

# 机器兵力指挥控制语言的语义标注技术研究

鲍广宇<sup>1</sup>, 谭伟<sup>2</sup>, 吴亚宁<sup>1</sup>

(1 解放军理工大学指挥信息系统学院; 2 中国电科第二十八研究所)

**摘要:** 机器兵力指挥控制语言可用于解决未来战场环境下无人机、作战机器人的指挥控制与协同问题, 围绕机器兵力指挥控制语言体系结构和本体视图展开研究, 提出了一种基于条令视图的领域本体构建方法; 在此基础上提出了基于本体的指挥控制语言语义标注方法, 可建立从指挥控制语言实例到本体概念的映射, 实现一定的语义表达能力。

**关键词:** 统一指挥控制语言; 语义标注; 本体

## 0 引言

目前, 无人机、作战机器人等机器兵力已经开始在各种作战行动中逐步发挥作用, 预计将在未来 10 到 20 年内逐渐成为世界各国军队作战力量的重要组成部分。在这一背景下, 不同规模机器人兵力之间的指挥控制是亟待解决的关键问题, 一种有效的解决方法是建立能够在指挥控制系统和各类机器兵力之间进行无歧义通信的语言。

机器兵力指挥控制语言的研究目标就是为了建立这样一种语言规范, 其中, 指挥控制语言的本体构建和语义标注是实现系统间信息共享和语义理解的关键技术, 因此, 研究指挥控制语言的本体构建和语义标注技术, 将有助于从语义层面解决各系统之间的互操作问题, 具有重要的理论意义和应用价值。

目前对机器兵力指挥控制语言的研究还不多见, 相近领域内可借鉴的成果主要存在于系统仿真界, 以 BML (Battle Management Language, 作战管理语言)<sup>[1]</sup>、XBML (eXtensible BML, 可扩展作战管理语言)、C-BML (Coalition BML, 联盟作战管理语言)<sup>[2]</sup>等为代表。SISO (Simulation Interoperability Standards Organization, 仿真互操作标准化组织) 于 2011 年将 BML 推进到了一个功能可实现的试用阶段, 下一阶段的研究重点是: 为了进一步达成对作战管理领域知识的一致理解, 使计算机自动处理交换的信息, 实现各系统间的概念级互操作, 对 BML 展开语义层面的研究。

语义的表达需要通过构建领域本体和语义标注来完成, 形式化的语义描述编码能够使系统具备对数据更强的理解和处理能力, 文献[3]总结了该领域内有关本体的一些讨论和观点, 论述了构建作战管理领域本体重要性, 明确了 BML 本体的论域, 指出了本体在 BML 体系结构中的重要地位。文献[4]通过分析 BML 语义表达需求, 提出该本体至少应包含对象、能力和行动三个最主要的分支, 并给出了作战行动描述框架。论文对用于机器兵力指挥控制语言的概念、体系结构和语义标注技术进行了相关的研究。

## 1 机器兵力指挥控制语言的概念与体系结构

机器兵力指挥控制语言被定义为: “一种用于指挥控制机器兵力遂行军事行动, 提供态势感知和共享通用态势图的无歧义语言。”它能够指挥控系统和机器兵力提供一致理解的公共语言规范, 对解决指挥系统与机器兵力之间的互操作问题将具有重要作用。

机器兵力指挥控制语言的体系结构必须满足复杂系统领域内的交互需求, 应通过多种角度来逼近实现。在相关领域技术发展的早期, 逐步形成了 3 个研究问题的视图: 条令、表示和协议。Turnitsa 和 Tolk 等人提出对三视图结构进行扩展, 并最终形成包含条令、表示、协议、语法和本体的五视图体系结构, 参见图 1 a), 我们在此基础上加入各视图的要素, 扩展为环形的视图结构, 如图 1 b) 所示。

五视图的体系结构体现了研究机器兵力指挥控制语言问题时所站的不同角度, 其中, 本体与条令视图与语言的语义表达密切相关, 本体视图是语义表达的基础, 语义标注必须在构建指挥控制语言领域本体的前提下才可完成。因此, 为满足指挥控制语言语义标注的需要, 首先必须构建一种机器兵力指挥控制语言本体。

