

基于分众模式的多部门大群体应急决策方法

徐选华[†], 孙寒寒, 陈晓红

(中南大学商学院, 长沙 410083)

摘要: 针对以往应急决策大多依靠部门专家而忽略公众参与的问题, 提出一种新的多部门大群体应急决策方法, 将公众引入应急决策中. 首先, 各部门专家给出方案指标值, 公众给出指标偏好值, 各部门根据 top N 规则对公众进行筛选; 其次, 利用偏好逻辑评分 (LSP) 方法将方案指标值与指标偏好值相融合, 得到方案总得分; 再次, 引入双论域上的决策粗糙集理论, 将部门专家给出的方案损失值与方案总得分相结合, 根据决策规则选出正域上的方案集, 对突发事件进行响应; 最后, 通过算例分析与对比验证所提出方法的有效性.

关键词: 分众模式; 多部门; 大群体; 应急决策; 偏好融合

中图分类号: C934

文献标志码: A

Multi-department large group emergency decision making method based on crowd sourcing

XU Xuan-hua[†], SUN Han-han, CHEN Xiao-hong

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Aiming at the problem that emergency decision making mostly relies on experts in the department and ignores the public, we put the public into the emergency decision making, and then propose a new multi-department large group emergency decision making method. Firstly, experts give attributes' values of the alternatives, while the public give their preferences of the attributes. The departments choose the public clusters based on the top N rule. Then, combining the attributes' values of the alternatives with preferences of the attributes, the total score of alternatives is got by using the method of logic scoring of preference (LSP). Furthermore, decision-theoretical rough set in two universes is introduced, and the loss values of alternatives given by experts are combined with total score of alternatives. The alternatives in positive universe are selected according to the decision rule to respond to the emergency. Finally, an example is given to illustrate the effective of the proposed method.

Keywords: crowd sourcing; multi-department; large group; emergency decision making; fusion of preferences

0 引言

近年来,我国重大突发事件的发生呈明显上升趋势,对社会造成的危害正逐步增大. 突发事件通常设有应急预案作为参考,如何根据有限信息在高时间压力下快速选出实施效果较好的方案是一个迫切需要解决的问题.

目前,有关突发事件应急响应的决策方法已取得一些成就^[1-4]. 重大突发事件影响范围较大,因此,应急决策通常为多部门(或多主体)^[5-6]的决策,但以往的应急决策往往只依靠部门专家^[7-10],广大的社会公众无法分享自身拥有的信息,这导致决策专家与公

众之间往往存在信息不对称问题. 为解决上述问题,目前,在应急管理应用上较为新颖的是采用“分众 (Crowd sourcing)”方式,该方法在 2010 年海地地震应急救援应用中起到了重要作用^[11]. 分众是由社会大众通过网络分散完成任务,并通过整合后在网络上提供服务的一种方式. 随着社会经济的发展,公众对突发事件的敏感性逐步增大,参与到应急决策中的积极性也在逐步上升,同时,社交媒体在灾害管理和应对方面发挥着越来越大的作用^[12-14],为公众的参与提供了渠道.

Carley 等^[12]根据公众发出的社交媒体信息对印

收稿日期: 2017-09-17; 修回日期: 2018-03-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71790615, 71431006, 71671189); 中南大学创新驱动计划项目(2015CX010).

责任编辑: 李登峰.

作者简介: 徐选华(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事大数据决策理论与方法、信息系统与决策支持系统、风险分析与管理等研究; 孙寒寒(1993—), 女, 硕士生, 从事应急管理决策、风险分析与管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: xuxh@csu.edu.cn.

度尼西亚海啸进行了早期预警. Simon等^[15]在肯尼亚恐怖袭击事件中利用公众社交媒体信息进行意见挖掘、威胁评估与地理定位. Chu等^[16]指出,收集公众信息是应急决策的一种重要手段,手持无线设备的人们可作为移动人体传感器,为系统提供更广泛和更详细的传感器覆盖范围;同时还指出,作为移动人体传感器的社会公众可提供无价的信息来修复灾难监视系统中传感器的盲区,并开发了一个名为“交叉”的系统,支持人们免费获取受灾地区的众包灾害监测数据^[17].让公众参与到应急决策中,不仅可从公众中获取关于突发事件的相关信息,减弱决策部门与公众的信息不对称问题,而且可增加应急决策的满意度,从而使得救援措施因得到公众支持而快速落实,降低突发事件带来的危害.因此,本文同时考虑将部门专家和社会公众作为决策群体.

现有研究从公众获取的数据大多为地理位置信息,而对公众偏好信息进行的研究则较少. Michae等^[18]指出,公众提供的信息质量是应急决策中的一个重要问题.由于公众的知识有限,他们提供的信息质量参差不齐,并不能采取所有公众的意见,需进行筛选.本文将公众引入应急决策中并对其进行筛选,对考虑公众偏好信息的大群体应急决策方法进行研究.

在实际应急决策环境中,决策者常常面临双重决策信息^[19]:一类是分析方案在各指标下的具体表现的信息;另一类是决策者从整体上对方案进行判断的信息.对于前者,本文涉及的数据为部门专家给出的方案指标值以及公众给出的指标偏好值;对于后者,本文涉及的数据为部门专家给出的方案损失值,即方案为最理想方案以及不为最理想方案时实施、延迟决策以及拒绝该方案的损失.因本文考虑的决策群体为专家和公众,而公众专业知识相对薄弱,从整体上对方案进行评价的能力较弱,故本文不考虑公众给出方案损失值.

对于部门专家给出的方案指标值以及公众给出的指标偏好值,本文拟选用多指标决策中的偏好逻辑评分(LSP)方法^[20]将二者融合,从而将公众引入到应急决策中. LSP是19世纪70年代提出的一种多指标评估方法^[21],它以广义连接/分离(GCD)聚合函数^[22]为基础,将复杂问题划分为具有层次结构的子问题进行处理.此外, LSP方法通过选取满足决策者需求的聚合算子来反映指标之间的关系(即互补性或替代性)和指标的相对重要性(即权重)^[23].对于部门专家给出的方案损失值,本文拟采用双论域上的决策粗

糙集^[24]将其与前者相结合,根据决策规则选出正域上的方案集以应对突发事件.因为粗糙集^[25]对于处理不确定信息具有很大优势,而应急决策环境面临的主要困难之一是决策信息的不完备以及不确定性,所以,本文尝试把双论域上的决策粗糙集运用于应急决策环境中.

