文章编号: 1001-0920 (2015) 07-1239-06 DOI: 10.13195/j.kzyjc.2014.0661

考虑应急方案总体优势度的决策方法

郑 晶[1,2], 王应明[1], 叶 歆[3]

(1. 福州大学 经济与管理学院，福州 350116；2. 福建江夏学院 电子信息科学学院，福州 350108；3. 福州市公安消防支队 防火处，福州 350005)

摘 要: 针对突发事件有效方案生成问题, 从案例匹配和方案生成两个角度出发, 提出一种基于证据推理的考虑总体优势度的应急决策方法. 首先, 依据检索方法得到源案例与目标案例的相似度, 并获取应急方案的历史实施效果和当前实施效果; 然后, 通过证据推理合成应急证据, 进而计算案例的总体优势度来确定最有效的案例; 最后, 通过一个煤矿事故应急决策案例验证了所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 应急决策；案例推理；证据推理；相似度

中图分类号: C931 **文献标志码:** A

Decision method for emergency alternative with considering total superiority degree

ZHENG Jing[1,2], *WANG Ying-ming*[1], *YE Xin*[3]

(1. School of Economics and Management，Fuzhou University，Fuzhou 350116，China；2. College of Electronics and Information Science，Fujian Jiangxia University，Fuzhou 350108，China；3. Department of Fire，Fuzhou Municipal Fire Brigade Fire Prevention and Supervision Division，Fuzhou 350005，China．Correspondent：WANG Ying-ming, E-mail：msymwang@hotmail.com)

Abstract: To solve the problems of generating emergency alternative, an emergency decision method based on evidence reasoning with considering total superiority degree is developed from the case matching and case selecting. According to the retrieval method, the similarities between source case and historical case are calculated, and the historical and current implementation effects of alternative are obtained. Then, the evidence reasoning is used to combine emergency evidence. By the way, the total superiority degree of cases can be calculated, and the most effective alternative is obtained. Finally, a coal mine emergency decision-making case is given to illurstrate the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Keywords: emergency decision；case-based reasoning；evidence reasoning；similarity

0 引 言

随着社会的发展, 突发事件日益增多, 给国家和社会带来了巨大的生命财产损失, 因此必须采取有效的应急方案来降低损失、控制事态[1-2]. 突发事件具有随机性、突然性、破坏性、复杂性、可变性、扩散性等特点[3], 给应急决策带来很大的困难. 目前, 运用于应急决策的方法主要有案例推理 (CBR)、前景理论[4]、博弈论[5-6]、粗糙集[7]、群决策[8]等. 其中, 基于CBR的应急决策通过借鉴历史案例经验快速生成应急方案, 缩短应急响应时间, 并可以通过其自学习能力, 随着案例库中案例数量和质量的增长和改善, 不断提高应急决策的有效性, 因此受到国内外学者的青睐: 汪季玉等[9]从危机信息处理的角度, 构建了基于CBR的应急决策支持系统; Krupka等[10]针对火灾救援提出了基于CBR的应急服务模型; Fan等[11]针对瓦斯爆炸中5种形式的案例属性提出了新的相似度方法; Liao等[12]针对环境紧急事故CBR模型中存在案例贫乏和调整困难的问题, 提出了CBR与遗传算法结合的决策方法; 袁晓芳[13]针对非常规突发事件的情景分析结果, 提出了基于情景检索的案例推理决策方法; 张建华等[14]针对CBR模型缺乏演绎能力, 提出了案例推理与规则推理相结合的紧急预案系统; Liu

收稿日期: 2014-05-01；**修回日期:** 2014-09-10.

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(70925004)；福建省交通运输厅科技发展项目(201319)；福建省教育厅科技项目(JB14122, JA14322)；福建江夏学院青年科研项目(JXZ2014009).

作者简介: 郑晶(1980−), 女, 讲师, 博士生, 从事决策理论与方法的研究；王应明(1964−), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法、数据包络分析等研究.

等[15]针对应急资源需求预测的特点, 提出了基于风险分析和案例推理的应急资源需求预测方法; 张英菊等[16]根据应急案例特征提出了3层架构的案例描述, 并针对属性值缺失问题提出了基于结构和属性的相似度方法. 从现有研究来看, 基于CBR的应急决策为生成有效的方案提供了较好的支撑. 然而, 以上研究在应急方案生成过程中存在两个不足: 一是在案例选择时, 仅考虑源案例与目标案例的相似度, 没有考虑到源案例方案的历史实施效果和当前实施效果; 二是在案例匹配时, 仅考虑一种相似度, 造成其效用不足. 为此, 本文从案例匹配和方案生成的角度出发, 提出考虑多种应急证据的决策方法来生成最有效的方案.

