

考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法

李永海, 樊治平, 袁媛

(东北大学工商管理学院, 沈阳 110819)

摘要: 针对缺乏有效应急预案的一类突发事件应急响应问题, 沿用基于相似案例分析的决策范式, 提出一种考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法. 首先, 计算目标案例与历史案例间的相似度, 进而运用事先设置的相似度阈值筛选并构建有效相似历史案例集; 然后, 综合评估各有效相似历史案例的应急方案的实施效果, 计算综合评价价值, 并提取综合评价价值最大的有效相似历史案例的应急方案, 生成目标案例的应急方案; 最后, 通过一个算例说明了所提出方法的可行性与有效性.

关键词: 突发事件; 应急管理; 相似案例分析; 应急方案实施效果评估; 方案生成

中图分类号: C934

文献标志码: A

Method for generating emergency alternative with considering implementation effects of emergency alternatives

LI Yong-hai, FAN Zhi-ping, YUAN Yuan

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Correspondent: LI Yong-hai, E-mail: yonghai.li@yahoo.com.cn)

Abstract: To solve the kind of emergency response problems lacking of emergency plan, a method of generating emergency alternative based on similarity case analysis with considering the implementation effects of emergency alternatives belonging to similar cases is developed. Firstly, the similarities between target case and historical case are calculated. Then, the valid similar case set is built by setting similarity threshold beforehand and case screening. Furthermore, the comprehensive evaluation values of each alternative implementation effect which belongs to valid similar historical case are calculated, respectively. On the basis of the above, the emergency alternative can be generated according to extracting the emergency alternative of valid similar historical case which is corresponding to the maximum comprehensive evaluation value. Finally, a numerical example is used to illustrate the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: emergency; emergency management; similarity case analysis; alternative assessment; alternative generating

0 引言

突发事件通常是指可能造成人员伤亡、经济和财产损失、生态环境破坏和严重社会危害的突然发生的紧急事件^[1-2]. 近年来, 我国突发事件发生频率明显增大, 不仅导致人民生命安全受到严重威胁, 还直接造成了经济和财产的重大损失. 当突发事件发生时, 必须采取有效的应急方案, 以最大限度地减少突发事件的危害. 由于突发事件具有事发突然、不确定性高、发展演变情况复杂等特点^[3], 将会导致一部分突发事件缺乏事先制定的应急预案或者事先制定的应

急预案缺乏有效性的情形. 针对缺乏有效应急预案的突发事件, 往往要求决策者借鉴历史应急救援经验快速生成有效的应急方案^[4]. 因此, 如何根据收集到的当前突发事件的特征信息, 并借鉴历史案例的应对经验快速生成当前突发事件的有效应急方案, 是一个具有实际意义的研究课题.

目前, 有关突发事件应急方案生成方法的研究已引起了国内外学者的广泛关注^[5-11]. 例如, Liao等^[5]针对环境污染突发事件应急问题进行研究, 给出了一种基于案例推理(CBR)^[12]的应急方案生成方法; Krupka

收稿日期: 2013-01-21; 修回日期: 2013-03-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71271051, 71101020); 中央高校基本科研业务经费项目(N110706001, N120406003, N120606001); 辽宁省高等学校创新团队支持计划项目(WT2013004).

作者简介: 李永海(1986-), 男, 博士生, 从事案例决策理论与方法的研究; 樊治平(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法等研究.

等^[6]提出了一种针对火灾救援应急服务问题的 CBR 应急服务模型; Ricci 等^[7]研究了如何利用基于 CBR 的技术来制定森林火灾突发事件应急救援方案的方法; 张英菊等^[8]给出了一种针对台风突发事件应急决策问题的 CBR 应急方案生成方法; 齐雅兰^[9]在对森林火灾蔓延模型的比较分析基础上, 给出了一种基于 CBR 的森林火灾扑救方案生成方法。

