

基于交叉效率的应急案例检索方法

郑晶^{1,2†}, 王应明², 张恺³

(1. 福建江夏学院 电子信息科学学院, 福州 350108; 2. 福州大学 决策科学研究所, 福州 350116;
3. 福建船政交通职业学院 信息工程系, 福州 350007)

摘要: 为了解决应急方案搜索客观性及属性权重确定困难的问题, 建立一种基于交叉效率的应急案例检索方法. 首先, 应用欧氏距离度量目标案例与历史案例的属性相似度; 然后, 通过数据包络分析中的CCR交叉效率模型测量案例相似度, 同时历史案例应急方案的实施效果也应用CCR交叉效率模型进行评估, 进而集结案例相似度和应急方案实施效果得到案例的综合评价值, 目标案例的应急方案为综合评价值最大的历史案例的应急方案; 最后, 通过一个高层建筑火灾案例验证所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 突发事件; 案例推理; 相似度; 实施效果; 交叉效率

中图分类号: C931

文献标志码: A

Emergency case retrieval method based on cross-efficiency

ZHENG Jing^{1,2†}, WANG Ying-ming², ZHANG Kai³

(1. College of Electronics and Information Science, Fujian Jiangxia University, Fuzhou 350108, China; 2. Decision Sciences Institute, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 3. Department of Information Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

Abstract: To resolve the problems of the objectivity of emergency case retrieval and the difficulty of determining the weights of attributes, an emergency case retrieval method is proposed based on the cross-efficiency evaluation. Firstly, the similarity degrees of attributes between the target case and the historical cases are measured for each attribute by using Euclidean distances. Then, the similarity degrees of cases are measured by using the CCR cross-efficiency model in data envelopment analysis. Emergency implementation effects of historical cases are also assessed by using CCR cross-efficiencies. The overall evaluation values of historical cases are the integrations of their similarity degrees of cases and emergency implementation effects. The emergency alternative for target case is the historical one with the maximum overall evaluation value. Finally, a fire example of high-rise building is used to verify the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Keywords: emergency; case-based reasoning; similarity; implementation effect; cross-efficiency

0 引言

随着社会的发展, 突发事件频频发生, 给社会带来了重大损失和危害, 如何在突发事件发生时迅速准确地进行应急响应是社会关注的重点^[1]. 为了更好地应对突发事件, 相关部门纷纷建立应急预案, 但是应急预案往往是根据决策者的主观经验和对发生情况的假设而形成的, 与实际发生的情况有一定差距, 很难保证应急预案的全面和合理, 导致应急效果不佳. 因此, 如何在预案失效的情形下生成有效的应急方案引起了社会的重视.

案例推理 (Case-based reasoning, CBR) 是一种通过重用或修改以前解决问题的方案来求解当前问题的方法^[2]. 这非常适用于应急预案失效而又要快速生成应急方案的应急决策领域. 近年来, 基于案例推理的应急决策方法研究得到了国内外学者的关注. 例如, 文献[3-5]采用混合的相似度计算方法解决了瓦斯爆炸中案例检索问题; 文献[6]借鉴案例推理提出了应急资源需求预测模型; 文献[7]采用新的案例调整方法解决了电网中风灾害的突发事件; 文献[8]从方案有效性判断和实施效果融合两个角度提出了考

收稿日期: 2017-06-20; 修回日期: 2017-10-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61773123, 71371053); 福建省自然科学基金项目(2017J01513, 2015J01279); 福建省交通运输厅科技发展项目(201319).

责任编辑: 樊治平.

作者简介: 郑晶(1980—), 女, 副教授, 博士, 从事决策理论与方法、应急决策的研究; 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.

†通讯作者. E-mail: zhengjing80@qq.com

考虑方案有效性的应急方案生成方法;文献[9]针对案例检索中属性特征权重客观性问题,提出了考虑属性特征权重影响的应急方案检索方法.

