

应急事件的 Ontology 研究与建模^{*}

祝伟华¹ 徐光侠^{2,3} 杨 丹¹

(重庆大学软件学院 重庆 400030)¹ (重庆科技学院电子信息工程学院 重庆 400042)²

(重庆大学计算机学院 重庆 400030)³

摘 要 文章对本体的定义和本体的理论方法做了深入研究分析,阐述了使用 UML 为本体建模的可行性,提出使用 RUP 支持的 UML 对应急系统中本体建模的指导性原则。该应急本体建模的混合方法,突破了传统的建立本体方法的局限。应急系统中的本体建模方法的可行性在实际项目中得到了检验。

关键词 应急系统, Ontology, 方法, UML, 本体模型

Study of Ontology and Model of Emergency Event

ZHU Wei-Hua¹ XU Guang-Xia^{2,3} YANG Dan¹

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030)¹

(College of Electronic Information Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 400042)²

(School of Computer, Chongqing University, Chongqing 400030)³

Abstract The deep research and analysis are made about the definition of ontology and methodology of ontology in the paper. The feasibility is set forth on modeling of ontology with UML. The guide principle is proposed that UML based on RUP is applied on modeling of ontology in emergency system. The hybrid method of modeling of emergency ontology breaks through the limit of traditional method of constructing ontology. The feasibility is testified that method of modeling of ontology is applied on the project of emergency system.

Keywords Emergency system, Ontology, Methodology, UML, Ontology modeling

1 引言

目前,本体常用的和普遍接受的定义是 1998 年 Studer 的理解,即“本体就是共享概念化的精确形式化规范说明^[1]”。本体作为描述概念及概念之间关系的概念模型,通过概念之间的关系来描述概念的语义,本体被广泛地应用到计算机科学的众多领域。

人工智能领域专家和学者正在使用传统的知识表示方法和表示系统为本体建模,这些方法和系统都十分庞大而复杂,其他领域的人们对于这些方法和系统都很少了解。而 UML 已经得到了广泛的使用,同时开发人员也很容易接受, UML 可以为应用领域的概念建模提供有效的、可度量的方法,所以可以考虑使用 UML 来为应急系统中的本体进行建模。论文在对目前本体的理论方法和建模元语进行深入的理论研究分析的基础上,提出采用 UML 和 OCL 结合进行本体建模的方法,经实际项目采用的效果证明,比起其他建模方法和过程有许多突出的优势。

2 本体理论方法

2.1 本体的数学定义

可以通过下面的几个定义来给出本体的数学定义^[2]。

定义 1 二元结构 $\langle D, W \rangle$, 其中 D 为域, W 是该域中相关的事物状态的集合,也就是说 W 是 D 上的最大状态集^{*}, 将 $\langle D, W \rangle$ 称之为域空间。

最大状态集,是指 D 上的所有可能的状态集合,例如:桌

面上有五本书 $(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$, 分为放置的两堆 (B_1, B_2, B_3) 及 (B_4, B_5) , 这种放置情况称为一种状态, 当把 B_1 个放在 B_4 之上, 就得到一个新的状态, 所有这样的状态集合, 称之为最大状态集。

定义 2 三元结构 $C = \langle D, W, R \rangle$, 其中 R 为域空间 $\langle D, W \rangle$ 上的所有概念关联集, n 维的概念关联 ρ^n 为全函数 $\rho^n: W \rightarrow 2^D$, 表示从 W 到 D 上全体 n 维关系集的映射, 称三元结构 $C = \langle D, W, R \rangle$ 为概念化。可以认为概念化就是限定在某一特定域空间上的一组概念关联。

