



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113486742 A

(43) 申请公布日 2021. 10. 08

(21) 申请号 202110697516.6

(22) 申请日 2021.06.23

(71) 申请人 陕西工业职业技术学院

地址 712000 陕西省咸阳市文汇西路12号

(72) 发明人 周新涛 张文亭 王啸宇 王艳婷

崔亚辉

(74) 专利代理机构 陕西增瑞律师事务所 61219

代理人 孙卫增

(51) Int. Cl.

G06K 9/00 (2006.01)

G06F 17/16 (2006.01)

权利要求书4页 说明书10页 附图4页

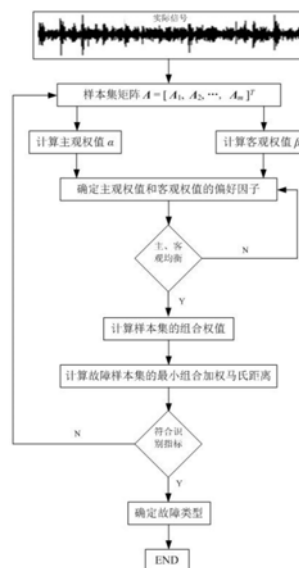
(54) 发明名称

一种故障识别方法、装置、系统及计算机可读存储介质

(57) 摘要

本发明提供了一种故障识别方法、装置、系统及计算机可读存储介质,包括:获取故障样本集;基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重β的最优值;基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值α最优值;计算出故障样本集的的组合权值ζ;基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;根据同类故障特征之间的最小组合加权马氏距离值最小的基本原理,用计算得出的最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。本发明中的故障特征信息识别算法,能对齿轮箱或混联齿轮传动系统中齿轮的早期故障产生预警作用,以保障齿轮系统安全运行。

CN 113486742 A



1. 一种故障识别方法,其特征在于,包括:

获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;

基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;

基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值;

计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;

基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;

根据同类故障特征之间的最小组合加权马氏距离值最小的基本原理,用计算得出的最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。

2. 根据权利要求1所述的一种故障识别方法,其特征在于,所述基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值,其计算过程包括如下步骤:

建立结构模型:

根据故障样本集特征信息,建立决策问题的结构模型;

得出各层次的权值集向量:决策目标层的权重集 $A_1 = [Au_1, Au_2, Au_3]^T$;决策准则层的权重集 $Au_1 = [u_{11}, u_{12}, u_{13}]^T, Au_2 = [u_{21}, u_{22}, u_{23}]^T, Au_3 = [u_{31}, u_{32}, u_{33}]^T$;

主观权值的计算流程,如下:

计算出各层的比较矩阵P,计算方式如下:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{A\mu_1}{A\mu_1} & \frac{A\mu_1}{A\mu_2} & \frac{A\mu_1}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_2}{A\mu_1} & \frac{A\mu_2}{A\mu_2} & \frac{A\mu_2}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_3}{A\mu_1} & \frac{A\mu_3}{A\mu_2} & \frac{A\mu_3}{A\mu_3} \end{bmatrix};$$

分别计算各个判断矩阵各层的优先级向量W并将其标准化,

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_1}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} & \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_2}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} & \dots & \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_n}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} \end{bmatrix}^T$$

式中,n为对应判断矩阵的维数;

分别对各个判断矩阵 P_i 进行一致性检查,其计算式CR如下所示:

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n - 1)} < 0.1$$

式中, λ_{max} 为对应判断矩阵的最大特征根,n为对应判断矩阵的维数,RI为平均随机一致性指标;

计算结构模型的综合优先级向量,如下表所示:

决策因素	Au ₁	Au ₂	...	Au _n	综合优先级向量
	W ₁	W ₂	...	W _n	
I	Wp ₁₁	Wp ₁₂	...	Wp _{1n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p1i}$
II	Wp ₂₁	Wp ₂₂	...	Wp _{2n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p2i}$
III	Wp ₃₁	Wp ₃₂	...	Wp _{3n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p3i}$

计算最优的主观权值 α ,

$$\alpha = [\sum_{i=1}^n W_i W_{p1i} \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{p2i} \quad \cdots \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{pni}]^T$$

3. 根据权利要求1所述的一种故障识别方法,其特征在於,所述基於信息熵法计算出每个所述指标素的最优客观权重值 β 包括如下步骤:

假设有n个样本,含m个决策指标的原始矩阵A,且 $A = [A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m]^T$,则在矩阵A中第i个样本的第j个指标所对应的属性值为 a_{ij} ;原始矩阵A计算方法为:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{in} \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

