

基于 OWL 的仿真实定本体构建方法

庞天亮¹, 袁修久¹, 赵学军¹, 扈登贵¹, 常永昌²

(1. 空军工程大学理学院,陕西西安,710051;2. 陕西省电子信息综合集成重点实验室,陕西西安,710051)

摘要 研究了作战过程,提出了基于 OWL 的作战单元本体、装备本体、任务本体和仿真实定本体的构建方法,采用了描述逻辑对作战相关概念、关系进行了推理,检验了概念、关系的一致性,优化了概念层次结构。通过实例分析,对构建的本体进行了检验。结果表明:该方法实现了军事领域概念的合理分类和想定数据语义的智能检测,可为想定开发人员自动地提供决策支持。

关键词 仿真实定;网络本体语言;protégé;描述逻辑;表算法

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.06.008

中图分类号 TN953 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2012)06-0035-05

军事想定通常包含各种各样的数据,它们之间的关系错综复杂,往往一份好的想定需要数月或者更长时间才能完成。以往基于 XML 的想定仅仅在语法结构上验证想定的有效性,而基于本体描述语言(Web Ontology Language,OWL)的想定能够验证想定数据语义的一致性。OWL 对想定数据验证的基础是对领域本体的描述,而构建相关领域本体成为当前领域专家重要的工作。文献[1~3]分别研究了军事领域中的组织本体、计划本体和装备本体的构建方法,但是没有从整体去考虑军事仿真领域各个组成部分的关系。文献[4]对军事领域本体进行了研究,主要基于 CMMS(使命空间概念模型)和 XML Schema 进行描述,顶层本体和领域本体的关系比较模糊,没有采用本体表示语言进行描述。目前仿真实定领域的本体还未见研究,因此,本文采用 Protégé 工具构建了基于 OWL 的仿真实定领域本体,并使用描述逻辑对构建的本体中的概念、关系和实例进行了推理验证。

1 OWL

本体的描述语言较多,如 RDF、RDF Schema、DAML、OIL、OWL 等都是基于 Web 的本体描述语言,还有一些基于谓词演算的本体表示语言和基于图的本体表示语言在应用上较少使用。其中,OWL 最大特点是基于描述逻辑,这就意味着使用描述逻辑推理机可以推理 OWL 本体。2009 年,W3C 公布了 OWL2 推荐标准^[5],进一步丰富了 OWL 的表达能力。OWL2 支持多种描述本体的语法,包括 RDF/XML、OWL/XML、Functional 语法、Manchester 语法和 Turtle 语法等,这些语法是对同一本体模型的不同表达,相互之间容易转换。为了方便对生成的本体文档进行模式(Schema)验证,使用现有的 XML 工具进行处理和序列化,本文采用 OWL/XML 语法存储本体文档。

描述逻辑^{[6]1-43}(Description Logic,DL)作为一种知识表示方式,在本体检验中发挥重要的作用,是本体推理的基础。OWL 和描述逻辑的概念存在一一对应的关系;OWL 中的类(Class)、属性(Property)对应着描述逻辑中的概念(Concept)和关系(Role);类以及类之间的层次关系即为 TBox 中的概念公理和关系公理,类的实例和关系的实例即为 ABox 中的实例(个体)断言。描述逻辑根据不同的构词分为多种不同功能的子语言,如 ALC、SHIF(D)、SHOIN(D)和 SROIQ(D)等。OWL2 基于描述逻辑 SROIQ(D),并且 Protégé

收稿日期:2012-06-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11071256);陕西省电子信息综合集成重点实验室资助项目(20112D005)

作者简介:庞天亮(1982-),男,陕西富平人,硕士生,主要从事军事建模与仿真研究。

E-mail:pang-tianliang@163.com

提供对其支持。Tableau 算法是描述逻辑最基本的推理算法,实现该算法的推理机包括 FaCT++ ,Pellet , RACER 等,推理问题主要包括:可满足性,包含关系,一致性检测,实例检测^[7]。

