第52卷第3期
2012年5月
大连理工大学学报
Journal of Dalian University of Technology
Vol.52, No.3
May 2012

文章编号：1000-8608(2012)03-0458-06

突发公共事件基于本体的元事件模型研究

王　涛[1,2]，王延章*[1]，鲁艳霞[3]

（1.大连理工大学 管理学院，辽宁 大连　116024；
2.大连理工大学 实验室与设备管理处，辽宁 大连　116024；
3.大连东软信息学院 信息技术与商务管理系，辽宁 大连　116023）

摘要：突发公共事件时有发生，如何应用历史突发公共事件，快速获取应对当前突发事件的解决思路，以应对突发的公共事件，是急需解决的关键问题. 通过对突发公共事件实体层级体系的研究，将其公共属性进行描述和抽取，采用OWL语言对突发公共事件的本体进行了描述，并给出了突发公共事件的元事件的定义，讨论了元事件之间的相互关系. 结合CBR的相关理念，提出了基于元事件的突发公共事件的推理机制，使得决策者依据元事件库可以快速地获得应急处置方案；最后实例验证和说明该模型具有良好的应用效果.

关键词：突发公共事件；CBR；本体；元事件模型
中图分类号：C94　　**文献标志码**：A

0　引　言

随着我国社会经济的快速发展，各类突发公共事件时有发生，给我国的人民生活和生命财产造成了巨大损失. 尽管我国已经逐步建立健全“一案三制”的公共危机应对体系，即应急预案[1~3]，应急工作体制、机制和法制，以提高政府应对突发事件和风险的能力，但是这些应急管理的举措主要是从宏观层面进行组织和控制的，仅仅说明政府相关管理机构对突发公共事件的重视，以及主要的应对步骤或措施，然而各类突发公共事件具有很大的不确定性，特别是一类突发公共事件还会引发一系列的后续突发事件. 如何在突发公共事件的处置过程中更好地使用案例库[4~6]中的案例信息，结合CBR的相关理论[6]，获取与发生事件最相似的案例，以及与该案例中事件相匹配的案例或决策信息，来提供给领导辅助决策，是当前应对突发事件时亟待解决的问题，也是当前学术界研究的难点和热点.

本文在实际参加的应急辅助决策系统开发的实践中，在对突发公共事件种类和属性进行整理、分析和总结的基础上，提取公共的信息要素，提出突发公共事件公共属性的本体描述，并将元数据的思想引入到突发公共事件中，构建元事件模型，将突发公共事件按照元事件进行细分组织，建立突发公共事件的历史元事件库，并结合当前突发公共事件的情景信息和CBR推理机制，帮助决策者建立科学的决策辅助模型，以提高决策者决策的准确性和有效性.

1　突发公共事件共性本体模型构建

2006年，国家颁布的《国家突发公共事件总体应急预案》[6]中给出了突发公共事件的定义：突然发生，造成或可能造成重大人员伤亡、财产损失、生态环境破坏和严重社会危害，危及公共安全的紧急事件. 并根据发生过程、性质和机理，将突发公共事件划分为自然灾害、公共卫生事件、事故灾难和社会安全事件共4个大类. 如对大类进一步细分，可分为数百种小类.

1.1　突发公共事件实体层级分析

引发这些突发公共事件的原因和表现方式千差万别，然而，不论是人为原因还是自然原因，所有这些事件都存在一些共性信息，即所有的突发

收稿日期：2010-05-13；　**修回日期**：2012-03-04.
基金项目：国家自然科学基金资助项目(60074038,70271045,91024029).
作者简介：王　涛(1977-)，男，博士；王延章*(1952-)，男，教授，博士生导师，E-mail：yzwang@dlut.edu.cn.

公共事件都是通过某些实体来进行表现，而这些实体之间具有许多共同的属性信息；但是，各实体既是相对独立的，又是相互联系的，构成一个整体.突发公共事件的实体层级体系图如图1所示.

