

# 一种基于数据融合的电能耗奖惩系统<sup>①</sup>

刘玉苹, 罗安, 孟金岭

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

**摘要:** 提出了一种基于数据融合的电能耗奖惩系统。该系统采用灰色系统方法建立 GM(1,1) 预测模型对历史数据缺失值进行补救, 并引入聚类融合方法, 定义了欧式距离矩阵, 通过最小距离聚类方法确定各传感器之间的融合次序, 提高融合结果的客观性。以融合后的数据为基础确定用电单耗定额后, 采用引入分级奖惩制度的电能耗奖惩模型对企业各车间进行节奖超罚。工程应用结果表明该系统实用性强, 可靠性高。

**关键词:** 分级奖惩; 数据融合; 最小距离聚类; 缺失数据补救

## Power Rewards System Based on Data Fusion

LIU Yu-Ping, LUO An, MENG Jin-Ling

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** A power rewards system based on data fusion is proposed in this paper. In this system, a grey dynamic model is used to compensate the missing data by building a GM(1,1) forecast model. And a method of clustering fusion for multi-sensors data is introduced to improve the objectivity of data fusion, the method defines the Euclidean distance matrix and determines the orders of sensor fusion according to the minimum distance clustering. The standard value of the unit electricity consumption is obtained on the basis of data fusion, then the power consumption rewards model is used to give rewards or punishment to the corporation workshops. The application results indicate that the system is effective and reliable.

**Key words:** classification rewards; data fusion; minimum distance clustering; missing data compensation

随着国家对大中型工业企业节能降耗要求的不断提高, 电能消耗已经成为工业企业越来越关注的焦点。但是目前大部分生产企业的电能管理还处于粗放式阶段, 管理节能措施不够完善, 激励措施不够健全, 员工自主节电意识淡薄, 电能利用效率相对落后, 严重限制了企业生产效率的提高<sup>[1,2]</sup>。因此, 采用先进的电子、通信和计算机技术建立一套电能耗奖惩管理系统无疑是企业节能降耗、强化电能管理工作的一种重要手段。

数据是电能耗奖惩系统的最基本也是最重要的组成部分, 对数据的处理也是该系统的核心部分, 只有通过数据较为精确的处理, 提供给奖惩管理系统, 才能最终实现节能的目标。因此本文提出了一种基于数据融合的电能耗奖惩系统, 利用最小距离聚类法确

定各传感器的融合次序, 避免了受主观因素作用的关系矩阵, 提高了数据融合结果的客观性, 为能耗奖惩提供尽可能真实可靠的数据源。

## 1 系统总体设计及其关键技术

基于数据融合的电能耗奖惩系统采用微机保护、智能电力仪表及分层分布式结构、面向对象的系统设计方式。如图 1 所示, 它主要由两级构成: 现场总线网络完成对企业配电网底层设备和输配电线路的自动监视、测量、联动控制, 以及与车间级监控主机系统通信等综合性的自动化功能; 企业级内部高速计算机局域网实现高、中压变配电站及车间级监控主机之间的高层信息共享, 实现配电网、用电系统智能化监控系统的集成。

① 基金项目: 国家自然科学基金(60774043); 国家高技术研究发展计划(863)(2004AA001032)

收稿时间: 2011-01-12; 收到修改稿时间: 2011-02-26

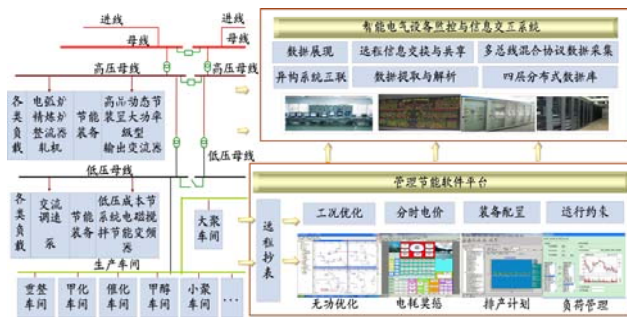


图 1 系统总体框图

### 1.1 缺失值的处理

由于各电能监测终端读表的同步偏差、传输错误、特殊事件冲击等引起的异常变化容易导致数据缺失，影响电能耗奖惩系统的精确度。因此，为了保证历史数据的有效性和完整性，必须对缺失的数据加以补救。

