

8-20-2020

Application of Domain Knowledge Representation in Simulation Tutoring for Weapon Utilization

Zhang Chi

1. Troop 66459, Beijing 102202, China;;2. College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Danhua Peng

2. College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Kedi Huang

2. College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Application of Domain Knowledge Representation in Simulation Tutoring for Weapon Utilization

Abstract

Abstract: According to the requirements and characteristics of the simulation tutoring system for weapon utilization, a knowledge base depending on the domain ontology was designed. The knowledge for weapon utilization, the knowledge representation, and the method of knowledge representation were introduced. Through a combination of the ontology technology and various existing models, the key points of using specific weapon could be mastered by processing the data, information, and experience from expert. The conceptual model of knowledge was built. A knowledge base for weapon utilization was designed and implemented. The structure and function of the simulation tutoring system and rule-based expert subsystem were introduced. It is proved that the designed knowledge base can be well applied to the system.

Keywords

simulation tutoring system, knowledge representation, conceptual model, weapon utilization, ontology

Recommended Citation

Zhang Chi, Peng Danhua, Huang Kedi. Application of Domain Knowledge Representation in Simulation Tutoring for Weapon Utilization[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 706-714.

武器装备运用知识表示方法及其仿真教学应用

张弛^{1,2}, 彭丹华², 黄柯棣²

(1. 66459 部队, 北京 102202; 2. 国防科学技术大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘要: 根据武器装备运用仿真教学系统的需求和特点, 设计了基于领域本体的知识库为教学系统的知识表示提供支持。对武器装备运用领域的知识、知识表示和知识表示的方法进行了概要叙述和归纳分析。结合本体技术, 参考现有的多种概念模型, 根据领域专家提供的武器装备运用的数据、信息和经验, 提取了武器装备运用的核心知识要点, 构建了武器装备运用的领域知识模型, 设计并实现了关于武器装备运用的知识库。介绍了仿真教学系统的功能、结构和武器装备体系运用规则专家系统模块, 证明了所设计的知识库可以较好的应用于仿真教学系统。

关键词: 仿真教学系统; 知识表示; 概念模型; 武器装备运用; 本体

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 04-0706-10

Application of Domain Knowledge Representation in Simulation Tutoring for Weapon Utilization

Zhang Chi^{1,2}, Peng Danhua², Huang Kedi²

(1. Troop 66459, Beijing 102202, China;

2. College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: According to the requirements and characteristics of the simulation tutoring system for weapon utilization, a knowledge base depending on the domain ontology was designed. The knowledge for weapon utilization, the knowledge representation, and the method of knowledge representation were introduced. Through a combination of the ontology technology and various existing models, the key points of using specific weapon could be mastered by processing the date, information, and experience from expert. The conceptual model of knowledge was built. A knowledge base for weapon utilization was designed and implemented. The structure and function of the simulation tutoring system and rule-based expert subsystem were introduced. It is proved that the designed knowledge base can be well applied to the system.

Keywords: simulation tutoring system; knowledge representation; conceptual model; weapon utilization; ontology

引言

信息化战争条件下, 战场态势的复杂性和不确定性正在以指数模式增长, 这对指挥员合理运用武器装备的能力提出了更高的新要求。获取武

器装备运用知识的传统方法具有较大缺陷, 大部分指挥员只能通过日常训练来积累自身兵种的运用规律, 却很难接触和了解其他军兵种武器装备的运用规律, 还达不到指挥联合作战的要求。对于中高级指挥员的培训, 目前广泛应用的也只有由教员讲授武器装备的数据性能和观看视频等简单的授课方式, 效果不够明显。

武器装备运用仿真教学系统将存储于领域专家头脑中的知识、经验加以总结, 通过构建领域本体对武器装备运用的知识进行了规范明确的形



收稿日期: 2014-11-22 修回日期: 2015-02-10;
基金项目: 国家自然科学基金项目(61374185);
作者简介: 张弛(1988-), 男, 北京海淀, 硕士生, 研究方向为概念建模与应用; 彭丹华(1988-), 女, 湖南衡阳, 博士生, 研究方向为系统仿真; 黄柯棣(1940-), 男, 湖南长沙, 教授, 博导, 研究方向为系统仿真、虚拟现实、控制理论与控制工程。