复杂完整的作战领域本体的建立工作尚需要未来大量的跨领域研究工作才可能完成，而目前一种简单有效的方法是在受限领域本体基础上，通过语义标注技术实现语义表达。

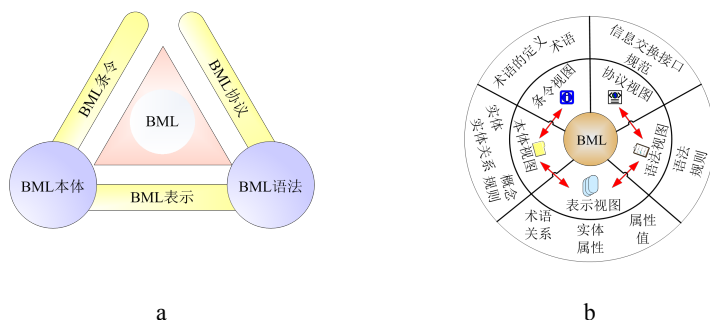


图1 机器兵力指挥控制语言五视图体系结构

语义标注是利用本体库的知识对 Web 中的文本、图片、视频等资源进行语义注入的过程。而将具体应用中涉及的实例与本体中的概念、关系、属性联系起来，正是语义标注的价值体现。通常语义标注被定义为从资源库和知识库到标注结果的映射[6]，记为：

$$rs \times kb \rightarrow \left\{ \begin{matrix} ent_j \\ res_i \end{matrix} \right\}$$

其中， $rs = \{res_1, res_2, \dots, res_i, \dots, res_m\}$  表示资源库， $res_i$  表示资源库中第  $i$  个资源， $m$  表示资源数量，且  $0 < i \leq m$ ； $kb = \{ent_1, ent_2, \dots, ent_j, \dots, ent_k\}$  表示用于标注资源的实体， $k$  表示实体数量，且  $0 < j \leq k$ 。其输入是本体和待标注的资源，输出的是对资源进行语义描述的结果。通过语义标注，可将资源的状态从机器可读提高到机器可理解。

## 2 一种基于条令视图的统一指挥控制语言本体构建方法

如前所述，构建良好的机器兵力指挥控制语言受限领域本体是语义标注的前提，但为了使语义标注不受限于特定的领域本体，有必要设计一种构建指挥控制语言受限领域本体的方法，即为进行语义标注奠定基础，又提供一定的本体构建通用能力。

### 2.1 指挥控制语言领域本体特征分析

#### 2.1.1 指挥控制语言领域信息分类与知识范围

构建领域本体的前提是确定本体的领域范围，它应包括所有与该领域相关的实体和需要处理的数据等。我们依据信息的表达内容将信息分为指挥信息、情况信息、服务信息三个大类。在此基础上，我们主要关注以下几类信息：

(1) 对象信息。对象信息包括编制组成、人员类型和各种作战资源，是完成各种作战行动的主体，也是作战行动的依赖和施加影响的对象。

(2) 行动信息。行动信息指明了具体要执行的某种行动，描述行动发生的时间、位置和目的等相关属性。这类信息往往是语义表达的关键，本体需要对此重点描述。

(3) 环境信息。环境信息包含了对作战行动相关的地理要素、气象水文、电磁环境等信息，它们对作战任务具有直接或间接的影响。

#### 2.1.2 领域本体构建技术分析

针对领域信息特征，目前主要有从自由文本生成本体、子本体抽取、基于关系数据库模式生成本体以及基于词典生成本体这几种典型的本体构建方法。

(1) 从自由文本生成本体。该方法主要针对无结构的文本，通过自然语言处理技术获取文本中的语义元素，提取出本体。

(2) 子本体抽取。该方法的思想来源于对既有本体的复用。在实际应用中，人们可以从源本体中抽取出一个子本体来满足需要。

(3) 基于关系数据库模式生成本体。该方法主要是采用逆向工程，从关系数据库的表项中获取实体、属性、关系、主键、外键等信息，然后通过映射规则得到本体的概念和关系。

(4) 基于词典生成本体。该方法是利用已有的结构化词表来构建本体。

词典和本体同属于知识组织方式，词典明确了术语间的几种典型关系，可以作为构建本体中概念间关系的参考。因此，基于词典生成的本体构建方法可以作为领域本体中概念定义和概念基本关系的来源。同时，基于关系数据模型的方法对丰富本体中的属性和关系有重要意义。可以结合两种方法的优势，提出一种在条令视图术语组织基础上构建领域本体的方法。