2 基于 OWL 的仿真实定本体

本文采用斯坦福大学的 Protégé 4.2^[8]+OWL/XML 进行本体开发。为了更好的支持后期的正向工程(代码生成)和阅读习惯,类、属性和个体的命名采用英文,而将其标签(label)值设为对应的中文,并在 Protégé 中将其显示模式设置为显示其标签值即可。

2.1 仿真实定领域本体

目前还没有一个针对仿真实定领域公开的本体规范,本文试图构建仿真实定领域的本体。针对军事想定中关注的主要概念(作战单元、装备、任务等),开发了作战单元本体、装备本体、任务本体和仿真实定本体。作战单元本体依据作战单元的分类,并区分不同的兵种其部分结构见图 1。装备本体依据现有装备分类体制和功能进行分类组织,部分结构见图 2。任务本体中的任务分类主要来自各兵种的具体任务,并结合文献^[9],区分了不同类型的任务,部分结构见图 3。想定开发人员在定制想定时可以进行有效地组织、查找和重用这些作战单元、装备和任务。

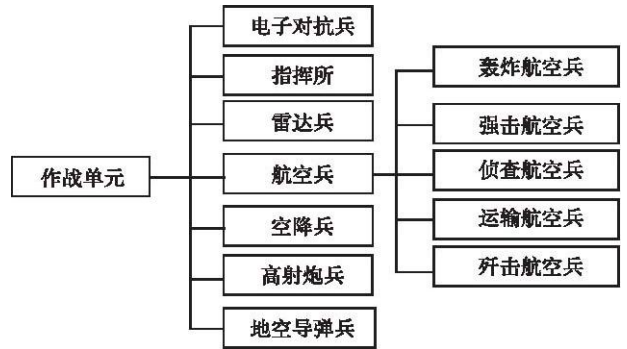


图 1 作战单元本体部分语义结构

Fig.1 Partial semantic structure of unit ontology

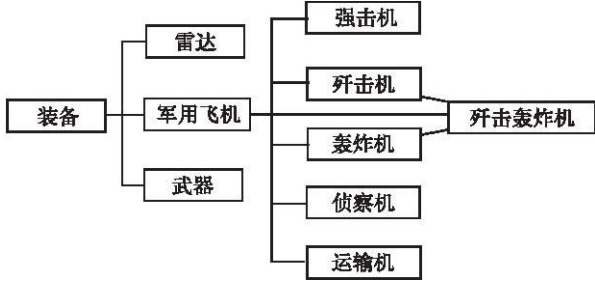


图 2 装备本体部分语义结构

Fig.2 Partial semantic structure of equipment ontology

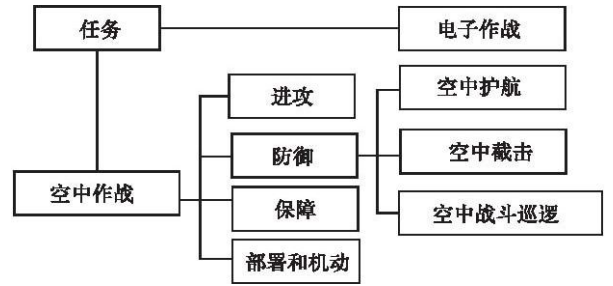


图 3 任务本体部分语义结构

Fig.3 Partial semantic structure of task ontology

2.2 仿真实定本体

通常,想定不仅要建立包括己方、敌对方、中立方以及其它有关各方的主要部队、军用飞机、武器、雷达等静态实体描述,还包括行动、交互、动作等动态过程描述以及计划、任务列表、兵力结构、作战规则等^[10]。军事想定一般包括:作战计划、行动序列、任务、作战单元、装备、兵力、阵营等。它们之间的关系较为复杂,不便于在 Protégé 表示,这里使用 UML 类图来简要说明军事仿真实定本体中概念间的依赖关系,图 4 显示了仿真实定本体的部分语义结构。