<http://www.china-simulation.com>

式化表示, 模拟武器装备运用场景, 对武器装备体系运用全程进行仿真^[1]。指挥员可通过完成教员下达的武器装备运用作业任务, 熟悉武器装备体系的性能, 掌握在信息化条件下武器装备体系运用规律。本文对该系统设计中的关键技术——武器装备运用知识的表示方法进行了研究: 基于本体技术, 综合多种概念模型来提取武器装备运用的核心知识要点, 从而构建了一种武器装备运用的领域知识模型。在此基础上, 设计了武器装备体系运用知识库, 并成功用于了系统的研制。

1 武器装备运用领域知识概述

武器装备运用领域知识是是关于武器装备运用范畴内一切知识的总称, 包括武器装备的概念、理论、参数、环境、态势、操作流程、运用规则、战斗进程和条令教范等知识, 具有较强复杂性和不确定性。武器装备运用领域知识是研发武器装备体系运用仿真教学系统的基础。按照知识在武器装备运用领域中的作用, 一般将其分为如下 3 类^[2]。

(1) 描述性知识

关于武器装备的特征属性和关系的描述, 既有

对于单一属性的描述, 又有属性之间的相互关系。

(2) 判断性知识

使用武器装备的决策谋略之间的因果关联, 用于相关问题的求解知识, 目标的规则推理、任务的规划分解以及协同控制。

(3) 过程性知识

关于武器装备体系的操作步骤和作战行动过程, 技能和能力的知识描述。

知识表示就是将人类知识形式化或者模型化, 其实质是能够表示知识的数据结构, 使知识能在计算机中有效地存储、检索、使用、推理和改进。知识表示的方法是指把知识客体中的知识因子和知识关联表示出来, 以便人们识别和理解知识的方法^[3]。目前的知识表示方法主要有谓词逻辑表示方法、产生式规则表示方法、描述逻辑表示方法、主题词标引法^[4]、框架表示方法、语义网络表示方法、基于模糊集表示方法、面向对象和本体等方法^[5]。总体而言, 专业领域的不同, 知识表示的方法就有所不同, 并影响着具体表示效果^[6]。上述知识表示基本方法间比较如表 1 所示^[7], 由表可见上述知识表示方法都有一定的针对性和局限性, 最大的缺陷还是在于规范化和共享化。

表 1 各种知识基本表示方法对照

名称	优点	缺点
产生式表示法	自然、灵活、模块性好、通用性强	效率低、解释不灵敏、表达能力不强
语义网络表示法	直接、自然, 体现联想思维的过程	不能保证推论的有效性和严格性, 不便于表达判断深层知识
框架表示法	由浅入深表达事物细节、有特性继承性	不易适应新情况, 对多重继承可能产生多义性
谓词逻辑表示法	简单、精确、灵活、模块性好, 推理严格、完备、通用	难以用于启发性知识, 推理容易出现组合爆炸, 效率低
面向对象表示法	结构模型, 封装知识对象, 便于知识库的维护、修正	表示方式过于抽象
基于粗糙集表示法	描述了不确定性知识	难以合理定义模糊边界
本体表示法	简洁、明确、可理解、可扩充, 有利于知识的扩充重用	

基于本体的知识表示是当前研究的热点。采用本体技术作为研究形式化描述武器装备运用领域的实体、属性、过程及其相互关系的基础。本体技术为知识库的构建提供一个基本结构, 表示现实世界中的知识和常识, 提高知识搜索、知识重用、知识共享和知识推理的效率。对于教学仿

真类的智能系统, 知识表示的能力直接地影响到系统的知识获取能力和推理效率。指挥员、领域专家和仿真教学系统相互之间需要进行知识的交互, 但由于认识问题的深度、知识水平、考虑问题的着眼点、处理问题方式等因素的不同, 使得对于同一事物存在有不同的理解和认识, 结果出

现一系列不同的、可能重复定义而又不一致的概念、结构和方法。解决问题的根本方法就是实现知识表示的一致性和完备性。本文中建立的武器装备运用领域知识框架模型就是以本体理论和方法为基础的。

在现有的军事领域本体研究方面,有规范战场信息分类和表示方法的 JC3IEDM(Joint C3 Information Exchange Data Model)^[8],形式化表示战场态势的 STO(Situation Theory Ontology)^[9]和 CONON(CONtext Ontology)^[10],核心体系结构数据模型(CADM)^[11]以及实质是军事知识基础设施的 HPKB(High Performance Knowledge Base)^[12]等应用,各具优点。其中 JC3IEDM 是北约建立的战场指挥控制信息交换数据模型,用于解决指挥信息系统由于表示方式和数据结构异同而导致的互联和信息共享问题^[13]。

