

智能环灾应急决策支持技术研究

蒋浩,荆玲,武港山

(南京大学计算机科学与技术系,江苏南京 210046)

摘要:针对目前环灾应急决策系统中预案信息化程度低、动态应急能力不足的问题,文中在数字化预案的基础上,提出了一套基于案例推理(CBR)和基于规则推理(RBR)相结合的智能辅助决策机制。鉴于环灾应急事件的复杂性,许多应急处置方案都是基于过去的经验,而且应急过程中又随时有可能出现新的应急目标,文中采用了以 CBR 方法为主,RBR 方法为辅的 CR 智能辅助决策方法。这种方法能更有效地实现复杂环灾应急的辅助决策需要,最后通过某化工园应急决策实例展示了文中所讨论的方法的过程。

关键词:基于案例推理;基于规则推理;智能决策支持;环灾应急

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)04-0006-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.002

Research on Technique for Intelligent Environmental Disaster Decision Support

JIANG Hao, JING Ling, WU Gang-shan

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

Abstract: In view of the problems of low level of informationization and lack of flexibility to change situations in current environmental disaster decision support system, proposed one solution based on plan digitalization combining case-based reasoning and rule-based reasoning to help with decision making in environmental disaster. In the area of environmental disaster decision, many of the disposal concepts are based on past experience and new targets may occur anytime during the emergency. Therefore, use CBR as major and RBR as auxiliary in the approach. In this way, the decision can be made in a more efficient way. In the end, use an example for one chemical industrial park to demonstrate the process of this approach.

Key words: CBR; RBR; intelligent decision support; environmental disaster

0 引言

近年来,随着现代化工企业生产装置密集化、工艺复杂化、产量大型化、产品多元化,大型企业一旦发生火灾环境污染事故,将会对环境和周边人员的人身和财产安全带来巨大的伤害^[1]。在这样的背景下,建立有效的事故应急响应平台越来越重要。突发环灾事件应急处置时,该如何快速地组织协调各个应急机构、如何有效调度各种应急资源、如何处理好应急结束后的善后工作等,是智能环灾应急决策支持的技术难点。

文中主要针对智能环灾应急决策支持技术进行研究,提出一套以案例推理(Case-based Reasoning,

CBR)为主,规则推理(Rule-based Reasoning, RBR)为辅的智能辅助决策机制,讲述了 CR 智能决策支持的关键技术点,并且通过环灾应急决策实例验证了技术的有效性和可行性,以期能提高环灾应急决策支持系统的决策效果,更好地为环保事业服务。

1 理论基础与研究现状

1.1 CBR 原理

CBR 是人工智能领域的重要研究内容。Amodt 和 Plaza 将 CBR 的生命周期归纳为"4R": Retrieve, Reuse, Revise 和 Retain^[2],即检索、重用、修改/调整、保留。

在 CBR 中,以往的经验以案例形式存在案例库,当面临新问题时,对案例库进行搜索,如果能找到相似的案例,就直接作为参考;如果找到的案例有不合适之处,则进行修改以适应当前情况,改后的案例将作为新经验被再次存入案例库,以便下次使用时作为参考。

收稿日期:2012-07-30;修回日期:2012-10-31

基金项目:国家高技术研究发展计划(2007AA06A402, 2012AA063304)

作者简介:蒋浩(1989-),男,硕士研究生,研究方向为数字化预案、决策支持系统;武港山,博士生导师,教授,研究方向为智能信息处理、多媒体信息处理。

1.2 RBR 原理

RBR 具有更早的发展历史,传统的专家系统就是使用 RBR 模式。规则库中规则表示的一般形式如公式(1)所示:

$$P \rightarrow Q \quad (1)$$

If < Condition 1 > & (< Condition 2 > OR < Condition 3 >) & … & < Condition n >

Then < Result 1 > & … & < Result m >

规则包含前提条件(Condition)和结论(Result)。运用产生式规则的基本思想是从初始的事实出发,用匹配技术寻找合适的产生式,如果代入已知事实后使某产生式的前提条件为真,则这个产生式可作用到这种事实上,而推出新的事实,以此类推,直到得出结论。

1.3 研究现状

CBR 与 RBR 作为知识表示方式都不能相互替代且两者各有缺陷:CBR 无法充分表达编码归纳后的规则,RBR 难以包含或不可能提取归纳分布广泛的粗知识。但是如果将它们集成应用,则各自的缺点恰为对方所弥补。许多专家学者自 20 世纪 90 年代以来对 CBR 与 RBR 的集成进行了大量的研究和实践^[3-12],在这些研究中,绝大多数是把容易形式化的部分由 RBR 完成,病态结构的问题或较少发生的异常问题交由 CBR 解决^[12,13]。