上述研究大多是计算目标案例与历史案例的相似度,并提取相似度最高的历史案例的应急方案作为当前突发事件的解决方案,但在属性权重计算上存在选择困难的问题^[10],同时应急决策要求检索过程具有高客观性.数据包络分析法(Data envelopment analysis, DEA)是一种评估多投入多产出的同类型决策单元(Decision making unit, DMU)相对有效性的非参数线性规划方法^[11].DEA无须决策者事先假设生产函数关系,也无须预先估计参数变量,其通过DMU投入/产出的客观数据进行评价,在很大程度上避免了决策者主观因素的影响,从而得到较为科学客观的评价结果,因此获得了广泛的应用^[12-14].基于此,本文利用DEA与CBR相结合的技术手段,提出基于DEA的应急案例检索方法,以期通过DEA评价目标案例与历史案例之间的相似度及其历史案例实施效果来确定最有效的历史案例,作为当前突发事件的应急决策支持.

1 预备知识

1.1 案例推理

CBR是人工智能领域中一种重要的基于知识的问题求解和学习方法,它通过借鉴以往的相似案例的解决方案来求解当前问题.CBR求解问题的过程包括4个步骤:案例检索、案例重用、案例修正和案例保存,其中案例检索是问题求解的核心问题.由于目前大多CBR采用属性的形式表示案例,大多案例检索依赖于相似度计算公式展开.最常用的相似度计算公式是基于欧氏距离的相似度方法^[15],设有 m 个历史案例, $C_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为第 i 个历史案例,目标案例为 C_0 ,有 n 个特征属性,历史案例 C_i 的第 j 个属性值为 x_{ij} ,目标案例 C_0 第 j 个属性值为 x_{0j} ,第 j 个属性的权重为 w_j ,满足 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$,则案例 C_i 与 C_0 之间的欧氏属性距离 d_{0ij} 为

$$d_{0ij} = \frac{|x_{0j} - x_{ij}|}{\max_{1 \leq i \leq n} |x_{0j} - x_{ij}|}. \quad (1)$$

计算案例 C_0 与 C_i 之间的属性相似度 $\text{Sim}_j(C_0, C_i)$,其计算公式为

$$\text{Sim}_j(C_0, C_i) = 1 - d_{0ij}. \quad (2)$$

通过式(2)可以得到一个属性相似度矩阵 $S = [\text{Sim}_j(C_0, C_i)]_{m \times n}$.

计算案例 C_0 与 C_i 之间的相似度 Sim_{0i} ,即

$$\text{Sim}_{0i} = \sum_{j=1}^m w_j \text{Sim}_j(C_0, C_i). \quad (3)$$

根据案例相似度 Sim_{0i} 对属性相似度矩阵 S 中的 m 个历史案例进行排序,得到最相似的历史案例.

1.2 交叉效率评价方法

DEA是由著名的运筹学家Charnes等^[11]于1978年提出的用于评价多投入多产出的相同部门间的相对有效性的非参数规划方法.至今,有大量的DEA模型被提出,用来评价DMU,比如CCR模型^[11]、BCC模型^[16]、中立模型^[17]等.交叉效率评价方法是基于“自评”与“他评”相结合的DEA衍生模型,其思想是:每个DMU从自身效率最优角度进行“自评”,按一定策略对其他DMU进行“他评”,在此基础上,集结所有DMU对他的评价效率确定自身的效率.最经典的交叉效率评价方法是通过CCR模型得到最优权重,以计算其他DMU的效率.由于CCR模型结构简单,约束较少,本文采用基于CCR的交叉效率评价方法.

假设有 g 个DMU,每个决策单元 $\text{DMU}_p (p = 1, 2, \dots, g)$ 消耗 q 种投入并生产 h 种产出.第 p 个决策单元第 a 种投入记为 $z_{ap} (a = 1, 2, \dots, q)$,第 c 种产出记为 $y_{cp} (c = 1, 2, \dots, h)$.评价单元为 DMU_k ,相对效率评价模型^[11]为

$$\text{Maximize } \theta_{kk} = \sum_{c=1}^h u_{ck} y_{ck}; \quad (4)$$

$$\text{Subject to } \sum_{a=1}^q v_{ak} z_{ak} = 1; \quad (5)$$

$$\sum_{c=1}^h u_{ck} y_{cp} - \sum_{a=1}^q v_{ak} z_{ap} \leq 0, p = 1, 2, \dots, g; \quad (6)$$