本系统采用一种灰色系统方法<sup>[3,4]</sup>来解决历史电能耗数据的缺失问题，该方法通过建立 GM (1,1) 预测模型，来得到最后的缺失值预测值<sup>[5]</sup>。

假设监测得到 n 个数据，而第 n+1, n+2, n+3 个数据为缺失数据，且把前 n 个数据记为记为原始序列：

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$$

则应用 GM (1,1) 模型进行缺失值预测的基本步骤如下：

(1) 对原始序列  $X^{(0)}$  作一次累加生成处理得：

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)]$$

其中

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \\ k = 1, 2, \dots, n$$

(2) 确定序列  $X^{(1)}$  的紧邻均值生成序列

$$Z^{(1)} = [z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)]$$

其中

$$z^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k-1) + x^{(1)}(k)}{2} \\ k = 2, 3, \dots, n$$

(3) 构造累加矩阵 B 和常数向量 Y

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

(4) 用最小二乘法求灰参数

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

(5) 由 a, b 求解模型  $x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b$  的白化微

分方程  $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$  得时间响应序列

$$x^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ k = 1, 2, \dots, n$$

(6) 作一阶累减还原得原始数列  $X^{(0)}$  的模拟值为：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ k = 1, 2, \dots, n$$

分别令  $k=n+1, n+2, n+3$  即可以确定 3 个缺失数据的拟合值  $\hat{x}^{(0)}(n+1), \hat{x}^{(0)}(n+2), \hat{x}^{(0)}(n+3)$ 。

### 1.2 聚类融合

数据融合是指利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程<sup>[6]</sup>。

针对该系统中的数据来源具有分散性、海量性和异构性的特点，本文采用了一种多传感器数据的聚类融合方法<sup>[7-9]</sup>。该算法采用欧氏距离来定义距离矩阵，通过最小距离聚类方法确定相互支持的传感器组，可以较好地避免受主观因素作用的关系矩阵，提高了数据融合结果的客观性和精确度。

假设有 N 个传感器，每个传感器分别测量 M 个数，记为

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) \\ i = 1, 2, \dots, n$$

定义任意两个传感器  $X_p, X_l$  之间的距离为欧氏距离：

$$d_{pl} = \left[ (X_p - X_l)^T (X_p - X_l) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

则所有传感器之间的距离可用距离矩阵 D 表示：

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

聚类融合法的实质即由矩阵 D 中个各传感器之间的距离确定它们之间的融合次序，再按次序进行融合，融合算法如下<sup>[5]</sup>：

1) 将每组测量数据  $X_i$  记为一类  $\pi_i$ ，选择矩阵  $D$  中除去 0 之外的最小元素  $d_{ij}$ ，将  $\pi_i, \pi_j$  合并为一个新的类，记为  $\pi_f = (\pi_i, \pi_j)$ ，在  $D$  中消去第  $\pi_i, \pi_j$  所对应的行和列后，加入新类  $\pi_f$  与剩余的其它未合并的距离所组成的 1 行和 1 列，得到新的距离矩阵  $D_{(1)}$

2) 由  $D_{(1)}$  重复第一步的做法得到  $D_{(2)}$ ，不断重复，直到  $n$  组测量数据聚为一个大类为止

3) 记下每一步选择的最小元素以及合并个体的编号，对新类  $\pi_f = (\pi_i, \pi_j)$  进行融合，融合公式为：

$$f(x_{i_l}, x_{j_l}) = \frac{\lambda(x_{i_l} + x_{j_l}) + (\lambda - 1)x_{i_l} \cdot x_{j_l}}{1 + \lambda^2 - (\lambda - 1)^2(x_{i_l} + x_{j_l} - 2x_{i_l} \cdot x_{j_l})} \quad (3)$$

其中  $\lambda$ ，为大于 1 的实数， $f(x_{i_l}, x_{j_l})$  表示传感器  $i, j$  的测量数据的第  $l$  个分量融合后的值。