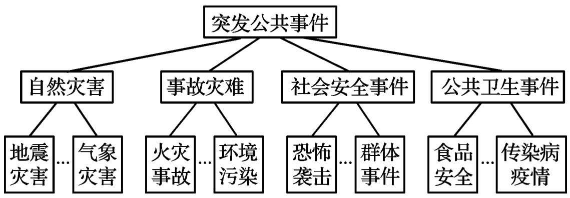

图1　突发公共事件实体层级体系图

Fig.1　The level system of entity on public emergencies

从图1中可以看到，突发公共事件也可以依据某种方式进行分级分类，通过对这些共性实体属性信息的获取，综合事件发生时的情景信息，并结合历史事件库可以对该类突发公共事件进行分析.

1.2　突发公共事件本体属性构建

本体（ontology）可以被普遍认同的定义是“本体是共享概念模型的形式化规范说明”[7]，本体最早应用于人工智能领域，现在信息交换、知识工程、应急管理以及软件工程等领域获得了广泛应用.

本体通过一种结构化的描述相关事实的模型，实现知识表示的3个功能：分类、推理与共享.所谓分类就是将不同的知识信息进行区分，以实现层次化的知识表示方式；所谓推理就是将信息中所隐含的隐性知识表达出来；共享则是把具有不同结构的知识实现互操作、相互理解和语义结合.所以将本体方法与知识表示进行良好的结合，能够实现对知识进行深层次的推理和查询，可以将结构表示的知识语义进行很好的融合，以实现知识的重用与共享.

W3C组织在2004年发布了一个本体的表示语言标准OWL[8,9]，可实现统一的本体描述，可以对突发公共事件的公共属性进行描述，也就是可以对突发公共事件公共属性进行本体的形式化描述，用以实现标准的语义定义.

针对形式各异的突发公共事件，需要采用本体来描述各类突发事件的共同特征，突发公共事件本体所体现的应该是突发公共事件公共属性的集合，并不会随着突发事件种类的变化而发生变化，针对不同种类的突发公共事件，抽取其相应的共性属性，可获得突发公共事件的公共属性，例如：事件名称、发生时间、发生地点（经度和纬度）、发生单位、事件类别、事件状态、事件级别、受灾风险区域、造成损失、行动方案等.以突发公共事件本体为突发事件的基类，对不同种类的突发公共事件进行扩展，就可以形成一个以此本体为根的倒挂树.通过对突发事件的公共属性抽取，结合OWL语言的语法和使用，可以得出相应的本体描述，如下所示：

```
〈? xml version="1.0" encoding=GB2312?〉
    …
  〈xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
     URI="http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/11/eventOntology.owl"〉
  〈rdfs:comment〉突发公共事件本体模型〈/rdfs:comment〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;事件名称"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;发生地点"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;经度"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;纬度"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;事件类别"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;事件级别"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;发生单位"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;造成损失"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;行动方案"/〉
    〈owl:Class rdf:ID="& 突发公共事件;处置结果"/〉
  …
〈/Ontology〉
```

上面是部分的突发事件本体描述.针对某种具体的突发公共事件，通过继承上面提到的事件的基本属性，再加上该事件所具有的特殊属性，就可以形成该事件的完整属性信息，如对于地震，添加震级、震源深度、地质条件、地震类型、震区建筑物抗震性，以及震区人口密度等事件属性，就可以构成地震事件的完整信息.

如果将突发公共事件的属性进行分类，抽象成一个个属性的集合，根据事件属性对事件影响关系，可以把事件属性分成时间、输入、空间、状态和输出的5种要素集合.而事件间的这些属性集合的关系及其相互影响关系，又可以反映出事件之间的关系，事件的输入属性会引发事件状态的变化，而这种状态的变化，产生的结果就是一些输出要素集合，这些整个的一系列事件属性的变化过程，可以突出地反映突发公共事件的发生发展过程.