其中, D^n 是 $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ 的缩写, D^n 这里表示域 $D_1, D_2, \dots, D^n$ 的笛卡尔积, 2^{D^n} 表示 D^n 的幂集, 即 D^n 的所有子集, 把上述 D 的 n 维关系称之为外延关系, 对应地, n 维的概念关联 ρ^n 称之为内涵关系, 外延关系用以描述领域概念之间的组织结构, 而内涵关系主要用于表达关系本身的含义。以上述五本书的例子为例, 设有两个状态 $W_1, W_2 \in W$, 在状态中有外延关系为 $\{B_1^n B_2, B_2^n B_3, B_4^n B_5\}$, W_2 通过把 B_1 放到 B_4 的上面而得, 即其外延关系为 $\{B_2^n B_3, B_3^n B_4, B_4^n B_5\}$, 那么, 对于内涵关系, 假设为 on , 则有: $on: \{W_1, W_2\} \rightarrow \{B_2^n B_3, B_3^n B_4, B_4^n B_5\}$ 。

定义 3 本体是共享概念化的精确形式化规范说明。

精确是指所使用的概念及使用这些概念的约束都有明确的定义。形式化是指本体是计算机可读的, 也即是能被计算机处理的。共享是指本体中体现的是共同认可的知识, 反映的是相关领域中公认的概念集, 即本体针对的是团体而非个体的共识。

^{*} 基金项目: 重庆市自然科学基金(CSTC, 2005BA2002)。祝伟华 博士研究生, 副教授, 主要研究方向: 软件工程、图形图像等; 徐光侠 博士研究生, 讲师, 主要研究方向: 软件工程、企业信息化等; 杨 丹 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 企业信息化及企业应用集成, 软件过程技术及管理。

通过对本体定义的深入理解可以得出这样的结论:本体就是对某一研究领域应用本体的方法进行分析、建模的结果,就是将现实世界中的某个领域抽象为一组概念和概念之间的关联。本体强调的是特定领域的有着公认语义本质的概念及其之间的关联,本体就是关于某个特定领域的可以达成共识的概念集,可以用这些概念之间的各种关联来实现对语义的表达。本体的目标就是捕获相关领域的知识,提供对领域知识的共同理解,确定该领域内共同认可的词汇,并从不同层次的形式化模式上给出这些词汇和词汇相互关系的明确定义。

2.2 本体的数学模型

首先定义元素在部分集合上的指标集。

定义4 给定一个集合 S , G 是 S 上的一些部分函数所构成的集合, 设 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, 任意 $x \in S$, 称集合 $\text{ind}_G(x)$ 是 x 在 G 上的指标集, 如果 $\text{ind}_G(x) = \{i | x \in \text{dom}(g_i), 1 \leq i \leq n\}$ 。

本体的数学模型^[3]为:

定义5 本体 O 是一个五元组 $\langle C, I, f, A, R \rangle$, 其中:

- 1) C 是类的集合;
- 2) I 是实例的集合;
- 3) $f: C \rightarrow 2^I - \{\emptyset\}$ 是单射, 对任意 $a \in C$, 记 $f(a)$ 为 $\text{ext}(a)$, 称为 a 的外延;
- 4) $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 是属性的集合, 对任意 $1 \leq i \leq n$, A_i 可以认为是 I 上的部分函数, 并且由 A_i 导出 C 上的部分函数 A'_i 使得

• $\text{dom}(A'_i) = \{a | \text{ext}(a) \in \text{dom}(A_i), a \in C\}$
 • $A'_i(a) = \{A_i(a) | a \in \text{ext}(a)\}$, 对于任意 $a \in \text{dom}(A'_i)$
 $\subseteq C$, 记 $A' = \{A'_1, \dots, A'_n\}$;

- 5) $R = \{R_1, \dots, R_m\}$ 是二元关系集合, 对任意 $1 \leq j \leq m$ 有 $R_j \subseteq I \times I$, 并且由 R_j 导出 I 上的部分函数 R'_j 使得

• $\text{dom}(R'_j) = \{a | \exists b \in I, \text{使得 } \langle a, b \rangle \in R_j\}$
 • $R'_j(a) = \{b | \langle a, b \rangle \in R_j, b \in I\}$, 对任意 $a \in \text{dom}(R'_j) \subseteq I$;