### 1.3 分级奖惩模型

为了有效调动员工的节电积极性，做到考核有定额，节超有奖罚，本文建立了一个先进的、有效的、通用的智能企业电耗奖惩模型<sup>[10]</sup>。

定义第  $i$  个车间第  $j$  月的用电单耗为  $q_{ij}$ ：

$$q_{ij} = Q_{ij} / G_{ij}$$

$$Q_{ij} = Q_{ij}(F) + Q_{ij}(Z)$$

其中：

$Q_{ij}$  为第  $i$  车间第  $j$  月的总用电量

$G_{ij}$  为第  $i$  车间第  $j$  月的产品总产量

$Q_{ij}(F)$  为第  $i$  车间第  $j$  月的辅助生产用电

$Q_{ij}(Z)$  为第  $i$  车间第  $j$  月的直接生产用电

假设第  $i$  车间第  $j$  月的单耗定额为  $q_{ij}(0)$ ，实际用电单耗为  $q_{ij}$ ，定义  $\Delta q_{ij} = q_{ij} - q_{ij}(0)$  为第  $i$  车间第  $j$  月的单耗节电量，取阶梯值为  $p$ ，对差额电量  $\Delta q_{ij}$

按阶梯值  $p$  进行分级，共分为  $N$  级， $N = \lceil \frac{\Delta q_{ij}}{p} \rceil + 1$ 。

当某车间的实际单耗用电量超过单耗定额时，引入惩罚系数  $c$ ，则对  $\Delta q_{ij}$  中第  $n$  级的惩罚金额即为  $npc$  元。由此可得对该车间的惩罚总金额为：

$$M_p = |\Delta q_{ij}|c + (|\Delta q_{ij}| - p)c + \dots + (|\Delta q_{ij}| - np)c$$

$$= (n+1)|\Delta q_{ij}|c - \frac{n(n+1)}{2}pc$$

$n=1, 2, \dots, N$

当某车间的实际单耗用电量低于单耗定额时，引入奖励系数  $d$ ，令  $d > c$ ，则  $\Delta q_{ij}$  中对第  $n$  级的奖励金额即为  $npc$  元。由此可得对该车间的奖励总金额为：

$$M_a = |\Delta q_{ij}|d + (|\Delta q_{ij}| - p)d + \dots + (|\Delta q_{ij}| - np)d$$

$$= (n+1)|\Delta q_{ij}|d - \frac{n(n+1)}{2}pd$$

$n=1, 2, \dots, N$

综上可得当第  $i$  个车间第  $j$  月的单耗节电量为  $\Delta q_{ij}$  时，其所得奖惩金额为  $M$ ：

$$M = \begin{cases} M_a, & \Delta q_{ij} < 0 \\ -M_p, & \Delta q_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

## 2 数据融合在电能耗奖惩系统中的应用

各车间的用电单耗定额是企业进行能耗奖惩的依据，而单耗定额的制定是基于各车间的历史电能耗数据的，因此为了提高能耗奖惩的精确度，本文采用聚类融合方法，对各车间的月用电总量及产品总产量两个参数进行融合，提高数据融合结果的客观性，为能耗奖惩系统提供可靠的数据源。

由于各车间生产任务、生产季度等客观因素的不同会导致各车间本身纵向用电量及产量的不确定性，为了得到某月最准确的用电量及产量，选取该月的及其前后两个月的数据同时加上上一年该月的数据，总计四组数据进行融合；若相近两个月的数据因生产任务等原因造成的差别很大，则选择该年内用电量及产量差别不是很大的月份的数据进行融合。

例如，某炼油厂某车间 2009 年 1 月，2 月，3 月及其 2008 年 2 月的数据如表 1 所示

表 1 历史数据

序号	1	2	3	4
时间	2009 年 1 月	2009 年 2 月	2009 年 3 月	2008 年 2 月
用电量 (万 kwh)	207	205	193	201
产量 (万吨)	1.21	1.18	1.20	1.06

现采用聚类融合方法对该车间 2009 年 2 月的数据进行融合，显然， $N=4, M=2$ ，取  $\lambda=1.0001$ 。

由式 (1)、式 (2) 可得距离矩阵如下：

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 206 & 199.88 & 203.98 \\ 0 & 0 & 198.91 & 202.99 \\ 0 & 0 & 0 & 196.96 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