## 2.2 条令视图术语组织方法

为了便于构建领域本体，我们提出一种基于 XML Schema 的领域术语组织方法，具体步骤如下：

(1) 领域术语筛选分类。将术语按照对象、行动、环境、能力和原则等五个大类进行划分，其中，对象是指军事行动中涉及的人或事物。行动是指为达成某项作战目的而执行的一种活动。环境是指对作战行动有影响的地理、气象等因素。能力是指执行某种任务或功能，达成目的或提供服务的能力。原则是指执行特定行动的指导规范。

(2) 领域术语基本关系获取。从军事词典中获取术语之间的用代、属分和相关关系，同时记录下词表中对术语的词目编号和术语的释义。

(3) 术语间关系细化。对属分关系和用代关系进行细化，将细化后的术语关系添加到术语的各个分类中，从而在主体分类树的基础上加入术语的同义、近义和反义关系，在之前所给分类的下一级划分中加入了术语的属分、整体部分、类和实例等关系。

(4) 术语形式化描述。为了以统一的格式来描述获取的领域术语、术语的权威定义以及细化后的术语间关系，我们采用 XML Schema 定义了术语存储的格式。

该 Schema 定义了一个 UC2L\_ITEM\_TYPE 类型，用于存放领域术语，其中包括三个 xs:string 类型元素：Item\_ID、Item\_Name 和 Item\_Meaning；还包括 8 个 LIST\_ID\_TYPE 类型的元素，LIST\_ID\_TYPE 类型是术语 Item\_ID 的列表，能够记录 0 至无穷个术语的 Item\_ID，具体说明如表 1 所示。

表 1 术语存储符号说明

类型	元素	含义
xs:string	Item_ID	术语的唯一编码。
	Item_Name	术语的名称。
	Item_Meaning	术语的释义。
LIST_ID_TYPE	List_Synonym_ID	同义术语的 Item_ID 列表。
	List_Antonym_ID	反义术语的 Item_ID 列表。
	List_Similar_ID	近义术语的 Item_ID 列表。
	List_PartOf_ID、 List_PartOf_Have	Item_ID 列表，记录与哪些术语构成整体-部分关系。
	List_SubOf_ID、 List_SubHave_ID	Item_ID 列表，记录与哪些术语构成父子关系。
	List_OtherRel_ID	Item_ID 列表，记录具有相关关系的术语。

## 2.3 基于条令视图的领域本体构建方法

按照从顶层到底层，从粗略到详细的过程，可将基于条令视图的领域本体构建方法分为确定本体的顶层结构、利用条令视图的术语组织结果，通过转换算法得到本体的结构框架以及不断细化和完善框架，最终生成领域本体这三个步骤。对这三个步骤的具体阐述如下。

### 2.3.1 领域本体顶层结构的确定

为满足指挥控制语言设计目标的需要，根据条令视图的术语组织结构，我们在领域本体顶层设置了 UC2L\_OBJ、UC2L\_ACT、UC2L\_ENV、UC2L\_CAP、UC2L\_PRI 和 UC2L\_TIME 等五个大类，这五个大类

都派生于 UC2L\_META。UC2L\_META 的引入仅仅是为了关系描述和表现上的方便。这几个类之间的关系在该层次不做进一步细化，仅为包含充足的继承和扩展余地，给出最一般化的描述，例如 UC2L\_OBJ 和 UC2L\_CAP 间的关系都抽象为 CAP\_OBJ-OBJ\_CAP，具体的关系都是这些关系的子类，顶层结构如图 2 所示。