目前 CBR 与 RBR 相结合的智能决策支持技术已经在诊断、设计、农业、地理等领域^[6-12]得到了较多的应用,取得了良好的效果。但在环灾应急领域该技术应用还比较少见。根据环灾应急随时可能出现新的应急对象的特点和 CBR 与 RBR 相结合技术的优点,基于 CBR 和 RBR 相结合的智能决策支持技术必将在环灾应急领域做出贡献。

2 环灾应急智能决策需求分析

环灾应急智能决策支持需要实现的功能是:根据应急事件发生时的事件输入描述及当时的各种环境监测参数,遵循应急预案所规定的处理流程,从已有的应急案例中,或者根据应急处理的各种规范和规定,结合应急救援的目标,推导出应急事件当前比较合适的处置方法和处理流程,并以行动方案的形式提供给应急处置的决策人员参照执行。

环灾应急智能决策支持需要建立在环灾应急预案数字化研究技术之上,需要有基本抽象结构和语义信息的基本数据对象的支撑,推理是在该抽象结构的基础上进行的。由于环灾事件的主要特点之一就是随时可能会发生次生灾害,出现新的需要处置的应急目标,因此智能决策需要根据事态的动态变化,依据反馈的状态信息,不断修正处置方案的具体细节,提醒指挥系

统调整部署,实现动态化应急。

在上述需求的基础上,文中接下来的部分将详细探讨环灾应急智能决策的设计方法。

3 面向环灾应急的 CR 智能决策技术

3.1 环灾应急数字化预案介绍

文中提出的环灾应急智能决策是建立在应急预案数字化方法的基础之上的。

该方法通过对环灾应急各项预案中共有目标和对象的提取,建立一个统一的预案模型。在预案模型的基础上,将预案中的基本对象数字化,并且增加语义信息,建立知识库和规则库。该方法能够很好地支持文中的环灾智能决策的需求:根据现场的模糊条件与应急模拟结果,迅速做出总体判断和定量的决策信息,并能随事故发展的具体情况而做出预案上的相应调整。

3.2 智能决策技术基本思路

环灾的智能辅助决策问题既要依靠领域知识求解问题,也依靠其丰富的经验推理,这说明面向环灾的智能辅助决策问题的描述是由可解释(explainable)和不可解释(unexplainable)两个方面组成的^[13]。建立在可解释特征基础上的决策缺乏柔性,而建立在不可解释特征基础上的决策缺乏系统性。由此可以看出,可以将 RBR 和 CBR 两种推理方法集成为一体,用以求解既有规则演绎信息又有经验类比信息的问题——面向环灾的智能辅助决策。

考虑到环灾应急领域缺乏明确、完备、系统的规则,许多应急方案都是过去的经验,但是应急过程中又随时可能出现新的应急目标的特点,将 RBR 方法作为 CBR 方法的一个辅助(简称 CR):首先根据应急事件参数对案例库进行查找,在 CBR 没有检索和匹配到合适案例的情况下,或者应急事件出现次生灾害,新增了应急目标、敏感对象等的情况下,再利用 RBR 规则库,对每个具体的应急目标进行推导,得到理想的结果。

综上,面向环灾应急的 CR 的辅助决策生成过程描述如下:

(1)将应急事件各项参数送入 CBR 模块检索匹配。CBR 模块是根据应急事件中的基本参数到案例库中进行案例的查询,并且根据其参数描述的相似程度以及各项参数的权值进行案例排序,选择相关参数相近的案例,提取其处置方案作为候选方案。

(2)应急案例和当前应急事件很难完全匹配,例如缺失应急目标或敏感目标的处置,则需要进入 RBR 模块,利用规则库中的规则进行推理,以获得处置方案。

(3)上述过程获得的应急方案需最后经过正确性验证,才能提交给专家确认,最终完成应急方案定稿。

3.3 CBR 模块的设计

3.3.1 案例库的建立

案例库的建立 CBR 过程中的作用非常重要。案例库由历史案例组成,历史案例来自于对真实发生的典型性事件的抽取,它记录了事件的状态参数、处置方法、资源调用、处置效果等。案例的结构设计和预案类似,主要的区别在于对处置方法的评估和实际的状态参数的内容。