2　突发公共事件本体元事件模型研究

2.1　突发公共事件元事件定义

把突发公共事件看作由一些事件所构成，各

事件间存在着各种关系,如同一、因果、顺序、耦合等,将突发公共事件进行切分,可把事件分成一个个相对独立的元事件.本文给出突发公共事件元事件的定义:构成突发公共事件的基本单元,不能再进行进一步细分事件的最小单位,包含一个突发公共事件所必需的基本要素.

通过上面的定义,并结合突发公共事件的共有属性特征,可将突发公共事件元事件 E_m 定义成如下四元组:事件输入(E_i)、事件状态(E_s)、事件输出(E_o)和离散时间点集合(E_t).表示如下:

$$E_m=\{E_i,E_s,E_o,E_t\}$$

可以把元事件 E_m 的输入 E_i 划分为自然输入(N_i)、人为输入(A_i)、社会输入(S_i).N_i 指的是与突发公共事件关联的自然生态环境的总的集合.A_i 指的是突发公共事件发生前或发生后,根据事件的基本情景信息,采用的与人的行动相联系的应急方案和救援行动的集合,例如危险品监控、前期预警、应急处置、启动预案、采取方案等一系列需要人工干预的事项.S_i 指的是与突发公共事件相联系的社会状态的集合,例如事发地的经济、人文环境等社会因素的集合.

突发公共事件的元事件状态的变化,是由其构成实体的变化来反映的,通过突发公共事件的实体的状态信息可以描述突发公共事件的元事件的状态,而实体状态信息可以划分成3类:实体属性信息,表示实体信息本质特征,反映实体静态属性信息,如元事件发生的时间、地点(包括经度和纬度)等;实体动作信息,或称之为方法(功能)信息,通过该实体的动作信息来反映该实体状态情况,如突发公共事件地震可能带来的损害包括房屋倒塌、山体滑坡、海啸等后续事件;实体汇总信息或统计信息,主要指元事件表现出的输出相关参数的集合,例如统计出来的死亡人数、受伤人数、直接经济损失、受灾范围、间接经济损失等数据.

突发公共事件的元事件输出集合 E_o 表示该元事件造成后果的信息,用前面提到的实体信息来表示,它是实体状态信息的子集.前一元事件的输出参数可作为下一元事件的输入参数,作为后一元事件的起因.

元事件的输入参数集合、状态参数集合、输出参数集合和离散时间点集合之间相互作用,就构成了一个完整的元事件,即 $E_m=\{E_i\times E_s\times E_o\times E_t\}$.

通过把突发公共事件按元事件进行组织和细分,就可以辨析元事件之间所存在的各种关系.通过元事件之间的组合,构建更为复杂的突发公共事件.经过归纳整理,元事件之间主要有3种关系:时序关系、因果关系和层级关系.综合表现出来有连锁型、因果型和复合型.

一系列关联的实体对象构成元事件,而一些元事件的组合又可以构成突发公共事件,一个突发公共事件的发生,必然会引发一系列的元事件,而元事件的变化会引发相应的实体属性的变化,也就是对应的事件状态的变化,实体之间的各种状态变化,反映出来就是对应的元事件的变化,最终构成突发公共事件的整个过程,所以可以通过实体属性的变化来反映突发公共事件的变化.

如果以元事件为节点,元事件之间的因果关系或时序关系用节点之间的有向弧来表示,则可将突发公共事件按元事件进行组织和细分,突发公共事件的元事件如图2所示,其中 E_1、E_2、E_3、E_4 表示突发公共事件的元事件,从图2中可以看出:

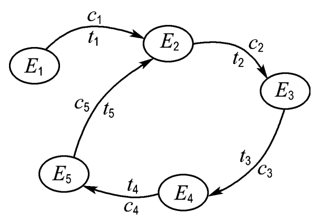

图2 突发公共事件的元事件图

Fig.2 Meta events figure of public emergencies

(1)元事件 E_2 由元事件 E_1 发生 t_1 时间后,并满足 c_1 条件而引发;

(2)元事件 E_3 由元事件 E_2 发生 t_2 时间后,并且满足 c_2 条件而引发.

