

文章编号:1671-251X(2015)07-0034-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.07.009

卜创利,潘理虎,植宇.基于案例推理的煤矿应急预案管理系统设计[J].工矿自动化,2015,41(7):34-38.

基于案例推理的煤矿应急预案管理系统设计

卜创利¹, 潘理虎^{1,2}, 植宇¹

(1. 太原科技大学 计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:针对文本形式的静态预案管理方式对事故发生时救援工作的指导不够精确、难以制定切实可行的救援方案的问题,设计了基于案例推理的煤矿应急预案管理系统。针对实际案例与历史案例的特征属性不匹配问题,提出差异相似度算法,该算法与案例推理中的最近相邻算法结合,能够从预案库中检索出相似度最高的历史案例,从而提高救援方案生成的效率。针对由于案例库不断增大导致查找对应预案变难的问题,给出了分级检索策略。实际应用结果表明,与传统的煤矿应急预案管理方式相比,基于案例推理的煤矿应急预案管理系统更能满足煤矿企业应急救援的及时性和针对性要求。

关键词:煤矿; 应急预案; 案例推理; 差异相似度算法; 分级检索

中图分类号:TD771

文献标志码:A

网络出版时间:2015-07-01 11:00

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150701.1100.009.html>

Design of emergency plan management system of coal mine based on case-based reasoning

BU Chuangli¹, PAN Lihu^{1,2}, ZHI Yu¹

(1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology,

Taiyuan 030024, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

Abstract: In view of problem that static plan management method in text-form is not accurate enough to guide rescue work when coal mine accident happened, and it is hard to formulate emergency plan feasibly, a emergency plan management system of coal mine based on case-based reasoning was designed. According to problems of mismatch of feature attribution between actual cases and history cases, differences similarity algorithm was proposed which was combined with nearest neighborhood matching method in case-based reasoning. This algorithm can retrieve the highest similarity historical cases from library plans, and then improve the efficiency of rescue program generating. For the problem that corresponding plan becomes difficult to find since the case base growing, a hierarchical search strategy was presented. The practical application results show that the emergency plan management system of coal mine based on case-based reasoning is better to meet requirements of timeliness and pertinence of coal mine emergency rescue compared with the traditional coal mine emergency plan.

Key words: coal mine; emergency plan; case-based reasoning; differences similarity algorithm; hierarchical search

收稿日期:2014-12-16;修回日期:2015-05-11;责任编辑:胡娴。

基金项目:山西省科技重大专项项目(20121101001);山西省自然科学基金项目(2012011011-5);山西省科技攻关项目(20141039)。

作者简介:卜创利(1988—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为智能软件与理论,E-mail:714523750@qq.com。通信作者:潘理虎(1974—),男,河南上蔡人,副教授,博士,主要研究方向为软件工程、人工智能、计算机应用,E-mail:panlyhoo@sohu.com。

0 引言

煤矿应急救援是一项社会性救灾工作^[1-3]。煤矿应急预案能够帮助指挥人员提高处理煤矿突发事件的能力。在突发事件发生时,指挥人员根据预先制定的应急处理方案,能够及时有效地实施应急救援工作,最大限度地减少事故造成的人员伤亡和财产损失。如何科学制定、管理和评估应急预案成为当前应急管理领域的研究热点。邓万涛^[4]利用目标层、准则层及方案层 3 层结构共计 15 个核心指标,通过线性加权计算煤矿应急预案的完备度,较好地解决了煤矿应急预案完整性评价的相关问题。齐琪^[5]根据我国煤矿事故发生的主要因素,设计了一套应急能力评价指标体系用于对煤矿企业的日常应急管理水平进行评估和指导。然而,传统的煤矿应急预案大都停留在纸质的形式^[6-8]。当煤矿事故发生时,纸质形式的预案管理方式对救援工作的指导不够明确,应对突发事件的实时性差,应急预案的检索以及救援方案生成的效率低。

