

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.3.10

基于模糊聚类分析算法的消防电源故障诊断

刘克平¹, 薛丹², 孙喜庆¹, 赵彬¹, 李岩¹

(1.长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012;
2.长春理工大学光电信息学院 电子工程学院, 吉林 长春 130114)

摘要: 针对消防电源故障特征的模糊性及故障原因之间的耦合性,以模糊理论为基础,采用模糊传递闭包方法,提出了一种基于模糊聚类分析的消防电源故障诊断方法。以6 kW消防电源为例,对电池巡检仪取得的样本值进行聚类分析,给出了故障诊断的具体实现方法。实验结果表明,聚类效果良好、故障诊断准确,验证了所提算法的可行性与有效性。

关键词: 消防电源; 模糊传递闭包; 聚类分析; 故障诊断

中图分类号: TP 303.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2018)03-0267-04

Fault diagnosis of fire power based on fuzzy clustering analysis algorithm

LIU Keping¹, XUE Dan², SUN Xiqing¹, ZHAO Bin¹, LI Yan¹

(1.School of Electrical & Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China;
2.School of Electronic Engineering, College of Optical and Electronical Information Changchun University of Science and Technology, Changchun 130114, China)

Abstract: A fire power fault diagnosis based on the hybrid fuzzy clustering method which is developed by fuzzy transitive closure method in the view of fuzzy theory is proposed for the fuzziness of fire power fault characteristics and the coupling among the causes. A case study of 6 kW fire power, the sample values of the battery logging instrument is proposed with clustering analysis whereas a specific method of fault diagnosis is obtained. The results showed the feasibility and effectiveness of proposed method and the correction of the diagnosis with the obviousness of clustering.

Key words: fire power; fuzzy transitive closure; cluster analysis; fault diagnosis.

0 引言

消防电源供电系统是在断电发生的情况下确保提供所需的应急电力,以降低因断电而造成的损失,为人们生产和生活安全提供保障。虽然电

池巡检仪能够对消防电源运行状态进行监测,但是引起消防电源的故障原因很多,且各种因素之间存在耦合性,导致故障原因与故障征兆之间存在模糊性、复杂性,难以准确判断出消防电源的故障原因和种类^[1]。

收稿日期: 2017-05-25

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20140204026GX)

作者简介: 刘克平(1971—),男,汉族,吉林汪清人,长春工业大学教授,博士,主要从事复杂系统建模、优化与控制方向研究,
E-mail: liukeping@ccut.edu.cn.

模糊聚类分析算法是根据事物特征指标的模糊性,应用模糊理论确定样本的亲疏程度而实现特征分类^[2]。在常用的模糊聚类分析算法中,模糊传递闭包法属于基于等价矩阵的动态聚类方法,聚类速度快,可以取得较好的聚类效果^[3]。

文中以模糊理论为基础,将模糊传递闭包法应用于消防电源故障诊断中,结果表明,该方法能快速、准确地诊断出消防电源的故障,验证了所研究方法能有效地提高消防电源故障诊断能力。

1 模糊聚类分析算法

给定对象状态的样本空间为 X , 样本总数为 n , 则

$$X = \{x_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$$

设样本空间 X 的维数为 t , 特征向量 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{it}) \in \mathbf{R}^t$ 。建立原始特征矩阵, 并按照模糊矩阵要求, 使数据在区间 $[0, 1]$ 上。

首先, 将矩阵做平移标准差变换, 得到一次变换矩阵 x' 。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

$$i \in [1, n], j \in [1, t]$$

其中

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$$

然后, 将平移标准差变换后的矩阵做平移极差变换, 得到二次变化矩阵 x'' 。

$$x''_{ij} = \frac{x'_{ij} - \min\{x'_{ij}\}}{\max\{x'_{ij}\} - \min\{x'_{ij}\}} \quad (2)$$

建立模糊相似矩阵 $\mathbf{R} = (r_{ig})_{n \times t}$, 其中 r_{ig} 表示样本 x_i 与样本 x_g 之间的相似度, 采用夹角余弦法进行矩阵的相似变换^[4]。

$$r_{ig} = \frac{\sum_{j=1}^t x_{ij} x_{gj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^t x_{ij}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^t x_{gj}^2}} \quad (3)$$

$$i \in [1, n], g \in [1, n]$$

应用模糊传递闭包法进行聚类分析, 将矩阵 $\mathbf{R} = (r_{ig})_{n \times t}$ 变换成模糊等价矩阵, 采用矩阵平方自合成法^[5-6]。

$$\mathbf{R}^2 = \mathbf{R} \circ \mathbf{R} = \vee (r_{ij} \wedge r_{jg}) \quad (4)$$