不难看出, 已有的这些研究成果大多是基于 CBR 的突发事件应急方案生成方法, 即通过计算目标案例与历史案例的相似性, 并提取最大相似性所对应的历史案例的应急方案作为目标案例的解决方案。需要指出的是, 已有的基于 CBR 的应急方案生成方法往往只提取出一个最大相似性所对应的历史案例, 这就容易导致对历史数据的挖掘和使用不充分的现象^[13]; 同时, 由于缺乏考虑所提取历史案例应急方案的实施效果, 很容易出现所提取的应急方案实施效果较差或者无法提取出应急方案实施效果较好的历史案例的情形, 在一定程度上会影响到突发事件应急方案生成的结果或质量。在现实的突发事件应急决策中, 往往需要同时考虑满足一定相似性要求的多个历史案例^[14], 并且最终应急方案的生成需要重点关注应急方案对突发事件的预期应对效果^[15]。

基于上述分析, 本文给出一种基于相似案例分析的考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法。首先计算目标案例与历史案例间的相似度; 然后提取相似度高于相似度阈值所对应的历史案例, 并通过案例筛选来构建有效相似历史案例集; 在此基础上, 综合评估各有效相似历史案例所涉及的应急方案的实施效果, 并计算出针对各有效相似历史案例应急方案的实施效果的综合评价价值, 进而提取最大综合评价价值所对应的有效相似历史案例的应急方案, 作为当前需要解决突发事件应急问题的决策支持方案。

1 问题描述

在所考虑的基于相似案例分析的突发事件应急方案生成问题中, 为叙述方便, 记 $M = \{1, 2, \dots, m\}$, $\Omega^P = \{1, 2, \dots, n\}$, $\Omega^R = \{1, 2, \dots, h\}$ 。在本文中, 一个案例的表示通常包含 3 个部分: 1) 对突发事件应急问题的描述; 2) 针对该突发事件应急问题所采取的应急方案的描述; 3) 该应急方案的实施效果的描述。本文所提及案例分为历史案例与“目标案例”。历史案例是存储在案例库中为了解决当前突发事件应急问题而可能被选择重用的案例, 而目标案例则是基于当前需解决的突发事件应急问题而设定的虚拟的案例。设 $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$ 表示历史案例集, 其中 Z_i 表示第 i 个历史案例, $i \in M$ 。设 Z^* 表示目标案例, 目标案例 Z^* 的应急方案是未知的。

通常, 一个案例所涉及的对突发事件应急问题的描述是由多个问题特征来刻画的。例如, 在煤矿瓦斯爆炸应急救援案例中, 对突发事件应急问题的描述可由煤矿类型、瓦斯浓度等问题特征来刻画。在现实中, 可通过包裹算法、过滤算法、属性排列算法和最小子集算法等^[16]方法识别出突发事件的问题特征。设 $C^P = \{C_1^P, C_2^P, \dots, C_n^P\}$ 表示突发事件应急问题特征集, 其中 C_l^P 表示第 l 个问题特征, $l \in \Omega^P$; $w^P = (w_1^P, w_2^P, \dots, w_n^P)$ 表示问题特征权重向量, 其中 w_l^P 表示问题特征 C_l^P 的权重或重要程度, 满足 $w_l^P \geq 0$ 且 $\sum_{l \in \Omega^P} w_l^P = 1$ 。记 $z_i^P = (z_{i1}^P, z_{i2}^P, \dots, z_{in}^P)$ 表示针对历史案例 Z_i 的问题特征值向量, 其中 z_{il}^P 表示历史案例 Z_i 对应于问题特征 C_l^P 的问题特征值, $i \in M$, $l \in \Omega^P$; 记 $t^P = (t_1^P, t_2^P, \dots, t_n^P)$ 表示针对目标案例 Z^* 的问题特征值向量, 其中 t_l^P 表示目标案例 Z^* 对应于问题特征 C_l^P 的问题特征值, $l \in \Omega^P$ 。依据实际情况, 考虑针对历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 所涉及各问题特征的问题特征值(即 z_{il}^P 和 t_l^P) 通常可分为数值型和符号型两种形式。例如, 问题特征“瓦斯浓度”的问题特征值一般是数值型的; 问题特征“煤矿类型”的问题特征值一般是符号型的, 可采用“煤与瓦斯突出矿井”、“高瓦斯矿井”等符号来表述。为方便起见, 记 C^{PI} 和 C^{PS} 分别表示问题特征值为数值型和符号型的问题特征子集, 即 $C^{PI} = \{C_1^P, C_2^P, \dots, C_{L_1}^P\}$, $C^{PS} = \{C_{L_1+1}^P, C_{L_1+2}^P, \dots, C_n^P\}$, $C^{PI} \cup C^{PS} = C^P$, $C^{PI} \cap C^{PS} = \emptyset$; 记 Ω^{PI} 和 Ω^{PS} 分别表示问题特征子集 C^{PI} 和 C^{PS} 的下标集, 即 $\Omega^{PI} = \{1, 2, \dots, L_1\}$, $\Omega^{PS} = \{L_1 + 1, L_1 + 2, \dots, n\}$, $\Omega^{PI} \cup \Omega^{PS} = \Omega^P$, $\Omega^{PI} \cap \Omega^{PS} = \emptyset$ 。