可以看出  $D$  中最小元素为  $d_{34}=196.96$ ，所以将  $\pi_3,$

$\pi_4$  合并为新类  $\pi_5$ , 求  $\pi_5$  与剩下的类的距离

$$d_{51} = \min \{d_{31}, d_{41}\} = 199.88$$

$$d_{52} = \min \{d_{32}, d_{42}\} = 198.91$$

在  $D$  中消去  $\pi_3$ ,  $\pi_4$  对应的行和列后, 加上  $\pi_5$  和  $\pi_1, \pi_2$  的距离所对应的行和列得到

$$D_{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & 206 & 199.88 \\ 0 & 0 & 198.91 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

重复上述步骤, 直到归并为一个大类, 并利用式

(3), 先融合  $X_3, X_4$ , 得到  $f(x_{31}, x_{41})=196.9242$ ,  $f(x_{32}, x_{42})=1.13$ , 所以  $X_5=(196.92, 1.13)^T$ , 同理融合  $X_5, X_2$  得  $X_6=(200.88, 1.155)^T$ , 融合  $X_6, X_1$  得到  $X_7=(203.86, 1.18)^T$ , 由此可得融合后的 2009 年 2 月份的用电量为 203.86 万 kwh, 产量为 1.13 万吨。

以融合后的数据为样本数据, 综合考虑各种因素确定用电单耗定额后, 即可采用引入分级奖惩制度的电耗奖惩模型对企业各车间进行分级奖惩。

### 3 工程应用

本文提出的基于数据融合的电能耗奖惩系统已在某炼油厂投入应用, 系统采用 Delphi7.0 进行软件开发, 拥有友好美观的界面, 操作简单, 运行可靠, 实现了节能降耗、提高生产效率目的。如表 2 所示, 该厂 2007 年各车间平均节约电能百分比为 0.7%, 很大程度上节约了全企业的能源消耗, 明显达到了预期的经济效益。

下图中, 图 2 为系统主界面, 图 3 为奖惩结果输出界面:

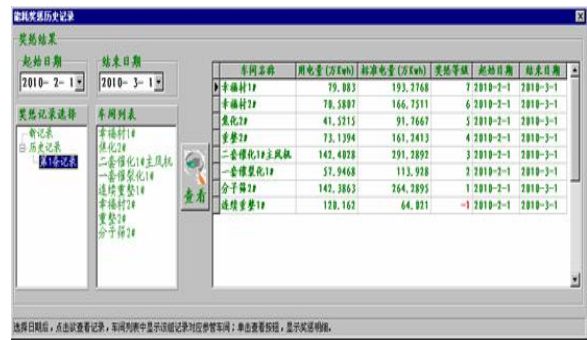


图 2 系统主界面

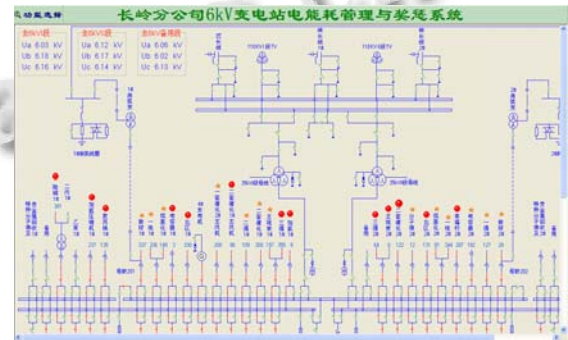


图 3 奖惩结果输出界面

### 4 结论

本文提出的电能耗奖惩系统在采用灰色系统方法对历史电能耗数据进行预处理的基础上, 引入了一种多传感器数据的聚类融合方法, 该方法采用欧式距离来定义距离矩阵, 通过最小距离聚类方法确定各传感器之间的融合次序, 提高了数据融合结果的客观性; 建立了一套先进有效的分级奖惩模型, 通过引入竞争机制, 充分调动了员工的自主节电意识, 实现了管理节能的目标。

表 2 节能前后用电量比较

车间	1#常压	1#催化	焦化	北区	加氢	二循	大聚	四循	重整	动力
节能前 (万 kwh)	2495.25	4318.70	2156.44	2263.63	4185.46	2561.89	3505.79	2972.76	2535.53	2155.58
节能后 (万 kwh)	2477.78	4288.47	2141.34	2247.78	4156.16	2543.96	3481.25	2951.95	2517.78	2140.49
节约电能	17.47	30.23	15.10	15.85	29.30	17.93	24.54	20.81	17.75	15.09

各车间平均节约电能百分比: 0.7%

### 参考文献

1 于尔铿, 周京阳, 刘广一, 等. 能量管理系统(EMS)的技术发展. 中国电力, 1997, 30(8): 3-5.