2 武器装备运用领域知识模型

领域知识模型的构建是知识表示中的一项基本任务。当前还没有专门用于表示武器装备运用的概念、理论、参数、态势等知识的本体。本文采用混合本体构建方法(MOBM: Mixed Ontology Building Methodology),以军事主题词表为基准对选词进行规范化处理,参考 EBI 框架^[14]、JC3IEDM 模型和 SUMO 本体^[15],对武器装备运用领域本体构建进行标准化处理,最后进行综合集成和检验,共分为 6 部分。基于混合本体构建方法的武器装备运用领域知识构建步骤如图 1 所示,具体方法见下。

2.1 确定领域基础层次

构造本体知识库前,要明确本体针对的领域、用途和用户。由于各领域专家的知识背景不同,对同一概念的认识视角、理解程度也大相径庭。如何避免对知识选择的主观性,也成为领域知识研究的一大难点。由于仿真系统的相似性原理,可采用逆向思维,以目前广泛应用的军事仿

真系统的建模框架为基础,从实践的角度对相关知识进行深入研究,从中抽象出武器装备运用领域中各种概念以及概念间的关系,以此客观的得到武器装备运用领域知识表示的组成结构,为构建武器装备运用领域本体奠定基础。如前所述,本文在 EBI 建模框架的基础上^[16],结合 JC3IEDM 模型进行改进,以对象、行为、态势和交互^[17]作为武器装备运用领域概念元模型,即 $M ::= \{O, B, S, I\}$ 。

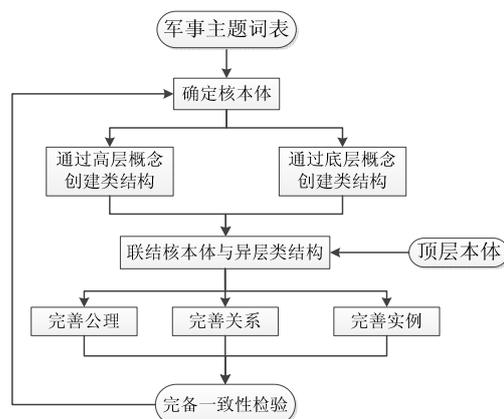


图 1 MOB M 构建步骤图

概念元模型中对象是首要。人员与组织等对象的行为和交互导致对象间相互作用和对象状态的变化,推动整个战场态势随时间推移而不断变化。对象由属性加以表示,属性的表征量称为状态变量,系统内所有对象的状态构成了系统的状态。行为是实体对于环境状态所表现出来的任何变化,实体的行为分为动作、任务、过程、规则和战例。而对象间在某种条件和需求下发生的相互作用称为交互,包含有物理、信息和认知域的交互^[18],态势是用对象的具体情况表示战场的过去、现在和将来的形势。

2.1.1 对象表示

将对象定义为战场中的相关对象及它们的内在属性,对象可表示为:

$$\langle \text{Object} \rangle ::= \langle \text{Attribute-Obj} \rangle \langle \text{Relation-Obj} \rangle \langle \text{Quantity-Obj} \rangle$$

本文将对象分为单元体、聚合体和环境对象三类。单元体是在武器装备运用领域中需要进行知识表示的单个对象。单元对象一般为建模时确定的最小分辨率对象。聚合体是由多个相同或不同的单元体组合而成, 能完成一定任务的对象, 通常是成建制的部队。环境对象是表示对单元体或聚合体活动产生影响的自然、战场和战略环境。对象属性是对象的特征表示, 是对象所拥有全部特征的子集, 用概念、特征参数或变量表示。对象关系是两个对象之间的联系。在知识表示过程中, 借助关系分析可以明确武器装备运用领域中各对象间的类别、组成和相互关系。

2.1.2 行为表示

行为是对象对于环境状态所表现出来的任何变化。在武器装备运用领域, 对象的行为分为行为、任务、过程、规则和战例表示。行为可表示为:

$\langle \text{Behavior} \rangle ::= \langle \text{Explanation} \rangle [\langle \text{State} \rangle] [\langle \text{Condition} \rangle] [\langle \text{Preceding-Beh} \rangle] [\langle \text{Succeeding-Beh} \rangle] [\langle \text{Object-Beh} \rangle]$