一个历史案例所涉及的突发事件应急方案的实施效果的描述通常是由多个评价指标来刻画。例如, 在煤矿瓦斯爆炸应急救援案例中, 对突发事件应急方案的实施效果的描述可由对人员伤亡实施救援的效果、对财产损失进行控制的效果等评价指标来刻画。设 $C^R = \{C_1^R, C_2^R, \dots, C_h^R\}$ 表示评价指标集, 其中 C_k^R 表示第 k 个评价指标, $k \in \Omega^R$; $w^R = (w_1^R, w_2^R, \dots, w_h^R)$ 表示评价指标权重向量, 其中 w_k^R 表示评价指标 C_k^R 的权重或重要程度, 满足 $w_k^R \geq 0$ 且 $\sum_{k \in \Omega^R} w_k^R = 1$ 。记 $z_i^R = (z_{i1}^R, z_{i2}^R, \dots, z_{ih}^R)$ 表示针对历史案例 Z_i 的方案实施效果的评价指标值向量, 其中 z_{ik}^R 表示历史案例 Z_i 的应急方案实施效果对应于评价指标 C_k^R 的评价指标值, $i \in M$, $k \in \Omega^R$ 。在本文中, 考虑针对历史案例 Z_i 所涉及各评价指标值(即 z_{ik}^R) 为评价分值集 S 中的某一分值, $S = \{1, 2, \dots, 10\}$, 分值越大, 表明历史案例的应急方案的实施效果越好。例

如,评价指标“对人员伤亡实施救援的效果”的评价指标值可以是1~10内的任意一个分值.

本文要解决的问题是:依据历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 的问题特征(值)和评价指标(值),以及问题特征权重向量和评价指标权重向量等决策信息,为当前需解决的突发事件应急问题生成一个有效的应急方案.

2 突发事件应急方案生成方法

为了解决上述提及的应急方案生成问题,这里提出一种基于相似案例考虑的考虑相似案例应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法.如图1所示,该方法主要包括计算目标案例与历史案例间的相似度,构建有效相似历史案例集,获取有效相似历史案例的应急方案实施效果的当前评价信息,评估有效相似历史案例的应急方案的实施效果,以及生成应急方案等部分.

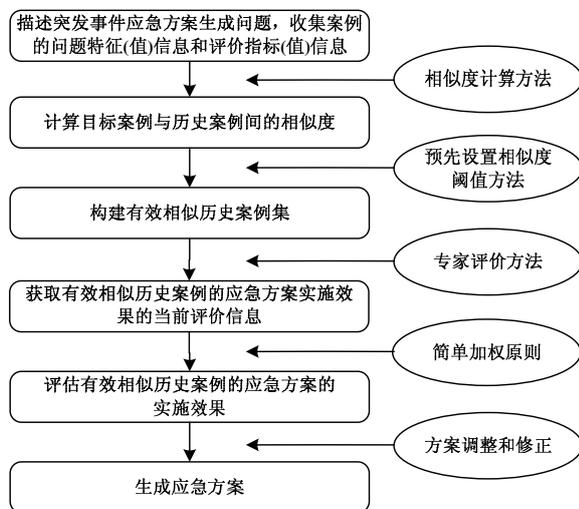


图1 突发事件应急方案生成方法的基本框架

下面分别阐述所提方法的每个部分的计算过程.

2.1 计算目标案例与历史案例间的相似度

首先,计算针对问题特征 C_l^P 的历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 间的相似度 $\text{Sim}_l(Z^*, Z_i)$.

