

城市消防预警系统的模糊综合评价方法研究^{*}

杨 艺¹ 青宏虹¹ 何光辉²

(重庆工商大学 计算机科学及信息工程学院 重庆400067)¹ (重庆大学 数理学院 重庆400044)²

摘 要 针对城市消防预警提出了模糊综合评价理论,建立了系统、合理的评价指标体系;运用 AHP 法构建了系统评价的递阶层次结构,在此基础上建立了一个简单、实用的三级模糊综合评价数学模型,该模型为城市消防预警做出客观评价提供了有效的手段。

关键词 城市消防预警系统,模糊综合评价,AHP

Research on Fuzzy Overall Evaluation Method of Urban Fire Protection Pre-Warning System

YANG Yi¹ QING Hong-Hong¹ HE Guang-Hui²

(College of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology & Business University, Chongqing 400067)¹

(College of Science, Chongqing University, Chongqing 400044)²

Abstract A theory of fuzzy overall evaluation for urban fire protection pre-warning system is put forward, and a systematic and reasonable measurement index system has been described. Then, with a multiplayer structure built up using the AHP method, a simple mathematical model of a three-level fuzzy overall evaluation has been established which provides an effective way to objectively evaluate urban fire protection pre-warning.

Keywords Urban fire protection pre-warning system, Fuzzy overall evaluation, AHP

在城市消防预警系统中,对预警指标的评价研究是一项核心工作。然而,到目前为止,对消防预警系统的有效可行的评价研究却很少,文[2,3]中提出了一些关于火灾的安全评价方法,但并非用于预警系统中。另外,由于消防管理中大量的数据是定性的,也给系统评价带来极大不便。本文应用模糊数学的理论方法——模糊综合评价法,研究消防预警系统综合评价问题,建立了一套较完善的评价指标体系及一套科学、合理、可行的评价方法,这样可以了解城市消防系统的症结所在,从而对城市消防工作做出预警。这是整个城市消防预警系统研究的一个非常重要的子课题。

1 城市消防预警系统综合评价指标体系

建立合理的评价指标体系是评价模型建立的基础,在城市消防领域,危险和安全之间没有严格的界限,不确定因素很多,消防安全的好坏也是一个模糊概念,对于城市消防多指标的多级综合评价可用模糊综合评价的方法来处理。首先需要建立一个城市消防预警评价的指标体系。

1.1 评价指标体系

指标体系分为总体目标层(警情总指标),一级指标4项,

是影响城市消防安全的主要因素,是评价的核心目标;二级指标18项,是相应一级指标的细化,是各主要因素需要评价的项目;三级指标65项,是相应二级指标的进一步细化,是评价的具体要素,以此形成预警系统评价的递阶层次结构,见图1。

1.2 指标体系权重的确定

权重是描述各指标重要程度的数字,在进行模糊综合评价时,权重对最终的评价结果会产生很大的影响,不同的权重有时会得到完全不同的结论,因此权重选择的合适与否直接关系到评价模型的成败。权重的确定有许多方法,如统计调查法、Delphi、层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)、模糊层次分析法(fuzzy analytical hierarchy process, FAHP)。本评价模型对各级指标层的各指标权重的确定采用 Delphi 和 FAHP 法相结合的方法,即让专家比较两两指标的重要性并构建模糊一致判断矩阵,再通过求解权重方程组可得到权重值^[5]。

设元素 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 进行两两重要性比较得到模糊一致矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$, 元素 $u_1, u_2, \dots, u_n$ 的权重值分别为 $a_1, a_2, \dots, a_n$, 则可通过下列权重方程组(1)求出权重值^[5]。