本文提出一种基于分众模式的多部门大群体应急决策方法,将公众意见和多部门专家意见相融合,把公众引入应急决策中.首先,利用凝聚层次聚类方法^[26]和LSP方法将公众的指标偏好值与部门专家的方案指标值相融合,得到各方案在不同部门的总得分;然后,引入双论域上的决策粗糙集理论,将部门专家给出的方案损失值与方案的总得分相结合;最后,根据决策规则选出正论域上的方案集,即把效果较好的方案集作为最终的实施方案,对突发事件进行响应.

1 方法基础

1.1 凝聚层次聚类

对决策大群体偏好进行聚类可降低大群体决策问题的复杂性,因此,本文使用在数据预处理中运用十分广泛的凝聚层次聚类方法对决策大群体偏好进行聚类,即降维.凝聚层次聚类方法是层次聚类的一种,它把每个样本归为一类,计算每两个类之间的距离或相似度,按一定规则选取符合距离要求的类别,完成类间合并,然后重新计算类之间的距离,直至所有样本点归为一类^[27].这里,选取规则将采用Ward法即最小方差算法,它在合并两个类时总是选择使离差平方和增加最小的两个类进行合并,这样可以尽量保证类内部的一致性.该方法不需初始化参数(如聚集个数、初始聚类中心等),因此可产生唯一的聚类结果.如图1所示,该方法可产生树状图形式的聚类结果,根据实际问题选取合适的阈值,得到唯一的聚类结果.

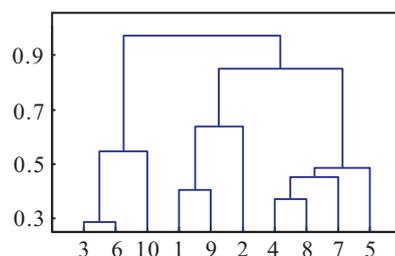


图1 LSP聚合凝聚层次聚类树状图

1.2 偏好逻辑评分(LSP)

LSP方法可归纳为3个步骤^[21]:

1) 建立指标树.由决策者建立具有层次结构的

指标树.

2) 定义指标评估标准. 评估标准 $b(f_i)$ 反映了指标 f_i 的可接受范围. 若指标 f_i 的值为 $a(f_i)$, 经标准 $b(f_i)$ 评估后, 得到一个分值 $h(f_i)$, 此分值即表示指标值 $a(f_i)$ 满足标准 $b(f_i)$ 的程度.

3) 建立聚合结构. 基于 GCD 聚合函数选取合适的聚合算子对指标进行集结. 本文选取 GCD 加权幂平均算子 (WPM), 即

$$\text{GCD}(x_1, x_2, \dots, x_n) = (w_1 x_1^r + \dots + w_n x_n^r)^{1/r}. \tag{1}$$

其中: $w_i (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1)$ 表示指标权重; 参数 r 表示指标之间的关系以及强度, 即指标之间由完全替代性到完全互补性的连续传递关系, 共 17 个等级, 各等级的含义可参见文献 [23], 在此不再赘述. 与各等级对应的参数的取值如表 1 所示 [23].

表 1 LSP 聚合算子参数 r 的取值

	替代性								中立	互补性							
	强				弱					强				弱			
等级	D	D++	D+	D+-	DA	D-+	D-	D--	A	C--	C-	C-+	CA	C+-	C+	C++	C
参数	$+\infty$	20.63	9.521	5.082	3.929	2.792	2.018	1.449	1	0.619	0.261	-0.148	-0.72	-1.655	-3.51	-9.06	$-\infty$

1.3 双论域上的决策理论粗糙集

粗糙集在处理不确定信息方面具有独特优势. 传统的 Pawlak 粗糙集将论域划分为正域、边界域和负域. 然而, 在实际应用中, 这样的划分过于严格, 众多学者对此进行了改进 [28-30], 提出了概率粗糙集模型. 这些模型都是用两个阈值 α, β 来划分正域、边界域和负域, 但决策者需提供阈值的取值. 作为概率粗糙集模型的一种, Yao 等 [31-32] 提出的决策粗糙集受到了广泛关注, 它描述了如何根据损失函数获取阈值.

决策粗糙集的理论基础是双论域上的贝叶斯决策过程 [33]. 设 U, V 是两个非空有限论域, 幂集 $2^V = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$ 是 k 个状态的集合, $A = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ 表示 m 个可能的决策, $P(Y_j|F(x))$ 表示在特征 $F(x) (x \in U)$ 描述下对象具有状态 Y_j 的条件概率, $\lambda(d_i|Y_j)$ 表示在状态 Y_j 的情况下做出决策 d_i 的损失代价. 根据三支决策 [34] 原理, $Y \in 2^V$ 表示决策者根据突发事件实时情景确定的理想应急预案基本特征集合, 因此, 决策的状态集 $\Omega = \{Y, Y^C\}$ (其中 Y^C 表示 Y 的补集). 令 $d_i \in A (i = 1, 2, 3)$, d_1, d_2, d_3 分别表示接受、延迟决策和拒绝 3 种行为. 一般而言, 对于任何决策问题, 只要决策者做出决策, 不论正确与否, 都会存在损失. 记 $\lambda_{11} = \lambda(d_1|Y), \lambda_{12} = \lambda(d_2|Y), \lambda_{13} = \lambda(d_3|Y)$ (其中 $0 \leq \lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13} \leq 1$) 分别表示当 $x (x \in U)$ 属于 Y 时采取行动 d_1, d_2, d_3 的损失 (即当某应急预案 x 符合决策者理想方案特征 Y 时决策者选择应急预案 x 、延迟选择 x 和不选择 x 所带来的各种损失之和). 同样地, $\lambda_{21} = \lambda(d_1|Y^C), \lambda_{22} = \lambda(d_2|Y^C), \lambda_{23} = \lambda(d_3|Y^C)$ (其中

$0 \leq \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23} \leq 1$) 分别表示当 $x (x \in U)$ 不属于 Y 时采取行动 d_1, d_2, d_3 的损失 (即当某个应急预案 x 不符合决策者理想方案特征 Y 时决策者选择应急预案 x 、延迟选择 x 和不选择 x 所带来的各种损失之和). 由前面分析可知, 对于任意 $x \in U, F(x)$ 为应急预案 x 所具有的基本特征.