1) 当 $C_l^P \in C^{\text{PI}}$ 时,相似度 $\text{Sim}_l(Z^*, Z_i)$ 的计算公式为

$$\text{Sim}_l(Z^*, Z_i) = 1 - \frac{|z_{il}^P - t_l^P|}{p_l^+ - p_l^-}, \quad i \in M, l \in \Omega^{\text{PI}}. \quad (1)$$

其中

$$p_l^+ = \max\{t_l^P, \max\{z_{il}^P | i \in M\}\}, \quad l \in \Omega^{\text{PI}}, \quad (2)$$

$$p_l^- = \min\{t_l^P, \min\{z_{il}^P | i \in M\}\}, \quad l \in \Omega^{\text{PI}}. \quad (3)$$

2) 当 $C_l^P \in C^{\text{PS}}$ 时,相似度 $\text{Sim}_l(Z^*, Z_i)$ 的计算公式为

$$\text{Sim}_l(Z^*, Z_i) = \begin{cases} 1, & t_l^P = z_{il}^P; \\ 0, & t_l^P \neq z_{il}^P; \end{cases} \quad i \in M, l \in \Omega^{\text{PS}}. \quad (4)$$

进一步,考虑各问题特征的相似度 $\text{Sim}_l(Z^*, Z_i)$,计算历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 间的相似度 $\text{Sim}(Z^*, Z_i)$,即

$$\text{Sim}(Z^*, Z_i) = \sum_{l \in \Omega^P} w_l^P \text{Sim}_l(Z^*, Z_i), \quad i \in M. \quad (5)$$

显然, $\text{Sim}(Z^*, Z_i) \in [0, 1]$, $\text{Sim}(Z^*, Z_i)$ 越大,表明历史案例 Z_i 所涉及的突发事件应急问题与目标案例 Z^* 所涉及的当前需要解决的突发事件应急问题的相似程度越高.

2.2 构建有效相似历史案例集

由文献[17-18]可知,相似历史案例的提取应该考虑目标案例所涉及的当前需要解决的突发事件应急问题与历史案例所涉及的突发事件应急问题间的相似性,即目标案例与历史案例间的相似度 $\text{Sim}(Z^*, Z_i)$,并且该相似度较高的历史案例将作为适合的案例被提取.因此,为了提取适合的历史案例,可预先设置相似度阈值.记 ξ 表示目标案例与历史案例间的相似度阈值, $\xi \in [\min\{\text{Sim}(Z^*, Z_i) | i \in M\}, \max\{\text{Sim}(Z^*, Z_i) | i \in M\}]$.通常, ξ 的取值由决策者依据经验或历史数据结合其取值范围给定, ξ 越大,表明提取的历史案例所涉及的突发事件应急问题与目标案例所涉及的当前需要解决的突发事件应急问题的相似程度越高.

当满足 $\text{Sim}(Z^*, Z_i) \geq \xi$ 时,相应的历史案例 Z_i 将被提取,然后,可将被提取出的所有的历史案例构建成相似历史案例集 Z^{Sim} ,即 $Z^{\text{Sim}} = \{Z_i | i \in M^{\text{Sim}}\}$,其中 $M^{\text{Sim}} = \{i | \text{Sim}(Z^*, Z_i) \geq \xi, i \in M\}$,它表示所有相似历史案例的下标集合.显然, $Z^{\text{Sim}} \subset Z$, $M^{\text{Sim}} \subset M$.

进一步,考虑到相似历史案例集中的相似历史案例由于受到发生年代经济状况、技术水平和装备/配备水平等因素^[19]的影响,其所涉及的应急方案可能存在不符合当前实际状况的情形.对此,需要应急管理小组专家对这些相似历史案例进行筛选,剔除掉那些技术手段落后、装备/配备陈旧、不满足环保要求等不符合当前实际情况的应急方案所对应的相似历史案例;然后,将所有剩余的相似历史案例视为有效相似历史案例,构建有效相似历史案例集 Z^{Valid} ,即 $Z^{\text{Valid}} = \{Z_i | i \in M^{\text{Valid}}\}$,其中 M^{Valid} 表示所有有效相似历史案例的下标集合.显然, $Z^{\text{Valid}} \subset Z^{\text{Sim}}$, $M^{\text{Valid}} \subset M^{\text{Sim}}$.