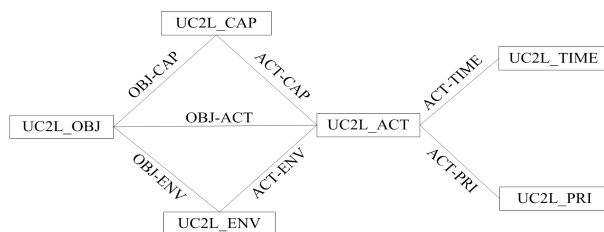


图 2 本体顶层结构

### 2.3.2 术语组织结构到本体框架的映射规则与转换算法

XML Schema 仅仅是一种数据的存储格式，不能表达出术语的语义。因此，必须借助术语存储内容的特点，制定相应的映射规则，显示出 XML 文档中暗含的语义信息。为此，我们设置了两条映射规则，具体说明如下：

(1) 非 UC2L\_ITEM\_TYPE 元素的映射。

XML 中的 UC2L\_OBJECT、UC2L\_ACTION、UC2L\_ENVIRONMENT、UC2L\_CAPABILITY、UC2L\_PRINCIPLE 分别映射到相应的顶层类，如表 2 所示。XML 中的其他元素，除了 UC2L\_ITEM\_TYPE，都映射为 OWL 中同名的类；所有的父子元素之间，除了 UC2L\_ITEM\_TYPE，都映射为 rdfs:subClassOf 关系。

表 2 顶层类的映射

XML Schema 元素	本体顶层类	含义
UC2L_OBJECT	UC2L_OBJ	对象类
UC2L_ACTION	UC2L_ACT	行动类
UC2L_ENVIRONMENT	UC2L_ENV	环境类
UC2L_CAPABILITY	UC2L_CAP	能力类
UC2L_PRINCIPLE	UC2L_PRI	原则类

(2) UC2L\_ITEM\_TYPE 元素的映射。

UC2L\_ITEM\_TYPE 在条令视图中用来记录领域术语的相关信息，其中的子元素反映了很多术语间的语义关系，UC2L\_ITEM\_TYPE 元素的映射规则见表 3 所示。

表 3 UC2L\_ITEM\_TYPE 到本体的映射

UC2L_ITEM_TYPE 的元素	本体中的类/属性/关系	含义
Item_ID	itemID	编码
Item_Name	类名	类的名称
List_SubOf_ID	rdfs:subClassOf	子类关系
List_Synonym_ID	owl:sameClassAs	同义关系
Item_Meaning	hasMeaning	自然语言释义
List_Antonym_ID	antonymOf	反义关系
List_Similar_ID	similarAs	近义关系
List_PartOf_ID	partOf	部分与整体关系

依据上述规则，我们给出转换算法。该算法的转换流程用自然语言描述为：

- (1) 加载 XML 文档。
- (2) 验证文档形式的合法性，如果验证不通过，则算法退出。

- (3) 当前指针  $p$  指向根节点  $root$ 。
- (4) 判断指针  $p$  指向是否为空。
- (5) 如果  $p$  指向为空, 则转入 (10)。
- (6) 如果  $p$  指向不为空, 则判断元素类型是否为  $BML\_ITEM\_TYPE$ 。
- (7) 如果元素类型不为  $BML\_ITEM\_TYPE$ , 则按照映射规则 (1) 将其映射为 OWL 的类, 转入 (9)。
- (8) 如果元素类型为  $BML\_ITEM\_TYPE$ , 则按照映射规则 (2) 将其映射为相应的类、属性。
- (9)  $p$  指向下一节点, 返回到 (3)。
- (10) 完成转换。

上述的算法对生成 OWL 文档的过程进行了说明, 对文档中的元素类型进行判断, 可使转换流程清晰、转换结果完整。遵循上述转换算法遍历整个 XML 文档后, 可以建立一个有效的 OWL DL 文档, 以实现领域本体框架的构建。

### 2.3.3 本体的细化与完善

为了完成本体的构建、丰富语义信息, 还需要对本体类、属性和关系进行扩充和细化。属性和关系的完善需要领域专家依据领域信息交换的需求来进行, 这是一个由关键属性到一般属性, 由粗略到细微的循序渐进过程。