按照此方法,各个元事件组合可构成突发公共事件的整个发生过程,通过该组合方式,可以借助历史突发公共事件的元事件库的相关帮助,来获取对处理当前事件有意义的历史元事件相关信息.

2.2 基于本体的突发公共事件元事件组织与处置

针对不同突发公共事件,其包括的实体也各不相同,通过对实体状态的变化的记录反映事件的状态,而实体属性的状态变化,是实体状态变化的量化.突发事件的 E_m 的输出参数 E_o 是需要根据事件实体内部状态变化来决定的,是对事件状态的反映,如图3所示.

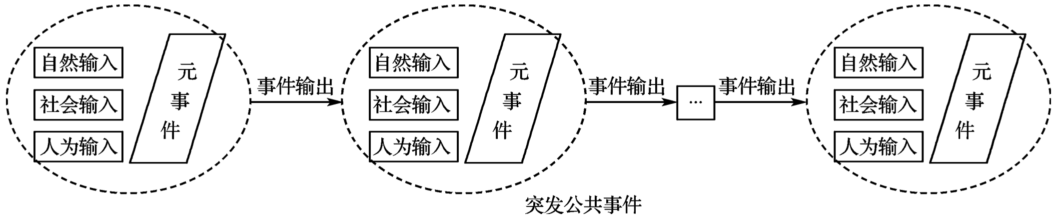

图3　突发公共事件元事件组织

Fig. 3　Meta events organization of public emergencies

随着突发公共事件的发生，突发公共事件由一系列相关元事件组成，各元事件间存在着顺序、因果、同一、耦合等关系，突发公共事件的发生发展过程也是由这些关系复合组成的.

突发公共事件元事件间的因果关系可以使用有向图表示，如图4所示，其中黑色圆点代表元事件作为节点，元事件间关系为边，N_i、S_i、A_i 指的是自然、社会和人工输入，该元事件模型表示了突发公共事件的发生过程，小圆圈代表事件的输入信息.

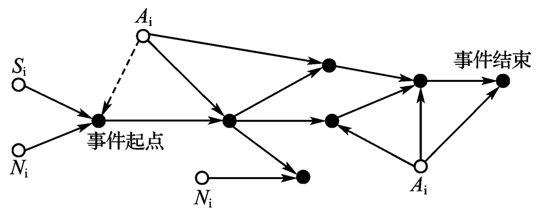

图4　突发公共事件元事件处理过程

Fig. 4　Meta events process construction of public emergencies

突发公共事件大多包含多个元事件，因此，可以用元事件模型来描述突发公共事件的整个过程. 另外，针对不同的突发公共事件，单一元事件模型不能统一表示所有突发公共事件，某些复杂的元事件模型可通过扩展模型来得到，从而可以以此形成倒挂树形的突发事件的元事件模型体系.

实现对元事件属性数据多维属性的合理表示，可为采用CBR的智能推理提供更好的元事件模型支持，方便实现根据不同情况或不同需要来检索不同的满足条件的元事件事例. 就某个具体元事件模型来说，它至少由下面几部分组成.

(1)元事件描述信息：用于唯一标识该元事件，包括序号及名称.

(2)元事件的特征：描述该元事件的特征. 它由下面几部分构成.

①特征信息：描述其特征；

②维度信息：描述特征分属于哪几个维度；

③问题信息：描述该元事件可以解决哪类问题；

④数值型信息：用数值说明该元事件的特征信息；

⑤解决方法信息：描述针对事件问题的解决方法.

(3)元事件说明信息：对元事件的详细说明信息.

每个元事件不仅由特征信息、解决问题方法信息构成，还与元事件某个维度有关，现通过分析元事件库的层级关系以及元事件的特征维度关系，得到图5所示的元事件库，其分布呈现一个倒挂的树形.