1 问题描述

在考虑应急方案总体优势度的决策问题中, 为方便叙述, 记 $M=\{1,2,\cdots,m\}, L=\{1,2,\cdots,l\}, F=\{1,2,\cdots,f\}$. $S=\{\text{problem},\text{solution},\text{result}\}$ 表示案例库中案例的3个组成部分, 其中: problem表示对问题的描述, solution表示源案例的方案, result表示方案的历史实施效果. $C=\{C_1,C_2,\cdots,C_m\}$ 表示案例库中的 m 个案例集, 其中 C_e 表示第 e 个案例, $e\in M$; $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_l\}$ 表示 l 个属性集, 其中 x_j 表示第 j 个属性, $j\in L$; $w=\{w_1,w_2,\cdots,w_l\}$ 表示属性的权重向量, 其中 w_j 表示属性 x_j 的权重, 满足 $0\leqslant w_j\leqslant 1$, 且 $\sum\limits_{j=1}^{l}w_j=1$; $S=\{S_1,S_2,\cdots,S_f\}$ 表示 f 个应急证据, 其中 S_i 表示第 i 个应急证据, $i\in F$; $v=\{v_1,v_2,\cdots,v_f\}$ 表示应急证据的权重, 其中 v_i 表示应急证据 S_i 的权重, 满足 $0\leqslant v_i\leqslant 1$, 且 $\sum\limits_{i=1}^{f}v_i=1$, $i\in F$; $Z=\{z_1,z_2,\cdots,z_m\}$ 表示方案的历史实施效果, 其中 z_e 表示案例 C_e 的方案在历史情境下的实施效果; $R=\{r_1,r_2,\cdots,r_m\}$ 表示方案的当前实施效果, 其中 r_e 表示专家对案例 C_e 的方案应用于当前情境是否合适的评价.

另外, 在突发事件中, 专家存在掌握的信息不完备、观测时间有限及其心理压力等限制条件[17], 无法对应急方案实施效果评价给出一个精确值. 鉴于此, 采取基于区间置信度的分布评价等级表示. 记 $H=\{H_n,n=1,2,\cdots,5\}=\{\text{P},\text{A},\text{G},\text{V},\text{E}\}$ 表示评价等级结构为Poor, Average, Good, VeryGood, Excellent; $D=[d_{ei}^n]_{m\times f\times 6}$ 表示应急决策矩阵, 其中 d_{ei}^n 表示案例 C_e 的应急证据 S_i 在评价等级 H_n 下的区间置信度, 即 $d_{ei}^n=(H_n,[\beta_{n,i}^-,\beta_{n,i}^+])$, 满足 $\beta_{n,i}^-\leqslant\beta_{n,i}^+$, $i\in F$. 应急决策矩阵 D 可表示为表1的形式.

表1 基于方案总体优势度的决策矩阵

案例	S_1				S_2				$\cdots$	S_f			
	P	A	$\cdots$	H	P	A	$\cdots$	H		P	A	$\cdots$	H
C_1	$d_{1,1}^1$	$d_{1,1}^2$	$\cdots$	$d_{1,1}^6$	$d_{1,2}^1$	$d_{1,2}^2$	$\cdots$	$d_{1,2}^6$	$\cdots$	$d_{1,f}^1$	$d_{1,f}^2$	$\cdots$	$d_{1,f}^6$
C_2	$d_{2,1}^1$	$d_{2,1}^2$	$\cdots$	$d_{2,1}^6$	$d_{2,2}^1$	$d_{2,2}^2$	$\cdots$	$d_{2,2}^6$	$\cdots$	$d_{2,f}^1$	$d_{2,f}^2$	$\cdots$	$d_{2,f}^6$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
C_m	$d_{m,1}^1$	$d_{m,1}^2$	$\cdots$	$d_{m,1}^6$	$d_{m,2}^1$	$d_{m,2}^2$	$\cdots$	$d_{m,2}^6$	$\cdots$	$d_{m,f}^1$	$d_{m,f}^2$	$\cdots$	$d_{m,f}^6$

本文要解决的问题是: 依据突发事件的有关决策信息 X、W、Z、R 和 V, 考虑相似度、方案历史实施效果和当前实施效果等应急证据, 如何通过有效的决策分析方法获取最有效的应急方案.