$$u_{ck}, v_{ak} \geq 0, c = 1, 2, \dots, h, a = 1, 2, \dots, q. \quad (7)$$

其中: u_{ck}, v_{ak} 分别为评价 DMU_k 时赋予第 c 种产出和第 a 种投入的权重.设 u_{ck}^* 和 v_{ak}^* 分别为 u_{ck} 和 v_{ak} 的最优值,则 $\theta_{kk}^* = \sum_{c=1}^h u_{ck}^* y_{ck}$ 是决策单元 DMU_k 的“自评”效率, $\theta_{pk} = \sum_{c=1}^h u_{ck}^* y_{cp} / \sum_{a=1}^q v_{ak}^* z_{ap}$ 是决策单元 DMU_p 的“他评”效率.

2 基于交叉效率的案例检索方法

为了解案例检索中存在的属性权重确定困难及其检索客观性的问题,这里提出一种基于交叉效率的应急案例检索方法.该方法的基本思想是:首先,通过交叉效率模型评价目标案例与历史案例间的相似度;进一步地,通过交叉效率模型评估历史案例实施效果,并将得到的交叉效率与评价案例相似度的交叉效率集结来确定各历史案例的综合评价,进而根据

综合评价值的排序生成应急案例的方案. 该方法涉及评价目标案例与历史案例间相似度的交叉效率的计算、评估历史案例应急方案实施效果的交叉效率的计算和应急方案生成 3 个部分, 下面分别阐述每个部分的计算过程.

2.1 计算评价目标案例与历史案例间相似度的交叉效率

设 $A_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为案例的属性指标, x_{ij} 为历史案例 C_i 关于指标 A_j 的原始数据, C_0 为目标案例, x_{0j} 为目标案例 C_0 关于指标 A_j 的数据.

首先, 将语言变量 x_{ij} 转换为三角模糊数 $(x_{ij}^A, x_{ij}^B, x_{ij}^C)$. 设语言变量集 $I = \{I_0, I_1, \dots, I_b, \dots, I_\lambda\}$ 为一组有序的语言评价, 则 I_b 的三角模糊数为

$$I_b = \left(\frac{b-1}{\lambda}, \frac{b}{\lambda}, \frac{b+1}{\lambda} \right), \quad (8)$$

其中 $b \in \{1, 2, \dots, \lambda-1\}$. 当 $b = 0$ 时, $I_0 = \left(0, 0, \frac{1}{\lambda} \right)$; 当 $b = \lambda$ 时, $I_\lambda = \left(\frac{\lambda-1}{\lambda}, 1, 1 \right)$.

然后, 计算目标案例 C_0 与历史案例 C_i 间关于指标 A_j 的属性距离.

1) 当属性值 x_{ij} 为精确数时, 目标案例 C_0 与历史案例 C_i 间关于指标 A_j 的属性距离 d_{0ij} 的计算公式为

$$d_{0ij} = |x_{0j} - x_{ij}|. \quad (9)$$

2) 当属性值 x_{ij} 为区间数时, 即 $x_{ij} = [x_{ij}^-, x_{ij}^+]$, 目标案例 C_0 与历史案例 C_i 间关于指标 A_j 的属性距离 d_{0ij} 的计算公式为

$$d_{0ij} = \sqrt{(x_{0j}^+ - x_{ij}^+)^2 + (x_{0j}^- - x_{ij}^-)^2}. \quad (10)$$

3) 当属性值 x_{ij} 为语言变量时, 目标案例 C_0 与历史案例 C_i 间关于指标 A_j 的属性距离 d_{0ij} 为

$$d_{0ij} = \sqrt{(x_{0j}^A - x_{ij}^A)^2 + (x_{0j}^B - x_{ij}^B)^2 + (x_{0j}^C - x_{ij}^C)^2}. \quad (11)$$

其中 $(x_{0j}^A, x_{0j}^B, x_{0j}^C)$ 为目标案例 C_0 的属性 x_{0j} 的三角模糊数.