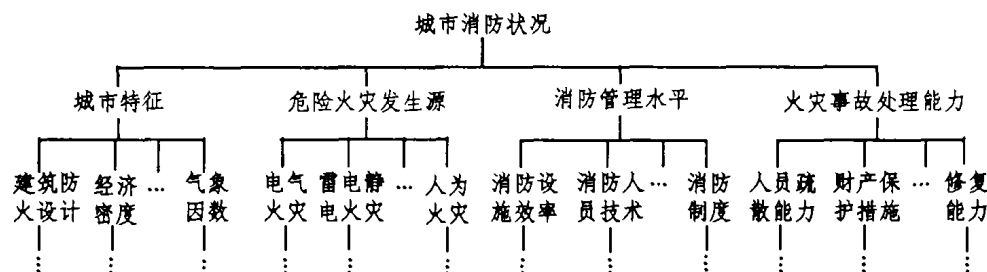


图1 城市消防预警系统综合评价指标体系

^{*} 本课题得到重庆市教委科技研究项目资助(合同编号:030704)。杨 艺 讲师,研究方向:数据库理论及电子商务技术。青宏虹 副教授,研究方向:电子商务理论。

$$\begin{cases} 2\beta^2(n-1)a_1 - 2\beta^2a_2 - 2\beta^2a_3 - \cdots - 2\beta^2a_n + \lambda = \\ \beta \sum_{j=1}^n (r_{1j} - r_{j1}) - 2\beta^2a_1 \\ + 2\beta^2(n-1)a_2 - 2\beta^2a_3 - \cdots - 2\beta^2a_n + \lambda = \\ \beta \sum_{j=1}^n (r_{2j} - r_{j2}) \\ \cdots \\ - 2\beta^2a_1 - 2\beta^2a_2 - 2\beta^2a_3 - \cdots + 2\beta^2(n-1)a_n + \lambda = \\ \beta \sum_{j=1}^n (r_{nj} - r_{jn}) \\ \cdots \\ a_1 + a_2 + \cdots + a_n = 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中 λ 是 Lagrange 乘子, $0 < \beta \leq 0.5$, β 是人们对所感知对象差异程度的一种度量, 同评价对象的个数和差异程度有关, 当评价对象的个数或差异程度较大时, β 值可以取大一些^[5]。另外, 决策者还可以通过调整 β 值的大小, 求出若干个不同的权重向量, 再从中选择一个自己认为比较满意的权重向量 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 各级指标权重之和等于 1。

1.3 评价指标等级标准

根据预警系统的特点和要求, 并从评价的科学性、适用性、便利性出发, 将该系统评价指标等级用警度来描述, 分为五个等级, 即无警(安全信号)、四级警告(轻警信号)、三级警告(中警信号)、二级警告(重警信号)和一级警告(巨警信号)。它是衡量警情的严重程度, 即警情的大小。城市消防预警系统的警度是判定城市消防系统是否有警的尺度或参照系, 是城市消防预警的目的。

2 城市消防预警系统模糊综合评价模型

2.1 建立相关的模糊集

1) 定义一级指标集为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 相应的权重集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示指标 u_i 在 U 中的权重, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

2) 定义二级指标集为 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}\}$, 相应的权重集为 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$, 其中 $a_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ 表示指标 u_{ij} 在 u_i 中的权重, $\sum_{j=1}^m a_{ij} = 1$ 。

3) 定义三级指标集为 $u_{ij} = \{u_{ij1}, u_{ij2}, \dots, u_{ijp}\}$, 相应的权重集为 $A_{ij} = \{a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijp}\}$, 其中 $a_{ijk} (k=1, 2, \dots, p)$ 表示指标 u_{ijk} 在 u_{ij} 中的权重, $\sum_{k=1}^p a_{ijk} = 1$ 。

4) 定义警度集为 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$, 其中 $t_s (s=1, 2, \dots, q)$ 表示安全级别由高到低。

2.2 警度测算

1) 当评价指标 D_i 为正向型指标(即 D_i 越大越好), 且 $\underline{D}_i$ 为指标的下极限值, D_i^0 为其相应指标参照系的取值(即理想目标值), 则评价指标 D_i 偏离指标参照值 D_i^0 的程度, 即警度 T_{d_i} 为:

$$T_{d_i} = \begin{cases} 1, & D_i \geq D_i^0 \\ (D_i - \underline{D}_i) / (D_i^0 - \underline{D}_i), & \underline{D}_i \leq D_i < D_i^0 \\ 0, & D_i < \underline{D}_i \end{cases} \quad (2)$$

2) 当评价指标 D_i 为负向型指标(即 D_i 越小越好), 且 $\overline{D}_i$ 为指标的上极限值, 则评价指标 D_i 偏离指标参照值 D_i^0 的程度, 即警度 T_{d_i} 为:

$$T_{d_i} = \begin{cases} 1, & D_i \leq D_i^0 \\ (\overline{D}_i - D_i) / (\overline{D}_i - D_i^0), & \overline{D}_i \geq D_i > D_i^0 \\ 0, & D_i > \overline{D}_i \end{cases} \quad (3)$$