确定原始矩阵A的正向指标 A^+ 和负向指标 A^- ,并将其归一化处理,正向指标集计算方法为:

$$A^+ = \frac{a_{ij} - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

负向指标集计算方法为:

$$A^- = \frac{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - a_{ij}}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

计算出第i个样本在第j个指标中所占据的比重 p_{ij} ,其计算方法如下式所示:

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

计算出第j个指标的信息熵 e_j ,其计算方法如下式所示:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n (p_{ij}) \ln (p_{ij})$$

计算出样本的第j个指标的客观权重值 β ,其计算方法如下式所示:

$$\beta = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^m (1-e_j)} \quad \circ$$

4. 根据权利要求1所述的一种故障识别方法,其特征在于,所述计算出故障样本集的组合权值 ζ ,其计算方法如下式所示:

$$\zeta_j = \frac{\alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}{\sum_{j=1}^n \alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}$$

式中, α 为主观权重值, β 为客观权重值, λ 为偏好因子, $0 \leq \lambda \leq 1$,当 λ 小时组合权重偏向于 α ,当 λ 大时组合权重偏向于 β 。

5. 根据权利要求1所述的一种故障识别方法,其特征在于,所述计算各故障样本集最小的组合加权马氏距离值,其计算过程包括如下步骤:

计算故障特征样本的马氏距离值 D_{Maha} ,其计算方法如下式所示:

$$D_{Maha} = \sqrt{(X - \mu_Y)^T C_Y^{-1} (X - \mu_Y)}$$

其中, μ_Y 为故障特征的均值向量, C_Y 为故障特征的协方差矩阵;

计算故障特征样本的组合加权马氏距离 $D_{Maha}^{\mathfrak{S}}$

在马氏距离的基础上,将故障特征样本进行组合加权,得出组合加权马氏距离值 $D_{Maha}^{\mathfrak{S}}$,其计算方法如下式所示:

$$D_{Maha}^{\mathfrak{S}} = \sqrt{(X - \mu_Y)^T \mathfrak{S} C_Y^{-1} \mathfrak{S} (X - \mu_Y)}$$

$$\mathfrak{S}_i = \text{diag}(\sqrt{\zeta_1}, \sqrt{\zeta_2}, \dots, \sqrt{\zeta_m})$$

式中, \mathfrak{S} 为权值矩阵, ζ 为组合权值。

6. 根据权利要求1-5任一项所述一种故障识别方法的装置,其特征在于,包括:

获取模块,所述获取模块获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;

第一计算模块,所述第一计算模块基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;

第二计算模块,所述第二计算模块基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值;

第三计算模块,所述第三计算模块用于计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;

第四计算模块,所述第四计算模块基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;

识别模块,所述识别模块根据同类故障特征之间的最小组合加权马氏距离值最小的基

本原理,用计算得出的最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。

7.一种故障识别系统,其特征在于,包括存储器和处理器;所述存储器,用于存储计算机程序;当所述处理器执行所述计算机程序时,实现如权利要求1-5任一项所述的一种故障识别方法。

8.一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述存储介质上存储有计算机程序,当所述计算机程序被处理器执行时,实现如权利要求1-5任一项所述的一种故障识别方法。

一种故障识别方法、装置、系统及计算机可读存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及故障特征识别与诊断技术领域,特别是涉及一种故障识别方法、装置、系统及计算机可读存储介质。

背景技术

[0002] 目前,对于机械设备在产生故障之初(早期故障),故障特征信息被周围环境的干扰信息所淹没,容易被设备运行监测人员忽视。致使机械设备产生的早期故障不能被有效识别,使故障进一步恶化,直至产生重大故障而停机,或者引起重大伤亡事故时才被发现,而此时已带来了不可挽回的经济损失。因此,必须采用一种有效方法,将设备的早期故障特征信息从各类干扰信息中完整的、准确的识别来,并及时提醒设备监测人员对设备中故障零部件进行调整和维护等工作,从而降低事故的发生概率。

[0003] 当前,对早期微弱故障特征识别的最有效方法是马氏距离法,根据的振动状态来判断故障的特性。该法采用数据之间的协方差距离,用来计算两种未知样本与特征样本的集相似度的一种有效方法,当未知样本与特征样本集的协方差的距离较小时,该未知样本与特征样本间的相似程度就越大。反之,其相似性的程度就越小。另外,马氏距离判别法具有线性不变形(与度量单位无关),且也与尺度无关等特性,利用这些特性在实际故障识别与诊断中有着广泛的应用空间。该法将各个特征元素指标之间的相互关系均纳入到考虑范围内,也能排除特征变量之间的相关性的干扰。并且,马氏距离的计算摆脱了各参数量纲的影响,使其独立于特征测量的尺度上,故对故障特征诊断的结果具有较高的准确性等方面的优势。但是,该法在判别的过程中夸大了作用比较微弱的样本的重要性,从而使最终的计算结果失去了实际的指导意义。该算法所具有的这个问题,是由算法本身的属性所决定。因此,若要解决这个问题,需要对马氏距离的算法做相应改进。