案例的对象类型有:风险源、敏感公众、敏感伤员、敏感河流、敏感路段等等;状态参数不仅多种,而且同一种参数每个时间段的值还可能不一样;状态参数包括类型、风速、温度、湿度、浓度等等。

突发环境污染事件应急小组的成员来自多个组织机构。应急小组是应急过程中才有的组织,组织结构指现实中的政府部门或企业部门。

突发环境污染事件应急处置方法包含实际操作中佩戴的防护设备和应急物资。防护设备包括手部、身体、呼吸器官等的防护工具,物资包括洗消化学物质、灭火器、监测分析仪等。

3.3.2 案例的检索

案例检索的目标是根据用户给出某一待解决应急事件之后,从案例库中尽快查找到与问题事件描述最相似的案例,并且能按照符合用户要求的相似度标准进行排序输出。

文中采用了动态检索匹配机制:专家根据经验或实际情况可以动态调整特征属性的权值,计算得到每个案例与目标案例的全局相似度 Sim_c 。并且在的案例检索结果相似性排序算法中考虑了案例中应急目标的查全率(recall)和查准率(precision)来判断历史案例的可信度。通过相似度和可信度的计算,可以得到案例的最终相似度,如公式(2)所示,将案例按照整体相似度 $Sim(T, S)$ 由高到低排序,拥有最大整体相似度的案例即为检索的结果。

$$Sim(T, S) = \alpha \times Sim_c(T, S) + \beta \times recall(T, S) + \gamma \times precision(T, S) \quad (2)$$

相似度分为局部相似度和全局相似度,全局相似度是建立在局部相似度的基础上的。

● 局部相似度(Local similarity):即属性级的相似度,指目标案例与源案例在某个特征属性上的相似度。文中对局部属性采用复合的相似函数^[14],其基本思想是:对于单值数值型和符号型属性采用重叠(Overlap)度量方法;对于区间性的数值型属性采用规范化的欧氏距离方法。属性 i 的两个取值 x 和 y 之间的相似度 d_i 定义如公式(3)所示:

$$d_i(x, y) = \begin{cases} overlap(x, y) & \text{符号型或单值型属性} \\ tn_diff_i(x, y) & \text{区间连续性属性} \end{cases} \quad (3)$$

其中:

$$overlap(x, y) = \begin{cases} 0, x \neq y & \text{符号型} \\ 1, x = y & \text{符号型} \\ \min(x, y) / \max(x, y) & \text{单值数值型} \end{cases} \quad (4)$$

$$tn_diff_i(x, y) = 1 - \frac{|x - y|}{\max_i - \min_i} \quad (5)$$

公式(5)中的 \max_i 和 \min_i 分别为属性 i 在区间上取值的最大值和最小值。将本相似度函数应用于表中的检索属性:属于符号型的,例如类型、污染物等;属于单值数值型的,例如体量;属于区间连续性属性的,例如等级、温度等。

● 全局相似度(Global similarity):即案例级的相似度,指当每个已知属性的局部相似度确定后,根据不同属性对案例的重要程度,加权计算得到目标案例与历史案例的全局相似度,如公式(6)所示:

$$Sim_c(T, S) = \sum_{i=1}^n d_i(x, y) \times w_i \quad (6)$$

其中, T 为目标问题, S 为历史案例(下面的公式中的 T, S 含义相同), n 为案例属性的数目, i 为第 i 项独立的属性, d_i 为案例 T 和案例 S 在第 i 项属性上的相似函数, w_i 为第 i 项属性的权重。

如果仅考虑目标案例与源案例之间的相似度,可能会有这种情况发生:(假设)目标事件是一个苯酚储罐泄露事件,而通过上面相似度匹配得到的案例是一个苯酚爆炸后引发苯酚储罐泄露案例,由于地点、气候、风险源等描述属性相似,而且包含了目标事件中几乎所有的应急对象的处置,导致通过相似度计算后排在最前面。但是检索得到的这个历史案例由于有着众多的应急目标和庞大的处置任务,而更多的处置可能是针对苯酚爆炸进行的,所以可信度不是很高。可信度计算是基于应急目标的查全率和查准率来实现。

● 查全率指相对于目标案例中总应急目标数来说,匹配上的应急目标越多,则对应历史案例可信度越高,如公式(7)所示:

$$recall(T, S) = \frac{T \cap S}{T} \quad (7)$$

● 查准率指相对于历史案例总应急目标个数来说,匹配上的应急目标个数越多,则其可信度越高,如公式(8)所示:

$$precision(T, S) = \frac{T \cap S}{S} \quad (8)$$

3.3.3 案例的适配

检索到的最相似案例一般与目标案例总存在着一定的差异,这时必需对相似案例进行相应的修改以满足目标案例的使用要求。本研究主要采用基于规则的改写方法,并利用现场专家的知识进行案例适配。简