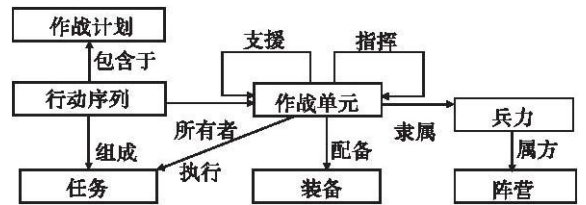


图 4 仿真实定本体部分语义结构

Fig.4 Partial semantic structure of simulation scenario ontology

上述使用 Protégé 4.2 开发的本体对应的 OWL/XML 文档片段见表 1,主要用到 OWL2 中声明、对象属性、个体公理及子类、对象属性的传递性、定义域、值域等公理。

表 1 本体文档片断
Tab.1 A snippet of ontology document

<Declaration>	<Class IRI="#军用飞机"/>
<Class IRI="#侦察机"/>	</SubClassOf>
</Declaration>	<TransitiveObjectProperty>
...	<ObjectProperty IRI="#指挥"/>
<Declaration>	</TransitiveObjectProperty>
<ObjectProperty IRI="#隶属"/>	<ObjectPropertyDomain>
</Declaration>	<ObjectProperty IRI="#隶属"/>
...	<Class IRI="#作战单元"/>
<Declaration>	</ObjectPropertyDomain>
<NamedIndividual IRI="#A"/>	<ObjectPropertyRange>
</Declaration>	<ObjectProperty IRI="#隶属"/>
...	<Class IRI="#兵力"/>
<SubClassOf>	</ObjectPropertyRange>
<Class IRI="#侦察机"/>	...

2.3 仿真想定本体应用过程

在构建仿真想定本体后,需要在想定开发环境中通过推理机对想定进行语义验证。本体在想定开发环境中的基本过程为:①想定编辑。想定开发人员在想定开发环境中进行想定编辑,需要访问各种想定资源,如 MGIS(军事地理信息系统)、军标库、任务库、行动序列库、装备库、作战编成库等军事资源。②想定推理。通过推理引擎(如 Jena)对编辑好的想定进行推理,需要以构建的本体(存放在本体库中)为基础,检测概念、关系和实例是否符合定义的各种公理。③想定生成。主要对推理后的想定按照预定义的格式保存到想定库中。

3 实例分析

为了检验所构建本体的可行性,通过具体实例分析想定开发者如何应用本体验证想定的一致性。

3.1 包含性检测

任务本体中定义 18 个有关的具体任务(原子类),还有 5 个抽象任务(定义类)。

对于具体任务“空中护航”、“空中截击”和“空中战斗巡逻”,可以定义抽象任务“防御”为:

$$\text{防御} = \text{空中截击} \cup \text{空中护航} \cup \text{空中战斗巡逻} \quad (1)$$

即:空中截击 \subset 防御,空中护航 \subset 防御,空中战斗巡逻 \subset 防御。由此,空中截击、空中护航和空中战斗巡逻是防御的子概念。而在 protégé 中定义“防御”为:

$$\text{防御} \text{ Equivalent To } (\text{空中战斗巡逻} \text{ or } \text{空中护航} \text{ or } \text{空中截击}) \quad (2)$$

即“防御”和“空中战斗巡逻 or 空中护航 or 空中截击”为一个等价的概念。

因此,由式(1)或式(2)可以断定:假如一个任务是空中截击或者空中护航或者空中战斗巡逻,那么,这个任务必定是一个防御(任务)。也就是说空中截击、空中护航和空中战斗巡逻都是防御性质的任务。

同理,进攻、保障、部署和机动以及空中作战的定义也是类似的过程,这里不再赘述。采用 Protégé 中的推理机 FaCT++ 对构建的任务本体推理后的结果见图 5:左边为原始定义的概念层次结构,右边为推理后的概念层次结构。通过推理,空中作战任务被分为进攻、防御、作战保障及部署和机动 4 类,分析和推理结果符合实际情况

3.2 实例检测

定义装备本体的实例断言集:

$$\Omega = \{A : \text{歼击机}, B : \text{轰炸机}, D : \text{强击机}, C : \text{歼击轰炸机}\} \quad (3)$$

根据图 2 装备本体中歼击轰炸机继承层次:

$$\text{歼击轰炸机} \subset \text{歼击机} \quad (4) \qquad \text{歼击轰炸机} \subset \text{轰炸机} \quad (5)$$