2 决策方法

为了解决基于案例推理的应急决策中因素考虑欠缺的问题, 提出一种考虑应急方案总体优势度的决策方法. 该方法通过融合线性、非线性及关联的相似度, 方案的历史实施效果和当前实施效果来获取最有效的应急方案.

2.1 区间证据推理的相关概念

定理1[18] 设 $H=\{H_1,H_2,\cdots,H_N\}$ 为识别框架, 则应急证据 S_i 属于 H_n 的区间置信度 $\{(H_n,[\beta_{n,i}^-,\beta_{n,i}^+],n=1,2,\cdots,N\}$ 是合理的, 需满足如下条件:

1) $\beta_{n,i}^-\geqslant 0$;

2) $\forall\,\beta_{n,i}\in[\beta_{n,i}^-,\beta_{n,i}^+],\ \sum\limits_{i=1}^{f}\beta_{n,i}\leqslant 1$.

定理2[18] 若 $\{(H_n,[\beta_{n,i}^-,\beta_{n,i}^+],n=1,2,\cdots,N\}$ 为区间置信度的评价等级, 则无知信息

$$H=[\beta_{H,i}^-,\beta_{H,i}^+].$$

其中

$$\beta_{H,i}^-=\max\Big(0,1-\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}^+\Big),$$

$$\beta_{H,i}^+=1-\sum_{n=1}^{N}\beta_{n,i}^-.$$

定义3[18] 若 $[\beta_{n,i}^-,\beta_{n,i}^+]$ 为 H_n 上的置信度, 则区间信念结构为

$$m_{n,i}=m_i(H_n)\in[m_{n,i}^-,m_{n,i}^+]=[v_i\beta_{n,i}^-(C_e),v_i\beta_{n,i}^+(C_e)],\tag{1}$$

$$\overline{m}_{H,i}=\overline{m}_i(H)=1-v_i,\tag{2}$$

$$\widetilde{m}_{H,i}=\widetilde{m}_i(H)\in[\widetilde{m}_{H,i}^-,\widetilde{m}_{H,i}^+]=[v_i\beta_{H,i}^-(C_e),v_i\beta_{H,i}^+(C_e)].\tag{3}$$

其中

$$\sum_{n=1}^{N} m_{n,i} + \overline{m}_{H,i} + \widetilde{m}_{H,i} = 1,$$

$$\sum_{i=1}^{f} v_i = 1.$$

定义 4[18-19]　若 $m_{n,i}(i=1,2,\cdots,f)$ 表示第 i 个区间信念结构, 则组合后并转换成置信度的区间值的上、下限分别由如下最大、最小值来计算:

$$\begin{aligned}
&\max/\min\ \beta_n(C_e) = \frac{m_n}{1-\overline{m}_H};\\
&\text{s.t. } m_n = k\Big[\prod_{i=1}^{f}(m_{n,i}+\overline{m}_{H,i}+\widetilde{m}_{H,i}) - \\
&\qquad \prod_{i=1}^{f}(\overline{m}_{H,i}+\widetilde{m}_{H,i})\Big],\\
&\widetilde{m}_H = k\Big[\prod_{i=1}^{f}(\overline{m}_{H,i}+\widetilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^{f}\overline{m}_{H,i}\Big],\\
&\overline{m}_H = k\Big[\prod_{i=1}^{f}\overline{m}_{H,i}\Big],\\
&k = \Big[\sum_{n=1}^{N}\prod_{i=1}^{f}(m_{n,i}+\overline{m}_{H,i}+\widetilde{m}_{H,i}) - \\
&\qquad (N-1)\prod_{i=1}^{f}(\overline{m}_{H,i}+\widetilde{m}_{H,i})\Big]^{-1},\\
&m_{n,i}^{-} \leqslant m_{n,i} \leqslant m_{n,i}^{+},\\
&\overline{m}_{H,i} = 1 - v_i,\\
&\widetilde{m}_{H,i}^{-} \leqslant \widetilde{m}_{H,i} \leqslant \widetilde{m}_{H,i}^{+},\\
&\sum_{n=1}^{N} m_{n,i} + \overline{m}_{H,i} + \widetilde{m}_{H,i} = 1.
\end{aligned} \tag{4}$$

2.2　基于总体优势度的应急方案生成过程

针对相似度的效用及其方案实施效果, 下面依据案例推理和证据推理给出总体优势度的计算方法.