述如下:

●基于规则的改写。

对相似案例中与目标案例中不一致的内容或者缺失的内容进行替换改写,使相似案例满足要求。这一部分内容将在下面 RBR 模块设计中详细介绍。

●案例的人工修改。

由于对于环灾应急事件的处理需要特殊的领域知识,而且知识描述十分复杂等原因,目前没有成熟通用的案例自动修改方法,因此案例的人工修改仍是当前 CBR 系统采用的主要方法之一。案例的人工修改任务一般交给专家,因为专家不仅具有专业领域知识,而且具有实际操作经验,如借助于泄露处理专家、气象专家等。

3.4 RBR 模块的设计

由于当前的案例库中存在内容不全、数量不多等现状,而且在环灾应急事件处置过程中随时可能发生次生灾害,出现新的应急目标,所以要引入 RBR 机制。RBR 主要由“知识库——规则库——推理机”三部件组成。知识库包含了模型库、预案库和案例库;规则库存放大量的专家知识;推理机针对当前问题的条件或已知信息,反复匹配知识库中的规则,获得新的结论,以得到问题求解结果。

RBR 主要在以下情况下使用:

- 1)在基于 CBR 的推理结果不完善,仍有未给出处置方法的应急目标;
- 2)当前环灾应急事件发生次生灾害,出现新的应急目标,如伤员、敏感公众等的时候;
- 3)用在验证应急方案的正确性。

3.4.1 规则库的建立

从计算机处理的角度看,环灾应急事件的处置过程可以看作是应急目标在预案规范的处理流程下,从发生、发展、控制到消亡的全过程;关联的敏感目标从不安全到安全的处置过程。RBR 模块需要根据应急目标,结合其特定的状态参数,推理出比较合适的处置方案和处理流程,并以行动方案的形式提供给应急处置的决策人员。在环灾应急辅助决策方案生成系统中,用产生式规则表示的一般形式描述如公式(9)所示:

$$\text{Rule} = \{ \text{Object}, \text{Condition}, \text{Result} \} \quad (9)$$

其中 Object 表示需要推理的对象——应急目标。Condition = (C₁, C₂, C₃, ..., C_n) 表示触发条件——环境参数、状态参数等。Result = (R₁, R₂, R₃, ..., R_m) 表示推理结果——处置方案和处理流程。

规则的评价由应急过程结束之后,专家根据该规则推理出的结果的执行效果,给予综合打分,由于规则库中的规则往往非常多,管理繁琐复杂,也可以根据该

条规则的综合评价,进行优胜劣汰。

3.4.2 应急目标处置的推理规则

假如随着风向的转变或者风力的增大,通过大气扩散仿真模拟结果,又新增了敏感公众(如居民区、学校等)、敏感伤员(如企业员工等)、敏感路段,或者由于污水处理系统的原因,废水大量流入江河,又新增了敏感河流(如长江)等,可以通过 RBR 规则推导出指导性方案。RBR 可以推导的应急目标包括:储罐、管道、化学品、人群、物资、水体等。下面列举了敏感公众、敏感伤员的推导规则。

Rule1: Rule = { Object (“敏感公众”)、Condition (State = “未处置”, Chemistry = “氯气”), Result (“选择安全避难所、设计疏散路线、指定应急小组前往指挥疏散并安置群众、携带防护设备”) }

3.4.3 应急处置方案的正确性判断

上述 CBR、RBR 过程获得的所有应急方案都需要经过正确性验证,才能最终提交给人工确认。根据本系统的规则库中的知识对初步方案进行确认,特别是对于其中一些直接从案例中提取出来的处置方案,它们不一定符合本地情况。

4 某环灾应急决策示例

目标案例:某地化工园某公司发生 25t 氯气储罐泄漏事故,该事故属于大气污染事故,事件等级认定为 2 级,现场的气象数据为:温度 19℃,风速 1.33m/s,风向 237 度,事故当地的人口密度为每平方千米 17 人,当地无生态敏感目标,目标案例包含的目标对象为: { 伤员,居民区,氯气储罐,附近高速路段 }。事件发生后,专家立即在智能环灾应急决策系统案例库中进行检索,案例库的部分内容如表 1 所示。

