

# 基于 OWL 的自然灾害领域应急响应知识表示方法<sup>①</sup>

王昊中, 毛雪岷

(合肥工业大学 管理学院, 合肥 230009)

**摘 要:** 利用语义网中本体和 OWL(Ontology Web Language, 即网络本体语言)等相关技术, 通过一阶谓词逻辑及产生式知识表示方法具体描述地震灾害应急响应, 为实现自然灾害领域应急响应的知识表示和共享提供一种参考。

**关键词:** 本体; OWL; 应急响应; 自然灾害领域; 知识表示

## Knowledge Representation Based on OWL for Emergency Response in the Field of Natural Disasters

WANG Hao-Zhong, MAO Xue-Min

(Institute of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** This paper uses ontology, OWL(Ontology Web Language) and related technologies on semantic web, and through using first-order predicate logic and production knowledge representation to specifically describe emergency response in the earthquake. The research provides a reference to achieve that knowledge representation and sharing for emergency response in the field of natural disasters.

**Key words:** ontology; OWL; emergency response; the field of natural disasters; knowledge representation

由于自然灾害的突然性和难以预测性, 近年来对于自然灾害应急管理的研究成为了热点。灾害应急管理的作用是在尽量短的反应时间内, 运用科学的方法快速有效的开展应急救援工作, 以最大程度减少灾害损失。我国在灾害应急管理的发展上相对滞后, 目前仍缺乏一整套灾害应急管理信息技术作为应急救援工作的支撑。而应急响应是灾害应急管理工作中的基础, 它是由政府推出的针对各种突发公共事件而设立的各种降低至最小损失的应急方案, 需要通过应急管理决策进行判断。因此如何在灾害领域应急响应中运用决策知识就显得极为重要。

由于自然灾害领域知识的庞杂, 灾害领域应急响应的知识获取、知识表示和重用问题一直难以实现。语义网中本体和 OWL 等相关理论可以为灾害领域应急响应的知识表示和知识共享提供基于语义的本体建模方法。它提供了完整的概念定义和概念组织关系, 从而实现了语义层次上的智能<sup>[1]</sup>。运用本体方法不仅可以表现出知识内部的纵向类属关系, 还可以通过定

义的规则揭示知识间的内在联系。

用本体概念描述灾害领域应急响应的前提是建立自然灾害领域本体。建立领域本体的前提是尽量获取完整的知识。知识获取是从大量相关信息中提取出所需要的信息, 并将其转换为具有语义的知识。根据自然灾害领域中的大量信息提炼出显性和隐形知识, 以及相应的术语集、关系集、属性集等, 并通过专家知识根据实际需求提取出经验性和规则性知识, 从而使知识获取足够完整。

## 1 相关概念

### 1.1 本体

本体, 源自哲学中的概念, 近年来它已成为知识工程、信息检索、人工智能等领域的研究热点。在人工智能界最早给出其定义的是 Neches 等人, 他们将本体定义为“给出构成相关领域词汇的基本术语和关系, 以及利用这些术语和关系构成的规定这些词汇外延的规则的定义”<sup>[2]</sup>。此后在信息系统、知识工程、语义网

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金(70801025)

收稿时间:2011-07-18;收到修改稿时间:2011-08-21

络等众多新兴领域,有越来越多的人去研究本体,并给出了许多不同的定义。其中最著名并被引用得最为广泛的定义是由 Gruber 提出的“本体是概念化的明确的规范说明”<sup>[3,4]</sup>。本体的提出,不仅提供了描述客观世界的标准要领和严格定义的术语,同时也将存在于客观世界中的隐性知识和非结构化知识进行有效的表达,实现知识的体系化和标准化。在如今万维网的环境下,本体提供了对给定领域的一种共识<sup>[5]</sup>。

## 1.2 本体语言 OWL

在本体的概念受关注之后,诞生了许多基于 WEB 的本体描述语言,如 RDF 和 RDFS、OIL、DAML、OWL、SHOE 等<sup>[6]</sup>。不过由于 OWL 语言具有高度的灵活性、扩展性及强大的语义表述机制而受人们的关注最多且运用最广。它的全称为 Ontology Web Language,是 W3C 所推荐的语义网中本体描述语言的标准<sup>[7]</sup>。

而针对不同的表达需求,OWL 包括 3 种复杂程度递减的子语言<sup>[8]</sup>:

(1) OWL FULL: 包括所有的 OWL 词汇,能够提供最大程度的知识描述能力,但是由于过于复杂,且还不成熟,因此还在不断地更新中;