接下来, 计算目标案例 C_0 与历史案例 C_i 之间关于指标 A_j 的属性相似度 s_{0ij} . 将式 (1) 代入 (2), 即 $\text{Sim}_j(C_0, C_i) = 1 - \frac{|x_{0j} - x_{ij}|}{\max_{1 \leq i \leq m} \{|x_{0j} - x_{ij}|\}}$, 这意味着案例的属性相似度与属性距离成反比, 与第 j 个属性的最大属性距离成正比, 同时考虑到交叉效率评价不要求评价单元的属性值在 $[0, 1]$ 之间, 因此, 属性相似度的计算公式表示为

$$s_{0ij} = \max_{1 \leq i \leq n} \{d_{0ij}\} - d_{0ij}. \quad (12)$$

通过式 (12) 可以得到一个属性相似度矩阵 $S = [s_{0ij}]_{m \times n}$.

最后, 计算评价目标案例 C_0 与历史案例 C_i 间相似度的交叉效率. 由式 (3) 可知, 通过线性加权法评价 m 个历史案例 C_i 与目标案例 C_0 之间的相似度, 且满足 $0 \leq \text{Sim}_{0i} \leq 1$. DEA 是基于投入产出数据的相对有效的评价方法, 且 Ramanathan^[18] 曾针对方案属性矩阵提出了基于 DEA 的评价方法, 其思想是将方案属性的每一行看作一个 DMU, 每一列看作一个输出并为所有 DMU 假设一个假的输出, 即设为 1. 由式 (3) 得到案例相似度的评价公式 $s_{0i} = \sum_{j=1}^m w_j s_{0ij}$, 该式与 DEA 的目标函数式 (4) 相一致, 而且计算结果越大越好. 受此启发, 为了评价上述得到的相似度矩阵 $S = [s_{0ij}]_{m \times n}$, 应用 Ramanathan^[18] 提出的方法进行评价. 交叉效率通过“自评”和“他评”使得评价结果更加客观, 而且评价的结果在 0 与 1 之间, 与式 (3) 的评价结果相吻合. 鉴于此, 将属性相似度矩阵 S 的每一行看作一个 DMU, 每一列看作一个输出并为所有 DMU 假设一个假的输出, 即设为 1, 则每个 DMU 有 n 个输出和一个假设为 1 的常量输出. 假设第 k 个 DMU (即 DMU_k) 的“自评”效率可以通过以下模型确定:

$$\text{Maximize } \theta_{kk} = \sum_{j=1}^n u_{kj} s_{0kj}; \quad (13)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^n u_{kj} s_{0ij} - 1 \leq 0; \quad (14)$$

$$u_{kj} \geq 0, j = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

其中: u_{kj} 为评价 DMU_k 时赋予第 j 种产出的权重, $k \in \{1, 2, \dots, m\}$. 式 (13) 为目标函数, 表示最大化 DMU_k 的效率; 式 (14) 表示每个 DMU_i 的效率小于 1.

通过求解上述模型, 得到 u_{kj}^* 为 u_{kj} 的最优值, $\theta_{kk}^* = \sum_{j=1}^n u_{kj}^* s_{0kj} \leq 1$ 是决策单元 DMU_k “自评”效率的最优值. 在得到 DMU_k 效率 θ_{kk}^* 的基础上, $\theta_{ik} = \sum_{j=1}^n u_{kj}^* s_{0ij}$ 是 DMU_i 的“他评”效率. 针对每个不同的 DMU , 利用式 (13)~(15) 求解 m 次, 得到 m 组输出权重, 由此得到每个 DMU 有 $(m-1)$ 个“他评”效率和一个“自评”效率, 由此构成了一个评价案例相似度的交叉效率矩阵.

为了更好地评价每个 DMU , 取每个 DMU 的平均交叉效率作为相似度评价, 公式如下:

$$\bar{S}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \theta_{ik}. \quad (16)$$

显然, $\bar{S}_i \in [0, 1]$, \bar{S}_i 越大, 表明历史案例 C_i 与目标案例 C_0 之间的相似度越高.