2.3 获取有效相似历史案例的应急方案实施效果的当前评价信息

通常,针对每个有效相似历史案例的应急方案实施效果的描述,往往包含历史评价信息,即有效相似历史案例的评价指标值向量 \tilde{z}_i^R ($i \in M^{\text{Sim}}$).通过对这

些评价信息的处理,常常可以实现应急方案实施效果的评估.需要指出的是,这些评价信息只代表特定历史情境下的评价结果,即应急管理相关人员针对突发事件发生时的特定历史情境所给出的关于应急方案实施效果的评价信息.另外,还需要说明的是,针对各历史突发事件应急方案实施效果的评价信息是分别或单独给出的,缺乏对各应急方案实施效果间的综合比较与衡量.这意味着,如果将这些历史评价信息直接应用于应急方案实施效果的评估中,可能会影响效果评估的准确性,还可能会产生信息淹没现象^[19].因此,需要使用专家评价法,即由应急管理小组专家立足于现有经济条件和技术水平的视角下,综合考虑所有有效相似历史案例的应急方案的实施效果,并对其进行综合评判;然后,给出针对每个有效相似历史案例的应急方案的实施效果的当前评价信息,并设定历史评价信息和当前评价信息的权重.

记 $z_i^E = (z_{i1}^E, z_{i2}^E, \dots, z_{ih}^E)$ 表示应急管理小组专家依据评价分值集 S 给出的针对有效相似历史案例 Z_i 的当前评价指标值向量,其中 z_{ik}^E 表示有效相似历史案例 Z_i 的应急方案实施效果对应于评价指标 C_k^R 的当前评价指标值, $z_{ik}^E \in S, i \in M^{\text{Valid}}, k \in \Omega^R$. 记 $w = (w_1^{\text{His}}, w_2^{\text{Now}})$ 表示应急管理小组专家给出的关于历史评价信息和当前评价信息的权重向量,其中 w_1^{His} 和 w_2^{Now} 分别表示历史评价信息和当前评价信息的权重或重要性程度,且满足 $w_1^{\text{His}} + w_2^{\text{Now}} = 1, 0 \leq w_1^{\text{His}}, w_2^{\text{Now}} \leq 1$.

2.4 评估有效相似历史案例的应急方案的实施效果

为了能够计算针对各有效相似历史案例的应急方案的实施效果的综合评价价值,首先需要对描述应急方案实施效果的历史评价指标值 z_{ik}^R 和当前评价指标值 z_{ik}^E 分别进行规范化. z_{ik}^R 和 z_{ik}^E 的规范化计算公式分别为

$$\bar{z}_{ik}^R = (z_{ik}^R - r_k^-) / (r_k^+ - r_k^-), i \in M^{\text{Valid}}, k \in \Omega^R; \quad (6)$$

$$\bar{z}_{ik}^E = (z_{ik}^E - r_k^-) / (r_k^+ - r_k^-), i \in M^{\text{Valid}}, k \in \Omega^R. \quad (7)$$

其中

$$r_k^+ = \max\{\max\{z_{ik}^R | i \in M^{\text{Valid}}\}, \max\{z_{ik}^E | i \in M^{\text{Valid}}\}\}, k \in \Omega^R; \quad (8)$$

$$r_k^- = \min\{\min\{z_{ik}^R | i \in M^{\text{Valid}}\}, \min\{z_{ik}^E | i \in M^{\text{Valid}}\}\}, k \in \Omega^R. \quad (9)$$

进一步,将规范化后的历史评价指标值 \bar{z}_{ik}^R 和当前评价指标值 \bar{z}_{ik}^E 分别进行集结,并综合集结结果,可

得到有效相似历史案例 Z_i 的应急方案的实施效果的综合评价价值 V_i , 其计算公式为

$$V_i = w_1^{\text{His}} \sum_{k \in \Omega^R} w_k^R \bar{z}_{ik}^R + w_2^{\text{Now}} \sum_{k \in \Omega^R} w_k^R \bar{z}_{ik}^E, \quad i \in M^{\text{Valid}}. \quad (10)$$

显然 V_i 越大,有效相似历史案例 Z_i 的应急方案的实施效果越好.