又式(3)中有 C:歼击轰炸机,那么:

C:歼击机

(6)

C:轰炸机

(7)

实例断言集式(3)变为:

$$\Omega = \{A: \text{歼击机}, B: \text{轰炸机}, D: \text{强击机}, C: \text{歼击轰炸机}, C: \text{歼击机}, C: \text{轰炸机}\} \quad (8)$$

根据推理机判断,实例断言集将不断地增加新的实例断言。在 Protégé 中通过 FaCT++ 推理的结果如图 6 所示:上图为歼击机实例断言集,C(虚线框部分)即为推理后加入的实例;下图为轰炸机实例断言集,C(虚线框部分)即为推理后加入的实例。推理结果和分析是一致的。

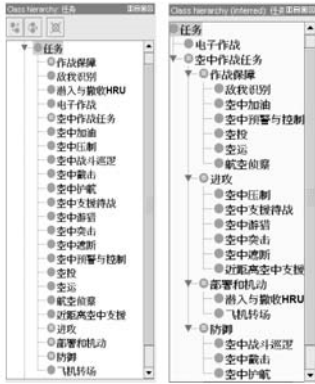


图5 推理前后的任务层次

Fig.5 Task hierarchy before or after inferring



图6 推理后实例断言

Fig.6 Individuals assert after inferring

3.3 想定一致性验证

根据上面的推理结果,以空中截击为例,检验想定的一致性。案例设定红方歼击航空兵编队对企图侦察红方情报的蓝方侦察机实施空中截击。阵营为红方,兵力为空军,作战单元为歼击航空兵,配备有歼击机,作战任务为空中截击。开发人员需要指定某型歼击机来完成空中截击任务,从(8)中可以查找到 A(已知实例)和 C(推理实例)属于歼击机。如果由于某种原因(如故障等)A 不能出航,那么就可以指定 C 来完成这项任务。假如开发人员将强击机 D 配备给歼击机航空兵编队,即存在如下概念包含公理:

$$\text{歼击航空兵} \sqsubset \exists \text{配备} . \{D\} \quad (9)$$

由歼击航空兵定义知:

$$\text{歼击航空兵} \sqsubset \forall \text{配备} . \text{歼击机} \quad (10)$$

需要检验式(9)和式(10)表示的概念是否存在矛盾。Tableau 算法检测过程见表 2,检测出 D 既属于强击机又属于歼击机这一矛盾。在 Protégé 中,将 D 设为歼击机的实例,通过 FaCT++ 推理的结果见图 7,发现矛盾实例 D。

表 2 Tableau 推理过程

Tab.2 Inferring progress of tableau

$x: (\exists \text{配备} . \{D\}) \cap (\forall \text{配备} . \text{歼击机})$	
$x: (\exists \text{配备} . \{D\})$	\cap 规则
$x: (\forall \text{配备} . \text{歼击机})$	\cap 规则
$(x, y): \text{配备}$	\exists 规则
$y: \{D\}$	\exists 规则
$y: \text{歼击机}$	\forall 规则
矛盾	\perp

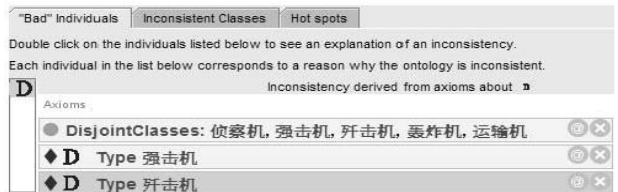


图7 实例矛盾

Fig.7 Individuals conflict

4 结语

本文针对军事仿真想定进行研究,构造了基于 OWL 的作战单元本体、装备本体、任务本体和仿真想定本体,并采用描述逻辑对构建的本体进行了推理,对所构造的本体进行一致性检验,检验结果符合客观实际。该方法能有效地提高开发想定的效率和保证想定数据一致性。下一步工作主要对作战领域进行进一步的研究,完善军事领域本体,开发具有推理功能的仿真想定开发平台。

参考文献(References):