2.2 评估历史案例的应急方案实施效果

设 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_f\}$ 表示方案实施效果的属性指标集, 其中 R_e 表示方案实施效果的第 e 个属性, $e \in \{1, 2, \dots, f\}$. 记 $\tilde{r}_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{if})$ 表示历史案例 C_i 中方案实施效果的属性值向量, 其中 r_{ie} 表示历史案例 C_i 关于方案实施效果属性 R_e 的属性值, $i \in \{1, 2, \dots, m\}$. 属性值 r_{ie} 通常可分为数值型和语言变量两种形式. 例如: 属性“财产损失降低率”的值一般为数值型; 属性“应急救援效果”一般为语言型, 如采用“很好”、“好”、“一般”等语言来描述.

下面给出评估历史案例的案例实施效果的计算过程.

首先, 需要对语言变量的实施效果评价指标 r_{ie} 进行信息转换. 根据式(8)转换为三角模糊数 $r_{ie} = (r_{ie}^A, r_{ie}^B, r_{ie}^C)$, 同时将三角模糊数转换为精确数, 转换公式如下:

$$r'_{ie} = \sqrt{(r_{ie}^A)^2 + (r_{ie}^B)^2 + (r_{ie}^C)^2}. \quad (17)$$

然后, 计算历史案例 C_i 的实施效果评价价值. 同理, 历史案例的实施效果越大表示效果越好, 因此, 根据文献[19], 将每个案例的实施效果属性集看作一个DMU的输出, 假设每个DMU的输入值为1, 构建第 k 个历史案例的实施效果评价的效率 γ_{kk} , 即

$$\text{Maximize } \gamma_{kk} = \sum_{e=1}^f w_{ke} r_{ke}; \quad (18)$$

$$\text{Subject to } \sum_{e=1}^f \delta_{ke} r_{ie} - 1 \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (19)$$

$$\delta_{ke} \geq 0, \quad e = 1, 2, \dots, f. \quad (20)$$

其中 δ_{ke} 为评价历史案例 C_k 实施效果时赋予第 e 个输出的权重. 式(18)为目标函数, 表示最大化历史案例 C_k 实施效果的评价效率; 式(19)表示每个历史案例 C_i 实施效果评价效率小于1.

对上述模型(18)~(20)求解 m 次, 得到每个历史案例实施效果的“自评”效率值 γ_{kk} , $k \in \{1, 2, \dots, m\}$, 及其相应的最优权重 δ_{ke}^* . 在此基础上, 计算其他历史案例实施效果的“他评”效率值 $\gamma_{ik} = \sum_{e=1}^f \delta_{ke}^* r_{ie}$.

最后, 集结每个历史案例实施效果的“自评”和“他评”的效率值, 计算公式如下:

$$\bar{\gamma}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \gamma_{ik}. \quad (21)$$

显然, $\bar{\gamma}_i \in [0, 1]$. $\bar{\gamma}_i$ 越大, 表示历史案例 C_i 的实施效果越好.

2.3 生成应急方案

依据基于案例的决策理论^[5,19] 计算历史案例 C_i 的综合评价价值 U_i , 其计算公式为

$$U_i = \sqrt{\bar{S}_i \cdot \bar{\gamma}_i}, \quad i \in \{1, 2, \dots, m\}. \quad (22)$$

显然, U_i 越大, 目标案例 C_0 与历史案例 C_i 的相似度越高, 且相对应的方案实施效果越好. 依据综合评价价值 U_i 的大小得到所有历史案例关于案例相似度和实施效果的综合评价排序结果, 进而将相似度高且实施效果好的历史案例的应急方案作为当前突发事件的应急方案, 或者决策者根据实际情况对该方案进行适当的调整, 从而生成合适的应急方案.

3 算例分析

以某市高层建筑火灾相似历史案例检索问题为背景, 验证文中所提出方法的可行性和有效性. 设某城市消防部门通过资料收集, 构建了一个包含21个高层建筑火灾案例的案例库, 其具体信息见表1.

