

基于模糊评价法的火灾报警系统研究分析

郭 玥, 王广成, 朱静雯, 郑陈琪

福建师范大学数学与统计学院, 福建 福州

收稿日期: 2023年3月9日; 录用日期: 2023年5月24日; 发布日期: 2023年5月31日

摘 要

近年来, 我国火灾产品产业发展迅速, 楼房建筑群对其的使用量大。与此同时, 报警的准确率受火灾探测器灵敏度和可靠性影响, 部分火灾报警系统所存在的故障和误动作也会产生影响, 这阻碍了灭火救灾行动的进行, 造成不必要的人力资源浪费和其他可能的安全问题。因此, 利用全国各月统计的火灾次数变化趋势表, 假设某区域的调查数据表和各假设数据, 记录分析实际情况, 以更好地发现问题, 寻找解决方案, 改善现状。

关键词

火灾报警, 模糊综合评价, 逻辑回归, 熵值法

Research and Analysis of Fire Alarm System Based on Fuzzy Evaluation Method

Yue Guo, Guangcheng Wang, Jingwen Zhu, Chenqi Zheng

School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Mar. 9th, 2023; accepted: May 24th, 2023; published: May 31st, 2023

Abstract

In recent years, China's fire product industry has grown rapidly, with a large number of building complexes using them. At the same time, the accuracy of the alarm is affected by the sensitivity and reliability of the fire detector. Some fire alarm systems have malfunctions and misoperations, which hinder fire-fighting and disaster relief operations and cause unnecessary waste of human resources and other possible safety problems. Therefore, by using the trend table of the number of fires counted in each month of the country, survey data tables and hypothetical data from a region, we can record and analyze the actual situation in order to better identify problems, find solutions and improve the current situation.

文章引用: 郭玥, 王广成, 朱静雯, 郑陈琪. 基于模糊评价法的火灾报警系统研究分析[J]. 建模与仿真, 2023, 12(3): 2922-2929. DOI: 10.12677/mos.2023.123269

Keywords

Fire Alarm, Fuzzy Comprehensive Evaluation, Logistic Regression, Entropy Method

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

火灾是威胁人类生命安全，经济发展，社会生活的灾害之一。近年来，我国火灾探测产品产业发展迅速，从事该方面生产的企业多至一百多家，年产值巨大，其已成为我国高新技术产业的一个组成部分，我国每年建筑群对其也有大量需求。火灾探测器用于捕捉特定的火灾信号转化为电信号，在火灾报警控制器经过特定算法判定是否发生火灾并发出报警信号。而报警的准确率取决于火灾报警器的灵敏度和准确性，适用的火灾探测器有助于消防队员们更好的救援火灾[1]，我们对此建立数学模型，调研分析，帮助各消防大队维护人类社会生活安全，拯救更多生命。主要解决问题如下：根据附件数据确定出真实的火灾发生次数，同时对探测器的可靠性和故障率进行评价，并对报警部件进行研判，提高报警的准确率，最后对各个消防辖区进行量化评价并总结。

2. 基于模糊评价的火灾报警可靠性分析

利用可靠性和故障率对各类型部件进行评价，建立模糊综合评价模型，建立了因子集、评价集、隶属函数和权重集，实现对部件的等级综合评判。由此帮助政府选取更加可靠的火灾探测器类型。

2.1. 层次分析法确定权重

求权重是综合评价的关键。层次分析法是一种行之有效的确定权系数的有效方法[2]。特别适宜于那些难以用定量指标进行分析得复杂问题。它把复杂问题中的各因素划分为互相联系的有序层使之条理化，根据对客观实际的模糊判断，就每一层次的相对重要性给出定量的表示，再利用数学方法确定全部元素相对重要性次序的权系数[3]。

确定评价对象的因素集即确定评价指标。现从以下几个方面来考虑：从可靠性和故障率 2 个一级评价指标以及多个二级评价指标构成体系[4]。所构成的指标体系见表 1。

Table 1. Evaluation index and its weight

表 1. 评价指标及其权重

综合指标	评价指标	权重
A 可靠性(0.403)	a_1 回路类型	0.183
	a_2 机号	0.128
	a_3 地址	0.210
	a_4 用户编码	0.174
	a_5 隶属消防机构	0.181