由前面分析及文献 [24], 可得决策规则如下:

若 $\alpha > \beta$, 即 $\frac{\lambda_{12} - \lambda_{11}}{\lambda_{21} - \lambda_{22}} < \frac{\lambda_{13} - \lambda_{12}}{\lambda_{22} - \lambda_{23}}$, 则 $0 \leq \beta \leq \gamma \leq \alpha \leq 1$. 此时, 决策规则可表示为:

(P₁) 若 $P(Y|F(x)) \geq \alpha$, 则 $x \in \text{POS}(Y)$;

(B₁) 若 $\beta \leq P(Y|F(x)) \leq \alpha$, 则 $x \in \text{BND}(Y)$;

(N₁) 若 $P(Y|F(x)) \leq \beta$, 则 $x \in \text{NEG}(Y)$.

若 $\alpha \leq \beta$, 即 $\frac{\lambda_{12} - \lambda_{11}}{\lambda_{21} - \lambda_{22}} \geq \frac{\lambda_{13} - \lambda_{12}}{\lambda_{22} - \lambda_{23}}$, 则 $0 \leq \alpha \leq \gamma \leq \beta \leq 1$. 此时, 决策规则可表示为:

(P₂) 若 $P(Y|F(x)) \geq \gamma$, 则 $x \in \text{POS}(Y)$;

(N₂) 若 $P(Y|F(x)) \leq \gamma$, 则 $x \in \text{NEG}(Y)$.

其中: $\alpha, \beta, \gamma \in [0, 1]$, 且

$$\alpha = \frac{\lambda_{21} - \lambda_{22}}{(\lambda_{21} - \lambda_{22}) + (\lambda_{12} - \lambda_{11})}, \tag{2}$$

$$\beta = \frac{\lambda_{22} - \lambda_{23}}{(\lambda_{22} - \lambda_{23}) + (\lambda_{13} - \lambda_{12})}, \tag{3}$$

$$\gamma = \frac{\lambda_{21} - \lambda_{23}}{(\lambda_{21} - \lambda_{23}) + (\lambda_{13} - \lambda_{11})}. \tag{4}$$

通常, 应急决策最终选择的方案 x^* 不可能与理想方案 Y 完全匹配, 但 x^* 与 Y 是最相近的. 上述的条件概率 $P(Y|F(x))$ 正是表达此种含义. 因此, $P(Y|F(x))$ 可看作应急方案 x 与理想方案 Y 的相似度.

2 方法原理

2.1 问题描述

设应急部门集合 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_Q\}$, 部门 z_q 的决策专家集合 $E_q = \{e_1^q, e_2^q, \dots, e_{M_q}^q\}$, 部门 z_q 的指标集合 $F_q = \{f_1^q, f_2^q, \dots, f_{N_q}^q\}$, 指标权重向量 $W_q = (w_1^q, w_2^q, \dots, w_{N_q}^q)^T$. 社会公众通过社交网络自主参与到各部门的决策中. 由于公众知识有限, 可能并非对所有评价指标了解, 公众可仅参与一个部门的决策, 也可参与多个部门的决策; 可仅对一个指标给出偏好, 也可对多个指标给出偏好.

针对指标 f_j^q 给出偏好的公众集合 $C_{qj} = \{c_1^{qj}, c_2^{qj}, \dots, c_{K_q}^{qj}\}$, 公众对指标的偏好为 b_j^{qk} , 表示参与到部门 z_q 决策中的公众 c_k^{qj} 对指标 f_j^q 的偏好. 应急方案集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_P\}$. 针对不同应急方案, 应急部门专家给出各个指标的值 $A_q = [a_{ij}^q]_{P \times N_q}$, 其中 a_{ij}^q 表示部门 z_q 针对方案 x_i 给出的指标 f_j^q 的值. 针对方案 x_i , 决策专家 e_i^q 给出方案损失值 $\{\lambda_{11}^{iq}, \lambda_{12}^{iq}, \lambda_{13}^{iq}, \lambda_{21}^{iq}, \lambda_{22}^{iq}, \lambda_{23}^{iq}\}$.

本文主要解决的问题是将公众纳入应急决策环境中, 同时将公众和部门专家作为决策群体, 并对公众偏好进行筛选, 将筛选后的公众偏好与专家意见相融合, 降低应急决策的信息不对称性, 得到更加可行的决策结果, 从而降低突发事件带来的危害.

本文提出的方法主要涉及3个方面: 一是考虑到公众偏好质量问题, 采取 top N 规则对公众聚集进行筛选; 二是采用 LSP 方法将筛选后的公众聚集与部门专家给出的方案指标值进行融合; 三是将融合后的信息与部门专家给出的方案损失值进行结合, 根据决策规则选出正域上的方案集进行应急响应.

2.2 决策过程与方法

2.2.1 公众筛选过程

首先对公众偏好 b_j^{qk} 利用凝聚层次聚类方法进行聚类, 假设针对指标 f_j^q , 共形成 n_j^q 个聚集. 由于公众偏好质量会影响决策结果, 需对公众聚集进行筛选.

若经过社交网络参与到应急决策中的公众数量较多且知识水平不同, 经上述聚类后会形成较多聚集, 而应急决策不可能满足所有公众的需求, 但会尽可能满足大多数公众的要求, 因此, 各应急部门可根据聚集成员数量对聚集进行筛选. 这里选用 top N 规则^[35], 即根据聚集中成员数量大小对聚集进行排序, 选择排名前 N 的聚集 $\{g_j^{q1}, g_j^{q2}, \dots, g_j^{qN}\}$ 作为公众最终的偏好. 各部门可根据实际情况对 N 值进行确定, 部门间 N 值可不同. 将这 N 个聚集的偏好表示为

$\{\tilde{b}_j^{q1}, \tilde{b}_j^{q2}, \dots, \tilde{b}_j^{qN}\}$, 并将其余聚集的偏好删除.