(2) OWL DL: 提供大部分 OWL 词汇支持,同时在语义上等同于描述逻辑 DL (Description Logics),即它包括了 OWL 语言的所有约束;

(3) OWL Lite: 是 OWL DL 中相对容易实现部分的子集合,只提供层次分类和简单的约束功能。

基于以上三种语言的特点,由于 OWL DL 具有与描述逻辑之间的等同性,且其可以修复本体中所有的错误<sup>[9]</sup>,因此本文将使用 OWL DL 来进行研究。

## 2 自然灾害领域本体构建

### 2.1 构建灾害领域本体

由于各个领域的独立性,因此至今也没有一套标准的领域本体构建方法。比较成型的方法有:骨架法, Berneras 方法, METHONTOLOGY 方法等<sup>[10]</sup>。此外,很多研究人员在实际的领域本体构建中也提出了不少本体的构建经验和标准。一般认为,Gruber 在 1995 年提出的 5 条准则比较有影响力<sup>[11]</sup>: (1)明确性和客观性; (2)完整性; (3)一致性; (4)可扩展性; (5)最少约束性。本文将遵循 Gruber 提出的准则,对灾害领域本体进行构建。

自然灾害领域本体的构建,目的是要实现领域内

所有与灾害有关的术语、规则、案例等知识的集成。笔者将该本体定义为一个七元组:

$$\text{DomainOnto log } y := \left\langle \begin{array}{l} \text{Concepts, Relations, Functions} \\ \text{Rules, Cases, Plans, Glossary} \end{array} \right\rangle$$

定义 1.  $\text{Concepts} := \{C\}$

表示灾害领域概念的集合,  $C$  为灾害领域知识相关概念。

定义 2.

$$\text{Relations} := \left\{ \begin{array}{l} R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n \mid C_1, C_2, \dots, C_n \in \\ \text{Concepts} \end{array} \right\}$$

表示类或概念实体之间  $n$  元关系的集合,概念实体包含的核心关系如下:

(1) Kind-of 关系。表示概念之间的继承关系或者概念之间的父子类关系。如概念  $C_1$  和  $C_2$ , 记  $C_1' = \{x \mid x \text{ 是 } C_1' \text{ 的实例}\}$ ,  $C_2' = \{x \mid x \text{ 是 } C_2' \text{ 的实例}\}$ , 如果对任意的  $x$  属于  $C_2'$ ,  $x$  都属于  $C_1'$ , 则称  $C_2$  是  $C_1$  的子概念, 记作  $C_2 = \text{Child}(C_1)$ ; 称  $C_1$  是  $C_2$  的父概念, 记作  $C_1 = \text{Parent}(C_2)$ 。

(2) Part-of 关系。表示概念之间的部分与整体的关系, 如果概念  $C_1$  是概念  $C_2$  的一部分, 记作  $C_1 = \text{Part}(C_2)$ 。例如, 因灾死亡人口=Part (受灾人口)。

(3) Attribute-of 关系。表示概念之间某一概念是另一概念的属性, 如果  $C_1$  是  $C_2$  的属性, 记作  $C_1 = \text{Attribute}(C_2)$ 。例如, 地震震级=Attribute(地震)。

(4) Instance-of 关系。表示实例与概念之间的关系及对象和类之间的关系, 如果  $C_1$  是概念  $C_2$  的属性, 记作  $C_1 = \text{Instance}(C_2)$ 。

定义 3.

$$\text{Functions} = \left\{ \begin{array}{l} F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n \mid C_1, C_2, \dots, C_n \\ \in \text{Concepts} \end{array} \right\}$$

表示本体术语间函数关系的集合。

定义 4.

$$\text{Rules} := \left\{ \begin{array}{l} R: R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n \mid R_1, R_2, \dots, R_n \in \\ \text{Concepts} \cup \text{Relations} \end{array} \right\}$$

表示灾害领域内所提取出的规则集合, 集合中每个规则对象描述若干条产生式规则。

定义 5. Cases 表示灾害领域中历史灾害案例的集合, 集合中每一条案例表示一次具体的历史灾害及该

灾害救灾过程的数据记录。

定义 6. Plans 表示灾害领域中预案的集合, 集合中每一条预案表示一个灾害处理应急预案。

定义 7. Glossary 表示从灾害领域中提取出的最基本的灾害知识术语集合。

## 2.2 灾害领域本体 OWL 描述

根据灾害的特性, 自然灾害领域 (NaturalDis) 包含十种灾害, 分别为洪涝 (Flood)、地震 (Earthquake)、台风 (Typhoon)、旱灾 (Drought)、风雹 (Hail)、雪灾 (Snow)、山顶滑坡和泥石流 (LandslideDeFlow)、低温冷冻 (Frozen)、森林草原火灾 (ForestGraFires)、农业病虫害 (AgriculturalPests)。每种灾害的属性集都有较大的区别。由于灾害属性是灾害领域应急响应的判断推理依据, 因此将属性设置为 DatatypeProperty, 以方便表示。下图为运用建模软件构建自然灾害领域本体的截图:

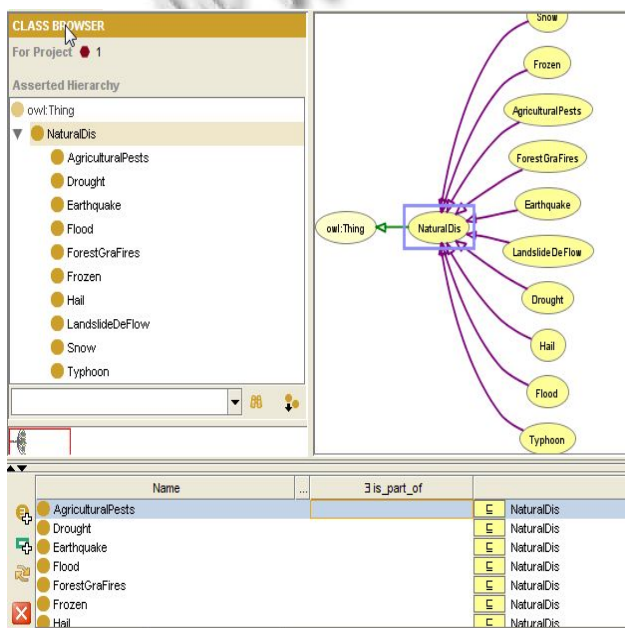


图 1 Protege 建模截图

地震灾害部分 OWL 描述如下:

```
<rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Earthquake
</rdfs:comment>
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:onProperty>
<owl:TransitiveProperty rdf:about="#is_part_of"/>
```

```
</owl:onProperty>
<owl:allValuesFrom>
<owl:Class rdf:about="# NaturalDis "/>
</owl:allValuesFrom>
</owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
<owl:disjointWith>
<owl:Class rdf:about=" #Typhoon "/>
</owl:disjointWith>
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:about="# NaturalDis "/>
</rdfs:subClassOf>
.....
```

地震灾害应急响应部分 OWL 描述如下:

```
<owl:Class rdf:ID="响应状态">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:about="#应急响应">
</rdfs:subClassOf>
<rdfs:subClassOf>
<owl:Restriction>
<owl:allValuesFrom rdf:resource="#指导者"/>
<owl:onProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="执行"/>
</owl:onProperty>
</owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>.....
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="应急响应">
<rdfs:comment
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">地震震级
</rdfs:comment>
<rdfs:domain>
<owl:Class>
<owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
<owl:Class rdf:about="# Earthquake "/>
<owl:Class rdf:about="#响应级别"/>
</owl:unionOf>
</owl:Class>
</rdfs:domain>
</owl:DatatypeProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="因灾死亡人口">
```

```

<owl:DatatypeProperty rdf:ID="紧急转移安置人口
">
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="倒塌房屋间数">
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="一级因灾死亡人口
标准">
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="二级因灾死亡人口
标准">
.....

```

### 3 自然灾害领域应急响应知识表示

逻辑是知识表示的基本手段,谓词是规范表示的基本方法,一阶谓词逻辑表示是分析和理解人工智能的基础,它可以使元素具有良好的语义,便于自然的表示概念。同时它具有完整的表示充分性,从而使得基于这种表示方式的归结定理证明方法可以适用于各种应用领域。然而,归结原理不能用于启发式知识控制推理,所以当知识集合较大时采用一阶谓词逻辑推理会效率极低。此外,一阶谓词表示知识的符号结构过于简单,无法有效地描述结构复杂的问题。

产生式表示的推理效率则远远高于一阶谓词逻辑表示,产生式规则最适合与各种启发式知识结合以指示事物间的经验性关联。而在产生式表示方法中运用 SWRL<sup>[12]</sup>语言进行描述产生式规则,则可以大大提高表示的灵活性。

因此,本文在进行灾害领域应急响应知识表示时首先运用一阶谓词逻辑表示方法对本体所要回答的问题进行形式化描述,再通过运用 SWRL 的产生式表示方法表达规则定义和语义约束。

#### 3.1 一阶谓词逻辑表示

一阶谓词逻辑是命题逻辑的扩充和发展,它是分析简单命题的内部结构并讨论关于量词的推理理论,它的表示元素为谓词公式、连词(与、或、非、蕴含)和量词(存在和全称)。谓词公式由谓词符号及若干参数项组成,参数可以是常量和谓词演算变量,谓词符号和联结符则不能是变量。