3) 当评价指标 D_i 为中性指标(即越接近 D_m 越好), 则评价指标 D_i 偏离 D_m 的程度, 即警度为 T_{d_i} :

$$T_{d_i} = \begin{cases} 1, & D_i = D_m \\ (\overline{D}_i - D_i) / (\overline{D}_i - D_m), & D_m < D_i < \overline{D}_i \\ (D_i - \underline{D}_i) / (D_m - \underline{D}_i), & \underline{D}_i \leq D_i < D_m \\ 0, & D_i > \overline{D}_i \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 $\overline{D}_i > \underline{D}_i$ 。

2.3 警区划分

按式(2)~(4)的标准化过程, 可见, 警度 $T_{d_i} \in [0, 1]$ 。显然 T_{d_i} 越接近 1, 表明评价指标 D_i 对应的系统运行状态处于越安全的理想状态。而 T_{d_i} 越接近 0, 则其评价指标 D_i 对应的系统危急程度越严重, 按照五个等级来划分, 其警区划分如表 2 所示。

表2 警区划分

T_{d_i} 取值范围	[0.8, 1]	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	[0, 0.2)
警度区	安全区	轻警区	中警区	重警区	巨警区
警级	无警	四级警告	三级警告	二级警告	一级警告

2.4 确定警度向量和评价矩阵

根据 2.2 节中的式(2)~(4)可以得到每个末级指标的警度向量, 以此向量为行向量可构成对应指标的评价矩阵。

2.5 建立三级模糊综合评价模型

采用层次分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP)对消防预警评价指标体系的三个层次, 建立相应的三级模糊综合评价模型。

1) 第一层次综合评价运算

先对三级指标 u_{ij} 的评价矩阵 R_{ij} 作模糊运算, 得到二级指标 u_i 对于警度集 T 的警度向量 B_i ,

$$B_i = A_i \cdot R_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}) \cdot \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1q} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{im1} & r_{im2} & \cdots & r_{imq} \end{bmatrix} \\ = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iq}) \quad (5)$$

模糊子集 $B_{ij} = (b_{ij1}, b_{ij2}, \dots, b_{ijq})$ 是第一层次综合评价的结果。

2) 第二层次综合评价运算

通过第一层次综合评价运算, 得到模糊综合评价矩阵

$$R_i = \begin{bmatrix} B_{i1} \\ B_{i2} \\ \cdots \\ B_{im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{i11} & b_{i12} & \cdots & b_{i1q} \\ b_{i21} & b_{i22} & \cdots & b_{i2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{im1} & b_{im2} & \cdots & b_{imq} \end{bmatrix} \quad (6)$$

二级指标权重向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, 按照模糊数学评价模型再对 R_i 进行模糊矩阵运算^[7], 即进行第二次综合评价运算, 得到第一级指标 U 对于警度集 T 的警度向量 B ,

$$B = A \cdot R = (a_1, a_2, \dots, a_m) \cdot \begin{bmatrix} b_{i11} & b_{i12} & \cdots & b_{i1q} \\ b_{i21} & b_{i22} & \cdots & b_{i2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{im1} & b_{im2} & \cdots & b_{imq} \end{bmatrix} \\ = (b_1, b_2, \dots, b_q) \quad (7)$$

模糊子集 $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iq})$ 是第二层次综合评价的结果。

3) 第三层次综合评价运算

通过第二层次综合评价运算,得到模糊综合评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}b_{12}\dots b_{1q} \\ b_{21}b_{22}\dots b_{2q} \\ \dots \\ b_{m1}b_{m2}\dots b_{mq} \end{bmatrix} \quad (8)$$

如上方法进行第三次综合评价运算,可以得到目标指标 D 对于警度集 T 的警度向量 B ,

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \circ \begin{bmatrix} b_{11}b_{12}\dots b_{1q} \\ b_{21}b_{22}\dots b_{2q} \\ \dots \\ b_{m1}b_{m2}\dots b_{mq} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_q) \quad (9)$$