表 1 案例库部分内容

属性	权值	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	
事故类型	0.20	大气污染	大气污染	大气污染	大气污染	
发生方式	0.15	泄漏	爆炸	爆炸	泄漏	
等级	0.10	2	3	2	4	
风险源	危险物质	0.20	氯气	苯酚	氯气	硝基苯
	危险装置	0.05	储罐	槽罐车	管道	储罐
	储量(t)	0.05	30	8	25	20
气象参数	温度(℃)	0.05	21	17	23	9
	风速(m/s)	0.05	1.00	2.67	1.18	2.28
	风向(℃)	0.05	193	124	240	322
人口密度(人/km ²)	0.05	24	196	32	105	
有无生态敏感区(0,1)	0.05	0	1	1	0	

分别计算目标案例与历史案例的全局相似度为: 0.951, 0.383, 0.712, 0.621, 与目标案例相似度最好的是案例 1 和案例 3。案例 1 的应急对象为: { 伤员, 居

民区,氯气储罐},案例 3 的应急对象为:{员工,附近高速路段,居民区,氯气储罐,氯气管道},则案例 1 对于目标案例的查全率和查准率为:0.75,1,案例 3 对于目标案例的查全率和查准率为:0.75,0.6。根据以往经验,赋予全局相似度、查全率和查准率的权值分别为:0.5,0.25,0.25,对于预案 1 和预案 3 的最终相似度分别为:0.913,0.69。最终确定选择案例 1 作为最相似案例,经过专家敲定后,系统立即生成以该案例为指导的应急预案,并进行调度。

事故发生 13min 后现场由氯气引发火灾事故,由于历史案例中没有相应的氯气引发火灾事故的指导性方案,需要通过如下的 RBR 规则推导出火灾的指导性方案:

Rule = { Object (“氯气储罐”)、Condition (State = “未处置”, Chemistry = “氯气”, Type = “火灾”), Result (“消防人员佩戴隔绝式氧气呼吸面罩,切断火源,用雾状水灭火”)}

5 结束语

文中提出了基于 CBR 和 RBR 相结合的 CR 智能辅助决策支持机制:首先用 CBR 根据设定的检索特征属性和重要性程度,对目标案例进行检索匹配;在 CBR 没有检索和匹配到合适案例的情况下,或者应急事件出现次生灾害,又新增了应急目标、敏感对象等的情况下,再利用 RBR 规则,将对应的预案模板实例化,得到理想的结果。

虽然文中在面向环灾应急的决策支持系统的智能决策机制方面作了一些有益的工作,但是,环灾应急决策支持系统作为一个复杂的综合性系统,还有许多问题值得进一步探讨。文中的后续工作,将在智能决策算法、基于信息融合的辅助决策机制、不确定性推理技术等方面展开深入的研究。

参考文献:

[1] 王白齐,赵金恒. 化学事故与应急救援[M]. 北京:化学工业出版社,1997.

[2] Aamodt A, Plaza E. Case-based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches[J]. AI Communications, 1994, 7(1): 39-59.

[3] Chi R H, Kiang M Y. An integrated approach of rule-based and case-based reasoning for decision support[C]//Proceedings of the 19th annual conference on computer science. [s. l.]: [s. n.], 1991: 255-267.

[4] Golding A R, Rosenbloom P S. Improving accuracy by combining rule-based and case-based reasoning[J]. Artificial Intelligence Review, 1996, 87(1-2): 215-254.

[5] Prentzas J, Hatzilygeroudis I. Integrations of rule-based and case-based reasoning[C]//Proceedings of the International Conference on Computer, Communication and Control Technologies. [s. l.]: [s. n.], 2003: 81-85.

[6] 谢胜强,吴忠. 基于 CBR 与 RBR 的设备采购决策支持系统[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(12): 71-73.

[7] 董平军,马彪,杨保安. 智能决策支持系统中 CBR、RBR 的集成[C]//中国管理科学学术会议论文集. 出版地不详:出版者不详, 2004: 510-513.

[8] 倪志伟,李学俊,胡彩平,等. 基于范例和规则相结合的推理技术[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(7): 1155-1158.

[9] Lee G H. Rule-based and case-based reasoning approach for internal audit of bank[J]. Knowledge-based Systems, 2008, 21(2): 140-147.

[10] 高立新,张建宇,胥永刚,等. 基于 CBR 和 RBR 混合推理的齿轮箱智能诊断技术[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(9): 1174-1180.

[11] Cunningham P, Smyth B, Bonzano A. An incremental retrieval mechanism for case-based electronic fault diagnosis[J]. Knowledge-based Systems, 1998, 11(3): 239-248.