针对由纸质形式管理的应急预案所存在的缺陷,本文采用案例推理方法,在最近相邻算法的基础上提出差异相似度算法,提高了预案检索的精确度。针对预案库不断增大的问题,提出预案库分级检索的策略,提高了预案检索效率。这些改进使得预案检索结果具有实时、高度匹配灾害特征,对于煤矿灾害救援具有重要的指导作用。

1 CBR 工作模式

1.1 “5-R”理论

CBR(Case-Based Reasoning)称为基于案例推理技术,它以数字化方式将发生过的历史案例和关于此案例的处理方法存入案例数据库中。当出现新问题时,用户输入关键字即可从数据库中匹配出与描述问题最为相近的案例,或将相似度较低的案例适当调整后用于处理本次事故。CBR 已被应用到生物学^[9]、医学以及图形图像的处理^[10]等领域。传统的 CBR 工作模式为“4-R”理论^[11],即检索(Retrieve)、重用(Reuse)、修改(Revise)和保存(Retain)。

采用“4-R”模式的前提是案例库已经建立完成。事实上,煤矿的应急预案大多采用文本形式,而数字化形式的应急预案处于不断改进与完善中^[12-13]。因此,本文采用 Gavin Finnie 和 Haohao Sun^[12]提出的一种新的工作模式:“5-R”理论,即表

示(Represent)、检索(Retrieve)、重用(Reuse)、修改(Revise)和保存(Retain)。该模式促进了案例推理基础理论的发展,也为将 CBR 应用于煤矿应急救援领域奠定了坚实的基础。“5-R”工作模式如图 1 所示。

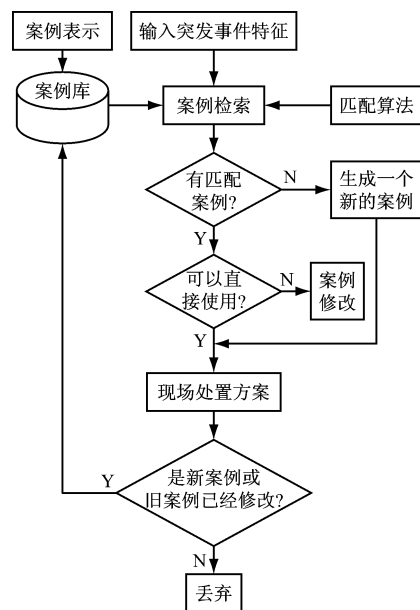


图 1 “5-R”工作模式

(1) 案例表示:分析大量历史案例,提取其中的特征信息,采用一种合理的知识表示方法,将案例信息以形式化方式存储在数据库,方便计算机查找。案例表示是应急预案数字化的第 1 步,也是“5-R”工作模式首先要解决的问题。案例表示的目的在于方便日后查询及修改等。关于案例的知识表示方法有产生式表示法、状态表示法、语义网络表示法、框架表示法、XML 表示法以及面向对象表示法等^[13]。

(2) 案例检索:输入当前事故的特征信息,计算机将根据事先设计并存入计算机的特征匹配算法,从案例数据库中匹配出最为接近的案例,方便救援指挥人员参考或使用。常用的案例检索方法有知识引导法、多维分析法、模糊逻辑、归纳引导策略以及最近相邻算法^[11]等。

(3) 案例重用:当找到一个或多个与当前突发事件信息相匹配的案例时,优先选择其中最为相似的案例,并将其直接应用到本次事故救援中,无需对该案例进行修改。

(4) 案例修改:当检索不到需要的案例或检索到的案例信息与本次事故相似度较低时,对该案例进行修改或重新生成一个案例。

(5) 案例保存:保存修改过的和新添加的案例。

下面以煤矿应急预案为例,重点从案例表示和

案例检索 2 个方面进行介绍。

1.2 煤矿应急预案的案例表示

结构合理的案例表示方法能够大大加快案例的检索匹配速度,缩短查询时间。本文以煤矿突发事件为背景,综合考虑煤矿领域专业理论后,采用框架表示法表示煤矿应急预案。框架理论是由著名学者 M. Minskyz 在 1975 年提出的。该理论认为:对于过去发生的一系列事件,人们不可能记住其中所有的细节信息。但当有新的事件发生时,人们会迅速搜寻以往经历过的事件并且能迅速做出反应。因此,最有可能的原因是人会曾经发生的一系列事件以一个个类似于框架的形式存储于大脑中。当有新的事件发生时,就会调取相应的框架进行匹配,最终结合新的数据形成当前事件的解决方案。