2.2.2 偏好融合过程

对公众筛选完成之后, 使用 LSP 方法将公众意见与专家意见相融合, 并纳入应急决策中.

1) 首先建立指标树. 一个部门对应一个指标树, 因此可以得到 Q 个指标树, 各部门的指标可视为指标树的节点. 本文以各部门的评价指标作为指标树, 因此不需建立新的指标树.

2) 对指标定义评估标准. 本文涉及的决策主体包括社会公众, 将公众意见纳入应急决策中不仅可增加应急决策的满意度使方案快速落实, 而且可从公众中获得更多关于突发事件的相关信息, 降低应急决策的风险. 因此, 本文将公众的指标偏好值作为各部门指标的评估标准.

由上可得, 指标 f_j^q 的评估标准集为 $\{\tilde{b}_j^{q1}, \tilde{b}_j^{q2}, \dots, \tilde{b}_j^{qN}\}$, 其中 N 表示在该指标下筛选出的聚集个数, 不同指标的 N 值可不同. 计算应急方案 x_i 在该评估标准集下的得分 $\{h_{ij}^{q1}, h_{ij}^{q2}, \dots, h_{ij}^{qN}\}$, 结合公众聚集权重^[31]

$$\omega_t^{qj} = \frac{n^2(g_t^{qj})}{\sum_{t=1}^N n^2(g_t^{qj})}, \quad (5)$$

其中 $n(g_t^{qj})$ 表示聚集 g_t^{qj} 的成员个数, 由此得到方案 x_i 在指标 f_j^q 下的得分

$$h_{ij}^q = \sum_{t=1}^N \omega_t^{qj} h_{ij}^{qt}. \quad (6)$$

3) 计算方案在各部门的得分. 各部门根据实际情况参考表1给出指标之间的关系及权重并选取合适的参数 r , 利用 GCD 函数计算方案在各部门下的得分

$$h_i^q = \text{GCD}(h_{i1}^q, h_{i2}^q, \dots, h_{iN_q}^q). \quad (7)$$

2.2.3 方案选择过程

本文选用双论域上的决策粗糙集进行方案的选择.

1) 获得方案在各部门的得分 h_i^q 后, 首先选取最理想方案 Y^* . 由于一个部门执行某一特定方面的职责, 可将不同部门看作方案的新指标, 方案在不同部门的得分 h_i^q 可视为方案在新指标(部门)下的得分或与新指标(部门)的相关程度. 据此可得最理想方案 $Y^* = \{\max\{h_i^1\}, \max\{h_i^2\}, \dots, \max\{h_i^Q\}\}$. 根据欧氏距离计算各方案与理想方案 Y^* 的相关程度即相似度 $p(Y^*|x_i)$.

2) 对各部门专家给出的方案损失值 $\{\lambda_{11}^{iq}, \lambda_{12}^{iq}, \lambda_{13}^{iq}, \lambda_{21}^{iq}, \lambda_{22}^{iq}, \lambda_{23}^{iq}\}$ 进行处理. 将各部门专家的方案

损失值利用1.1节中的方法聚类,假设共形成 K 个聚集,然后结合专家聚集权重^[36]

$$\omega_t = \frac{n^2(g_t)}{\sum_{t=1}^K n^2(g_t)} \quad (8)$$

(其中 $n(g_t)$ 表示聚集 g_t 的成员个数)得到方案损失值 $\{\lambda_{11}^l, \lambda_{12}^l, \lambda_{13}^l, \lambda_{21}^l, \lambda_{22}^l, \lambda_{23}^l\}$.

3) 利用式(3)~(5)计算 α 、 β 、 γ ,根据决策规则($P_1 \sim N_1$)与($P_2 \sim N_2$),得到各方案对应的决策行动,从中选取正域中的方案集,即实施效果较好的方案集作为最终的实施方案.因应急决策需快速决定最终的实施方案,若正域中有多个方案,则可根据各方案与理想方案相似度 $P(Y^*|x_l)$ 选取正域中相似度最大者作为应对突发事件的措施.

综上,基于分众模式的多部门大群体应急决策方法流程如图2所示.

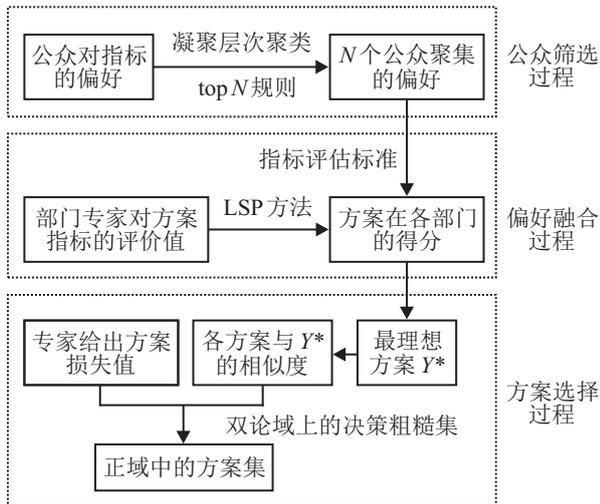


图2 基于分众模式的多部门大群体应急决策方法流程

3 算例分析

3.1 算例背景

2016年1月,云南大理高速公路沿线地段发生重大森林火灾,消防部门 z_1 、交管部门 z_2 和电信部门 z_3 三个部门参与此次救援,各派出10名专家即部门 z_1 的专家 $e_{11}^1 \sim e_{10}^1$ 、部门 z_2 的专家 $e_{11}^2 \sim e_{20}^2$ 和部门 z_3 的专家 $e_{21}^3 \sim e_{30}^3$ 进行应急决策,同时公众结合自身知识通过社交网络自发参与到不同部门的决策中.