首先, 采用欧氏距离法、高斯距离法和灰关联法计算目标案例与源案例的相似度.

1) 欧氏距离法的相似度为

$$d_{0ej} = |x_{ej} - x_{0j}|, \tag{5}$$

$$\mathrm{Sim}_1(C_0, C_e) = \frac{1}{1+\sqrt{\sum_{j=1}^{l}(w_j \times d_{0ej})^2}}. \tag{6}$$

2) 高斯距离法[20]的相似度为

$$g_{0ej} = \exp\Big[-\Big(\frac{d_{0ej}}{\sqrt{2}\times\sigma_s}\Big)^2\Big], \tag{7}$$

$$\mathrm{Sim}_2(C_0, C_e) = \sum_{j=1}^{l} w_j \times g_{0ej}. \tag{8}$$

其中: $\sigma_s = \sigma \times (\max_s - \min_s)$, $\sigma \in [0,1]$ 表示误差偏离程度; $\max_s$ 和 $\min_s$ 表示第 j 个属性的最大值和最小值.

3) 关联度法[21]的关联度为

$$r_{0ej} = \frac{\inf|x_{ej}-x_{0j}| + 0.5\sup|x_{ej}-x_{0j}|}{d_{0ej} + 0.5\sup|x_{ej}-x_{0j}|}, \tag{9}$$

$$\mathrm{Sim}_3(C_0, C_e) = \sqrt{\sum_{j=1}^{l}(w_j \times r_{0ej})^2}. \tag{10}$$

其中: $\inf|x_{ej}-x_{0j}| = \min\{d_{0ej}\}$, $\sup|x_{ej}-x_{0j}| = \max\{d_{0ej}\}$.

然后, 根据 3 种方法的检索结果排名 t_{ej}, 计算案例 C_e 的平均名次 $\bar{t}_e$.

$$\bar{t}_e = \sum_{j=1}^{3} t_{ej}\Big/3. \tag{11}$$

进一步地, 把相似度值 $\mathrm{Sim}_i(C_0, C_e)(i=1,2,3)$ 转换为等级分布评价形式 $\{(H_n, \beta_{n,i}), (H_{n+1}, \beta_{n+1,i})\}$, 即

$$\begin{cases}\beta_{n,i} = \dfrac{Y_{n+1,i} - y_i}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}},\\ \beta_{n+1,i} = \dfrac{y_i - Y_{n,i}}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}}.\end{cases} \tag{12}$$

其中: $Y_{n,i}$ 为第 i 种应急证据在评价等级 H_n 上的定量值, y_i 为第 i 种应急证据的属性值.

在此基础上, 对案例的 3 个相似度、当前实施效果和历史实施效果进行集结. 针对在应急决策中, 若只考虑相似度容易造成把实施效果不够好或不适合当前情境的方案作为应急处置, 在一定程度上会影响突发事件应急决策的效果, 所以需要把方案的实施效果也作为应急证据. 从案例库可以获取方案的历史实施效果, 但是其仅代表历史情境下的评价信息, 因此需要专家对该方案运用于当前情景的实施效果进行评价. 专家对突发事件的信息掌握不足及其自身的局限, 无法给出精确的评价, 因此通过基于区间置信度的等级评价表示. 例如, 专家对某方案的当前实施效果的评价是介于“Good”和“Average”之间, 而且置信度也无法确定, 则表示为 $\{(\mathrm{G}, [0.2, 0.3]), (\mathrm{A}, [0.7, 0.8])\}$, 其中存在无知信息 $\{(\mathrm{H}, [0, 0.1])\}$. 鉴于应急证据存在不确定及无知信息, 通过 ER 组合规则对相似度和实施效果进行集结.