在一阶谓词逻辑中,推理的形式结构表示为:

$$(H_1 \wedge H_2 \wedge H_3 \wedge \dots \wedge H_n) \rightarrow C;$$

其中  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n, C$  均为谓词公式。谓词公式中,形如  $(\forall x)P(x)$  和  $(\exists x)P(x)$  的部分,称为谓词公式的  $x$  约束部分。 $(\forall x)P(x)$  或  $(\exists x)P(x)$  中的  $x$  叫做量词的指导变元或作用变元,  $P(x)$  称为相应量词的作用域或辖域。在  $\forall x$  和  $\exists x$  的

辖域中,  $x$  的所有出现都称为约束出现,相应的  $x$  称为约束变元;  $P(x)$  中除约束变元以外出现的变元称为自由变元。

例如:地震震级大于五级且因灾死亡人口大于一级因灾死亡人口标准的地震灾害启动一级响应。

设  $P(x)$  表示地震会启动  $x$  级响应,  $x$  的个体域为  $D = \{1,2,3,4\}$ ;

$Q(y)$  表示地震中的属性值,  $y_1$  表示地震震级,  $y_2$  表示因灾死亡人口,  $y_1, y_2$  均为变量;

$R(z)$  表示  $z$  大于 5;

$S(w)$  表示  $w$  大于一级响应因灾死亡人口标准  $a$ ;

则该命题的谓词描述为:

$$(\forall x)P(x) \wedge (\exists y_1)R(Q(y_1)) \wedge (\exists y_2)S(Q(y_2)) \rightarrow P \quad (1)$$

#### 3.2 产生式表示

产生式表示法的表现形式为: IF P THEN Q。其中 P 为规则前提, Q 为规则结论。P 和 Q 都被称为命题,命题可以是简单的命题,也可以是复杂的复合命题。由于在自然灾害领域本体复杂度较高,因此将规则表示法改进为有  $n$  个前提和结论,即 IF  $(P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n)$  THEN  $(Q_1 \wedge Q_2 \wedge \dots \wedge Q_n)$ 。在实际的项目应用中,结论 Q 的表达可以通过赋值语句、SQL 语句、输出语句等语句的形式进行表达。THEN。在实际的项目应用中,结论 Q 的表达可以通过赋值语句、SQL 语句、输出语句等语句的形式进行表达。

以地震灾害应急响应为例,应急响应这个子类包含了是否响应和响应级别,而不是响应与地震震级、因灾死亡人口、紧急转移安置人口、倒塌房屋四个关键属性相连,例如:

IF 地震震级  $\geq 5$

因灾死亡人口  $\geq$  一级响应因灾死亡人口标准

THEN 是否一级响应="是"

然而由于 OWL 语言自身的缺陷,其无法描述 if...then 关系。因此需要使用融合了 OWL 和 RuleML 规则描述语言的 SWRL 语言表示。来自领域本体的 SWRL 可以弥补传统的知识无法直接映射到规则中的问题,并且可以弥补 OWL 语言无法描述 if...then 关系的不足,而提高知识的语义表达逻辑能力。

SWRL 主要由四部分组成,分别是蕴含式 (Implication)、原子 (Atom)、变量 (Variable) 内置操作符 (Built-ins)。Implication 组成 SWRL 的规则, Atom 组成规则字句, Variable 表示规则所运用到的变量, Built-ins 表示 SWRL 中可以引用的逻辑运算关系,本文所应用到的比较关系如表 1 所示:

表 1 (argument 表示元素)

SWRL Built-ins	表示关系
equal	argument1=argument2
lessThan	argument1< argument2
greaterThan	argument1> argument2
greaterThanOrEqual	argument1>=argument2

在编写 SWRL 规则, 要遵循的规范格式为: antecedent $\rightarrow$ consequent<sup>[13]</sup>。antecedent 和 consequent 都可以表示成多个命题, 每个命题都是由多个元素组成, 而命题间可通过逻辑相交关系连接。

地震灾害判断一级应急响应部分规则表示:

*Earthquake*  $\left( \begin{array}{l} ? \text{地震震级}, ? \text{因灾死亡人口}, ? \text{一级响应因灾} \\ \text{死亡人口标准}, ? \text{是否一级响应}, ? \text{是否响应} \end{array} \right)$   
 $\wedge \text{has} - \text{FloatValue}(? \text{地震震级}, ? x)$   
 $\wedge \text{has} - \text{IntegerValue}(? \text{因灾死亡人口}, ? y)$   
 $\wedge \text{has} - \text{IntegerValue}(? \text{一级响应因灾死亡人口标准}, ? a)$   
 $\wedge \text{swrlb} : \text{greaterThanOrEqual}(? x, 5)$   
 $\wedge \text{swrlb} : \text{greaterThanOrEqual}(? y, ? a) \rightarrow$   
 $\text{has} - \text{Boolean}(? \text{是否一级响应}, \text{true})$   
 $\wedge \text{has} - \text{Boolean}(? \text{是否响应}, \text{true})$

.....