Continued

B 故障率(0.597)	b ₁ 部件名称	0.213
	b ₂ 项目名称	0.321
	b ₃ 火警次数	0.285

2.2. 指标权重求解的层次分析法步骤

1) 确定评价对象集

P = 各类型部件。

2) 构造评价因子集

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_6\}$$

3) 确定评语等级论域

确定评语等级论域，即建立评价集 v 。

$$v = \{v_1, v_2, \dots, v_4\} = \{\text{好, 良好, 一般, 差}\}$$

4) 一级指标权重的计算

2个一级指标因子权重，我们采用层次分析的方法求出指标权重。构造判断矩阵

$$A_0 = (1.21372, 0.935715, 0.9911, 1.21138, 0.634379, 1.0)$$

再作归一化处理得：

$$A = (0.202, 0.156, 0.165, 0.202, 0.109, 0.166)$$

5) 计算二级指标权重

$$(1.72669, 1.20273, 1.97386, 1.64237, 1.87383, 1.0)$$

归一化得：(0.183, 0.128, 0.210, 0.174, 0.199, 0.106)；

回路类型的权重：(0.213, 0.321, 0.285, 0.181)；

机号的权重：(0.217, 0.285, 0.246, 0.252)；

用户编码的权重：(0.474, 0.526)；

地址的权重：(0.429, 0.571)。

2.3. 各部件类型的多级模糊综合评价

1) 部件类型的加权平均模糊合成综合评价

$$b_i = \sum_{j=1}^p (a_i \cdot r_{ij}) = \min \left(1, \sum_{j=1}^p a_i \cdot r_{ij} \right), j = 1, 2, \dots, m$$

式中， b_i ， a_i ， r_{ij} 分别为隶属于第 j 等级的隶属度、第 i 个评价指标的权重和第 i 个评价指标隶属于第 j 等级的隶属度[5]。

2) 各部件类型综合评价结果向量

计算各级模糊综合评价的向量。

回路类型的评价向量

$$A_1 = a \circ R$$

$$= (0.183, 0.128, 0.210, 0.174, 0.199, 0.106) \circ \begin{pmatrix} 0.154 & 0.404 & 0.410 & 0.032 \\ 0.006 & 0.272 & 0.500 & 0.223 \\ 0.053 & 0.756 & 0.191 & 0.000 \\ 0.107 & 0.368 & 0.354 & 0.170 \\ 0.373 & 0.408 & 0.189 & 0.030 \\ 0.164 & 0.436 & 0.313 & 0.087 \end{pmatrix}$$

$$= (0.150309, 0.458948, 0.311525, 0.079172)$$

归一化后的综合评价向量: $(0.150, 0.459, 0.312, 0.079)$ 。

3) 评价向量

$$B_1 = (0.213, 0.321, 0.285, 0.181) \circ \begin{pmatrix} 0.058 & 0.277 & 0.556 & 0.110 \\ 0.160 & 0.489 & 0.310 & 0.041 \\ 0.040 & 0.328 & 0.466 & 0.167 \\ 0.041 & 0.225 & 0.499 & 0.236 \end{pmatrix}$$

$$= (0.082535, 0.225865, 0.498879, 0.197111)$$

归一化得 $(0.084, 0.226, 0.499, 0.197)$ 。

用户编码的评价向量

$$C_1 = (0.035, 0.370, 0.511, 0.084)$$

隶属消防机构评价向量

$$D_1 = (0.217, 0.285, 0.246, 0.252) \circ \begin{pmatrix} 0.049 & 0.417 & 0.441 & 0.093 \\ 0.024 & 0.224 & 0.483 & 0.270 \\ 0.034 & 0.203 & 0.532 & 0.231 \\ 0.025 & 0.296 & 0.543 & 0.137 \end{pmatrix}$$