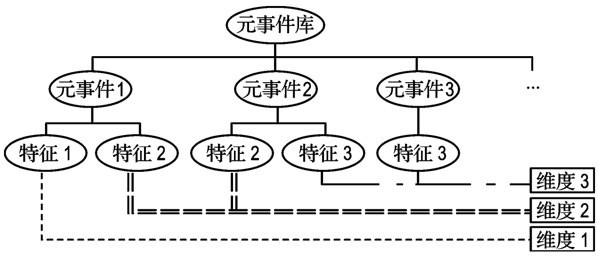

图5　元事件多维特征维度关系图

Fig. 5　Dimension relationship chart of multidimensional meta events features

通过上面的分析，如果能通过对历史突发公共事件的元事件及时汇总，构建突发公共事件元事件库，在突发公共事件发生后，利用当时情景信息，查找事件库以及元事件库，结合相应案例库、资源库，进行事件案例匹配，采用元事件模型推理，可迅速地生成事件参考方案反馈给应急决策人员. 图6是基于元事件的突发公共事件推理过程.

当突发公共事件发生后，应急部门采用应急监测所提供的危机情景信息，首先将当前事件主要问题采用预先给出的问题描述框架，表示为结构化的元事件信息，为下一步的元事件推理做好准备.在推理开始前，需要专家根据输入的问题，对这次推理参数进行初始化，或采取一些默认值，或者专家根据决策目标和自身经验调整参数，从而实现更有效的推理.

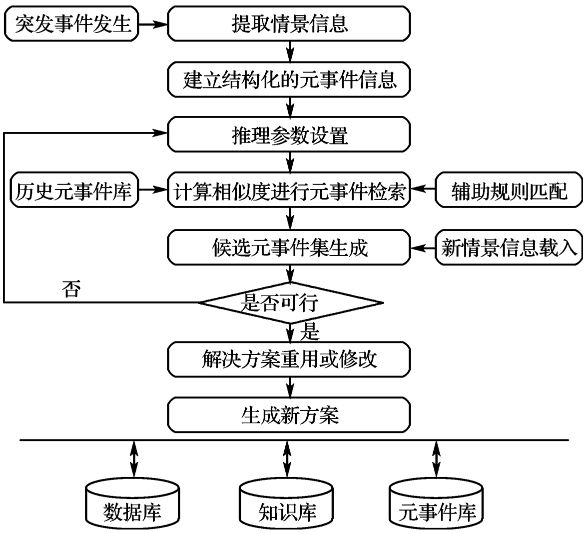

图 6　基于元事件的突发公共事件推理机制

Fig. 6　Public emergencies reasoning mechanism based on meta events

采用基于元事件案例推理的方法，首先需要计算当前事件情景信息与元事件库提供的候选元事件间的相似度，依据事先设定的相似度阈值，获取相似度超过阈值的候选集合；然后，对采用的检索辅助规则进行匹配，获取符合条件的候选元事件的集合；最后，按相似度的大小，对两部分得到的结果进行排序，可选择相似度最大的历史元事件的解决方案进行参考或修改采纳.

推理活动结束后，决策人员根据方案分类与排序规则，对得到的结果进行修改调整，形成最终决策方案.

3　应用实例

辽宁海城地震是于 1975 年 2 月 4 日 19 点 36 分发生在我国辽宁省海城、营口县附近的 7.3 级大地震，因为预报措施比较成功，政府提前发布了短临预报，并有效地组织了群众预防，使全区人员伤亡共 18 308 人，仅占区总人口数的 0.22%.其中，死亡 1 328 人，占总人口数的 0.02%，重伤 4 292 人，轻伤 12 688 人，轻重伤占总人口数的 0.2%.远低于邢台大地震、通海地震、唐山地震的人员伤亡率(分别为 14%、13%、18.4%).这次地震共造成 8.1 亿元的经济损失.其案例如图 7 所示.