一个完整的案例首先必须有一个案例编号,用于对案例进行标志,接着应有对应该种案例的案例名称和框架名称。一个框架由若干个槽组成,每个槽下又有许多侧面,每个侧面又包括很多属性或者更小的框架。这些槽、侧面、属性以及更多的小框架共同构成一个具体案例信息的表示。

表 1 以瓦斯煤尘爆炸事故专项应急预案为例,对框架表示做具体说明。

表 1 瓦斯煤尘爆炸事故专项应急预案框架表示

槽	内容	侧面	属性
槽 1	事故类型和危害程度分析	侧面 1.1	事故类型
		侧面 1.2	瓦斯煤尘爆炸事故危险性分析
		侧面 1.3	瓦斯煤尘爆炸事故已发生地点
槽 2	应急处置基本原则		
槽 3	应急机构及职责	侧面 3.1	应急组织体系
		侧面 3.2	指挥机构及职责
槽 4	预防与预警	侧面 4.1	危险源监控
		侧面 4.2	预警行动
槽 5	信息报告程序	侧面 5.1	预信息报告
		侧面 5.2	预警信息的发布和报告
槽 6	应急处置	侧面 6.1	响应分级
		侧面 6.2	响应程序
		侧面 6.3	应急处置
槽 7	应急物资与装备保障		

1.3 煤矿应急预案相似度检索

预案检索算法的选择对预案检索和方案生成的

效率有直接的影响。综合考虑煤矿应急预案的表现特征和煤矿领域的专业知识,本文采用最近相邻算法来计算煤矿应急预案的相似度。相似度的计算可从局部相似度和整体相似度两方面着手。

1.3.1 局部相似度

根据信息获取算法将煤矿应急预案的特征属性分为 3 种类型:数值类型、文本类型和枚举类型。

(1) 数值类型:具有连续且确定的数值值域,可以精确地表示事件情况,如煤矿突发事故中的死亡人数、受伤人数、失踪人数、直接经济损失等。该类特征的局部相似度为

$$\text{sim}_r(i, j) = 1 - \frac{|C_i - C_j|}{C_{\max} - C_{\min}} \tag{1}$$

式中: $\text{sim}_r(i, j)$ 代表目标案例 i 与案例库中案例 j 在特征属性 r 上的局部相似度; $C_{\max}$ 为特征属性 r 的最大取值; $C_{\min}$ 为特征属性 r 的最小取值; C_i^r 为目标案例 i 的第 r 个特征属性的取值; C_j^r 为案例库中案例 j 的第 r 个特征属性的取值。

(2) 文本类型:该特征类型是基于关键字匹配的原则,各特征属性之间毫无关联,如煤矿事故的预案类型、事故发生地点、事故发生时间、事故发生单位、事故名称、事故状态以及行动方案等。该类特征的局部相似度计算为

$$\text{sim}_r(i, j) = \begin{cases} 1 & C_i = C_j \\ 0 & C_i \neq C_j \end{cases} \tag{2}$$

当目标案例 i 的第 r 个属性与案例库中案例 j 的第 r 个属性相同时,局部相似度取值为 1,否则取值为 0。

(3) 枚举类型:可根据事故的轻重缓急给出适当的评价标准。该类特征的局部相似度为

$$\text{sim}_r(i, j) = 1 - \frac{|C_i - C_j|}{N} \tag{3}$$

式中: N 为该枚举类型中特征属性的最大取值。

按照类型可分为黄色、橙色和红色预警,分别定义为 1,2,3,此时 $N=3$;根据事故伤亡人数和直接经济损失的不同又可分为 IV 级、III 级、II 级和 I 级响应条件事故,分别定义为 1,2,3,4,此时 $N=4$ 。