4) 模糊综合评价模型

由上可得三级模糊综合评价模型为:

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ \begin{bmatrix} A_{11} \circ R_{11} \\ A_{12} \circ R_{12} \\ \dots \\ A_{1m} \circ R_{1m} \end{bmatrix} \\ A_2 \circ \begin{bmatrix} A_{21} \circ R_{22} \\ A_{22} \circ R_{22} \\ \dots \\ A_{2m} \circ R_{2m} \end{bmatrix} \\ \dots \\ A_n \circ \begin{bmatrix} A_{n1} \circ R_{n1} \\ A_{n2} \circ R_{n2} \\ \dots \\ A_{nm} \circ R_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, R_{ij} 为单个指标的警度矩阵, R 为总评价矩阵, “ $\circ$ ” 为矩阵合成运算。

3 评价结果

根据模糊综合评价模型式(10)可得到目标指标 D 对于

警度集 T 的警度向量 $(b_1, b_2, \dots, b_q)$, 其中, $b_1, b_2, \dots, b_q$ 分别表示 D 对于警度 $t_1, t_2, \dots, t_q$ 的隶属度, 按照最大隶属度原则, 可做出评价, 即 $b_i^* = \max\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$, 得出预警警度为 t_i 级。

当某一分指标 D_i 的警度 T_{di} 趋近于零(即巨警)时, 若目标指标所描述的系统将会遭受严重影响或危机时, 预警决策者应该视目标指标 D 所对应的警度 T_d 也趋于零。

结论 利用 FAHP 法结合模糊数学知识对城市消防预警系统进行评价, 能把影响城市消防预警的各种因素进行综合考虑, 而不是简单的加权平均, 避免了因个人带来的个人主观臆断的缺点, 较好地保证了评价工作的客观性、适用性和操作便利性。另外, 文中所提出的方法和模型为城市消防预警系统的评价提供了有效的辅助决策手段, 上述评价模型中的评价指标可以随着城市发展或预警系统应用环境的不同作适当调整, 该评价方法便于实现城市消防预警系统的自动化。

参考文献

- 1 杨多贵, 周志田, 陈劲锋, 王海燕. 中国社会稳定与安全预警系统的理论设计[J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(4): 84~87
- 2 张一先, 王建平, 方宗堂, 董雪芳. 城市定量火灾安全评估方法——以苏州古城区为例[J]. 苏州科技学院学报, 2003, 16(4): 27~32
- 3 易立新. 城市火灾风险评价的指标体系设计[J]. 灾害学, 2000, 15(4): 90~94
- 4 朱晔, 叶民强. 区域可持续发展预警系统研究[J]. 华侨大学学报, 2002(1): 32~38
- 5 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80~88
- 6 杨松林. 工程模糊方法论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996
- 7 汪培庄. 应用模糊数学[M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1989
- 8 Fitzgerald R W. Building fire safety evaluation method[R]. Worcester: Worcester Polytechnic Institute, 1993

(上接第115页)

一步的研究工作去完成。

参考文献

- 1 Larzon. The UDP-Lite Protocol. Network Working Group INTERNET-DRAFT, December 5, 2002
- 2 Wang Yao, Zhu Qin fan. Error control and concealment for video communication. A review [J]. Proc. of the IEEE, 1998, 86(5): 974~998
- 3 Video coding for low bit rate communication. ITU-T Recommendation H. 263 Version 2, Jan. 1998
- 4 Video encoder test model. Near-Term, Version 10 (TMN10) Draft

1, Apr. 1998

- 5 Sullivan G J, Wiegand T. Rate-distortion optimization for video compression. IEEE Signal Processing Mag., Nov. 1998, 15: 74~90
- 6 Turaga D, Chen T. Estimation and mode decision for spatially correlated motion sequences. submitted for publication
- 7 Sullivan G. A simple video packet mux simulator program for videostreams in H. 324/M using AL3 mux of H. 223 Annex B. In: Proc. ITU-T Study Group 15, Video Coding Experts Group, Document Q15-F-16, Seoul, Korea, Nov. 1998
- 8 Lakshman T V, Ortega A, Reibman A R. VBR video: Tradeoffs and potentials. In: Proc. IEEE, May. 1998, 86: 952~973