其中, Explanation 表示含义, State 表示行为状态, Condition 表示行为条件, Preceding-Beh 表示前一项行为, Succeeding-Beh 表示后一项行为, Object-Beh 表示适用对象。行为的表示对象具体的行为能力, 必须把行为基本的军事意图、行为属性和制约因素 3 方面的内容明确形式化表示。

2.1.3 交互表示

交互是由主动对象产生并作用于被动对象的具

有特定含义和相互关联的影响。交互可表示为:

$\langle \text{Interaction} \rangle ::= \langle \text{Active-Obj} \rangle \langle \text{Content-Int} \rangle \langle \text{Passivity-Obj} \rangle [\langle \text{Priority-Int} \rangle]$

其中 Interaction 表示交互, Active-Obj 表示主动对象, Content-Int 表示交互内容, Passivity-Obj 表示被动对象, Priority-Int 表示交互优先级。在武器装备运用领域, 每一个对象与对象之间的行动最终都会转化为物理、信息和认知三大领域的相互作用。

2.1.4 态势表示

$\langle \text{Situation} \rangle ::= \langle \text{Explanation} \rangle \langle \text{Location} \rangle [\langle \text{Address} \rangle] [\langle \text{Affiliation} \rangle] [\langle \text{Capability} \rangle] [\langle \text{Relative Coordinate System} \rangle] [\langle \text{Vertical Distance} \rangle]$

其中 Situation 表示态势, Explanation 表示态势含义, Location 表示态势位置, Address 表示态势发生的具体地址, Affiliation 表示态势中的从属关系, Capability 态势中所包含的能力信息, Relative Coordinate System 和 Vertical Distance 表示态势中的相对坐标和垂直距离。

2.2 结合现有本体

聚焦于知识的共享和重用是构建本体的目的。为缩短构建周期, 减少工作量以及有效实现与现有信息系统交互, 应充分利用结合现有本体。本文结合 JC3IEDM 的相关结构, 选取独立实体作为武器装备运用领域知识概念模型基础, 与元概念模型间关系如图 2 所示。

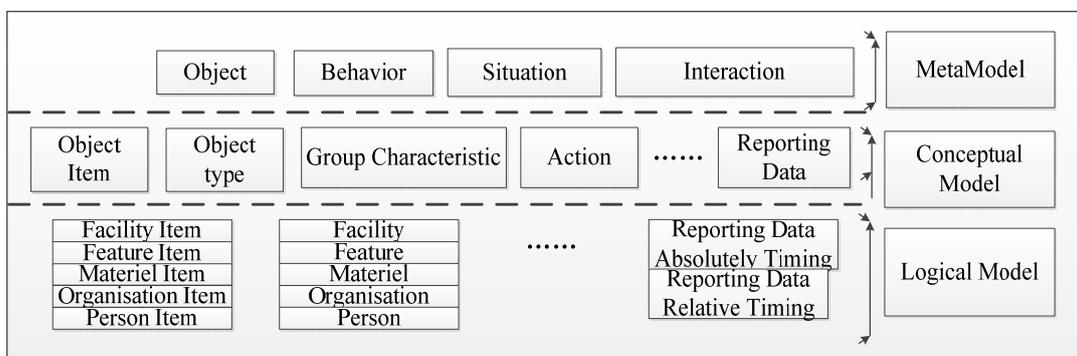


图 2 武器装备运用领域概念结构

<http://www.china-simulation.com>

2.3 确定核本体

通过搜集整理领域核心术语得到领域核心事物、属性及其相互关系，可以此创建核本体。本文以军事主题词表为基础，进行术语收集整理，确定重要概念和关系，据此建立武器装备运用领域的核本体。军事主题词表包括武器装备运用领域中相对比较完整的主题词，这些术语都经过领域专家多年的有序组织，可为武器装备运用领域本体中概念的创建提供指导，可节省大量的时间精力，并确保概念方面的完整性。

2.4 概念体系的构建

本文采用的混合本体构建方法是由核心术语提取出核本体，并结合 SUMO 顶层本体进行概念体系的标准化处理。即以核本体为基础构建概念体系的中间层，再分别采用向上和向下的方法得到高层和底层概念。其中高层概念偏重于哲学方面的知识表示，底层概念偏重于具体细节的知识表示。这种方法的优点是能够有效把握概念体系的构建方向，避免始终由自底向上和自顶向下而导致的构建偏差。关于核本体 Information 的结构示意如图 3 所示^[19]。