根据火灾实时情况,有5种方案可供备选.方案 x_1 :完全封闭周边公路,调入6台大型消防机械设备和2台小型消防机械设备进行灭火,不疏散沿线村落居民;方案 x_2 :完全封闭周边公路,调入3台大型消防机械设备和5台小型消防机械设备进行灭火,并疏散沿线村落居民;方案 x_3 :部分封闭周边公路,调入4台大型消防机械设备和结合人工方法进行灭火,但不疏

散沿线村落居民;方案 x_4 :部分封闭周边公路,调入2台大型消防机械设备和2台小型消防机械设备,并结合人工方法进行灭火,但不疏散沿线村落居民;方案 x_5 :部分封闭周边公路,调入8台小型消防机械设备,同时疏散沿线村落居民.

部门 z_1 考虑的相关指标为: f_1^1 过火面积(km^2)、 f_2^1 复燃率(%), f_3^1 灭火操作时长(h);部门 z_2 考虑的相关指标为: f_1^2 封闭车道条数(条)、 f_2^2 封闭出入口个数(个)、 f_3^2 管制道路长度(km);部门 z_3 考虑的相关指标为: f_1^3 应急通讯延时水平(s)、 f_2^3 火场应急通讯网络覆盖率(%), f_3^3 应急部门间信息共享水平(%).

3.2 决策过程

下面利用本文提出的方法进行应急决策,步骤如下.

Step 1: 针对不同应急方案,各部门首先给出各个指标的值 $A_q = [a_{ij}^q]_{P \times N_q}$,即方案指标值,如表2所示.

表2 各部门对应急方案不同指标的评价值 A_q

方案	z_1			z_2			z_3		
	f_1^1	$f_2^1/\%$	f_3^1	f_1^2	f_2^2	f_3^2	f_1^3	$f_2^3/\%$	$f_3^3/\%$
x_1	5.5	22~35	18~20	5	10	25	0.6~1.2	85	91
x_2	7	18~28	13~16	5	10	25	0.7~0.9	80	86
x_3	9.3	4~12	21~23	4	8	212	0.5~0.8	78	83
x_4	8.6	15~20	14~18	3	7	18	0.8~1.0	65	72
x_5	6.4	24~29	22~26	2	4	12	0.9~1.3	84	90

然后,各部门专家给出应急方案的损失值 $\{\lambda_{11}^{lqi}, \lambda_{12}^{lqi}, \lambda_{13}^{lqi}, \lambda_{21}^{lqi}, \lambda_{22}^{lqi}, \lambda_{23}^{lqi}\}$.社会公众通过社交网络自主参与到各部门的决策中并给出对指标 f_j^q 的偏好 b_j^{qk} ,可以只参与一个部门的决策,也可参与多个部门的决策;可以只对一个指标给出评价,也可以对多个指标给出评价.

Step 2: 对公众偏好 b_j^{qk} 利用凝聚层次聚类方法进行聚类,各部门根据实际情况利用top N规则对公众聚集数量进行删减,只保留这N个聚集的偏好 $\{\tilde{b}_j^{q1}, \tilde{b}_j^{q2}, \dots, \tilde{b}_j^{qN}\}$,将其余聚集的偏好删除.

以消防部门 z_1 中的指标 f_1^1 过火面积为例说明此步骤.假设对该指标给出评价的公众共有328人,用凝聚层次聚类法对该公众集合进行聚类.消防部门 z_1 对该指标采取top 2原则,即根据聚集人数选出排名为前二的公众聚集 g_1^{11} 和 g_1^{12} ,人数分别为126和93,将其余聚集删除,如表3所示.其中:横坐标表示部门指标,纵坐标表示公众对指标的偏好程度,区间为 $[0.0, 1.0]$.聚集 g_1^{11} 和聚集 g_1^{12} 对指标 f_1^1 的偏好如图3(a)所示.

表3 各部门根据topN规则选出的公众聚集

z_1			z_2			z_3		
指标	总人数	聚集	指标	总人数	聚集	指标	总人数	聚集
f_1^1	328	$\frac{126}{93}$	f_1^2	240	$\frac{89}{63}$	f_1^3	180	$\frac{69}{62}$
f_2^1	295	$\frac{102}{84}$	f_2^2	267	$\frac{134}{99}$	f_2^3	212	$\frac{103}{64}$
f_3^1	370	$\frac{150}{106}$	f_3^2	210	$\frac{78}{60}$	f_3^3	298	$\frac{155}{85}$

同理,各部门根据实际情况选出各指标下的聚集,聚集人数如表3所示(以各部门均采用top2原则

为例说明本文方法).公众聚集对部门 z_1 中的指标 f_2^1 和 f_3^1 ,部门 z_2 中的指标 f_1^2 、 f_2^2 和 f_3^2 ,部门 z_3 中的指标 f_1^3 、 f_2^3 和 f_3^3 的偏好,分别如图3(b)~3图(i)所示.

Step3: 对公众筛选完成之后,使用LSP方法将公众意见纳入应急决策中.该方法首先要建立相应的指标树,本文以各部门的评价指标作为指标树,因此,不需建立新的指标树;然后对各指标给出评估标准,以该评估标准为依据计算方案在各指标下的得分 h_{ij}^q .本文将公众聚集的偏好作为各指标的评估标准,计算方案在各部门下相应的得分 h_i^q .