记 $R' = \{R'_1, \dots, R'_m\}$, I 上的部分函数 R'_j 导出 C 上的部分函数 R''_j 使得

• $\text{dom}(R''_j) = \{a | \text{ext}(a) \subseteq \text{dom}(R'_j), a \in C\}$
 • $R''_j(a) = \{R'_j(a) | a \in \text{ext}(a)\}$, 对于任意 $a \in \text{dom}(R''_j)$
 $\subseteq C$

记 $R'' = \{R''_1, \dots, R''_m\}$

并且以上各元素满足如下条件:

- 6) 对任意 $a \in I$ 和任意 $a \in C$ 分别有

• $\text{ind}_A(a) \cup \text{ind}_{R'}(a) \neq \emptyset$
 • $\text{ind}_A(a) \cup \text{ind}_{R'}(a) \neq \emptyset$

- 7) 对于任意 $a \in I$ 和任意 $a \in C$, $a \in \text{ext}(a)$ 当且仅当以下同时成立

• $\text{ind}_A(a) \supseteq \text{ind}_{A'}(a)$, $\text{ind}_{R'}(a) \supseteq \text{ind}_{R''}(a)$
 • 对任意 $i \in \text{ind}_{A'}(a)$, 有 $A_i(a) \in A'_i(a)$
 • 对任意 $j \in \text{ind}_{R''}(a)$, 有 $R'_j(a) \in R''_j(a)$

- 8) 对于任意 $a, b \in I$, $a \neq b$ 当且仅当如下之一成立:

• 存在 $A_i \in A$ 使得 $a \in \text{dom}(A_i)$, 并且, 或者 $b \notin \text{dom}(A_i)$ 或者 $A_i(a) \neq A_i(b)$
 • 存在 $R'_j \in R'$ 使得 $a \in \text{dom}(R'_j)$, 并且, 或者 $b \notin \text{dom}(R'_j)$ 或者 $R'_j(a) \neq R'_j(b)$

定义6 设 $O = \langle C, I, f, A, R \rangle$ 是本体, 定义 C 上的一个二元关系 $<$:

$< = \{ \langle \alpha, \beta \rangle | \text{ext}(\alpha) \subseteq \text{ext}(\beta), \alpha, \beta \in C \}$

对任意 $\alpha, \beta \in C$, 如果 $\alpha < \beta$, 则称 α 继承 β 。

3 Ontology 的建模元语分析

Ontology 有四层含义^[4]:

1) 概念模型 (Conceptualization)。通过抽象出客观世界中一些现象的相关概念而得到的模型, 其表示的含义独立于具体的环境状态。

2) 明确 (Explicit)。所使用的概念及使用这些概念的约束都有明确的定义。

3) 形式化 (Formal)。Ontology 是计算机可读的。

4) 共享 (Share)。Ontology 中体现的是共同认可的知识, 反映的是相关领域中公认的概念集, 它所针对的是团体而不是个体。Ontology 的目标是捕获相关的领域的知识, 提供对该领域知识的共同理解, 确定该领域内共同认可的词汇, 并从不同层次的形式化模式上给出这些词汇和词汇之间相互关系的明确定义。

Perez 等人用分类法组织 Ontology, 归纳出 5 个基本的建模元语 (Modeling Primitives):

1) 类 (Classes) 或概念 (Concepts)。指任何事务, 如工作描述、功能、行为、策略和推理过程。从语义上讲, 它表示的是对象的集合, 其定义一般采用框架 (Frame) 结构, 包括概念的名称, 与其他概念之间的关系的集合, 以及用自然语言对概念的描述。

2) 关系 (Relations)。在领域中概念之间的交互作用, 形式上定义为 n 维笛卡儿积的子集: $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$, 如子类关系 (Subclass-of)。在语义上关系对应于对象元组的集合。