1) 根据 3 种相似度、当前实施效果及历史实施效果的置信度 $\beta_{n,i}$, 求出 mass 函数 $m_{n,i}$, 并作为评价应急案例总体优势度的应急证据;

2) 对案例 C_e 的 f 个 mass 函数 $m_{n,i}$ 进行融合, 得到案例 C_e 在每个评价等级上的置信度

$$\{(H_n, [\beta_n^{-}(C_e), \beta_n^{+}(C_e)])\}.$$

其中

$$\beta_n^{-}(C_e) = \min\{\beta_n(C_e)\},$$

$$\beta_n^+(C_e) = \max\{\beta_n(C_e)\}.$$

最后, 因为ER的融合结果为$\{(H_n, [\beta_n^-, \beta_n^+]), (H, [\beta_H^-, \beta_H^+])\}$的形式, 无法对其排序得到最优方案, 所以通过引入期望效用把信度分布转化为数值. 计算案例的最大、最小和平均效用, 并把平均效用作为总体优势度评价标准.

$$\begin{aligned}&\max\ u = \sum_{n=1}^{N-1} u(H_n)\beta_n(C_e) + \\ &\qquad u(H_N)(\beta_N(C_e) + \beta_H(C_e)); \\ &\text{s.t. } \beta_n^-(C_e) \leqslant \beta_n(C_e) \leqslant \beta_n^+(C_e), \\ &\qquad \beta_H^-(C_e) \leqslant \beta_H(C_e) \leqslant \beta_H^+(C_e).\end{aligned} \tag{13}$$

其中: $u(H_n)(n = 1, 2, \cdots, N)$为评价等级$H_n$的效用值, $u(H_1) = 0, u(H_n) = n/N$. 若求最小效用, 则把目标函数替换为

$$\min\ u = u(H_1)(\beta_1(C_e) + \beta_H(C_e)) + \sum_{n=2}^{N} u(H_n)\beta_n(C_e), \tag{14}$$

$$u_{e,\text{avg}} = (u_{e,\max} + u_{e,\min})/2. \tag{15}$$

显然, $u_{e,\text{avg}}$越大, 案例C_e的总体优势越强.

综上, 考虑应急方案总体优势度决策方法的具体计算步骤如下.

Step 1: 若案例属性是自然语言变量, 则使用三角模糊数表示. 为了消除不同的量纲, 对案例中的属性按照效益型和成本型分别进行标准化.

Step 2: 依据式(5)～(10)计算欧氏距离相似度、高斯距离相似度和灰色关联度.

Step 3: 依据式(11)获取前s名的案例.

Step 4: 建立相似度的评价等级, 依据式(12)将其转换为等级评价的分布形式.

Step 5: 从案例库获取源案例方案的历史实施效果Z, 利用专家法获取专家对源案例应用于当前情境的建议R, 然后依据式(1)～(3)把应急证据的置信度形式转换为BPA值.

Step 6: 依据模型(4)集结应急证据, 得到每个案例在评价等级上的区间置信度.

Step 7: 依据模型(13)和(14)得到案例的区间效用, 依据式(15)得到平均效用$u_{e,\text{avg}}$, 并以此大小进行排序.

3 算例分析

为了验证本文所提方法的有效性和可行性, 引用文献[22]中的数据, 其主要目的是从瓦斯爆炸事故案例库中获取最有效的源案例. 案例库中有8个瓦斯爆炸事故案例$(C_1, C_2, \cdots, C_8,)$, 案例的属性包括井下被困的人员数量(X_1)、爆炸的影响区域范围(X_2)、残余O_2的浓度(X_3)、CO的浓度(X_4)、CH_4的浓度(X_5)、原有通风系统的工作状态(X_6)、通风系统的破坏程度(X_7)、坍塌程度(X_8)、火灾的影响范围(X_9)和二次爆炸的影响范围(X_{10}), 属性值如表2所示.

表 2 瓦斯爆炸源案例库与目标案例

案例	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
C_0	50	14	26	36	9	F	P	P	F	VG
C_1	54	30	13	32	7	VG	VG	P	G	P
C_2	77	28	12	26	6	G	G	P	EG	P
C_3	45	20	30	30	8	P	P	F	G	G
C_4	80	17	27	45	3	VG	VG	F	EG	G
C_5	73	35	18	19	10	VG	VG	P	VG	EP
C_6	37	40	29	24	12	G	G	G	VG	VG
C_7	41	27	30	26	14	P	P	G	F	VG
C_8	32	16	32	30	9	VG	P	VG	G	EG

属性权重向量$w = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8, w_9, w_{10}) = (0.2, 0.196, 0.06, 0.068, 0.065, 0.075, 0.115, 0.7, 0.061, 0.08)$. 下面给出本文方法的计算过程.

1) 通过欧氏距离法、高斯距离法和灰关联度法计算目标案例与源案例的相似度, 如表3所示.