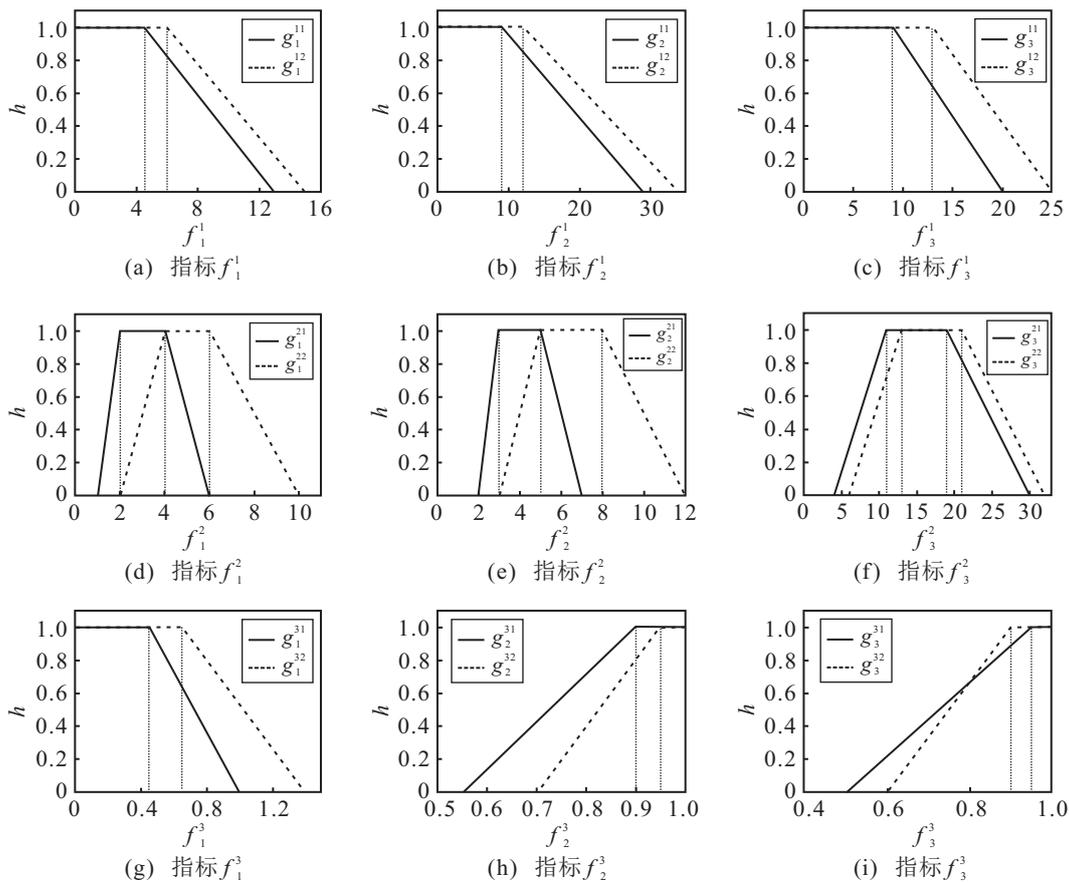


图3 公众对各指标的偏好(指标偏好值)

同样,以消防部门 z_1 中的指标 f_1^1 过火面积为例说明此步骤.由图3(a)可知公众聚集对指标 f_1^1 的偏好,由表2可知部门 z_1 对方案 x_1 的指标 f_1^1 给出的值为5.5.因此,由图3(a)可得该指标在公众聚集 g_1^{11} 和 g_1^{12} 下的得分分别为

$$h_{11}^{11} = \frac{13 - 5.5}{13 - 4.5} = 0.88, h_{11}^{12} = 1.$$

根据表4中的数据可得两聚集权重分别为

$$\omega_1^{11} = \frac{126^2}{126^2 + 93^2} = 0.65,$$

$$\omega_1^{12} = \frac{93^2}{126^2 + 93^2} = 0.35,$$

因此,可得方案 x_1 在指标 f_1^1 下的得分

$$h_{11}^1 = \omega_1^{11} \times h_{11}^{11} + \omega_1^{12} \times h_{11}^{12} = 0.65 \times 0.88 + 0.35 \times 1 = 0.92.$$

同理,可得方案在各指标下的得分,如表4所示.

表4 各方案的指标得分 h_{ij}^q

方案	z_1			z_2			z_3		
	f_1^1	f_2^1	f_3^1	f_1^2	f_2^2	f_3^2	f_1^3	f_2^3	f_3^3
x_1	0.92	0.12	0.23	0.67	0.18	0.52	0.41	0.82	0.98
x_2	0.77	0.43	0.62	0.67	0.18	0.52	0.57	0.67	0.85
x_3	0.50	1	0.08	1	0.35	0.89	0.8	0.61	0.76
x_4	0.59	0.65	0.49	0.84	0.35	0.1	0.41	0.21	0.42
x_5	0.84	0.21	0.03	0.67	0.83	0.95	0.20	0.79	0.97

接下来对方案的不同指标进行集结. LSP方法以GCD聚合函数为基础对指标进行集结, 各部门给出指标之间的关系及权重, 如图4所示.

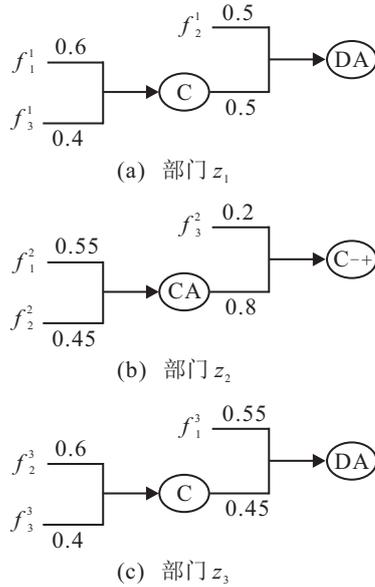


图4 各指标之间的关系

以部门 z_1 的方案 x_1 为例说明此步骤. 由图4(a)可知, 指标 f_1^1 与 f_3^1 之间具有互补性, 参数 $r = -3.51$, 且权重分别为 $w_1^1 = 0.6$ 和 $w_3^1 = 0.4$, 因此, 可得方案 x_1 在这两个指标下的得分为

$$(w_1^1 \times (h_{11}^1)^r + w_3^1 \times (h_{13}^1)^r)^{1/r} = (0.6 \times (0.92)^{-3.51} + 0.4 \times (0.23^{-3.51})^{-3.51})^{1/(-3.51)} = 0.30.$$

同时, 由图4(a)可知指标 f_2^1 与指标 f_1^1 和 f_3^1 具有替代性, 参数 $r = 3.929$, 权重分别为0.5和0.5, 因此, 可得方案 x_1 在部门 z_1 的得分为 $h_1^q = 0.25$. 同理可得其余方案在各部门的得分, 如表5所示.