表1 历史案例的属性值信息和实施效果的属性值信息

序号	A_1	A_2	A_3	A_4	R_1	R_2	R_3
1	47	[17,19]	23	VG	M	6	8.7
2	51	[28,35]	12	DG	G	11	12
3	75	[27,30]	10	G	M	8.5	9.6
4	43	[22,28]	28	G	B	7	8.3
5	77	[15,19]	25	VG	G	9	11.5
6	71	[30,33]	16	M	VB	4.2	6
7	35	[38,45]	27	DG	B	4	6.3
8	40	[29,32]	29	M	M	9	10
9	30	[18,20]	30	G	M	8	7.5
10	45	[35,38]	23	VG	VG	12	17
11	40	[27,29]	25	VG	G	9	12
12	39	[18,20]	20	M	M	9	10.5
13	38	[21,25]	23	DG	B	6.4	7.5
14	41	[23,26]	25	VB	VG	11	18.5
15	58	[26,29]	28	B	G	10.3	13.7
16	63	[40,42]	21	G	M	9.3	10.2
17	50	[36,39]	28	VG	M	8.5	7.9
18	75	[37,43]	18	M	G	9	12
19	65	[23,27]	20	G	G	10	13.5
20	55	[18,20]	30	VG	M	8.3	11
21	47	[25,28]	30	VB	VB	4.5	5.3
0	48	[38,42]	23	G	-	-	-

案例所涉及的问题属性包括: 人口密度 A_1 /(人/km²), 过火面积 A_2 /m², 伤亡人数 A_3 以及固定消防能力 A_4 ; 方案实施效果的评价属性包括: 应急救援效果 R_1 、伤亡人数降低率 R_2 /‰ 以及财产损失降低率 R_3 /‰. 其中: 属性“固定消防能力”和“实施救援效果”为语言变量, “固定消防能力”的语言变量评价等级为 $I_1 = \{\text{DB}(\text{极差}), \text{VB}(\text{很差}), \text{B}(\text{差}), \text{M}(\text{一般}), \text{G}(\text{好}), \text{VG}(\text{很好}), \text{DG}(\text{极好})\}$, “实施救援效果”的语言变量评价等级为 $I_2 = \{\text{VB}(\text{很差}), \text{B}(\text{差}), \text{M}(\text{一般}), \text{G}(\text{好}), \text{VG}(\text{很好})\}$. 下面给出计算过程.

首先,根据式(8)将属性“固定消防能力”转为三角模糊数,并根据式(9)~(12)计算属性相似度 s_{0ij} ,结果见表2.然后,根据式(13)~(15)计算关于每个历史案例与目标案例相似度评价的交叉效率,并根据式(16)计算关于案例相似度的平均交叉效率 \bar{S}_i ,结果见表3.进一步地,根据式(8)和(17)将方案的实施效果属性“应急救援效果”转换成精确数,并根据式(18)~(20)计算每个历史案例的实施效果评价的交叉效率,并根据式(21)计算关于实施效果的平均交叉效率 $\bar{\gamma}_i$,结果见表3.最后,根据式(22)计算综合评价 U_i ,结果见表3.根据 U_i 的大小,得到历史案例的排名,排名第1的历史案例是 C_{10} ,因此,选择案例 C_{10} 的方案作为当前突发事件的应急方案.

为了更好地说明本文所提出方法的有效性和可行性,设属性权重向量值为 $\{0.25, 0.25, 0.25, 0.25\}$,方案实施效果的属性权重向量为 $\{0.33, 0.33, 0.33\}$,根据式(1)~(3)计算传统相似度,根据文献[20]计算高斯相似度和灰关联相似度;然后根据文献[4]计算方案的实施效果,由式(22)得到历史案例的综合评价

值分别为 V_i^1, V_i^2 和 V_i^3 ,结果见表3.

表2 目标案例与历史案例的属性相似度

序号	s_{0i1}	s_{0i2}	s_{0i3}	s_{0i4}
1	28	1.382 1	13	0.577 2
2	26	20.320 4	2	0.369 3
3	2	16.248 1	0	0.866 0
4	24	11.266 6	8	0.866 0
5	0	0.000 0	11	0.577 2
6	6	20.485 3	6	0.577 2
7	16	29.526 9	9	0.369 3
8	21	19.073 3	7	0.577 2
9	11	2.794 8	6	0.866 0
10	26	27.526 9	13	0.577 2
11	21	15.497 5	11	0.577 2
12	20	2.794 8	10	0.577 2
13	19	8.485 3	13	0.369 3
14	22	10.595 2	11	0.000 0
15	19	14.835 1	8	0.288 6
16	14	30.526 9	11	0.866 0
17	27	28.921 4	8	0.577 2
18	2	31.112 7	8	0.577 2
19	12	11.313 7	10	0.866 0
20	22	2.794 8	6	0.577 2
21	28	13.421 9	6	0.000 0