地震灾害判断二级应急响应部分规则表示:

*Earthquake*  $\left( \begin{array}{l} ? \text{地震震级}, ? \text{倒塌房屋间数}, ? \text{一级响应倒塌} \\ \text{房屋间数标准}, ? \text{二级响应倒塌房屋间数标准}, \\ ? \text{是否二级响应}, ? \text{是否响应} \end{array} \right)$   
 $\wedge \text{has} - \text{FloatValue}(? \text{地震震级}, ? x)$   
 $\wedge \text{has} - \text{IntegerValue}(? \text{倒塌房屋间数}, ? y)$   
 $\wedge \text{has} - \text{IntegerValue}(? \text{一级响应倒塌房屋间数标准}, ? a)$   
 $\wedge \text{has} - \text{IntegerValue}(? \text{二级响应倒塌房屋间数标准}, ? b)$   
 $\wedge \text{swrlb} : \text{greaterThanOrEqual}(? x, 5)$   
 $\wedge \text{swrlb} : \text{greaterThanOrEqual}(? y, ? b)$   
 $\wedge \text{swrlb} : \text{lessThan}(? y, ? a) \rightarrow$   
 $\text{has} - \text{Boolean}(? \text{是否二级响应}, \text{true})$   
 $\wedge \text{has} - \text{Boolean}(? \text{是否响应}, \text{true})$

.....

#### 4 应用与结论

在本文的课题来源——灾害应急决策支持与远程会诊系统技术研究中, 就运用了上述本体构建方法进行自然灾害领域本体的构建, 并在其推理机中运用到应急响应判断规则, 以进行灾害应急响应启动建议方案的生成。

本文以地震灾害中的应急响应为例, 给出一种基

于本体的知识表示方法。虽然我国由于地理、气候的偏差而造成各地灾害发生的种类有所区别, 但建立一整套自然灾害领域应急管理信息技术可以有效的解决不同灾害、不同地区的应急救灾工作, 这对我国应对自然灾害有着巨大而深远的意义。而在此基础上如何更好地实现应急响应规则的推理应用, 则需要进行更深层次的研究。

#### 参考文献

- 1 宗南苏, 郑业鲁, 钱平. 基于 SWRL 的鳃鱼疾病诊断知识表示与语义推理实现. 情报学报, 2010, 29(3): 414-421.
- 2 Neches R, Fikes RE, Gruber TR, et al. Enabling Technology for Knowledge sharing. AI Magazine, 1991, 12 (3): 36-56.
- 3 Gruber TR. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Stanford University, Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-200.
- 4 Gruber TR. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Journal of Human and computer studies, 1995(43): 625-640.
- 5 Antoniou G, Harmelen F. 语义网基础教程. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- 6 Ian Horrocks, Peter F, Van Harmelen F. From SHIQ and RDF to OWL the making of a Web ontology language. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web 1, 2003: 8-13.
- 7 He Q, Ling TW. An ontology based approach to the integration of entity-relationship schemas. Data & Knowledge Engineering, 2006, 58(3): 299-326.
- 8 杨保明, 刘晓东, 姚兰, 等. 基于本体论的农业知识的 OWL 描述. 微电子学与计算机, 2007, 24(5): 58-60.
- 9 Kalyanpu A, Parsia B, Sirin E. Debugging unsatisfiable classes in OWL ontologies. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web 3, 2005: 270-288.
- 10 巫建伟, 陈崇成, 唐丽玉. 面向土壤适宜性评价的本体知识库系统设计与应用. 地球信息科学学报, 2010, 12(5): 602-611.
- 11 支丽平, 王恒山, 张楠. 专利领域本体的构建方法研究. 图书情报工作, 2010, 4(54-8): 116-119.
- 12 Ianhorrocks P, Schneide P, Boley H. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. <http://www.w3.org/Submission/SW-RL.htm>
- 13 陈布伟, 李冠宇, 张俊, 等. 基于语义网规则语言的推理机制框架设计. 计算机工程与设计, 2010, 31(4): 847-849.