表5 方案在各部门的得分 h_i^q

部门	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
z_1	0.25	0.60	0.83	0.60	0.17
z_2	0.63	0.63	0.61	0.59	0.77
z_3	0.74	0.65	0.34	0.36	0.68

Step 4: 首先, 根据方案在各部门下的得分 h_i^q 选取最理想方案 $Y^* = \{0.83, 0.77, 0.74\}$, 并计算各方案与 Y^* 的相关程度即相似度, 分别为

$$P(Y^*|x_1) = 0.33, P(Y^*|x_2) = 0.80, P(Y^*|x_3) = 0.67, P(Y^*|x_4) = 0.53, P(Y^*|x_5) = 0.40.$$

然后, 利用凝聚层次聚类方法对各部门专家给出

的方案损失值 $\{\lambda_{11}^{lqi}, \lambda_{12}^{lqi}, \lambda_{13}^{lqi}, \lambda_{21}^{lqi}, \lambda_{22}^{lqi}, \lambda_{23}^{lqi}\}$ 进行聚类, 共形成3个聚集:

$$g_1 = \{e_1^1, e_6^1, e_{13}^2, e_{17}^2, e_{18}^2, e_{25}^3, e_{26}^3, e_{27}^3, e_{28}^3, e_{29}^3\};$$

$$g_2 = \{e_2^1, e_3^1, e_4^1, e_5^1, e_8^1, e_9^1, e_{11}^2, e_{14}^2, e_{15}^2, e_{16}^2, e_{19}^2, e_{24}^3, e_{30}^3\};$$

$$g_3 = \{e_7^1, e_{12}^2, e_{20}^3, e_{21}^3, e_{22}^3, e_{23}^3\}.$$

由此得到聚集权重分别为0.30, 0.59, 0.11.

将各聚集偏好与聚集权重相结合, 得到方案的综合损失值 $\{\lambda_{11}^l, \lambda_{12}^l, \lambda_{13}^l, \lambda_{21}^l, \lambda_{22}^l, \lambda_{23}^l\}$, 如表6所示.

表6 方案综合风险值

方案	λ_{11}^l	λ_{12}^l	λ_{13}^l	λ_{21}^l	λ_{22}^l	λ_{23}^l
x_1	0.27	0.58	0.73	0.62	0.44	0.24
x_2	0.31	0.41	0.56	0.49	0.32	0.12
x_3	0.13	0.28	0.47	0.53	0.50	0.29
x_4	0.36	0.64	0.69	0.71	0.27	0.14
x_5	0.24	0.50	0.70	0.47	0.38	0.33

最后, 根据式(3)~(5)计算 α, β, γ , 根据决策规则 ($P_1 \sim N_1$) 和 ($P_2 \sim N_2$) 得到各方案对应的决策行动, 如表7所示.

表7 各方案与理想方案 Y^* 的相似度及决策结果

方案	相似度	α	β	γ	决策行动
x_1	0.33	0.37	0.57	0.45	N_2
x_2	0.80	0.64	0.56	0.60	P_1
x_3	0.67	0.15	0.53	0.41	P_2
x_4	0.53	0.61	0.75	0.63	N_2
x_5	0.40	0.25	0.21	0.24	P_1

从中选取正域中的方案集 $\{x_2, x_3, x_5\}$ 作为最终的实施方案. 因为应急决策可能最终只选择一个方案以应对突发事件, 所以可在正域中选择与 Y^* 相似度最高者 x_2 作为最终的选择, 即完全封闭周边公路, 调入3台大型消防机械设备和5台小型消防机械设备进行灭火, 并疏散沿线村落居民.

3.3 方法对比与讨论

为了说明本文方法的有效性, 与不考虑公众参与的情况进行对比, 于是, 该情况就变为仅运用双论域上的决策粗糙集理论进行应急决策, 数据仅涉及部门专家给出的方案风险值及各方案为最优方案的可能性. 为了表述方便, 把考虑公众偏好的情况记为情况1, 把不考虑公众偏好的情况记为情况2.

为了保证两种方法的可比性, 情况2仍采用情况

1 中部门专家给出的方案损失值, 仅需专家给出各方案为最优方案的可能性. 对情况2进行计算的结果如表8所示. 从中选出正域中的方案集即 $\{x_1, x_3\}$ 作为最终的实施方案. 又因方案 x_1 的相似度大于方案 x_3 的相似度, 故选择最终方案为 x_1 , 即完全封闭周边公路, 调入6台大型消防机械设备和2台小型消防机械设备进行灭火, 不疏散沿线村落居民.

表8 情况2的决策结果

方案	相似度	α	β	γ	决策行动
x_1	0.69	0.37	0.53	0.44	P_2
x_2	0.42	0.81	0.44	0.60	N_1
x_3	0.51	0.38	0.50	0.47	P_2
x_4	0.46	0.46	0.29	0.33	B_1
x_5	0.38	0.31	0.63	0.43	N_2

可见, 两种情况选择的方案略有不同, 其原因就是情况2没有考虑公众偏好. 本文认为, 在应急决策中应考虑公众参与的问题, 将公众偏好与专家偏好相融合, 既增加了应急决策的满意度, 又降低了应急决策的风险, 这正是本文提出分众模式的主要原因.

4 结论

本文针对以往应急决策只依靠部门专家而忽略公众参与的问题, 提出了一种基于分众模式的多部门大群体应急决策方法, 把公众引入应急决策中. 首先, 利用LSP方法将公众意见与专家意见相融合, 从而将公众引入应急决策中; 然后, 利用双论域上的决策粗糙集和决策规则选出正域上的方案集, 对突发事件进行响应. 让公众参与到应急决策中, 不仅可增强政府和应急决策部门与社会公众的交流, 提高应急决策的满意度, 使救援措施因得到公众支持而快速落实, 降低突发事件带来的危害; 而且还可从公众中获取关于突发事件的相关信息, 降低应急决策的风险. 本文方法未考虑突发事件的动态特征, 在以后的研究中可考虑将其运用于多阶段的动态应急决策环境中.

参考文献(References)

[1] 樊治平, 刘洋, 沈荣鉴. 基于前景理论的突发事件应急响应风险决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 977-984.
(Fan Z P, Liu Y, Shen R J. Risk decision analysis method for emergency response based on prospect theory[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2012, 32(5): 977-984.)

[2] Liu Y, Yuan Y, Fan Z P. An FTA-based method for risk

decision making in emergency response[J]. Computers & Operations Research, 2014, 42(2): 49-57.