表3 相似度交叉效率和其他3种相似度及排名

	\bar{S}_i	$\bar{\gamma}_i$	U_i	排名	V_i^1	排名	V_i^2	排名	V_i^3	排名
1	0.697 9	0.470 9	0.573 3	14	0.405 1	15	0.442 7	17	0.311 8	16
2	0.634 9	0.870 0	0.743 2	3	0.619 9	5	0.740 0	3	0.502 8	3
3	0.445 2	0.617 6	0.524 4	17	0.382 1	16	0.494 8	14	0.328 1	14
4	0.764 7	0.523 5	0.632 7	11	0.439 5	14	0.471 3	15	0.315 8	15
5	0.332 4	0.754 4	0.500 8	18	0.490 2	11	0.630 1	8	0.396 2	9
6	0.524 7	0.312 1	0.404 7	21	0.113 0	20	0.134 0	20	0.084 2	21
7	0.702 5	0.340 1	0.488 8	19	0.255 8	19	0.283 3	19	0.190 7	19
8	0.699 4	0.648 7	0.673 6	10	0.503 6	10	0.556 7	10	0.356 9	11
9	0.506 7	0.572 9	0.538 8	15	0.379 2	17	0.450 4	16	0.293 3	17
10	0.920 0	0.996 1	0.957 3	1	0.905 6	1	0.932 5	1	0.645 2	1
11	0.721 3	0.758 4	0.739 7	4	0.663 0	4	0.713 8	6	0.459 2	7
12	0.576 7	0.652 7	0.613 5	12	0.479 5	12	0.547 0	11	0.348 8	12
13	0.595 4	0.483 6	0.536 6	16	0.368 5	18	0.414 2	18	0.272 1	18
14	0.507 3	0.952 4	0.695 1	7	0.680 1	2	0.825 8	2	0.541 9	2
15	0.560 4	0.844 6	0.688 0	8	0.619 5	6	0.727 8	5	0.459 9	6
16	0.871 0	0.667 1	0.762 2	2	0.586 3	8	0.605 6	9	0.418 1	8
17	0.875 2	0.604 0	0.727 1	6	0.505 4	9	0.535 9	12	0.372 7	10
18	0.605 8	0.758 4	0.677 8	9	0.611 4	7	0.698 4	7	0.483 1	4
19	0.653 7	0.826 2	0.734 9	5	0.678 5	3	0.738 9	4	0.480 3	5
20	0.544 4	0.617 7	0.579 9	13	0.443 8	13	0.528 2	13	0.339 9	13
21	0.534 0	0.323 3	0.415 5	20	0.097 9	21	0.122 7	21	0.086 0	20

由表3可知,本文方法和其他3种方法最有效的历史案例均为 C_{10} ,因此,决策者选取案例 C_{10} 作为当前突发事件的最优备选方案.由于本文采用方法的权重是自动求解得到的,而且每个历史案例的属性权重及其实施效果的属性权重是不相同的,造成本文方法与传统方法的计算结果存在差异.本文方法和传统方法的排名存在略微不同,说明本文方法是有效可行的.由于交叉效率的评价具有客观性,本文方法对于案例相似度的评价也具有客观性,同时避免了需要

主观设置属性权重所带来的相似度结果的不同.

上述分析中,传统方法、高斯相似度方法和灰关联相似度计算方法的权重是主观给定的.为了更好地说明本文所提出方法的有效性,随机产生问题属性权重500次,并计算上述3个方法中每个历史案例为最相似度历史案例的次数,计算结果如图1所示.

由图1可知,传统方法、灰关联相似度方法和高斯相似度方法在计算案例相似度时,受到问题属性权重的影响,不同的问题属性权重将会生成不同的最相

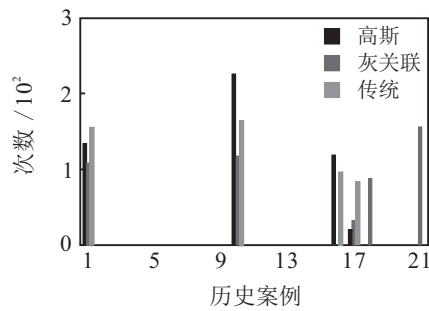


图1 历史案例与目标案例最相似的次数

似度历史案例,这将导致不同的决策结果.在3种方法中,案例 C_{10} 成为最相似度历史案例概率最大的历史案例,这与本文方法的计算结果一致,表明本文所提出的案例检索方法是有效的.