$$= (0.032137, 0.278859, 0.50106, 0.188481)$$

归一化得 $(0.032, 0.279, 0.501, 0.188)$ 。

部件名称的评价向量

$$E_1 = (0.474, 0.526) \circ \begin{pmatrix} 0.022 & 0.277 & 0.493 & 0.208 \\ 0.031 & 0.320 & 0.499 & 0.150 \end{pmatrix}$$

$$= (0.026734, 0.299618, 0.496156, 0.177492)$$

归一化得 $(0.027, 0.300, 0.496, 0.177)$ 。

项目名称的评价向量

$$F_1 = (0.429, 0.571) \circ \begin{pmatrix} 0.036 & 0.349 & 0.524 & 0.091 \\ 0.008 & 0.143 & 0.406 & 0.444 \end{pmatrix}$$

$$= (0.020012, 0.231374, 0.456622, 0.292563)$$

归一化得 $(0.020, 0.231, 0.457, 0.292)$ 。

火警次数的评价向量

$$A = (0.202, 0.156, 0.165, 0.202, 0.109, 0.166) \circ \begin{pmatrix} 0.150 & 0.459 & 0.312 & 0.079 \\ 0.048 & 0.226 & 0.499 & 0.197 \\ 0.035 & 0.370 & 0.511 & 0.084 \\ 0.032 & 0.279 & 0.501 & 0.188 \\ 0.027 & 0.300 & 0.496 & 0.177 \\ 0.020 & 0.231 & 0.457 & 0.292 \end{pmatrix}$$
$$= (0.05629, 0.316428, 0.456311, 0.166291)$$

归一化得 $A' = (0.057, 0.318, 0.458, 0.167)$ 。

对综合评分值进行等级评定

$$V_A = 4 \times 0.150 + 3 \times 0.459 + 2 \times 0.312 + 1 \times 0.079 = 2.68$$
$$V_B = 4 \times 0.084 + 3 \times 0.226 + 2 \times 0.499 + 1 \times 0.197 = 2.09$$
$$V_C = 4 \times 0.035 + 3 \times 0.370 + 2 \times 0.511 + 1 \times 0.084 = 2.356$$
$$V_D = 4 \times 0.032 + 3 \times 0.279 + 2 \times 0.501 + 1 \times 0.188 = 2.155$$
$$V_E = 4 \times 0.027 + 3 \times 0.300 + 2 \times 0.496 + 1 \times 0.177 = 2.177$$
$$V_F = 4 \times 0.020 + 3 \times 0.231 + 2 \times 0.457 + 1 \times 0.292 = 1.979$$

由上述计算可知，对照表 1 的评价分级标准可得评价指标的评价结果为“良好”属于 E2 级，其它 5 个指标的评价结果都为“一般” [6]，属于 E3 级。按照各个指标的评分等级的大小可以对其排序，其中“火警次数”、“用户编码”的评价要比其它指标都要低一点。而对总体的综合评判分值为：

$$V = 4 \times 0.057 + 3 \times 0.318 + 2 \times 0.458 + 1 \times 0.167 = 2.65$$

说明类型部件为“良好”，属于 E2 级。

实际中最常用的方法是最大隶属度原则 [7]，但此方法的使用是有条件的，存在有效性问题，可能会得出不合理的评价结果。根据此问题提出加权平均原则求隶属等级的方法，对于采用加权平均原则对上述各级评价指标的评价结果进行分析。

由题意根据计算结果作出评价对象对应综合平均评价值的图表如表 2 所示：

Table 2. Comprehensive evaluation data of all types of equipment

表 2. 各类型设备综合评价数据

评价对象	点型点烟	点型感温探测器	点型感烟探测器	点型温烟	点型温烟	复合探测器	火焰探测器	气体探测器	手动报警按钮	线型光束感烟探测器	消火栓	信号阀	压力开关	智能感温	智能光电探测器	智能光电探头
综合平均评价	0.0815	0.0545	0.0539	0.0578	0.0639	0.0560	0.0566	0.0578	0.0549	0.1113	0.0674	0.0579	0.0578	0.0578	0.0556	0.0553