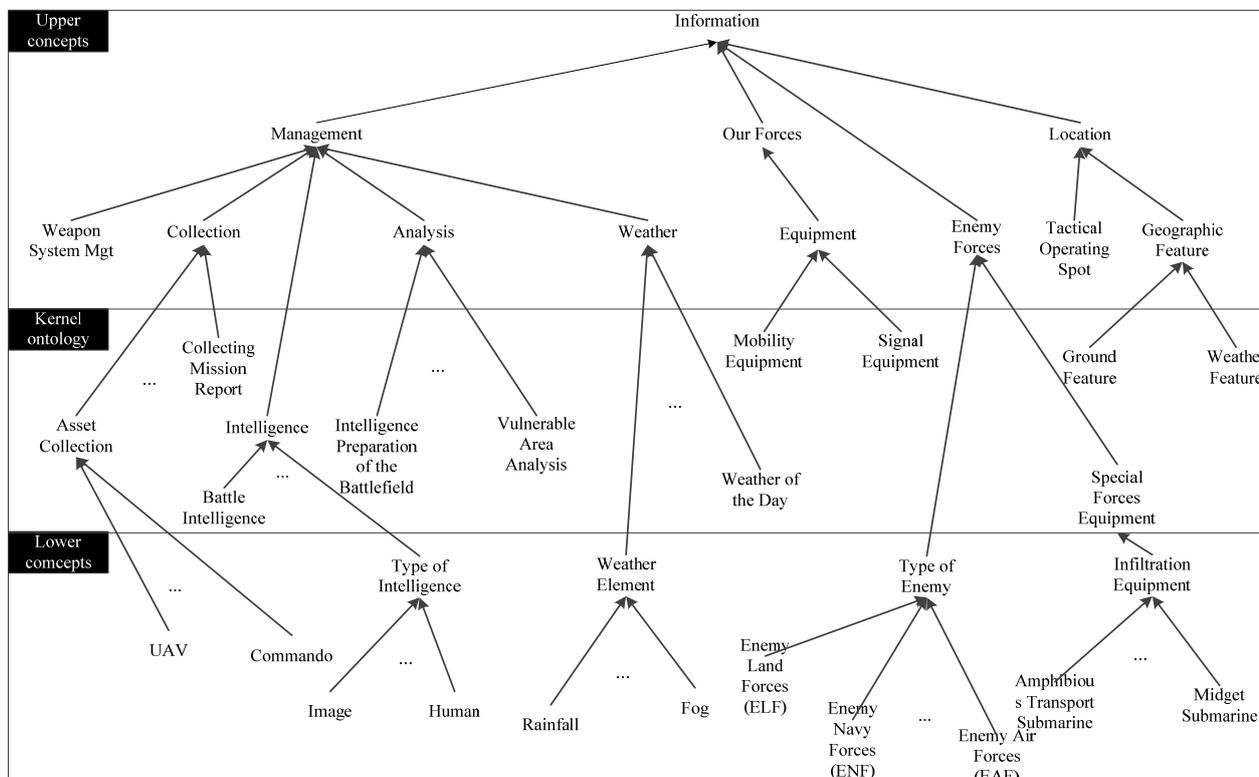


图 3 核本体 Information 的结构示意图

2.5 完善公理—关系—实例

完善领域本体的关系、公理属性的限定和创建实例。由于领域本体在逻辑知识的统一表示规范和关系知识表示的定义方面往往还不够完善，不利于知识的共享和推理决策。因此完善公理、关系和实例的过程主要是参照所联结的顶层本体

的关系和公理的规范定义，为相关领域本体提供符合知识完备一致性的构建依据。本文结合 SUMO 顶层本体中现有关系和公理的定义，对领域本体的关系进行抽象化处理，从而形成符合一致性的关系层次体系。对于在顶层本体已定义的相应概念，可直接通过同义关系相连。否则就需要构建中间层概念或直接以实例关系连接。

2.6 本体评价

本体构造是一个由概念到具体的过程, 要不断地对本体进行评价和修改, 直到符合要求为止。进行知识的完备和一致性检验, 并制定本体评价标准, 对所建本体的概念体系及逻辑结构进行评价, 可由领域专家从专业角度进行审核和评价。

3 武器装备体系运用知识库设计

知识库是存储知识的机构, 用于存储领域内的原理性知识、专家的经验知识、以及有关事实。知识库不仅是经过收集和整理的人类知识和经验的集合, 同时还能为推理机提供求解问题所需的知识, 是推理引擎进行推理的依据, 与推理的策略和效率密切相关。