- [3] 李永海, 樊治平, 袁媛. 考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(2): 275-280.
(Li Y H, Fan Z P, Yuan Y. Method for generating emergency alternative with implementation effects of emergency alternatives[J]. Control and Decision, 2014, 29(2): 275-280.)
- [4] Tang P, Shen G Q. Decision-making model to generate novel emergency response plans for improving coordination during large-scale emergencies[J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 90(C): 111-128.
- [5] 徐选华, 蔡晨光, 王佩, 等. 面向具有多部门多指标特征的复杂大群体应急决策方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(2): 225-232.
(Xu X H, Cai C G, Wang P, et al. Complex large group emergency decision making method oriented characteristic of multi-department and multi-index[J]. Control and Decision, 2016, 31(2): 225-232.)
- [6] 陈兴, 王勇, 吴凌云, 等. 多阶段多目标多部门应急决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(11): 1977-1985.
(Chen X, Wang Y, Wu L Y, et al. Emergency decision model with multiple stages, multiple objectives, and multidivisional cooperation[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2010, 30(11): 1977-1985.)
- [7] 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.
- [8] Xu X H, Du Z J, Chen X H. Consensus model for multi-criteria large-group emergency decision making considering non-cooperative behaviors and minority opinions[J]. Decision Support Systems, 2015, 79(C): 150-160.
- [9] Xu X H, Zhong X Y, Chen X H, et al. A dynamical consensus method based on exit-delegation mechanism for large group emergency decision making[J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 86(C): 237-249.
- [10] Xu Y, Zhang W, Wang H. A conflict-eliminating approach for emergency group decision of unconventional incidents[J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 83(1): 92-104.
- [11] Zook M, Graham M, Shelton T, et al. Volunteered geographic information and crowdsourcing disaster relief: A case study of the Haitian earthquake[J]. World

- Medical & Health Policy, 2010, 2(2): 7-33.
- [12] Carley K M, Malik M, Landwehr P M, et al. Crowd sourcing disaster management: The complex nature of twitter usage in Padang Indonesia[J]. Safety Science, 2016, 90: 48-61.
- [13] Gao H, Barbier G, Goolsby R. Harnessing the crowdsourcing power of social media for disaster relief[J]. Intelligent Systems IEEE, 2011, 26(3): 10-14.
- [14] Rogstadius J, Vukovic M, Teixeira C A, et al. Crisis tracker: Crowdsourced social media curation for disaster awareness[J]. IBM J of Research & Development, 2013, 57(5): 4-1-4-13.
- [15] Simon T, Goldberg A, Adini B. Socializing in emergencies—A review of the use of social media in emergency situations[J]. Int J of Information Management, 2015, 35(5): 609-619.
- [16] Chu H, Chen Y L, Liu J W S, et al. Strategies for crowdsourcing for disaster situation information[J]. Disaster Management & Human Health Risk II, 2011, 119: 257-269.
- [17] Chu T H, Chen Y L, Lin J Y, et al. Crowdsourcing support system for disaster surveillance and response[C]. Int Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications. Taipei: IEEE, 2012: 21-25.
- [18] Michael F Goodchild, J Alan Glennon. Crowdsourcing geographic information for disaster response: A research frontier[J]. Int J of Digital Earth, 2010, 3(3): 231-241.
- [19] 郝晶晶, 朱建军, 刘思峰. 基于双重语言信息联动的多阶段决策模型[J]. 控制与决策, 2014, 29(1): 99-106. (Hao J J, Zhu J J, Liu S F. Multi-stage decision model for aggregating dual linguistic evaluation information[J]. Control and Decision, 2014, 29(1): 99-106.)
- [20] Dujmovic J J, Tre G D, Weghe N V D. LSP suitability maps[J]. Soft Computing, 2010, 14(5): 421-434.
- [21] Dujmovic J J. A method for evaluation and selection of complex hardware and software systems[J]. CMG Proc, 1996: 368-378.
- [22] Dujmovic J J, Larsen H L. Generalized conjunction/disjunction[J]. Int J of Approximate Reasoning, 2007, 46(3): 423-446.
- [23] Dujmovic J J, Nagashima H. LSP method and its use for evaluation of Java IDEs[J]. Int J of Approximate Reasoning, 2006, 41(1): 3-22.
- [24] Sun B, Ma W, Zhao H. An approach to emergency decision making based on decision-theoretic rough set over two universes[J]. Soft Computing, 2016, 20(9): 3617-3628.
- [25] Pawlak Z. Rough set[J]. Int J of Computer & Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356.
- [26] Jain A K. Data clustering: A review[J]. ACM Computing Surveys, 1999, 31(3): 264-323.
- [27] Sasirekha K, Baby P. Agglomerative hierarchical clustering algorithm—A review[J]. Int J of Scientific and Research Publications, 2013, 3(3): 1-3.
- [28] Ziarko W. Variable precision rough set model[J]. J of Computer & System Sciences, 1993, 46(1): 39-59.
- [29] Pawlak Z, Wong S K M, Ziarko W. Rough sets: Probabilistic versus deterministic approach[J]. Int J of Man-Machine Studies, 1988, 29(1): 81-95.
- [30] Skowron A, Stepaniuk J. Tolerance approximation spaces[J]. Fundamenta Informaticae, 1996, 27(2/3): 245-253.
- [31] Yao Y, Wong S K. A decision theoretic framework for approximating concepts[J]. Int J of Man-Machine Studies, 1992, 37(6): 793-809.
- [32] Yao Y. Decision-theoretic rough set models[C]. Int Conf on Rough Sets and Knowledge Technology. Berlin: Springer-Verlag, 2007, 178(17): 1-12.
- [33] Yao Y. Three-way decisions with probabilistic rough sets[J]. Information Sciences, 2010, 180(3): 341-353.
- [34] Yao Y. An outline of a theory of three-way decisions[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2012: 1-17.
- [35] Tapia-Rosero A, Bronselaer A, Mol R D, et al. Fusion of preferences from different perspectives in a decision-making context[J]. Information Fusion, 2016, 29: 120-131.
- [36] 徐选华, 陈晓红, 王红伟. 一种面向效用值偏好信息的大群体决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(3): 440-445. (Xu X H, Chen X H, Wang H W. A kind of large group decision-making method oriented utility valued preference information[J]. Control and Decision, 2009, 24(3): 440-445.)

(责任编辑: 李君玲)