3) 函数 (Functions)。一类特殊的关系。该关系的前 $n-1$ 个元素可以唯一决定第 n 个元素。形式化的定义为 $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$, 如 mother-of 就是一个函数, mother-of (x, y) 表示 y 是 x 的母亲。

4) 公理 (Axioms)。代表永真断言, 如概念乙属于概念甲的范围。

5) 实例 (Instances)。代表元素。从语义上讲实例表示的就是对象。

另外, 从语义上讲, 基本的关系共有 4 种:

关系名	关系描述
part-of	表达概念之间部分与整体的关系。
kind-of	表达概念之间的继承关系, 类似于面向对象中的父类与子类之间的关系。
instance-of	表达概念的实例与概念之间的关系, 类似于面向对象中的对象和类之间的关系。
attribute-of	表达某个概念是另一个概念的属性。 如“价格”是桌子的一个属性。

在实际建模过程中, 概念之间的关系不限于上面的 4 种基本关系, 可以根据领域的具体情况定义相应的关系。

4 采用 UML 的本体建模

4.1 可行性

意大利本体学家 Guarino N. 曾提出, 仅在领域依赖程度这个维度上, 就可分为顶级本体、领域本体、任务本体和应用本体四种级别。本体有大有小, 根据抽象程度不同, 可以定义通用的适合全领域的概念, 也可以定义特定领域使用的术语。将本体看作是应急系统开发过程中的过程产物, 须考虑它的构建、建模和形式化表达问题。

UML (Unified Modeling Language, 统一建模语言) 是面向对象领域中的标准建模语言, 它支持面向对象技术的主要

概念,可视化和表达能力强大,且独立于开发过程。UML 包括语义和表示法两部分,其中语义用来定义 UML 对象建模的抽象语法和语义的元模型,表示法用来定义可视化描述 UML 语义的图形和符号集合。UML 可以为应用领域的概念建模提供有效的、可度量的方法,所以可以考虑使用 UML 来为本体进行建模。同时,由于 UML 提供了半形式化的 OCL(Object Constraint Language,对象约束语言)来辅助描述模型,而且使用了一阶谓词逻辑,因此这种建模语言能够支持本体中实体及实体之间静态和动态语义的描述,同时也能在一定的程度上支持本体的推理。此外,UML 有标准的扩展机制,可以根据具体的开发本体的环境而进行必需的改变和扩展。用 UML 和 OCL 结合进行本体建模,很大程度上可以发现知识工程方法所面临的一些问题,因此,笔者认为用 UML 和 OCL 结合对本体进行建模的方法,不仅有很高的可行性,而且比起其他的知识工程方法还有很多优势。

4.2 采用 UML 的本体建模方法步骤

类图是 UML 定义的分类符,表达的是一组对象类(Class)和它们之间的联系,一方面它可以描述各个对象类本身的组成,即类的属性、操作和对对象类中的对象约束,另外,它也可以描述系统中对象类之间的各种静态的联系,而且这些静态联系的主要类型有:关联、聚合、组合、泛化/特化、依赖等。类图的这些特性基本可以满足本体建模的需要,可以表达出本体所包含的要素,再根据实际环境进行适当的扩展,结合 OCL 实现对概念及关系的精确描述,就可以完成开发过程中本体的建模。

对于用 UML 来表达本体的方法和原则,做以下说明和约定:

1) 应急系统的领域知识通过一个本体来表达, 整个应急系统开发过程中都会使用到这个本体, 都以这个本体作为描述概念和概念之间关系的标准。

2)用UML表示的本体模型图和UML的类图很相似,采用UML中的类图定义的元模型来表达本体模型。

3) 本体模型中继承了 UML 类图的几种关系, 如关联关系、泛化关系等, 用于表示概念类之间的各种关系, 表达方式也与类图中对上述关系的表示方式保持一致。

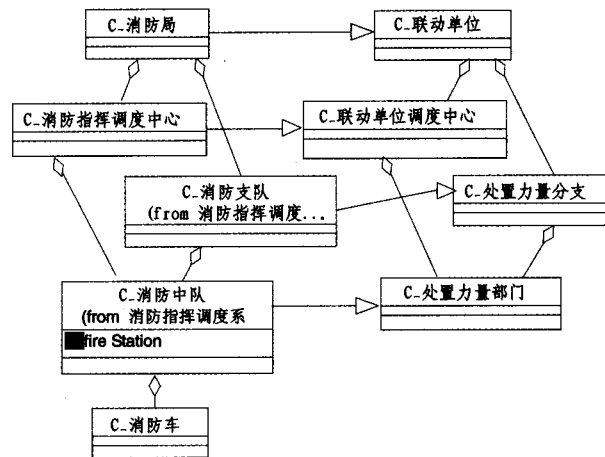
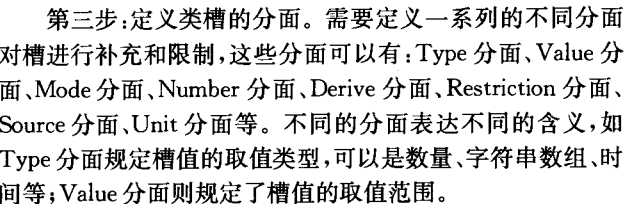
4) 为了实现对本体中各种实体概念更加趋近于精确的表达,将采用 OCL 对实体概念加以约束,OCL 通过适当的注释叠加到本体模型中。

5)除了约束外,本体模型图中还使用了构造型这种UML的扩展机制,为了区分概念类所包含的元素与面向对象技术中定义的类所包含的对象这两种概念,笔者新定义了构造型“frame”和“slot”。

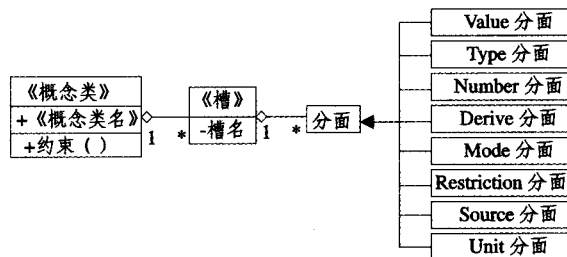
在这个大原则的基础上,逐步按照结合 RUP 的本体建模方法和过程中的核心阶段——概念识别阶段的各个步骤,对本体要素进行 UML 表达^[5]。

第一步:建立类和类的等级体系。类和类的等级体系类似于面向对象技术中的类和对象形成的层次结构,所以可以选择 UML 类图对其进行描述,子类对父类的继承关系等都可以通过 UML 实现。采用 UML 的应急联动系统的本体模型示例如图 1 所示。

第二步:对类的槽的性质做出合适的定义。类的槽依据性质可分为属性槽和关系槽两种类型,属性槽是用于描述类或类中成员的某一方面的特性,关系槽表示类和类中成员之间的以及与其他其它类之间的各种关系。对于类的槽,子类和父类的槽之间存在的继承和扩展的关系等,都可以选择UML定义的类图进行表达。



通过上述三个步骤,就可以建立本体的概念模型。所谓本体的概念模型主要就是指本体的概念类及类的等级体系,建立本体的概念模型就是要将本体包含的概念类的等级体系用 UML 语言表达出来。这里主要用到 UML 中的对象类和对象的有关定义,概念类、槽、槽的分面等概念都使用 UML 定义的对象类图来进行表达,本体的概念模型所应当具有的基本结构,如图 2 所示。



槽用于定义概念类拥有的属性或关系的参数。槽的 Type 和 Mode 分面必须定义,分别指示概念类实例槽值的类型和提供方式。在概念类的实例中,必要值必须出现,典型值可以缺省,推导值可由 Device 分面提供的计算公式或规则组推出。Restriction 分面定义槽的取值约束或限制。Constraint 槽不同于槽的 Restriction 分面,前者用来表示不同槽之间的约束关系。