2 林庆农, 等. 新一代能量管理系统设计. 电力系统自动化, 1999, 23(17): 45-47.

3 邓聚龙. 灰理论基础. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003: 2-4.

(下转第 138 页)

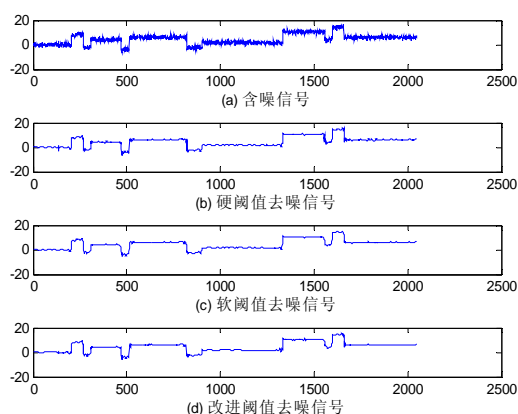


图3 三种去噪方法的仿真实验结果

根据去噪优劣效果指标得到三种小波阈值函数对含噪信号的去噪效果如表1所示:

表1 三种小波阈值函数对信号的去噪效果

	硬阈值函数	软阈值函数	改进阈值函数
$\varepsilon$	0.0152	0.0102	0.0088
$RSNR$	21.3138	21.6795	22.7131

表中数据是根据去噪效果优劣指标给出的方差误差和去噪信号信噪比定义在 MATLAB 中计算得到,在方差误差  $\varepsilon$  极小准则和信噪比  $R_{SNR}$  极大准则下,可以看到改进阈值函数的小波去噪效果比软硬阈值函数的小波去噪效果要好。因此,改进小波阈值函数的去噪是有效的。

#### 4 结论

本文采用 DSP 作为信号处理单元,采用改进的小波阈值函数对信号进行去噪处理,通过对比软、硬阈

值函数,仿真结果表明改进阈值函数的小波去噪能够提高去噪效果,为提高温度信息的准确度提供了保障,更加满足分布式测温系统的要求。随着 DSP 器件的飞速发展,以及新的信号处理方法的应用,将会大大简化系统的结构,提高系统的空间分辨率和温度分辨率。

#### 参考文献

- 江毅.高级光纤传感技术.北京:科学出版社,2009.292-295.
- Adachi S. Distributed Optical Fiber Sensors and Their Applications. IEEE, SICE Annual Conference, 2008. 329-333.
- 戚风云,赵乐军,周又玲.基于 DSP 的分布式光纤测温系统及高速数据采集与处理.今日电子,2005,7:68-70.
- Lee C, Suh K, Landry T. The Implementation of Self Calibration Techniques in Raman Backscatter based Fiber Optic Distributed Temperature System (DTS) Technology. IEEE, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008.1-6.
- 黎敏,廖延彪.光纤传感器及其应用技术.武汉:武汉大学出版社,2008.156-157.
- 孙延奎.小波分析及其应用.北京:机械工业出版社,2005. 52-53.
- 胡广书.现代信号处理教程.北京:清华大学出版社, 2004. 397-345.
- 张斌,王彤,谷传纲,戴正元.改进的小波阈值消噪法在湍流信号处理中的应用.工程热物理学报,2009,30(3):401-407.
- 张德丰. Matlab 小波分析与工程应用.北京:国防工业出版社,2008.186-214.
- 滕召胜,等.基于数据融合的某产品热处理温度测量控制系统.兵工学报,2000,21(2):145-148.
- 项新建.基于多传感器数据融合的粮食仓库温度监测系统.仪器仪表学报,2003,24(5):525-527.
- 吴芳慈,罗安,等.一种引入电量预测与竞争因子的电耗奖惩方法.电工电能新技术,2010,29(3):58-62.

(上接第181页)

- 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及其应用.第三版.北京:科学出版社,2004.
- 王天营,沈菊华.样本数据缺失的灰色补救方法.统计与决策,2008,22:7-10.
- 杨国胜,等.数据融合及其应用.北京:兵器工业出版社, 2004.1-11.
- 万树平.多传感器数据的聚类融合方法.系统工程理论与实