1.3.2 整体相似度

整体相似度是局部相似度与各特征属性权值的乘积之和,计算方式为

$$\text{sim}(i, j) = \sum_{r=1}^n w_r \text{sim}_r(i, j) \tag{4}$$

式中: w_r 为特征属性 r 在相似度匹配时所占的权重系数, $0 < w_r < 1$, 并且 $\sum_{r=1}^n w_r = 1$ 。

由于各个领域计算方法不同,权重系数的计算主要包括概率计算、分层计算以及领域专家给定等方式。本文采用煤矿领域专家投票给定方式得出 w_r 并设定专家接口,可根据实际情况修改权重系数。

2 整体相似度的改进

2.1 差异相似度

采用最近相邻算法计算相似度,根据目标案例和历史案例在特征属性间的距离来计算两者的相似度。但是,实际应用中,目标案例和历史案例存在特征属性不匹配,甚至有一方的某些特征属性缺失等情况。当出现这些状况时,若采用最近相邻算法计算案例相似度定会出现偏差,不能客观地反映决策者想要得到的结果。针对此类问题,本文提出差异相似度的概念,并对原始的整体相似度进行改进。

差异相似度的计算:

$$S = \frac{\sum_{r=1}^m w_r C_i^r \cap \sum_{r=1}^n w_r C_j^r}{\sum_{r=1}^m w_r C_i^r \cup \sum_{r=1}^n w_r C_j^r} \tag{5}$$

式中: S 为差异相似度; $\sum_{r=1}^m w_r C_i^r$ 为目标案例所有特征属性的权重之和; $\sum_{r=1}^n w_r C_j^r$ 为历史案例所有特征属性的权重之和。

整体相似度的计算:

$$\text{sim}(i, j) = S \sum_{r=1}^n w_r \text{sim}_r(i, j) \tag{6}$$

2.2 案例库改进

CBR 采用自主增量式的学习,如果不采取一定措施,数据库中的案例数量将不断积累。如果依然采用以往的单级检索方法,效率将大大降低。为解决该问题,本文提出两级检索机制,并将历史案例库分为案例总库和多个案例子库,案例总库和案例子库之间采用抽象继承方式进行索引。煤矿应急预案两级检索机制如图 2 所示。

图 2 中,各种事故的抽象框架保存在总预案库中,而预案子库中保存同种类型预案的具体预案以及同种预案类型在不同应急等级下的具体处理措施。

预案检索时,可根据煤矿突发事件的预案类型,

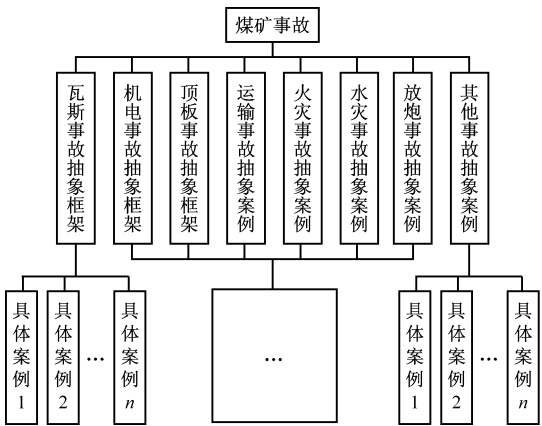


图 2 煤矿应急预案两级检索机制

利用相似度算法从总案例库中初步匹配出具体类型的抽象预案框架,经过初期匹配,预案检索范围将缩小到同种类型的子预案库中。接着可根据具体的事故参数,例如受伤人数、死亡人数、直接经济损失、事故时间、地点、事故原因等做出初步判断,再根据事故单位规模等信息检索出具体的案例,从整体相似度最大的一个或几个案例中选择最优案例用于处理本次事故。