从图 2 中可以看出,概念类、概念类的槽、槽的分面都使用了 UML 中定义的对象类的表示方法,概念之间的关系也使用了对象类的关联来表达。概念类的槽和它所属的概念类是多对一的组合关系,槽的分面和它所属的槽同样也是多对一的组合关系,不同分面是对槽的分面的继承,体现出两者的泛化与特化关系。

第四步:定义本体的公理,建立公理库。公理基本上可以分为槽值公理和内涵公理两种类型。槽值公理反映槽值之间的约束和限制,又可以分为属性间公理和关系间公理。内涵公理相对其他两种公理来说,不是很容易识别和发现,必须经

(下转第 170 页)

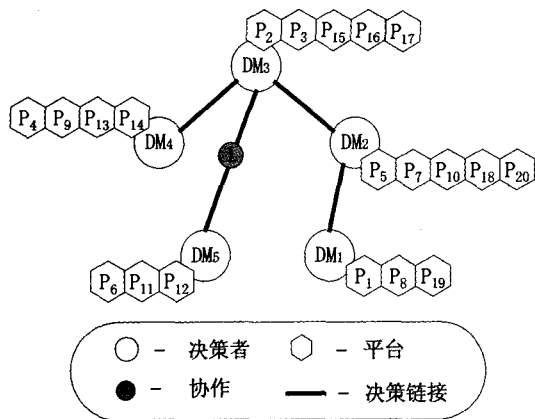


图5 $\tilde{O}$ 的平台隶属关系以及执行使命 M_2 的任务协作

如果原有的组织为 O_2 , 当使命环境变为 M_1 时, 应用我们的方法得到适应性代价最小的组织仍为 O_2 , O_2 执行使命 M_1 的适应性测度为 $W_{RMS}(O_2, M_1) = 4.43$, 组织 O_2 不变的适应性代价为 $C^A(O_2, O_2, M_1) = 1.14$ 。可以看出, 组织 O_2 相比于 O_1 具有更好的适应性, 它对于环境的变化敏感度较低, 因此也可以认为是一个鲁棒的组织。如果一个组织是鲁棒的, 就可以避免由于环境的不断变化带来的结构上的频繁的适应性调整, 并减少由此带来的代价。

结论 本文讨论了面向使命的组织适应性设计问题, 通过扩展已有的基于粒度计算的组设计方法, 提出了组织的适应性设计方法。设计过程主要是对阶段 I 的平台集粒化方法进行了相应的改变。通过案例分析说明了组织适应性的必要性和本文方法的良好性能。

在以后的工作中, 我们将对组织的鲁棒性设计进行研究, 它是解决不确定环境下的组织设计问题的另一种方法。一个设计良好的、鲁棒的组织可以很好地执行一定范围内的使命, 而不是仅对某一特定使命有效。