表 3 3种检索方法的相似度

方法	欧氏距离法	高斯距离法	灰色关联法
C_1	0.813 9	0.502 5	0.262 1
C_2	0.799 8	0.368 8	0.195 1
C_3	0.929 7	0.682 4	0.304 9
C_4	0.805 1	0.448 0	0.239 1
C_5	0.758 1	0.346 4	0.180 7
C_6	0.766 4	0.417 2	0.212 0
C_7	0.873 3	0.587 8	0.268 8
C_8	0.880 8	0.615 5	0.286 7

从表3可以看出, 3种检索方法得到的相似度存在差异, 因为欧氏距离考虑的是两点之间的距离, 高斯距离利用高斯函数把欧氏距离变成非线性的形式, 灰关联度法则表示案例之间的关联度, 所以从3个角度考虑相似度证据能发挥其更大的效用.

2) 设各评价等级上的相似度分别为$Y_{\text{P}} = 0$、$Y_{\text{A}} = 0.25$、$Y_{\text{G}} = 0.5$、$Y_{\text{V}} = 0.75$、$Y_{\text{E}} = 1$, 通过式(12)转换成置信度形式; 从案例库获取源案例方案的历史实施效果, 利用专家法获取专家对于源案例应用于当前情境的建议, 如表4所示.

从表4可以看出, 专家对于历史方案实施效果及其建议的评价存在不确定性及无知信息. 例如, C_1的历史实施效果评价为$(\text{E}, [0.2.0.4])(\text{V}, [0.7, 0.8])$, 则无知信息为$(\text{H}, [0, 0.1])$.

3) 设3个相似度值、源案例方案的历史实施效果以及专家意见的权重分别为$(0.15, 0.15, 0.15, 0.25, 0.3)$, 利用证据推理方法进行集结得到区间置信度, 如表5所示.

表 4　应急证据的分布式评价矩阵

案例	欧氏距离相似度	高斯相似度值	灰关联相似度值	历史实施效果 R_i	当前实施效果 Z_i
C_1	(V,0.744 4)(E,0.255 6)	(G,0.979 2)(V,0.020 8)	(A,0.951 6)(G,0.048 4)	(E,[0.2,0.4])(V,[0.7,0.8])	(V,[0.8, 0.9])(G,[0.1, 0.25])
C_2	(V,0.800 8)(E,0.199 2)	(A,0.524 8)(G,0.475 2)	(P,0.219 6)(A,0.780 4)	(G,[0.4,0.5])(A,[0.55,0.65])	(G,[0.5, 0.6])(A,[0.35, 0.5])
C_3	(V,0.281 2)(E,0.718 8)	(G,0.270 4)(V,0.729 6)	(A,0.780 4)(G,0.219 6)	(G,[0.5,0.65])(A,[0.4,0.5])	(V,[0.6, 0.75])(G,[0.3, 0.4])
C_4	(V,0.779 6)(E,0.220 4)	(A,0.208)(G,0.92)	(P,0.043 6)(A,0.956 4)	(G,[0.8,0.9])(A,[0.1,0.2])	(G,[0.6, 0.75])(A,[0.3, 0.4])
C_5	(V,0.967 6)(E,0.032 4)	(A,0.614 4)(G,0.385 6)	(P,0.277 2)(A,0.722 8)	(A,[0.8,0.85])(P,[0.15,0.2])	(A,[0.8, 0.85])(P,[0.15, 0.2])
C_6	(V,0.934 4)(E,0.065 6)	(A,0.331 2)(G,0.668 8)	(P,0.152)(A,0.848)	(V,[0.5,0.65])(G,[0.3,0.55])	(G,[0.7, 0.8])(A,[0.15, 0.3])
C_7	(V,0.506 8)(E,0.493 2)	(G,0.648 8)(V,0.351 2)	(A,0.924 8)(G,0.075 2)	(E,[0.35,0.5])(V,[0.4,0.6])	(V,[0.7, 0.8])(G,[0.2, 0.4])
C_8	(V,0.476 8)(E,0.523 2)	(G,0.538)(E,0.462)	(A,0.853 2)(G,0.146 8)	(G,[0.7,0.8])(A,[0.15,0.3])	(E,[0.55, 0.65])(V,[0.4, 0.5])