2.5 生成应急方案

依据综合评价价值 V_i 的大小,可得到所有有效相似历史案例的应急方案的实施效果的排序结果,进而可将方案实施效果最好的有效相似历史案例的应急方案提取出来.应急管理小组可将提取出的应急方案直接作为当前需要解决的突发事件应急问题的应急方案,或根据现有的经济条件、技术水平和装备水平对提取出的应急方案进行调整和修正;然后生成当前需要解决的突发事件应急问题的应急方案,即目标案例 Z^* 的应急方案.

综上所述,考虑相似案例应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法的计算步骤归纳如下.

Step 1: 依据式(1)~(5),计算历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 间的相似度 $\text{Sim}(Z^*, Z_i)$;

Step 2: 运用预先设置的相似度阈值提取历史案例,并通过筛选构建有效相似历史案例集 Z^{Valid} ;

Step 3: 获取针对各有效相似历史案例的应急方案实施效果的当前评价信息 \bar{z}_i^E ;

Step 4: 依据式(6)~(10),计算有效相似历史案例 Z_i 的应急方案的实施效果的综合评价价值 V_i ;

Step 5: 提取 V_i 最大所对应的有效相似历史案例的应急方案并生成目标案例 Z^* 的应急方案.

3 算 例

下面以 A 煤矿企业的瓦斯爆炸事故应急方案生成问题为背景来说明本文所提出的方法的潜在应用.设 A 煤矿企业矿井运输顺槽掘进工作面发生了瓦斯爆炸事故,井下人员及财产处于危险境地,需要立即采取有效的应急方案.由于该煤矿企业刚成立不久,配套的安全防范措施以及应急措施不够完善,尚无有效的应急预案可直接采用.为了能够快速制定一套有效的瓦斯爆炸事故应急方案,该企业筹备成立了专门的突发事件应急管理部门,收集了其他煤矿企业处理煤矿瓦斯爆炸事故的 10 个案例作为历史案例 (Z_1, Z_2, \dots, Z_{10}).案例所涉及的突发事件应急问题的问题特征包括:煤矿类型 (C_1^P)、瓦斯浓度 (C_2^P , 单位: %)、残余氧气浓度 (C_3^P , 单位: %)、一氧化碳浓度 (C_4^P , 单位: %)、井下当班员工数量 (C_5^P , 单位: 人) 和通风系统结构 (C_6^P).案例所涉及的应急方案实施效果的评

价指标包括: 对人员伤亡实施救援的效果 (C_1^R)、对财产损失实施控制的效果 (C_2^R) 和对环境更改实施控制的效果 (C_3^R)。企业突发事件应急管理部门通过采取多个专家评判的方式, 确定出问题特征集和评价指标集的权重向量分别为 $w^P = (0.09, 0.21, 0.20, 0.12, 0.23, 0.16)$, $w^R = (0.40, 0.33, 0.27)$ 。表1给出了关于历史案

例 Z_i 和目标案例 Z^* 的问题特征(值)信息和历史评价指标(值)信息, 此外, 该公司应急管理部门给出了关于历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 的相似度阈值为 $\xi = 0.9$ 。这里, 采用本文提出的突发事件应急方案生成方法为当前需要解决的瓦斯爆炸事故应急问题生成一套应急方案, 下面简要给出一些计算过程与结果。

表1 关于历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 的问题特征(值)信息和历史评价指标(值)信息

案例	问题特征						评价指标		
	C_1^P	C_2^P	C_3^P	C_4^P	C_5^P	C_6^P	C_1^R	C_2^R	C_3^R
Z_1	煤与瓦斯突出矿井	1.2	12	0.5	158	统一通风	3	4	4
Z_2	高瓦斯矿井	1.1	11.5	0.48	125	分区通风	9	10	8
Z_3	煤与瓦斯突出矿井	0.8	8	0.1	148	统一通风	8	7	2
Z_4	高瓦斯矿井	1.0	13	0.45	117	分区通风	7	10	73
Z_5	低瓦斯矿井	0.3	10	0.1	120	统一通风	9	5	8
Z_6	高瓦斯矿井	1.1	11	0.5	122	分区通风	10	9	7
Z_7	低瓦斯矿井	0.5	12	0.1	180	分区通风	5	8	1
Z_8	高瓦斯矿井	1.1	12	0.4	118	统一通风	5	4	5
Z_9	煤与瓦斯突出矿井	1.1	9	0.2	145	统一通风	6	9	3
Z_{10}	高瓦斯矿井	1.2	11	0.6	123	分区通风	9	6	6
Z^*	高瓦斯矿井	1.1	12	0.5	120	分区通风	—	—	—