参考文献

1 Pete A, Kleinman D L, Pattipati K R. Structural congruence of

- tasks and organizations. In: Proceedings of the 1994 Symp on Command and Control Research and Decision Aids, NPS, Monterey, CA, 1994, 168~175
- Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo Jie, et al. Normative Design of Organizations - Part I: Mission Planning. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2002, 32(3): 346~359
- Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo Jie, et al. Normative Design of Organizations - Part II: Organizational Structure. IEEE Transactions on SMC, 2002, 32(3): 360~375
- Levchuk G M, Levchuk Y N, Meirina C, et al. Normative Design of Project-Based Organizations - Part III: Modeling Congruent, Robust, and Adaptive Organizations. IEEE Transactions on SMC, 2004, 34(3): 337~350
- Xiu Bao-Xin, Zhang Wei-Ming, Liu Zhong, et al. A Novel Organizational Design Methodology Based on the Theory of Information Granulation. In: The Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, GuangZhou, August 2005, 1~6
- Pete A, Kleinman D L, Pattipati K R. Structural congruence of tasks and organizations. In: Proceedings of the 1994 Symp on Command and Control Research and Decision Aids, NPS, Monterey, CA, 1994, 168~175
- Diedrich F, Entin E, Hutchins S, et al. When Do Organizations Need to Change - Part I: Coping with Organizational Incongruence [A]. In: International Command and Control Research and Technology Symposium [C], Washington, DC, June 2003
- Kleinman D L, Levchuk G M, Hutchins S G, et al. Scenario Design for the Empirical Testing of Organizational Congruence [A]. In: International Command and Control Research and Technology Symposium [C], Washington, DC, June 2003, 324
- Zadeh L A. Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. Fuzzy Sets and Systems, 1997(19): 111~127
- 张钹, 张铃. 问题求解理论及应用. 清华大学出版社, 1990
- 张钹, 张铃. 模糊商空间理论(模糊粒度计算方法). 软件学报, 2003, 14(4): 770
- 李道国, 苗夺谦, 张东星, 等. 粒度计算研究综述. 计算机科学, 2005, 32(9): 1~12
- Carley K M, Svoboda D M. Modeling Organizational Adaptation as a Simulated Annealing Process. Sociological Methods and Research, 1996, 25(1): 138~168
- Carley K M. Organizational Adaptation. Annals of Operations Research, 1998, 75: 25~47
- Levis A H. Quantitative Models of Organizational Information Structures. In: Sage A P, ed. Concise Encyclopedia of Information Processing in Systems and Organizations, Oxford: Pergamon Books Ltd, 1988
- Levis A H. A Colored Petri net Model of Intelligent Nodes. In: Gentina J C, Tzafestas S G, eds. Robotics and Flexible Manufacturing Systems, The Netherlands: Elsevier Science Publishers, 1992
- Kemple W G, Drake J, Kleinman D L, et al. Experimental Evaluation of Alternative and Adaptive Architectures in Command and Control. In: Proceedings of the 1997 Command and Control Research and Technology Symposium, Washington, DC, June 1997

(上接第 161 页)

过深入的考察才能够将其提炼出来, 主要用来规定本体中其他的公理。公理一般使用一阶逻辑表达式表示, 在此基础上建立本体的公理库。公理库的建立是储存和管理公理的, 公理基本上是进行推理的基础。

UML 是一种通用的模型描述语言, 缺少精确的语义, 因此在对本体进行描述的时候, UML 在分析和推理方面表现出的能力有限, 针对 UML 在推理方面的不足, 一些研究人员也提出了一些解决办法, 如选择通过采用基于图形变换的推理方法, 但是很多方法也只能使这个问题得到部分的解决。

第五步: 生成类的实例。根据上面建立的类的等级体系和公理库, 生成类的实例。

4.3 应急系统本体模型的作用

应急系统 Ontology 模型在应急领域中有 3 方面的作用:

1) 解决各子系统间的术语通信。能让不同领域的信息进行语义层的交换, 即实现语义互操作。2) 实现各应用的集成。即实现同一事件的跨区跨警种的处理, 即实现应急联动。3) 进行多源信息查询。包括基于时空的事件查询检索, 或事件细

节查询, 或进行事件间关系的查询。

结束语 本文对本体的定义和本体的理论方法做了深入研究分析, 阐述了使用 UML 为本体建模的可行性, 提出使用 RUP 支持的 UML 对应急系统中本体建模的指导性原则。该应急本体建模的混合方法, 突破了传统的建立本体方法的局限。采用应急系统中的本体建模的方法, 在实际项目中证明了它的可行性。

参考文献

- Noy F N, McGuinness D L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. [Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880]. March 2001
- Guarino N. Formal Ontology and Information Systems. In: Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, Amsterdam, IOS Press: 5, 1998
- 高颖. 领域本体的形式分析[D]. 北京: 中国科学院, 2003, 6~7
- Uschold M, Grüninger M. Ontologies-Principles, Methods and Applications. Knowledge Engineering Review [J], 1996, 11(2)
- 王姣. 本体驱动的信息系统开发中的本体建模研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2005, 59~62