案例名称	海城地震	突发事件类型	自然灾害
发生地点	辽宁海城		
发生时间	1975-02-04 19:36:00.0	死亡人数（人）	328
受伤人数（人）	12688	失踪人数（人）	
直接经济损失（万元）	81000	间接经济损失（万元）	
其他已造成的后果	地震造成城镇房倒屋塌及破坏约500万平方米，公共设施损坏166万平方米，农村房屋毁坏1740万平方米，城乡交通、水利设施破坏2837个，各种设备、物资也遭到严重损失，地面喷沙孔大的直径达2.5米，有一地震断裂，长约5.5公里，裂缝带宽处达40米。		
评估结果	成功进行了短临预报，震区各级政府组织群众预防，有效地减少了人员伤亡，轻重伤占总人口数的0.2%。海城地震的成功预报，震动了世界，这是人类在自然灾害面前由被动到主动的具有重大意义的一步，它开创了人类短临地震预报成功的先河，使人们看到了地震预报的前景是光明的。		
案例来源	百度		
案例编制时间	2008-09-01 18:03:25.0		

图 7　海城地震案例信息

Fig. 7　Haicheng earthquakes case information

根据海城地震的震级、震源、烈度等地震信息，依据相似度计算公式，将其信息与历史上地震案例的元事件库进行相似度计算，就可以得到与该事件最相似的地震元事件，按相似度的大小排序如图 8 所示.

序号	相似度	事件状态名称	经度()	维度()	发生地点	发生日期	地震级别	案例信息
*	匹配案例	海城地震-城市地震-状态1			辽宁海城		6.8	案例信息
1	0.97	邢台大地震-城市地震-隆尧县地震			邢台地区…		7.3	案例信息
2	0.52	台湾9.21大地震-城市地震					6.8	案例信息
3	0.497	邢台大地震-城市地震-宁晋县6			河北宁晋…		6.7	案例信息
4	0.475	邢台大地震-城市地震-宁晋县7			河北宁晋…		7.2	案例信息
5	0.466	邢台大地震-城市地震-东旺			老震区以…		6.2	案例信息
6	0.455	邢台大地震-城市地震-巨鹿			老震区以…		6	案例信息
7	0.328	云南丽江大地震-城市地震-状态1	100.05	27.033	丽江纳西…		7	案例信息
8	0.317	云南丽江大地震-城市地震-状态2	100.283	26.967	云南丽江	1996-02-…	6	案例信息
9	0.314	云南通海地震-城市地震-状态1	102	24.1		1970-01-…	7.7	案例信息
10	0.275	台湾9.21大地震-城市地震-9	120.78	23.87	台湾南投	1999-09-…	7.6	案例信息

图 8　海城地震相似度匹配结果

Fig. 8　Similarity matching result of Haicheng earthquakes

从图 8 中可以选出匹配案例相似度最高的 0.97 的邢台大地震案例，该地震案例详细信息如图 9 所示.

案例名称	邢台大地震	突发事件类型	自然灾害
发生地点	邢台地区隆尧县以东		
发生时间	1966-03-08 05:09:03.0	死亡人数（人）	8182
受伤人数（人）	51395	失踪人数（人）	
直接经济损失（万元）		间接经济损失（万元）	
其他已造成的后果	6.8级地震波及142个县市，7.2级地震破坏范围包括136个县市，有感范围北到内蒙多伦，东到烟台，南到南京，西到铜川等广大地区。破坏房屋400余万间，损坏桥梁86座。灾区共发生事故性火灾116起，烧死16人，烧伤26人，烧毁简易房163间。邢台西部山区和井陉、武安一带发生山崩300余处，山崩飞石引起火灾22起，烧山80公顷。地裂缝、冒砂、冒水现象普遍，断裂延长几十米至数公里，地裂最宽达2米，井水上升或外溢等很普遍。滏阳河上几座桥遭严重破坏，艾辛庄大桥桥面向南移动，与桥墩错开1.8米，致使交通中断。地震影响区域广，天津市和张县有发电机掉闸，造成短暂停电现象。石家庄以西和山西昔阳等地破坏程度也较高。		
评估结果	国务院即令当地驻军赶赴灾区进行抢救，全国各地大力支援灾区，派出医疗队，支援大批食品和救灾物资。周恩来总理3月9日到震区隆尧县听取灾情汇报和救灾情况，慰问灾区人民。震后进驻灾区的医疗队达到94支，医务人员达到7115人。		
案例来源	百度		
案例编制时间	2008-09-06 18:03:14.0		