- [1] 钱猛,刘忠,姚莉,等.作战计划的本体建模研究[J].系统工程与电子技术,2010,32(5):994-1000.
QIAN Meng, LIU Zhong, YAO Li, et al. Survey of ontological modeling of military operation plans [J]. Systems engineering and electronics, 2010, 32(5):994-1000. (in Chinese)
- [2] 戴静波,曾亮,张巍.虚拟战场环境中群体组织结构本体建模方法研究[J].系统仿真学报,2008,20(增刊):128-131.
DAI Jingbo, ZENG Liang, ZHANG Wei. A modeling method of organizational structure of group based on ontology in virtual battlefield environment [J]. Journal of system simulation, 2008, 20(S):128-131. (in Chinese)
- [3] 宋佳,王盼卿,齐剑锋,等.装备领域本体的构建方法研究[J].微计算机信息,2009,25(5-3):17-18.
SONG Jia, WANG Panqing, QI Jianfeng, et al. The research of ontology's create on equipment domain [J]. Micro-computer information, 2009, 25(5-3):17-18. (in Chinese)
- [4] 杨建池,韩守鹏,黄柯棣.军事领域本体构建研究[J].计算机仿真,2007,24(12):6-9.
YANG Jianchi, HAN Shoupeng, HUANG Kedi. Research on military domain ontology development [J]. Computer simulation, 2007, 24(12):6-9. (in Chinese)
- [5] OWL 2 web ontology language primer [EB/OL]. (2004-10-27)[2011-11-08]. <http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-primer-20091027/>
- [6] Franz Baader, Diego Calvanese. The description logic handbook: theory, implementation and applications [M]. London: Cambridge university press, 2003.
- [7] 蔡超.描述逻辑的判定算法[EB/OL]. (2004-09-10)[2011-10-08]. [http://www.math.pku.cn:8000/blog/gallery/27/Reasoning%20in%20DL\(Toppi\).pdf](http://www.math.pku.cn:8000/blog/gallery/27/Reasoning%20in%20DL(Toppi).pdf)
CAI Chao. Decision Algorithm of Description Logic [EB/OL]. (2004-09-10)[2011-10-08]. [http://www.math.pku.cn:8000/blog/gallery/27/Reasoning%20in%20DL\(Toppi\).pdf](http://www.math.pku.cn:8000/blog/gallery/27/Reasoning%20in%20DL(Toppi).pdf) (in Chinese)
- [8] Stanford university. Protégé [EB/OL]. (2012-04-01)[2011-12-10]. <http://protege.stanford.edu>
- [9] 戴建新.基于指令的联合战役仿真想定编辑系统研究[D].长沙:国防科技大学,2010.
DAI Jianxin. Research on joint campaign Simulation Scenario edit system based on command [D]. Changsha: National university of defense technology, 2010. (in Chinese)
- [10] 毕义明,刘良,刘伟,等.军事建模与仿真[M].北京:国防工业出版社,2009.
BI Yiming, LIU Liang, LIU Wei, et al. Military modeling & simulation [M]. Beijing: National defense industry press, 2009. (in Chinese)

(编辑:田新华)

Approach to Simulation Scenario Ontology Development Based on OWL

PANG Tian-liang¹, YUAN Xiu-jiu¹, ZHAO Xue-jun¹, HU Deng-gui¹, CHANG Yong-chang²

(1. Science Collgeg, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Shaanxi key Laboratory of Electronic Information System Interation, Xi'an 710051, China)

Abstract: By investigating military operation, an approach to developing Unit Ontology, Equipment Ontology, Task Ontology and Simulation Scenario Ontology is proposed based on OWL. Then the concepts related to combat and the relations between the concepts are inferred and checked by reasoning based on description logic, and the hierarchy of concepts is optimized. In order to illustrate the feasibility of developed ontologies, analyses of three applicable demonstrations are presented and verified. The results show that this method achieves logically classifying for military domain concepts and intelligently checking for scenario data, and automatically supports developer in decision-making for scenario development.

Key words: simulation scenario; OWL; protégé; description logic; tableau algorithm