表 5　合成后的区间置信度

案例	P		A		G		V		E		H	
	下界	上界	下界	上界	下界	上界	下界	上界	下界	上界	下界	上界
C_1	0.000 0	0.000 0	0.111 3	0.117 2	0.154 7	0.193 9	0.592 7	0.658 0	0.076 0	0.103 1	0	0.050 2
C_2	0.026 3	0.027 6	0.375 5	0.446 8	0.342 1	0.395 4	0.161 0	0.168 9	0.023 9	0.025 0	0	0.054 0
C_3	0.000 0	0.000 0	0.094 8	0.099 2	0.160 3	0.191 8	0.390 3	0.457 9	0.286 2	0.328 2	0	0.051 9
C_4	0.005 1	0.005 3	0.271 1	0.339 7	0.538 6	0.608 0	0.090 3	0.095 0	0.025 5	0.026 8	0	0.049 7
C_5	0.107 3	0.135 5	0.710 2	0.740 4	0.042 4	0.043 7	0.106 4	0.1096	0.003 6	0.003 7	0	0.023 8
C_6	0.019 2	0.020 3	0.212 4	0.272 6	0.319 1	0.367 3	0.253 3	0.3074	0.077 7	0.133 5	0	0.090 1
C_7	0.000 0	0.000 0	0.109 9	0.118 5	0.158 4	0.203 1	0.506 7	0.6025	0.112 4	0.154 4	0	0.083 4
C_8	0.000 0	0.000 0	0.149 0	0.191 7	0.271 3	0.305 3	0.266 5	0.2901	0.248 5	0.271 9	0	0.049 7

4) 设评价等级的效用值分别为 $u(\mathrm{P})=0, u(\mathrm{A})=0.4, u(\mathrm{G})=0.6, u(\mathrm{V})=0.8, u(\mathrm{E})=1$. 通过效用函数融合得到平均效用及其排名, 如表 6 所示.

表 6　案例的效用值及排名

案例	平均效用	排名	COWA 法的效用	COWA 法的排名
C_1	0.765 2	2	0.74	1
C_2	0.508 1	7	0.524 6	7
C_3	0.688 1	4	0.739 3	4
C_4	0.591 3	6	0.573 8	6
C_5	0.417 8	8	0.417 4	8
C_6	0.677 8	5	0.593 7	5
C_7	0.772 9	1	0.738 8	2
C_8	0.748 9	3	0.727 0	3

5) 对应急证据集结常用的方法有: 简单加权、COWA 算子、UOWA 算子等. 为了进一步说明本文提出的方法, 利用 Yager 提出的 COWA 算子[23]对应急证据进行融合, 得到源方案的排序如表 6 所示, 其中态度因子 $\alpha=0.5$.

从表 3 可知, 根据欧氏距离法得到的最有效案例为 C_3; 而从表 6 可知, 本文方法得到的最有效的案例为 C_7. 但是从表 4 可以看出, C_3 方案的历史实施效果和专家建议的评价都劣于 C_7, 即 C_7 的应急方案比 C_3 更适合应用于当前情境. 因此, 选择考虑了专家评价的最有效案例的方案作为当前突发事件的处置比以往的基于案例推理的应急决策更有效.

从表 6 可知, 本文提出的最有效案例是 C_7, 而基于 COWA 的决策方法得到的最有效案例是 C_1. 但从表 4 可以看出, C_1 在 R_1 和 Z_1 上的无知都是 $(H,[0,0.1])$, 而 C_7 在 R_7 和 Z_7 上的无知分别为 $(H,[0,0.25])$ 和 $(H,[0,0.1])$, 明显 C_7 的无知部分大于 C_1. 在证据融合过程中, COWA 方法的集结没有考虑信息的无知部分, 而证据推理方法集结了信息无知, 从而使 C_7 的排名比 C_1 高. 因此, 利用证据推理来融合存在无知信息的应急证据更加合理.

4　结　论

本文从应急决策的相似案例检索方法和最有效案例选择的角度出发, 提出了基于案例推理和证据推理的检索和选择方法. 该决策方法的优势在于: 1) 从线性、非线性及关联度的角度来计算相似度, 以此放大其效用; 2) 获取最有效的案例时, 在相似度基础上还考虑了源案例方案历史执行效果及当前实施效果; 3) 利用证据推理融合不确定和不完全的数据.

参考文献(References)

[1] 李仕峰, 杨乃定, 张云翌. 突发事件下选择应急方案的风险决策方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(12): 1859-1863.
(Li S F, Yang N D, Zhang Y Y. Risk decision analysis method for emergency plan selection[J]. Control and Decision, 2013, 28(12): 1859-1863.)