从图 1 中可以看出线型光束感烟探测器是最可靠的火灾探测器类型。

3. 基于逻辑回归模型的报警准确性分析

建立逻辑回归模型，利用已知现实推测判断未发生事件的性质，将是否误报设置为因变量 [8]，探测器的准确性，误报率，各部件类型及各大队不同的管辖区为自变量，分别列出讨论，对报警信息是否为误判做出判断。

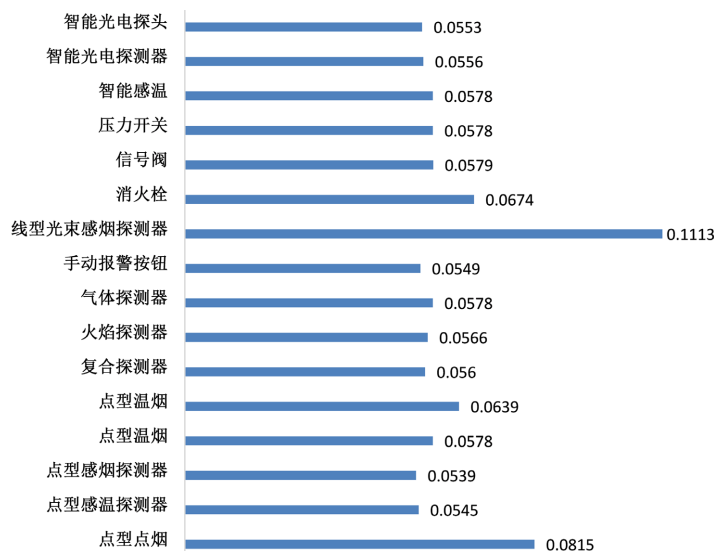


Figure 1. Comprehensive evaluation value analysis chart

图 1. 综合评价值分析图

3.1. 模型的建立

(一) 利用 MATLAB 对附件二和附件四中的数据进行预处理。

(二) 用 SPSS 软件对处理后的数据进行噪声检验。

(三) 依照已实施的区域报警方法，对问题一所得的五种报警部件的报警阈值计算，可得手动报警按钮、智能光电探头、线型光束感烟探测器、点型感温探测器、点型感烟探测器的报警阈值分别为 0.15、0.17、0.02、0.20、0.06。

(四) 对附件 3 中各大队不同部件发出的报警信号进行真实性评价，采用模糊综合评价法建立模型，进行主成分分析。

(五) 根据前面所列出的指标与附件三中的数据构成矩阵 A

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{26} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{n6} \end{bmatrix} = (a_1, a_2, \cdots, a_6),$$

将矩阵标准化处理[9]，可计算出均值为 $\bar{a}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}$ 以及标准差 $S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}{n-1}}$ ，通过计算可

得标准化数据 $Z_{ij} = (a_{ij} - \bar{a}_j) / S_j$ ，原始矩阵就变为 $A' = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{26} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{61} & A_{62} & \cdots & A_{66} \end{bmatrix} = (A_1, A_2, \cdots, A_6)$ ，将各报警部

件标准化处理可得贡献率为 $G = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} (i=1, 2, \cdots, p)$ ，再对各报警部件进行模糊综合评价。

3.2. 模型的求解

根据上述问题分析结果和对附件数据的分析，可以列出对应消防机构的报警可靠率，如下表 3 所示：

Table 3. Fire protection mechanism alarm reliability
表 3. 消防机构的报警可靠率

隶属消防机构	报警可靠率
A 大队	2.64%
B 大队	9.10%
C 大队	1.10%
D 大队	2.24%
E 大队	1.21%
F 大队	1.39%
G 大队	0.94%
H 大队	0.65%
I 大队	0.61%
J 大队	0.70%
L 大队	0.81%
M 大队	0.33%
N 大队	0.41%
P 大队	1.62%
Q 大队	4.23%