[12] Ashley K D, Rissland E L. A case-based approach to modeling legal expertise[J]. IEEE Expert, 1988, 3(3): 70-77.

[13] 何立居,蔡业颖,施平安,等. CBR 与 RBR 相结合的船舶避碰辅助决策系统[J]. 中国水运, 2006, 4(5): 27-29.

[14] 廖振良,刘宴辉,徐祖信. 基于案例推理的突发性环境污染事件应急预案系统[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(1): 86-89.

[8] XenApp[EB/OL]. [2012-05-23]. <http://www.citrix.com/xenapp>.

[9] Roselli D, Lorch J, Anderson T. A comparison of file system workloads[C]//Proceedings of the 2000 USENIX Annual Technical Conference. San Diego, CA: [s. n.], 2000: 41-54.

[10] Olzak T. Virtualization; Dealing with legacy Apps [J/OL]. [2012-04-01]. <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/>.

[11] SwiftStack, Inc. The OpenStack Object Storage System[EB/OL]. [2012-02-01]. <http://www.swiftstack.com>.

[12] 王小玲. 个人按需软件服务中的应用层虚拟化技术[D]. 北京:清华大学, 2008.

(上接第 5 页)

业出版社,1997.

[2] Aamodt A, Plaza E. Case-based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches[J]. AI Communications, 1994, 7(1): 39-59.

[3] Chi R H, Kiang M Y. An integrated approach of rule-based and case-based reasoning for decision support[C]//Proceedings of the 19th annual conference on computer science. [s. l.]: [s. n.], 1991: 255-267.

[4] Golding A R, Rosenbloom P S. Improving accuracy by combining rule-based and case-based reasoning[J]. Artificial Intelligence Review, 1996, 87(1-2): 215-254.

[5] Prentzas J, Hatzilygeroudis I. Integrations of rule-based and case-based reasoning[C]//Proceedings of the International Conference on Computer, Communication and Control Technologies. [s. l.]: [s. n.], 2003: 81-85.

[6] 谢胜强,吴忠. 基于 CBR 与 RBR 的设备采购决策支持系统[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(12): 71-73.

[7] 董平军,马彪,杨保安. 智能决策支持系统中 CBR、RBR 的集成[C]//中国管理科学学术会议论文集. 出版地不详:出版者不详, 2004: 510-513.

[8] 倪志伟,李学俊,胡彩平,等. 基于范例和规则相结合的推理技术[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(7): 1155-1158.

[9] Lee G H. Rule-based and case-based reasoning approach for internal audit of bank[J]. Knowledge-based Systems, 2008, 21(2): 140-147.

[10] 高立新,张建宇,胥永刚,等. 基于 CBR 和 RBR 混合推理的齿轮箱智能诊断技术[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(9): 1174-1180.

[11] Cunningham P, Smyth B, Bonzano A. An incremental retrieval mechanism for case-based electronic fault diagnosis[J]. Knowledge-based Systems, 1998, 11(3): 239-248.

[12] Ashley K D, Rissland E L. A case-based approach to modeling legal expertise[J]. IEEE Expert, 1988, 3(3): 70-77.

[13] 何立居,蔡业颖,施平安,等. CBR 与 RBR 相结合的船舶避碰辅助决策系统[J]. 中国水运, 2006, 4(5): 27-29.

[14] 廖振良,刘宴辉,徐祖信. 基于案例推理的突发性环境污染事件应急预案系统[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(1): 86-89.

[8] XenApp[EB/OL]. [2012-05-23]. <http://www.citrix.com/xenapp>.

[9] Roselli D, Lorch J, Anderson T. A comparison of file system workloads[C]//Proceedings of the 2000 USENIX Annual Technical Conference. San Diego, CA: [s. n.], 2000: 41-54.

[10] Olzak T. Virtualization; Dealing with legacy Apps [J/OL]. [2012-04-01]. <http://technet.microsoft.com/en-us/magazine/>.

[11] SwiftStack, Inc. The OpenStack Object Storage System[EB/OL]. [2012-02-01]. <http://www.swiftstack.com>.

[12] 王小玲. 个人按需软件服务中的应用层虚拟化技术[D]. 北京:清华大学, 2008.

智能环灾应急决策支持技术研究

作者: 蒋浩, 荆玲, 武港山
作者单位: 南京大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210046
刊名: 计算机技术与发展
英文刊名: Computer Technology and Development
年, 卷(期): 2013(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201304004.aspx