拟实验案例本体;概念层主要描述作战领域的特定概念,一般参照相关的军事标准、专业书籍和专家知识等;属性层主要是对概念层特征、概念的归纳和简化。本体描述增进了领域人员的共同理解,提高了作战案例的检索和推理能力,实现了对军事知识重用。但是,当前的军事概念建模还应从以下几方面开展进一步研究。主要包括:本体建模框架的设计和优化、领域本体的抽象和提炼、本体的一致性检查、本体的相似度匹配、本体的验证和校验、以及本体的扩展和进化。

4.3 平行军事系统协同演化中静态和动态军事知识集成技术

平行军事体系是一组平行军事系统的集合。作战过程中,通过捕获战场数据,平行系统的人工军事系统从指挥控制系统获取实时信息,更新人工军

事系统中的战场态势和最新作战目标,基于最新态势和目标进行超实时仿真分析与评估,使得指挥员能够“透视”未来并迅速理解即将开展的军事行动,不断匹配、优选、调整和补充未来方案,而不是在形势迫使其改变计划时被动生成行动方案。掌握人工军事系统随态势变化进行模型的动态调度与控制的方法是实现这一意图的基础。

为此,需要研究平行军事系统协同演化中以仿真模型形态表现的静态和动态军事知识集成技术。其中,静态知识主要指的是形态比较固定,并且在建模仿真过程中一般不会变化的知识,比如模型配置、接口规范等。相反,动态知识主要指形态不固定,而且处于动态更新中的知识,比如实验数据、动态参数、实时注入数据等。平行军事系统需要同时集成两种知识,并综合产生新的知识。

因此,需要研究的内容包括:基于计算机仿真的特点,研究作战仿真中可模型化知识与不可模型化知识的判别方法;在传统仿真相似性的基础上,研究平行军事系统协同演化机理;研究平行军事系统协同演化中静态和动态军事知识集成的机理,用于指导平行战场实时数据的采集和模型的动态调度与控制。

4.4 面向军事领域仿真的军事知识变换技术

模型是领域知识的一种表现形式,通过仿真获得关于领域的新知识。一方面它由对大量知识的系统综合加工获得,另一方面它可以有目的地产生新的知识。概念模型是仿真模型的基础,是人可理解的模型,但直接基于概念模型进行仿真实现面临很多问题。通俗的理解,仿真模型可以认为是概念模型加上仿真实现。实际上,从概念模型到仿真模型这一过程也是知识变换的过程。针对不同的应用需求和仿真平台,同一概念模型可能有不同的仿真实现。因此,从概念模型到仿真模型的转换是相当复杂的,还需要解决很多技术问题,比如模型变换和代码生成。

对于联合作战仿真,它是集成各军兵种、各个军事专业领域的知识来生产新的军事知识的过程。对联合作战平行军事系统的人工战场,还需要集成来自真实战场采集的动态数据。以联合作战临机辅助决策仿真为背景,系统深入地研究平行系统演化中的知识转化过程,建立基于军事平行系统的军事知识螺旋演化模型,可以实现仿真过程的知识转换和双向溯源(过程可追溯、结果可解释)。

4.5 平行战场动态演化实验系统设计技术

平行战场一般是由一个实际战场和若干个人工战场组成的平行系统^[10]。通常,平行战场动态演化实验系统设计需要解决以下几方面的问题:

(1) 平行战场的构建问题。从研究的角度,平行战场也可以由两个人工战场组成。在实验研究中,可以用一种仿真平台来虚拟一个实际战场,然后基于前面的研究成果再构建一个具有知识获取能力的人工战场,将这两个战场组成平行战场动态演化实验系统,设计各种方案进行计算实验,通过观察系统的演化,并动态调整人工战场的模型。

(2) 平行动态战场的“平行”度量问题。平行系统动态演化过程的“平行”度量是平行系统技术应用的一个核心问题,它是检验知识集成水平和模型描述方法优劣的基础。因此,首先需要根据研究的问题来定义“平行”的指标。理论上,两个战场不可能完全一样,实现真正的“平行”。但是,只要两个“战场”呈现出来的关键特征一致,不影响对问题的分析,就可以认为它们近似“平行”。

(3) 平行战场的使用问题。当战事发生后,人工战场将立即转入战时状态,基于对不同作战阶段的感知信息进行实时收集、整理、分析与聚融,对人工战场不断进行信息同化,实现真实战场与人工战场的协同演化,利用人工社会平行仿真中的时间调节功能,“透视”未来一段时间的战场演变情况,以此来指导决策者对作战行动的管理与控制。