首先, 依据式(1)~(5), 计算历史案例 Z_i 和目标案例 Z^* 的相似度 $\text{Sim}(Z^*, Z_i)$, 其计算结果为

$$\text{Sim}(Z^*, Z_1) = 0.59, \text{Sim}(Z^*, Z_2) = 0.96,$$

$$\text{Sim}(Z^*, Z_3) = 0.32, \text{Sim}(Z^*, Z_4) = 0.92,$$

$$\text{Sim}(Z^*, Z_5) = 0.37, \text{Sim}(Z^*, Z_6) = 0.95,$$

$$\text{Sim}(Z^*, Z_7) = 0.48, \text{Sim}(Z^*, Z_8) = 0.79,$$

$$\text{Sim}(Z^*, Z_9) = 0.46, \text{Sim}(Z^*, Z_{10}) = 0.90.$$

然后, 依据前文提及的相似历史案例集的构建方法, 结合预先设置的相似度阈值 $\xi = 0.9$, 可确定出相似历史案例集为

$$Z^{\text{Sim}} = \{Z_2, Z_4, Z_6, Z_{10}\}.$$

经应急管理部门专家组分析发现, 相似历史案例 Z_{10} 所涉及的应急方案不符合当前实际, 其所使用的设施装备已陈旧, 技术手段也已经落后, 且未达到环保最低要求。因此, 将相似历史案例 Z_{10} 剔除, 进而构建有效相似历史案例集为

$$Z^{\text{Valid}} = \{Z_2, Z_4, Z_6\}.$$

为了能准确评估各有效相似历史案例的应急方案的实施效果, 应急管理部门通过专家评价法, 获取了各有效相似历史案例的应急方案实施效果的当前评价信息为

$$\tilde{z}_2^E = (8, 8, 9), \tilde{z}_4^E = (7, 8, 9), \tilde{z}_6^E = (6, 7, 6).$$

此外, 还获取了历史评价信息和当前评价信息的权重向量 $w = (0.37, 0.63)$ 。

依据式(6)~(10), 计算出各有效相似历史案例(即 Z_2 、 Z_4 和 Z_6) 的应急方案的实施效果的综合评价

值 V_i , 其计算结果为 $V_2 = 0.37$, $V_4 = 0.54$, $V_6 = 0.36$ 。由于 $V_4 > V_2 > V_6$, 可知综合评价值最大(即 V_4) 所对应的有效相似历史案例为 Z_4 。进一步, 提取有效相似历史案例的应急方案, 可作为当前突发事件应急问题的应急方案。

由算例可知, 所构建的有效相似历史案例集为 $Z^{\text{Valid}} = \{Z_2, Z_4, Z_6\}$, 其中最大相似性所对应的有效相似历史案例为 Z_2 。但通过有效相似历史案例的应急方案的实施效果的评估发现, Z_4 的评价结果最佳。因此, 选择了提取有效相似历史案例 Z_4 的应急方案来应对当前突发事件应急问题, 这充分体现了本文方法与已有的基于 CBR 的突发事件应急方案生成方法的差异以及其优势所在。

4 结 论

本文给出了一种考虑相似案例应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法。该方法沿用了基于相似案例分析的决策范式, 在考虑目标案例与历史案例的相似度基础上, 运用预先设置的相似度阈值提取和筛选了有效相似历史案例, 并通过对这些历史案例应急方案的实施效果的历史和当前评价信息的综合处理, 提取出应急方案实施效果最好的历史案例。本文方法有效地弥补了已有的基于 CBR 的应急方案生成方法在相似案例提取以及分析中对历史数据使用不充分、缺乏考虑方案实施效果等方面的不足。与已有方法相比, 本文所提出的方法更符合突发事件应急决策的实际需求, 为解决突发事件应急方案生成问题提供了一种新的决策技术或新的途径, 具有可操作性和实用价值。在进一步的研究中, 将针对突发事件情