图 9　邢台大地震案例信息

Fig. 9　Xingtai earthquakes case information

依据相似度计算方法，可以快速获取与该突发事件相似的案例信息，参考该案例信息的处理方案，可迅速地帮助决策者进行当前突发事件的

处理，为迅速展开应急决策救援行动赢取宝贵时间.

4 结　论

本文基于应急辅助决策系统开发实践，通过对突发公共事件共性属性的抽取，给出了突发公共事件本体模型，采取 OWL 语言，给出了突发公共事件元事件的本体描述；由此，把突发公共事件按照元事件思想进行组织和细分，基于元事件分析突发公共事件的发展演化，并结合情景和 CBR 相关理论，给出了基于元事件模型的突发公共事件处理流程，可以帮助应急决策者，依靠历史突发事件的元事件模型，快速获取应对当前突发事件的解决思路，以应对突发的公共事件，并给出了实例说明.

参考文献：

[1] 闪淳昌. 建立健全突发事件应急预案[J]. 中国减灾，2004(6)：13-14
[2] 卞有生. 北京城市环境安全及突发重大环境灾害应急救援行动预案研究[J]. 中国工程科学，2003，**5**(7)：1-10
[3] 邢娟娟. 重大事故的应急救援预案编制技术[J]. 中国安全科学学报，2004，**14**(1)：57-59
[4] 倪志伟，李建洋，李锋刚，等. 案例决策技术及案例决策支持系统研究综述[J]. 计算机科学，2009，**36**(11)：18-23
[5] 汪季玉，王金桃. 基于案例推理的应急决策支持系统研究[J]. 管理科学，2003，**16**(6)：46-50
[6] 张本生，于永利. CBR 系统案例搜索中的混合相似性度量方法[J]. 系统工程理论与实践，2002，**22**(3)：131-136
[7] 中华人民共和国国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[R/OL]. 2006-01-08. http://www.chinaacc.com/new/63/73/157/2006/6/zh3903700122660021540-0.htm
[8] GRUBER T R. A translation approach to portable ontologies [J]. **Knowledge Acquisition**，1993，**5**(2)：199-220
[9] BECHHOFER S，VAN HARMELEN F，HENDLER J，*et al*. OWL web ontology language reference [EB/OL]. [2005-01-01]. http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210
[10] SMITH M K，WELTY C，MCGUINNES D L. OWL web ontology language guide [EB/OL]. [2005-01-01]. http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210

Research on ontology-based meta event model of public emergencies

WANG Tao[1,2]，WANG Yan-zhang[*1]，LU Yan-xia[3]

(1. School of Management，Dalian University of Technology，Dalian 116024，China；
2. Department of Laboratory and Equipment，Dalian University of Technology，Dalian 116024，China；
3. Department of Information Technology and Business Administration，Dalian Neusoft Institute of Information，Dalian 116023，China)

Abstract：Public emergencies occur constantly. How to apply history public emergencies and obtain corresponding solutions rapidly is the key problem for coping with public emergencies. The level system of entity of public emergencies is researched，and the public attributes are described and extracted. OWL language is adopted to describe the ontology of public emergency，the definition of meta event is proposed，and the relationship among the meta events is discussed. Combining the related theory of CBR，the reasoning mechanism based on meta event is put forward，which will make decision-maker obtain the disposal schema rapidly according to meta event database. Finally，an example testified the feasibility.

Key words：public emergencies；CBR；ontology；meta event model