[2] 姜艳萍, 樊治平, 苏明明. 应急决策方案的动态调整方法研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(5): 104-108.
(Jiang Y P, Fan Z P, Su M M. Study on the dynamic adjusting method for emergency decision[J]. Chinese J of Management Science, 2011, 19(5): 104-108.)

[3] 朱力. 突发事件的概念, 要素与类型[J]. 南京社会科学, 2007(11): 81-88.
(Zhu L. On the concept, element and type of the emergency events[J]. Social Sciences in Nanjing, 2007(11): 81-88.)

[4] Liu Y, Fan Z P, Zhang Y. Risk decision analysis in

emergency response: A method based on cumulative prospect theory[J]. Computers & Operations Research, 2014, 42: 75-82.

[5] Mendonca D, Beroggi G E G, Van Gent D, et al. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response[J]. Safety Science, 2006, 44(6): 523-535.

[6] Yang J, Xu C. Emergency decision engineering model based on sequential games[J]. Systems Engineering Procedia, 2012, 5: 276-282.

[7] Qiuyan S, Jinlong L. The group decision-making rules based on rough sets on large scale engineering emergency[J]. Systems Engineering Procedia, 2012, 4: 331-337.

[8] Yu L, Lai K K. A distance-based group decision-making methodology for multi-person multi-criteria emergency decision support[J]. Decision Support Systems, 2011, 51(2): 307-315.

[9] 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, 2004 (6): 46-51.
(Wang J Y, Wang J T. A Study of emergency decision support system based on case-based reasoning[J]. Management Sciences in China, 2003, 16(6): 46-50.)

[10] 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

[11] Fan Z P, Li Y H, Wang X, et al. Hybrid similarity measure for case retrieval in CBR and its application to emergency response towards gas explosion[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2526-2534.

[12] 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.

[13] 袁晓芳, 李红霞, 田水承. 基于情景分析与CBR的非常规突发事件应急决策关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学管理学院, 2011.
(Yuan X F, Li H X, Tian S C. Research on key technologies of emergency decision-making for unconventional emergency based on scenario analysis[D]. College of Management, Xi'an University of Science and Technology, 2011.)

[14] 张建华, 刘仲英. 案例推理和规则推理结合的紧急预案信息系统[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30(7): 890-894.
(Zhang J H, Liu Z Y. Case-based reasoning and rule-based reasoning for emergency preparedness information system[J]. J of Tongji University: Natural Science, 2002, 30(7): 890-894.)

[15] Liu W, Hu G, Li J. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning[J]. Safety Science, 2012, 50(3): 530-534.

[16] 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 Reserarch of Computers, 2009, 26(4): 1412-1415.)

[17] 王颜新, 李向阳, 徐磊. 突发事件情境重构中的模糊规则推理方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 954-962.
(Wang Y X, Li X Y, Xu L. Fuzzy rule reasoning method in emergency context reconstruction[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 32(5):954-962.)

[18] Wang Y M, Yang J B, Xu D L, et al. The evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis using interval belief degrees[J]. European J of Operational Research, 2006, 175(1): 35-66.

[19] 陈圣群, 王应明. 区间值信念结构下冲突证据组合[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(1): 256-261.
(Chen S Q, Wang Y M. Conflicting evidence combination of interval-valued belief structures[J]. Systems Engineering-Therory & Practice, 2014, 34(1): 256-261.)

[20] Li H, Sun J. Gaussian case-based reasoning for business failure prediction with empirical data in China[J]. Information Sciences, 2009, 179(1): 89-108.

[21] 孙洁, 李辉. 遗传算法优化灰色案例推理的财务困境预测[J]. 科研管理, 2009, 30(2): 119-125.
(Sun J, Li H. Financial distress prediction using grey case-based reasoning optimized by genetic algorithm[J]. Science Research Management, 2009, 30(2): 119-125.)

[22] 靖可, 赵希男. 基于整体优势度的应急救援案例推理决策[J]. 系统工程, 2008, 26(9): 15-20.
(Jing K, Zhao X N. CBR decision for emergency rescue based on integral superiority degree[J]. Systems Engineering, 2008, 26(9): 15-20.)

[23] Yager R R. OWA aggregation over a continuous interval argument with applications to decision making[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 2004, 34(5): 1952-1963.

(责任编辑：齐 霁)