3.1 武器装备体系运用知识的提取

根据实际作战和教学要求, 领域专家及武器装备体系运用教学人员提供的信息, 设置多个环节对指挥员进行武器装备运用知识的考察, 引导指挥员运用多种武器装备。在第一节领域知识分类的基础上, 本文将武器装备体系运用领域知识具体分为以下 6 类。

(1) 目标匹配知识: 地面雷达站、机场跑道

等不同的目标具有不同的特性。在装备运用阶段须根据目标的不同特性选择相应的打击武器。

(2) 性能约束知识: 装备的性能参数体现了装备的固有能力和约束了装备运用的条件, 包括卫星的侦察精度、飞机的巡航半径、导弹的打击精度等。

(3) 环境匹配知识: 装备运用应考虑的时间条件(如卫星过顶时间)、气象条件、天候条件、地形条件、复杂电磁环境等的限制。

(4) 装备配合知识: 该类知识描述装备之间静态的配属和协同关系, 例如装备和弹药之间的匹配、装备之间的配合关系等。

(5) 体系运用知识: 该类知识和装备体系运用的流程相关, 从体系的角度描述装备之间的动态约束关系, 如装备之间的运用顺序、装备的联合运用等。

(6) 评估分析知识: 该类知识供评估优化模块使用, 描述方案评估和优化的基本原则。

3.2 武器装备体系运用知识的表示

通过对知识的整理及提取可以发现, 武器装备体系运用知识的内容是基于目标和装备的属性以及环境的状态, 如图 4 所示。

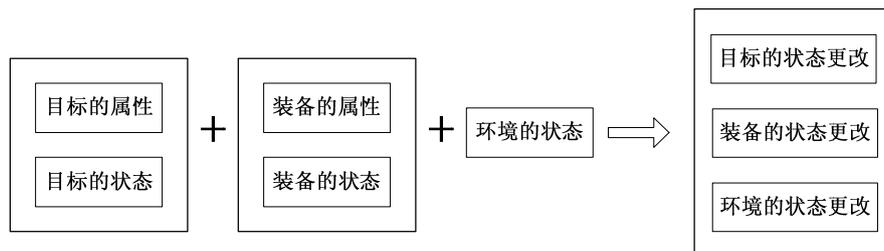


图 4 武器装备体系运用知识的组成内容

分析武器装备运用过程的各个阶段可以发现: 每个作战阶段都有其自身显著的作战特点。在不同的环境条件下, 如天气、时间, 对于不同的目标及目标的不同状态, 运用不同的装备, 可产生不同效果, 这种效果主要体现在目标状态的变化、装备状态的变化以及环境的变化上。因此

要能够在不同的作战阶段根据装备运用情况, 对指挥员运用装备结果进行评估。如在侦察监视环节, 可依据卫星类型的选取、过顶时间、目标上空的天候因素来判断装备运用的正确性; 在指挥控制环节, 根据装备之间信息链路链接的正确性进行评判; 在信息对抗环节, 根据装备对敌方的

雷达、网络以及卫星等信息装备进行压制、打击、摧毁的效果进行评估；在精确打击环节，可利用战区天气和天候条件、装备的打击效果及装备可用数量对装备、装备所需支援保障的影响情况进行评判。

武器装备体系运用教学仿真系统的基础是关于武器装备性能属性等静态信息以及运用顺序、搭配方案、组合方法等动态信息的综合表示，而本文所提取出的体系运用知识表示方法正是对这些信息的规范化描述，即根据武器装备体系运用教学仿真系统的特点和需求，指挥员可进行的操作信息为目标、装备、环境要素的组合，且装备为必须包含的内容。通常可以表示为四元组如下：

<武器装备运用知识>::=<装备>[<目标>][<弹药>][<环境要素>]

此外由于本论文涉及到的装备类别已确定，且即使是同一类装备所要求的武器装备运用知识都存在差异，故本文选择通过构建武器装备体系运用知识库来进行设计。知识库中存储武器的性能参数、匹配目标、配合装备以及所需支援保障等方面的领域知识，和指挥员的输入信息共同作为事实提供给规则推理引擎。在提取领域知识后，知识库构建的下一步是将本论文所有涉及的装备按照类型进行分类，具体包括陆军、海军、空军、卫星以及弹药等武器装备。在此基础上，针对每个装备库中各个装备，将与其相关的所有运用规则知识加入到库中并与之对应，由此构成了相应的装备规则知识库，而系统的知识库是由所有的装备规则知识库的综合集成，如图 5 所示。