#### (1) 类属性的细化

在选取属性时必须根据信息交换的需要, 提炼出能反映出类的基本特质的属性。这里我们以 UC2L\_TIME 为例, 细化其属性。

UC2L\_TIME 是领域本体的顶层概念之一, 表示交互信息中的时间概念, 用于明确作战行动的发生时间。UC2L\_TIME 通过指明具体的时间点确定时间。其属性为  $yearValue$  (年)、 $monthValue$  (月)、 $dayValue$  (日)、 $hourValue$  (时)、 $minuteValue$  (分)、 $secondValue$  (秒)。 $yearValue$  定义如下, 其他属性类似:

```
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="yearValue"/>
  <rdf:domain rdf:resource="# UC2L_TIME">
  <rdf:range rdf:resource="&xsd:positiveInteger">
</owl:DatatypeProperty>
```

#### (2) 关系的细化

##### a) UC2L\_OBJ-UC2L\_OBJ

UC2L\_OBJ 是顶层类中的对象类, 用 UC2L\_OBJ-UC2L\_OBJ 表示 UC2L\_OBJ 到自身的关系。UC2L\_OBJ 中包括 Person (人员)、Equipment (装备)、Establishment (设施)、Material (物资)、Organization (组织) 几个子类。分析可知, 这几个子类之间的联系如图 3 所示。

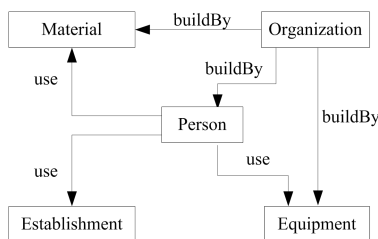


图 3 UC2L\_OBJ-UC2L\_OBJ

##### b) UC2L\_OBJ-UC2L\_CAP、UC2L\_ACT-UC2L\_CAP

对象和能力的关系抽象为 UC2L\_OBJ-UC2L\_CAP, 行动和能力的关系抽象为 UC2L\_ACT-UC2L\_CAP。对象具备某种能力, 行动需要某种能力, 它们的关系表示如图 4 所示。

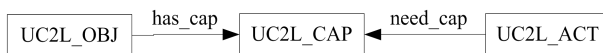


图 4 UC2L\_OBJ、UC2L\_ACT 和 UC2L\_CAP

### 3 结束语

随着机器兵力的开始应用与逐步发展, 机器兵力的指挥控制对时敏性和自主协同能力提出了更高的要求, 解决这一问题的关键是建立机器自动理解的语言规范, 这正是机器兵力指挥控制语言的主要研究目标。作为一种机器自动理解语言, 其语义表达能力极为关键, 论文通过研究认为目前阶段可通过在受限领域本体基础上进行语义标注实现, 并且提出了一种基于条令视图进行术语组织、受限领域本体构建和语义标注的方法, 可为机器兵力指挥控制语言研究提供一种有效可行的解决思路。

#### 参考文献

- [1].De Reus N, Krom P, Pullen M, et al. BML-Proof of Principle and Future Development[C]. I/ITSEC, Orlando, FL, December 2008.
- Curtis Blais, Kevin Galvin, Michael Hieb. Coalition Battle Management Language (C-BML) Study Group Report[C]. 05F-SIW-041, 2005 Fall Simulation Interoperation Workshop, Orlando, FL, USA, 2005.
- [2].Curtis B., Chuck T., Per G. A Strategy for Ontology Research for the Coalition Battle Management Language (C-BML) Product Development Group[C]. 06F-SIW-003, 2006 Fall Simulation Interoperation Workshop, Orlando, FL, USA, 2006.
- [3].Bastian Haarmann, Ulrich Schade. Complementing Battle Management Language by Ontological Means [C]. 12S-SIW-006, 2012 Spring Simulation Interoperation Workshop, Orlando, FL, USA, 2012.
- [4].沙丽华. 面向领域文档的语义标注方法研究[D]. 吉林:吉林大学, 2009.04.
- [5].戚 欣, 肖 敏, 孙建鹏. 基于本体知识库的自动语义标注[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(5):1742-1747.