3 应用

根据上文设计思想,采用 MyEclipse8. 5 和 MySQL 构建了一个煤矿应急预案管理系统。根据 CBR 案例推理规则建立煤矿应急预案库,利用差异相似度算法检索匹配案例库中的相似案例。该系统能够根据事先设计好并保存在 Excel 表格中的案例模板,批量导入并自动生成案例。煤矿应急预案管理系统主界面如图 3 所示。根据预案类型、预案等级以及事故描述等条件检索出的相似度最大的预案如图 4 所示。煤矿应急预案批量导入接口如图 5 所示。

4 结语

基于案例推理设计并实现了煤矿应急预案智能管理系统。该系统针对煤矿突发事故的特点,充分考虑了煤矿突发事故以往的处理经验,把这些经验和理论总结成具体的案例,利用 Hibernate 技术将案例存入 MySQL 数据库中,并在前台采用树形结构将所有资源进行展现。使用差异相似度算法进行预案检索,通过真实数据和仿真实验对系统进行检验,取得了很好的实用效果。

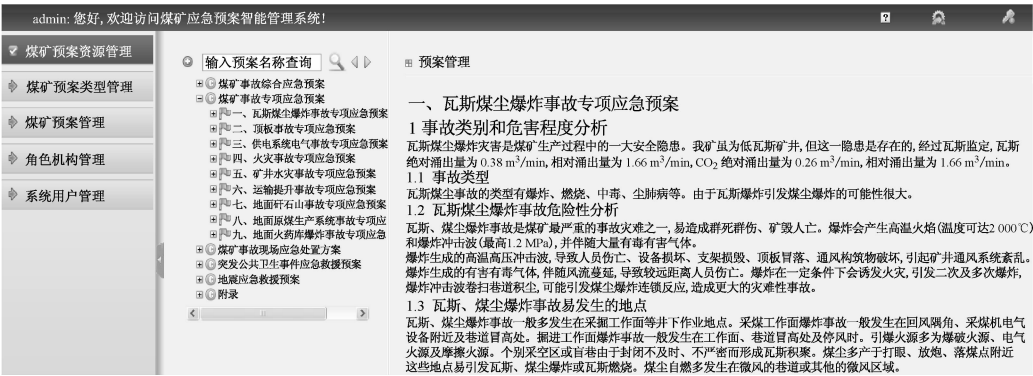


图 3 煤矿应急预案管理系统主界面



图 4 预案检索



图 5 煤矿应急预案批量导入接口

参考文献:

[1] 赵阳. 煤矿应急救援系统存在的问题及其对策[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(5): 90-91.

[2] 郑瑶瑕, 李翠平, 赵怡晴, 等. 中国与美国矿山救护标准的比对分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(4): 90-94.

[3] 苏桂虎, 邢强. 关于煤矿应急救援系统的研究[J]. 山东煤炭科技, 2012(2): 202-203.

[4] 邓万涛. 煤矿应急预案评价方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(5): 167-171.

[5] 齐琪, 张金锁. 基于事故致因煤矿应急管理评价指标研究[J]. 煤矿安全, 2014, 45(6): 226-229.

[6] 黄卫东, 李旻茜. 数字化应急预案知识模板存储的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2013(4): 115-118.

[7] 罗宇恒, 谷岩. 数字化应急预案的存储模型与生成方法的研究[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2013, 12(2): 71-77.

[8] 马永贞. 提高认识 规范程序 强化煤矿应急预案工作[J]. 中国煤炭工业, 2014(6): 60-61.

[9] ARSHADI N, JURISICA I. Data mining for case based reasoning in high-dimensional biological domains[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2005, 17(8): 1127-1137.

[10] FICET-CAUCHAR V, PORQUET C, REVENU M. An interactive case based reasoning system for the development image processing applications [J]. Advances in Case-Based Reasoning Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1488: 437-447.

[11] 郭艳红, 邓贵仕. 基于事例的推理(CBR)研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(21): 1-5.

[12] FINNIE G, SUN Z. R5 model for case-based reasoning [J]. Knowledge-Based Systems, 2003, 16(1): 59-65.

[13] 李乾鹏, 方家骥. 基于 RBR 和 CBR 规划中的知识表示方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(22): 5166-5170.