对置信水平 $\lambda \in [0, 1]$, 计算模糊等价矩阵的 λ 截矩阵, 即

$$t(\mathbf{R})_\lambda = (r_{ig}^{(\lambda)}) \quad (5)$$

$$r_{ig}^{(\lambda)} = \begin{cases} 1, & r_{ig} \geq \lambda \\ 0, & r_{ig} < \lambda \end{cases}$$

$$F_\lambda = \frac{\sum_{k=1}^c n_k \frac{\|\bar{x}^{(k)} - \bar{x}\|^2}{c-1}}{\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n \frac{\|x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)}\|}{n-c}} \quad (6)$$

其中:

$$\|\bar{x}^{(k)} - \bar{x}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^t (x_j^{(k)} - \bar{x}_j)^2}$$

$$\|x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^t (x_{ij}^{(k)} - \bar{x}_j^{(k)})^2}$$

得到 F_λ 的值, 并取较大值, 从而得到最佳聚类数 c^* ^[7], 这样可以结合系统的实际情况进行人工分类。

2 实验研究

以一台 6 kW 消防电源为例, 通过电池巡检仪采集并记录系统不同状态的样本值, 选取其中具有代表性的 10 组样本值进行聚类分析研究, 每组样本中含有 6 个特征向量。选取的样本值见表 1。

表 1 系统样本值

样本序号	电池断线检测/V	电池电压/V	市电输入电压/V	逆变输出电压/V	逆变输出电流/A	逆变时间/min
1	0	0	221	0	4.5	0
2	0	0.1	0	0	0	0
3	3.3	23.8	0	0	13.3	0
4	3.3	22.1	0	220	4.6	10
5	3.3	23.7	0	221	4.4	90
6	3.3	22.3	0	219	4.3	5
7	3.3	23.8	0	220	4.6	60

续表 1

样本序号	电池断线检测/V	电池电压/V	市电输入电压/V	逆变输出电压/V	逆变输出电流/A	逆变时间/min
8	3.3	24.0	221	0	4.7	0
9	3.3	24.1	224	0	4.5	0
10	3.3	23.9	220	0	13.0	0

下面根据采集的样本值,按照所提混合模糊聚类分析算法,对系统状态进行故障诊断分析。

1)根据样本值,建立标准化特征矩阵。

首先,建立原始特征矩阵, $n=10,t=6$ 。

$$x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 221.0 & 0 & 4.5 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 & 13.3 & 0 \\ 3.3 & 23.8 & 0 & 0 & 13.3 & 0 \\ 3.3 & 22.1 & 0 & 220.0 & 4.6 & 10.0 \\ 3.3 & 23.7 & 0 & 221.0 & 4.4 & 90.0 \\ 3.3 & 22.3 & 0 & 219.0 & 4.3 & 5.0 \\ 3.3 & 23.8 & 0 & 220.0 & 4.6 & 60.0 \\ 3.3 & 24.0 & 221.0 & 0 & 4.7 & 0 \\ 3.3 & 24.1 & 224.0 & 0 & 4.5 & 0 \\ 3.3 & 23.9 & 220.0 & 0 & 13.0 & 0 \end{pmatrix}$$

然后,按式(1)、式(2)得到:

$$x'' = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.99 & 0 & 0.34 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0.99 & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 1.00 & 0.92 & 0 & 0.99 & 0.35 & 0.11 \\ 1.00 & 0.98 & 0 & 1.00 & 0.33 & 1.00 \\ 1.00 & 0.93 & 0 & 0.99 & 0.32 & 0.06 \\ 1.00 & 0.98 & 0 & 0.99 & 0.35 & 0.67 \\ 1.00 & 1.00 & 0.99 & 0 & 0.35 & 0 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0 & 0.37 & 0 \\ 1.00 & 0.99 & 0.98 & 0 & 0.98 & 0 \end{pmatrix}$$

2)建立模糊相似矩阵。

按照式(3)进行矩阵的相似变换,得到:

$$R = \begin{pmatrix} 1.00 & 0 & 0.19 & 0.07 & 0.05 & 0.06 & 0.06 & 0.60 & 0.60 & 0.63 \\ 0 & 1.00 & 0.57 & 0.53 & 0.49 & 0.54 & 0.53 & 0.57 & 0.57 & 0.50 \\ 0.19 & 0.57 & 1.00 & 0.76 & 0.66 & 0.76 & 0.72 & 0.77 & 0.76 & 0.87 \\ 0.07 & 0.53 & 0.76 & 1.00 & 0.90 & 1.00 & 0.96 & 0.67 & 0.67 & 0.66 \\ 0.05 & 0.49 & 0.66 & 0.90 & 1.00 & 0.88 & 0.99 & 0.59 & 0.59 & 0.58 \\ 0.06 & 0.54 & 0.76 & 1.00 & 0.88 & 1.00 & 0.95 & 0.67 & 0.67 & 0.66 \\ 0.06 & 0.53 & 0.72 & 0.96 & 0.99 & 0.95 & 1.00 & 0.64 & 0.63 & 0.62 \\ 0.59 & 0.57 & 0.77 & 0.67 & 0.59 & 0.67 & 0.63 & 1.00 & 0.99 & 0.95 \\ 0.60 & 0.57 & 0.76 & 0.67 & 0.59 & 0.67 & 0.64 & 0.99 & 1.00 & 0.95 \\ 0.63 & 0.50 & 0.87 & 0.66 & 0.58 & 0.66 & 0.62 & 0.95 & 0.95 & 1.00 \end{pmatrix}$$