(下转第 1679 页)

- [21] Falck T, Dreesen P, Brabanter D K, Pelckmans K, Moor D B, Suykens J A.K. Least-squares support vector machines for the identification of Wiener-Hammerstein systems. *Control Engineering Practice* (S0967-0661), 2012, 20(11): 1165-1174.
- [22] Bai E W. An optimal two-stage Identification algorithm for Hammerstein-Wiener nonlinear systems [J]. *Automatica* (S0005-1098), 1998, 34(3): 333-338.
- [23] Dolanc G, Strmnik S. Identification of nonlinear systems using a piecewise-linear Hammerstein model. *Systems & Control Letters* (S0167-6911), 2005, 54(2): 145-158.
- [24] Salimifard M, Jafari M, Dehghani M. Identification of nonlinear MIMO block-oriented systems with moving average noises using gradient based and least squares based iterative algorithms. *Neurocomputing* (S0925-2312), 2012, 94: 22-31.
- [25] Chen X, Fang H T. Recursive identification for Hammerstein systems with state-space model. *Acta Automatica Sinica* (S1874-1029), 2010, 36(10): 1460-1467.
- [26] Lee G, Barlow J L. Two projection methods for regularized total least squares approximation. *Linear Algebra and its Applications* (S0024-3795), 2014, 461: 18-41.
- [27] Markovsky I, Huffel V S. Overview of total least-squares methods. *Signal Processing* (S0165-1684), 2007, 87(10): 2283-2302.
- [28] Olsson J, Rydén T. Asymptotic properties of particle filter-based maximum likelihood estimators for state space models. *Stochastic Processes and their Applications* (S0304-4149), 2008, 118(4): 649-680.
- [29] Fujisawa H. Asymptotic properties of conditional maximum likelihood estimator in a certain exponential model. *Journal of Multivariate Analysis* (S0047-259X), 2003, 86(1): 126-142.
- [30] Bibi A, Ghezal A. Consistency of quasi-maximum likelihood estimator for Markov-switching bilinear time series models. *Statistics & Probability Letters* (S0167-7152), 2015, 100: 192-202.

(上接第 1669 页)

5 结论

本文从知识工程的角度,研究了面向平行军事体系的知识表达、知识集成和知识演化。通过分析平行军事体系中的知识结构,提出利用本体技术来进行军事知识的描述和建模,探讨平行系统协同演化过程中静态知识和动态知识的集成方法,梳理构建平行军事体系涉及的关键技术。

论文对平行军事体系的构建提出了初步的构想,并重点分析了平行军事系统协同演化中的知识集成和演化,具有一定理论和实际意义。但是,平行军事体系的构建还有很多工作需要加强和完善。从军事知识的整理和利用的角度,可在军事领域本体的构建、静态知识和动态知识的集成、知识向仿真模型的转化、以及军事知识的螺旋进化等方面开展工作。

参考文献:

- [1] 黄柯棣, 邱晓刚. 建模与仿真技术[J]. 国防科学技术

大学出版社, 2010(4): 1-2.

- [2] 邱晓刚, 张志雄. 通过计算透视战争——平行军事体系[J]. 国防科技, 2013. 03.
- [3] 李潭, 李伯虎. 面向复杂定性系统的知识建模及联合仿真方法研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(6): 1256-1260.
- [4] 邱晓刚. 军事领域仿真工程仿真在联合作战研究中应用的途径[J]. 军事运筹与系统工程, 2008, 22(3): 23-27.
- [5] 任彦. 网络中心战条件下 C2 组织的知识服务建模方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006, 9.
- [6] Fei-YueWang, Shuming Tang. Artificial Societies for Integrated and Sustainable Development of Metropolitan Systems[C]. *IEEE Intelligent Systems*, 2004, 19(4): 82-87.
- [7] 岳秀清, 张磊, 别晓风. 外军指挥控制建模研究现状及启示[J]. 军事运筹与系统工程, 2009, 23(1): 70-74.
- [8] 陈欣, 蓝国兴, 何焱, 等. 美军建模仿真对象模型体系框架研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2008.
- [9] 彭勇, 黄健, 黄柯棣. 基于 BOM 本体的概念模型语义研究[J]. 系统仿真技术, 2010, 6(2): 147-153.
- [10] 胡晓峰, 杨镜宇, 司光亚, 等. 战争复杂系统的仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008: 184-204.