景演变导致问题特征发生变化的一类动态应急决策问题,开展关于突发事件应急方案生成方法和方案择优方法等方面的研究。

参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国国务院法制办. 中华人民共和国突发事件应对法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2007: 1-3.
(The State Council Legislative Affairs Office of the People's Republic of China. The emergency response law of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2007: 1-3.)
- [2] 邬文帅, 寇纲, 彭怡, 等. 面向突发事件的模糊多目标应急决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 36(6): 1298-1304.
(Wu W S, Kou G, Peng Y, et al. A fuzzy multi-criteria emergency decision-making method[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 36(6): 1298-1304.)
- [3] 曹杰, 杨晓光, 汪寿阳. 突发公共事件应急管理研究中的重要科学问题[J]. 公共管理学报, 2007, 4(2): 84-93.
(Cao J, Yang X G, Wang S Y. Key scientific problems in public emergency management[J]. J of Public Management, 2007, 4(2): 84-93.)
- [4] 徐志新, 奚树人, 曲静原. 核事故应急决策的多属性效用分析方法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(3): 445-448.
(Xu Z X, Xi S R, Qu J Y. Multi-attribute analysis of nuclear reactor accident emergency decision making[J]. J of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(3): 445-448.)
- [5] Liao Z, Mao X, Hannam P M, et al. Adaptation methodology of CBR for environmental emergency preparedness system based on an improved genetic algorithm[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(8): 7029-7040.
- [6] Krupka J, Kasparova M, Jirava P. Case-based reasoning model in process of emergency management[J]. Advances in Intelligent and Soft Computing, 2009, 59(1): 77-84.
- [7] Ricci F, Avesani P, Perini A. Cases on fire: Applying CBR to emergency management[J]. The New Review Applied Expert Systems, 1999, 5(6): 175-190.
- [8] 张英菊, 仲秋雁, 叶鑫, 等. 基于案例推理的应急辅助决策方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1412-1415.
(Zhang Y J, Zhong Q Y, Ye X, et al. Research on method of emergency aid decision-making based on CBR[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(4): 1412-1415.)
- [9] 齐雅兰. 森林火灾扑救方案生成系统的研究与实现[D]. 北京: 华北电力大学控制与计算机工程学院, 2006: 3-5.
(Qi Y L. Research and realization of creating system for forest fireproofing approach[D]. Beijing: School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, 2006: 3-5.)
- [10] Liao Z, Hannam P M, Xia X, et al. Integration of multi-technology on oil spill emergency preparedness[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(10): 2117-2128.
- [11] Liu W, Hu G, Li J. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning[J]. Safety Science, 2012, 50(3): 530-534.
- [12] Schank, Roger C. Dynamic memory: A theory of reminding and learning in computers and people[M]. New York: Cambridge University Press, 1982: 1-75.
- [13] Liao S H, Chu P H, Hsiao P Y. Data mining techniques and applications — A decade review from 2000 to 2011[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(12): 11303-11311.
- [14] 王清, 赵勇, 饶从军. 基于阈值的案例决策方法及其在创新设计中的应用[J]. 控制与决策, 2010, 25(10): 1562-1566.
(Wang Q, Zhao Y, Rao C J. Case-based decision method based on threshold and its application in innovative design[J]. Control and Decision, 2010, 25(10): 1562-1566.)
- [15] 张英菊. 基于灰色多层次评价方法的应急预案实施效果评价模型研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(9): 3312-3315.
(Zhang Y J. Research on implementation effect evaluation model of emergency plans based on multi-level and grey evaluation method[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(9): 3312-3315.)
- [16] 李锋刚, 倪志伟, 杨善林, 等. 案例推理中属性约简及其性能评价[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(增1): 1025-1029.
(Li F G, Ni Z W, Yang S L, et al. Attribute reduction and its performance evaluation in case-based reasoning[J]. J of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(S1): 1025-1029.)
- [17] Gilboa I, Schmeidler D. Case-based decision theory[J]. The Quarterly J of Economics, 1995, 110(3): 605-639.
- [18] Gilboa I, Schmeidler D. Act similarity in case-based decision theory[J]. Economic Theory, 1997, 9(1): 47-61.
- [19] 姜平. 突发事件应急管理[M]. 北京: 国家行政学院出版社, 2011: 134-155.
(Jiang P. Emergency management[M]. Beijing: National School of Administration Press, 2011: 134-155.)