3)应用模糊传递闭包法进行聚类分析。

按照式(4)可得:

$$t(R) = R^4$$

$$R^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0.57 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 & 0.63 \\ 0.57 & 1 & 0.57 & 0.57 & 0.57 & 0.57 & 0.57 & 0.57 & 0.57 & 0.57 \\ 0.63 & 0.57 & 1 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.87 & 0.87 & 0.87 \\ 0.63 & 0.57 & 0.76 & 1 & 0.96 & 1 & 0.96 & 0.76 & 0.76 & 0.76 \\ 0.63 & 0.57 & 0.76 & 1 & 0.96 & 1 & 0.96 & 0.76 & 0.76 & 0.76 \\ 0.63 & 0.57 & 0.76 & 0.96 & 0.99 & 0.96 & 1 & 0.76 & 0.76 & 0.76 \\ 0.63 & 0.57 & 0.87 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 1 & 1 & 0.95 \\ 0.63 & 0.57 & 0.87 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 1 & 1 & 0.95 \\ 0.63 & 0.57 & 0.87 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.76 & 0.95 & 0.95 & 1 \end{pmatrix}$$

根据式(5),取 $\lambda=0.99$,得到:

$$t(R)_{0.99} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

由式(6)得到 $F_{0.99} = 67.1393$, 并取得较大值。因此, 当 $\lambda = 0.99$ 时, 得到最佳聚类数 $c^* = 7$ 。

$$A_1 = \{x_1\},$$

$$A_2 = \{x_2\},$$

$$A_3 = \{x_3\},$$

$$A_4 = \{x_4, x_6\},$$

$$A_5 = \{x_5, x_7\},$$

$$A_6 = \{x_8, x_9\},$$

$$A_7 = \{x_{10}\}.$$

分别定义 x_1, x_2, x_3, x_{10} 为市电供电时和蓄电池供电时状态变量, 通过人工分类调整, 最佳分类如下:

$$B_1 = \{x_1, x_2\},$$

$$B_2 = \{x_3, x_{10}\},$$

$$B_3 = \{x_4, x_6\},$$

$$B_4 = \{x_5, x_7\},$$

$$B_5 = \{x_8, x_9\}.$$

聚类结果分别对应消防电源的五种实际工作状态: 电池断线、负载短路、电池故障、电池供电、市电供电。样本聚类分析结果见表 2。

表 2 样本聚类分析结果

样本序号	电池断线检测/V	电池电压/V	市电输入电压/V	逆变输出电压/V	逆变输出电流/A	逆变时间/min	实际状态类型
1	0	0	221	0	4.5	0	电池断线
2	0	0.1	0	0	0	0	
3	3.3	23.8	0	0	13.3	0	负载短路
10	3.3	23.9	220	0	13.0	0	
4	3.3	22.1	0	220	4.6	10	电池故障
6	3.3	22.3	0	219	4.3	5	
5	3.3	23.7	0	221	4.4	90	电池供电
7	3.3	23.8	0	220	4.6	60	
8	3.3	24.0	221	0	4.7	0	市电供电
9	3.3	24.1	224	0	4.5	0	

从表 2 可以看出, 聚类分析效果较好, 能及时发现消防电源故障征兆, 准确诊断出故障原因, 说明了文中所提出的模糊聚类分析方法对于消防电源故障诊断系统的实用性和有效性。

3 结 语

针对消防电源故障特性及故障诊断的指标要求, 研究了一种模糊聚类分析算法, 对实际设备选取具有代表性的 10 组样本值进行模糊聚类分析研究, 结果表明, 该方法可正确识别出消防电源系统工作状态, 诊断出故障类型, 识别精度较高, 收敛速度快, 符合实际情况。实验结果证明了方法的可行性、有效性, 具有良好的实际应用前景。

参考文献:

[1] 马广程, 赵彬, 刘克平. ZigBee 技术在消防联动应急

系统中的应用[J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(5): 422-427.

[2] 李相镐, 李洪兴, 陈世权, 等. 模糊聚类分析及其应用[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994.

[3] 陈铁华, 陈启卷. 模糊聚类分析在水电机组故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 43-47.

[4] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

[5] Roditty L, Zwick U. Improved dynamic reachability algorithms for directed graphs[J]. SIAM Journal on Computing, 2008, 37(5): 1455-1471.

[6] 李俊峰, 戴文战. 基于夹角余弦的油浸式变压器故障诊断研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(12): 1302-1304.

[7] Camil Demetrescu, Giuseppe F Italiano. Maintaining dynamic matrices for fully dynamic transitive closure[J]. Algorithmica, 2008, 51(4): 387-427.