图 5 武器装备性能知识库

武器装备运用知识规则形式化表示以 SUMO 本体语言为基础，示例如下所示，即假设某侦察监视环节的目标匹配知识为：雷达成像卫星或者光学卫星都能侦察发电厂，但是光学卫星只能在白天和天气良好的条件下使用。其中，卫星类型、侦察时间和发电厂目标都是指挥员操作时的输入信息，作为事实去匹配相应的装备运用知识规则，如果匹配成功，则将对应的发电厂发现标志置为真值^[20]。此外还可在此条装备运用知识中包含更多的约束条件，例如装备配合的影响以及目标侦察效果等。

```
//Rule of a radar satellite
(forall (?RADARSATELLITE)
(=>
(and
(instance ?RADARSATELLITE RadarSatellite)
(TargetFn ?POWERPLANT)
(attribute ?POWERPLANTDETECTED
PowerPlantDetected))
(true ?PowerPlantDetected True)))

//Rule of an optical satellite
(forall (?OPTICALSATELLITE)
```

```

(=>
(and
(instance ?OPTICALSATELLITE OpticalSatellite)
(DaytimeFn ?DETECTTIME)
(WeatherAllowedFn ?TARGETAREA)
(TargetFn ?POWERPLANT)
(attribute
?POWERPLANTDETECTED
PowerPlantDetected))
(true ?PowerPlantDetected True)))

```

4 在教学仿真系统中的应用

4.1 功能介绍

本文设计的武器装备体系运用仿真教学系统是为了辅助武器装备体系运用的教学,其核心是武器装备体系运用知识的表示。本系统首先可由教员设置诸如目标、武器、弹药、设施和天候等与武器装备运用相关的作战态势。指挥员可通过完成教员布置的武器装备运用作业任务和由专家

系统推理出的武器装备运用方案评估建议,熟悉武器装备性能,掌握信息化条件下武器装备体系运用规律^[21]。

4.2 应用

武器装备体系运用教学仿真系统采用基于 C/S 的分布式体系结构,综合运用个人计算机、数据库、网络、三维地理信息及虚拟现实等技术,实现资源浏览、测试、模糊查询、机上作业、辅助决策、发布交流等功能,具有拓展性、可操作性和可维护性等特点,并可通过局域网与其它系统相连接,实现资源共享。通过前期的需求分析,系统要具备知识推理、武器装备体系运用过程仿真、视景显示以及方案评估这四方面的功能,为满足重用各种仿真资源,灵活组建多种仿真系统的要求,系统结构采用“资源+平台+应用”模式,如图 6 所示。

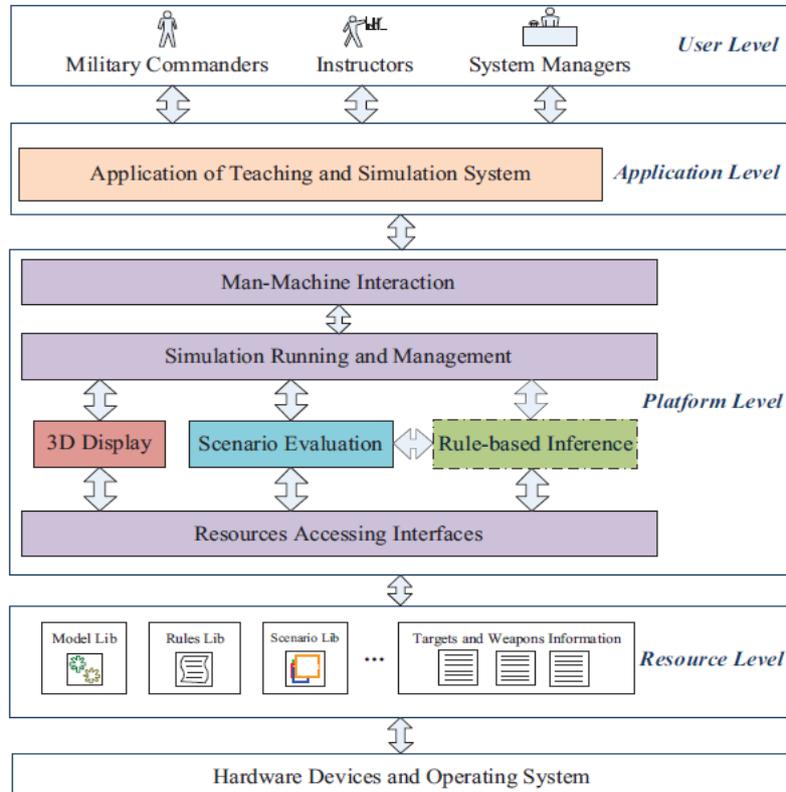


图 6 系统总体框架

系统中的武器装备体系运用规则专家系统模块主要分为三个部分，一是知识获取工具，二是推理机及推理结果，中间的领域知识库用来存储武器装备体系运用相关知识，包括具体可行操作与规