4 结论

本文针对属性权重确定困难及其应急决策过程需要客观性原则,给出了一种基于交叉效率的应急案例检索方法.该方法通过构建基于CCR的交叉效率模型对案例相似度和历史案例应急方案的实施效果进行评价,然后集结两者的平均交叉效率来确定最有效的历史案例.该方法具有如下特点:1)针对案例推理相似度计算中属性权重确定困难的问题,提出应用交叉效率模型自动确定属性权重,避免了由于属性权重确定错误带来的相似度计算不精确的情形;2)交叉效率通过“自评”和“他评”的方式来评价目标案例与历史案例间相似度的效率,使得评价结果更加客观、合理;3)基于交叉效率的应急案例检索方法不仅可以完善和丰富案例推理和应急决策方法,而且在故障诊断、经济危机预测、产品项目设计等其他领域也有广泛的应用前景.

参考文献(References)

- [1] Zhang Y L, Liu M. Emergency decision in emergency rescue[J]. China Public Security: Academy Edition, 2009(1): 66-69.
- [2] Gilboa I, Schmeidler D. Case-based decision theory[J]. The Quarterly J of Economics, 1995, 110(3): 605-639.
- [3] Fan Z, Li Y, 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.
- [4] Li Y H, Fan Z P, Yuan Y. Method for generating emergency alternatives with considering implementation effects of emergency alternative[J]. Control and Decision, 2014, 29(2): 275-280.
- [5] 李永海, 樊治平, 李铭洋. 解决广义不确定型决策问题的案例决策方法[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 21-28.
(Li Y H, Fan Z P, Li M Y. Case-based decision analysis method for general uncertain decision making problem

- [J]. J of Systems Engineering, 2014, 29(1): 21-28.)
- [6] Liu W, Hu G, Li J, et al. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning[J]. Safety Science, 2012, 50(3): 530-534.
- [7] Zhang B, Li X, Wang S, et al. A novel case adaptation method based on an improved integrated genetic algorithm for power grid wind disaster emergencies[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(21): 7812-7824.
- [8] Zheng J, Wang Y M, Chen S Q. Decision method for emergency case with considering effectiveness of alternative[J]. Control and Decision, 2016, 31(10): 1824-1830.
- [9] Feng C, Yang N D, Gui W M, et al. Method for generating emergency alternative based on case-based reasoning[J]. Control and Decision, 2016, 31(8): 1526-1530.
- [10] Yan A J, Qian L M, Wang P. A comparative study of attribute weights assignment for case-based reasoning[J]. Acta Automatica Sinica, 2014, 40(9): 1896-1902.
- [11] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision, making units[J]. European J of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [12] Zha Y, Zhao L L, Bian Y W. Measuring regional efficiency of energy and carbon dioxide emissions in China: A chance constrained DEA approach[J]. Computers & Operations Research, 2016, 66(2): 351-361.
- [13] Kwon H B, Lee J. Two-stage production modeling of large U.S. banks: A DEA-neural network approach[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(9): 6758-6766.
- [14] Hakim S, Seifi A, Ghaemi A. A bi-level formulation for DEA-based centralized resource allocation under efficiency constraints[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 93(3): 28-35.
- [15] Stéphane N, Marc L L. J. Case-based reasoning for chemical engineering design[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2008, 86(6): 648-658.
- [16] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management, 1984, 30(9): 1078-1092.
- [17] Wang Y, Chin K. A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(5): 3666-3675.
- [18] Ramanathan R. Data envelopment analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process[J]. Computers & Operations Research, 2006, 33(5): 1289-1307.
- [19] 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.
- [20] Li H, Sun J. Majority voting combination of multiple case-based reasoning for financial distress prediction[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 4363-4373.