4. 基于层次分析法的消防管理水平评价

由前文的数据结果可得综合管理水平最低的三个辖区为 I 大队、N 大队和 M 大队，分别对三个大队的辖区火灾发生频率、部件故障率、部件可靠性进行分析计算。

- 1) 用向量规划的方法求得规范化决策矩阵，设决策矩阵为 $A_1 = (a_{ij})_{m \times n}$ ，规范化矩阵 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。
 - 2) 构造规范化矩阵 $C = (c_{ij})_{m \times n}$ 。设权重向量为 $F = [F_1, F_2, F_3, \dots, F_n]^T$ ，则 $c_{ij} = F_j * b_{ij}$ ，
($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。
 - 3) 确定正理想解和负理想解。设正理想解的第 j 个属性值为 c_j^* ，负理想解为 c_j^0 。
 - 4) 计算各个评价对象到正理想解和负理想解的距离。
 - 5) 计算各方案的排序指标值。
 - 6) 按排序指数的大小看出各大队各指标的值。
- 计算得出的结果为(表 4):

Table 4. Analysis of the three battalions of M, N and I
表 4. M、N、I 三个大队辖区分析

	火灾发生频率	部件故障率	部件可靠性
M 大队	0.01	0.22	0.25
N 大队	0.02	0.18	0.37
I 大队	0.01	0.29	0.56

通过计算可得 I 大队的零件故障率最高, N 大队火灾发生频率最高, M 大队部件可靠性最低。所以改进方案为: I 大队可以考虑更换零件故障率更低的零件; N 大队可以多锻炼出警能力, 提高出警效率; M 大队可以考虑更换可靠性更高的报警部件[10]。

5. 总结

根据有关文献和模型分析的结果, 有针对的提出火灾报警系统各部件管理维护的意见建议, 关键在于:

- 1) 提高报警系统稳定性和精度, 减少系统部件故障和误报;
- 2) 针对火灾预警, 根据与火灾发生的相关性, 分等级化地处理各类报警信息[11];
- 3) 面积较小的辖区应更加偏向探测器的可靠性, 因为故障率可以通过辖区面积小带来的维修探测器方便的特点进行弥补[12];
- 4) 火灾发生频率较高的辖区需要针对报警后的火灾处理能力以及反应速度进行培训。

参考文献

- [1] 刘伟, 杨旭坤. 高灵敏吸气式感烟火灾探测报警技术的应用研究——以风力发电机组防护为例[J]. 科技通报, 2012, 28(10): 196-198.
- [2] 邹方勇. 高灵敏火灾探测器[J]. 消防科学与技术, 2006(6): 761.
- [3] 曾睿. 火灾自动报警系统设计问题研究[J]. 智能城市, 2021, 7(14): 60-61.
- [4] 步亚昆, 郭俊美, 刘海英. 基于 51 单片机的智能火灾报警系统的设计与实现[J]. 齐鲁工业大学学报, 2021, 35(4): 53-58.
- [5] 路永明, 孟繁欣, 李嘉琪, 等. 基于 BIM、物联网技术的智能管控平台在火灾报警系统中的应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(S1): 134-137.
- [6] 苏醒, 李鸿, 姜俊彤. 基于 CAN 和模糊推理的一款地铁列车火灾报警系统的设计与仿真研究[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(6): 94-97. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1000-386x.2021.06.015>
- [7] 韩倩倩. 基于 LoRa 技术的无线火灾报警系统研究[J]. 建筑与土木工程(建筑电气与智能化方向), 北京建筑大学学报, 2020(6): 42-67.
- [8] 月云涛, 等. 基于 NB-IoT 的文物建筑无线火灾报警系统研[J]. 建筑电气, 2021, 40(8): 18-21. <http://doi.org/10.3969/j.issn.1003-8493.2021.08.003>
- [9] 冯辉, 程婷, 陈宝国. 基于 ZigBee 的小区火灾报警系统设计[J]. 白城师范学院学报, 2021, 35(5): 44-48.
- [10] 罗小权, 潘善亮. 基于多传感器数据融合的火灾报警系统[J]. 数据通信, 2019(6): 22-26.
- [11] 贾云辉, 邱杨, 谢富华, 等. 基于模糊控制的智能火灾报警系统[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(11): 94-98.
- [12] 汪乐章, 林娴, 唐伊文, 等. 基于树莓派与计算机视觉的家庭火灾报警系统的设计与研究[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 83-88.