则等；控制策略采用规则推理引擎，根据相应事实搜索匹配知识得出判断结论。系统的知识流向结构如图 7 所示。

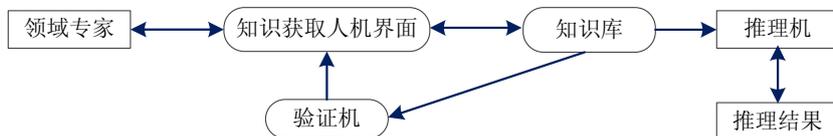


图 7 武器装备体系运用仿真教学系统知识流图

5 结论

本文中的武器装备体系运用知识表示基于混合本体构建方法，对武器装备体系运用知识进行概念建模，以武器装备体系运用教学为背景，提取了武器装备体系运用知识，设计了体系运用知识库。并通过仿真模拟武器装备的运用态势，推理并评估武器装备运用方案，完成了武器装备体系运用教学仿真系统的设计与实现。指挥员可通过完成教员布置的武器装备运用作业任务，熟悉武器装备性能，掌握在信息化条件下武器装备体系运用规律。

经过教学试用，学员们普遍反映“武器装备体系运用教学仿真系统”具有极高的实际应用价值。该系统将复杂枯燥的文本学习用直观生动的三维立体动画来改进，更为重要的是系统对武器装备体系运用知识的表示实现了完备性和一致性的统一。基于教学仿真系统展开的仿真推演、体系分析和方案评估等研究，可促进并加深指挥员对武器装备运用知识的理解，掌握各型武器装备在不同目标、不同环境和不同任务要求下的适用性，显著地提高了教学效果，为联合作战中的指挥奠定基础。这也体现出本文构建的武器装备运用知识表示方法具有一定的可行性和有效性。

本文目前还只是对武器装备运用中可确定的知识的表示方法进行了研究，但在真实的复杂战场环境中，指挥员也往往会遇到只能由不确定、不完备的态势作出决策部署的情况。因此本文下一步的工作重点是展开对于模糊集合论、可拓论等理论的研究，探索如何将不确定知识的表示方

法融入到武器装备体系运用教学仿真系统中。

参考文献:

- [1] Yang Shanliang, Fu Yuewen, Zhang Peng, Huang Kedi. Implementation of a Rule-based Expert System for Application of Weapon System of Systems [C]// The International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer 2013, China, 2013, 12. USA: IEEE, 2013: 2603-2606.
- [2] 李东, 蔡剑. 决策支持系统与知识管理系统 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005: 254.
- [3] 鞠实儿. 面向知识表示与推理的自然语言逻辑 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2009.
- [4] 唐爱民. 基于叙词表的领域本体构建研究 [J]. 现代图书情报技术, 2005, 25(1): 1-5.
- [5] 蔡自兴, 约翰·德尔金, 龚涛. 高级专家系统: 原理、设计及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [6] 蒋永福, 李景正. 论知识组织方法 [J]. 中国图书馆学报, 2001, 27(1): 3-7.
- [7] 李丽英, 刘德仿, 周临震, 等. 本体混合型知识表示在组合机床夹具设计系统中的应用 [J]. 机械设计, 2011, 28(4): 89-92.
- [8] Multilateral Interoperability Programme (MIP). Joint C3 Information Exchange Data Model (JC3IEDM) [EB/OL]. (2009-03-11)[2014-10-23]. http://www.mip-site.org/publicsite/06-Other_Documents/MIP-NDAG_MOA.pdf
- [9] Mieczyslaw M Kokar, Christopher J. Matheus, Kenneth Baclawski. Ontology-based situation awareness [J]. Information Fusion (S1566-2535), 2009, 10(1): 83-98.
- [10] X H Wang, Da Qingzhang, Tao Gu *et al.* Ontology based context modeling and reasoning using OWL [C]// Proceedings of the 2nd IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops, USA, 2004. USA: IEEE, 2004.

(下转第 730 页)