[0004] 为了解决上述算法,在判别过程中夸大了作用比较微弱样本的重要性方面存在的问题。本发明采用信息熵法和层次分析法对根据故障样本集中个样本的重要程度进行组合加权,以克服马氏距离法在故障判别过程中对样本重要性区分度不足的缺陷,并开发出一套能实现齿轮微弱故障特性识别的一套完整的方法。

发明内容

[0005] (一)解决的技术问题

[0006] 针对当前机械设备故障微弱振动特征识别技术的不足,本发明提供了一种故障识别方法,用以解决将机械设备故障微弱振动特征,从动态系统的随机振动信息以及干扰信息中有效识别来,且能保证特征信息识别的准确性。

[0007] (二)技术方案

[0008] 本发明提供了一种故障识别方法,包括:

[0009] 获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;基于层

次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值;计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;根据同类故障特征之间的最小组合加权马氏距离值最小的基本原理,用计算得出的最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。

[0010] 进一步的,所述基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值,其计算过程包括如下步骤:

[0011] 建立结构模型:

[0012] 根据故障样本集特征信息,建立决策问题的结构模型;

[0013] 得出各层次的权值集向量:决策目标层的权重集 $A_1 = [Au_1, Au_2, Au_3]^T$;决策准则层的权重集 $Au_1 = [u_{11}, u_{12}, u_{13}]^T, Au_2 = [u_{21}, u_{22}, u_{23}]^T, Au_3 = [u_{31}, u_{32}, u_{33}]^T$;

[0014] 主观权值的计算流程,如下:

[0015] 计算出各层的比较矩阵 P ,计算方式如下:

$$[0016] \quad P = \begin{bmatrix} \frac{A\mu_1}{A\mu_1} & \frac{A\mu_1}{A\mu_2} & \frac{A\mu_1}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_2}{A\mu_1} & \frac{A\mu_2}{A\mu_2} & \frac{A\mu_2}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_3}{A\mu_1} & \frac{A\mu_3}{A\mu_2} & \frac{A\mu_3}{A\mu_3} \end{bmatrix};$$

[0017] 分别计算各个判断矩阵各层的优先级向量 W 并将其标准化,

$$[0018] \quad W = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_1}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} & \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_2}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} & \dots & \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_n}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}} \end{bmatrix}^T$$

[0019] 式中, n 为对应判断矩阵的维数;

[0020] 分别对各个判断矩阵 P_i 进行一致性检查,其计算式 CR 如下所示:

$$[0021] \quad CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n - 1)} < 0.1$$

[0022] 式中, λ_{max} 为对应判断矩阵的最大特征根, n 为对应判断矩阵的维数, RI 为平均随机一致性指标;

[0023] 计算结构模型的综合优先级向量,如下表所示:

决策因素	Au ₁	Au ₂	...	Au _n	综合优先级向量
	W ₁	W ₂	...	W _n	
I	Wp ₁₁	Wp ₁₂	...	Wp _{1n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p1i}$
II	Wp ₂₁	Wp ₂₂	...	Wp _{2n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p2i}$
III	Wp ₃₁	Wp ₃₂	...	Wp _{3n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p3i}$

[0025] 计算最优的主观权值α:

[0026]
$$\alpha = \left[\sum_{i=1}^n W_i W_{p1i} \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{p2i} \quad \cdots \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{pni} \right]^T$$

[0027] 进一步的,所述基于信息熵法计算出每个所述指标素的最优客观权重值β包括如下步骤:

[0028] 假设有n个样本,含m个决策指标的原始矩阵A,且A=[A₁,A₂,...,A_i,...,A_m]^T,则在矩阵A中第i个样本的第j个指标所对应的属性值为a_{ij};原始矩阵A计算方法为:

[0029]
$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{in} \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

[0030] 确定原始矩阵A的正向指标A⁺和负向指标A⁻,并将其归一化处理,正向指标集计算方法为:

[0031]
$$A^+ = \frac{a_{ij} - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

[0032] 负向指标集计算方法为:

[0033]
$$A^- = \frac{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - a_{ij}}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

[0034] 计算出第i个样本在第j个指标中所占据的比重p_{ij},其计算方法如下式所示:

[0035]
$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

[0036] 计算出第j个指标的信息熵e_j,其计算方法如下式所示:

$$[0037] \quad e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n (p_{ij}) \ln (p_{ij})$$

[0038] 计算出样本的第j个指标的客观权重值 β ,其计算方法如下式所示:

$$[0039] \quad \beta = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

[0040] 进一步的,所述计算出故障样本集的组合权值 ζ ,其计算方法如下式所示:

$$[0041] \quad \zeta_j = \frac{\alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}{\sum_{j=1}^n \alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}$$

[0042] 式中, α 为主观权重值, β 为客观权重值, λ 为偏好因子, $0 \leq \lambda \leq 1$,当 λ 小时组合权重偏向于 α ,当 λ 大时组合权重偏向于 β 。

[0043] 进一步的,所述计算各故障样本集最小的组合加权马氏距离值,其计算过程包括如下步骤:

[0044] 计算故障特征样本的马氏距离值 D_{Maha} ,其计算方法如下式所示:

$$[0045] \quad D_{Maha} = \sqrt{(X - \mu_Y)^T C_Y^{-1} (X - \mu_Y)}$$

[0046] 其中, μ_Y 为故障特征的均值向量, C_Y 为故障特征的协方差矩阵;

[0047] 计算故障特征样本的组合加权马氏距离 $D_{Maha}^{\mathfrak{N}}$

[0048] 在马氏距离的基础上,将故障特征样本进行组合加权,得出组合加权马氏距离值 $D_{Maha}^{\mathfrak{N}}$,其计算方法如下式所示:

$$[0049] \quad D_{Maha}^{\mathfrak{N}} = \sqrt{(X - \mu_Y)^T \mathfrak{Z} C_Y^{-1} \mathfrak{Z} (X - \mu_Y)}$$

$$\mathfrak{Z}_i = \text{diag}(\sqrt{\zeta_1}, \sqrt{\zeta_2}, \dots, \sqrt{\zeta_m})$$

[0050] 式中, \mathfrak{Z} 为权值矩阵, ζ 为组合权值。

[0051] 本发明提供了一种故障识别方法的装置,包括:

[0052] 获取模块,所述获取模块获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;

[0053] 第一计算模块,所述第一计算模块基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;

[0054] 第二计算模块,所述第二计算模块基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重 α 最优值;

[0055] 第三计算模块,所述第三计算模块用于计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;

[0056] 第四计算模块,所述第四计算模块基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;

[0057] 识别模块,所述识别模块根据同类故障特征之间的最小组合加权马氏距离值最小

的基本原理,用计算得出的最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。

[0058] 本发明提供了一种故障识别系统,包括存储器和处理器;所述存储器,用于存储计算机程序;当所述处理器执行所述计算机程序时,实现上述的一种故障识别方法。

[0059] 本发明提供了一种计算机可读存储介质,所述存储介质上存储有计算机程序,当所述计算机程序被处理器执行时,实现上述的一种故障识别方法。

[0060] (三)有益效果

[0061] 本发明提供了一种故障识别方法,包括:获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值;计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;根据最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。本发明中一整套的故障特征信息识别算法,能对齿轮箱或混联齿轮传动系统中齿轮的早期故障产生预警作用,以保障齿轮系统安全运行。

[0062] 本发明与现有加权马氏距离法识别故障特征信息技术相比,本发明的有益效果是:该套算法对机械动力学行为的微弱突变最为敏感,能更好的将微弱动力的特征信息从各类干扰信息中高效识别来,而且该法对有效特征信息的影响最小,能保证各类特征信息识别的准确性和有效性。另外,齿轮箱中的齿轮,在故障产生的初期就能将故障特征信息进行有效识别,并能给出相应的预警提示,其预警性能可以满足实际应用的要求。

[0063] 本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

[0064] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0065] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。

[0066] 图1为本发明实施例中一种故障识别方法的故障样本集决策结构模型建立的原理图。

[0067] 图2为本发明实施例中一种故障识别方法的层次分析法计算故障样本集主观权重值的流程图。

[0068] 图3为本发明实施例中一种故障识别方法的信息熵法计算故障样本集客观权重值的流程图。

[0069] 图4为本发明实施例中一种故障识别方法的组合加权马氏距离法计算故障样本集最小组合加权马氏距离值的流程图。

具体实施方式

[0070] 以下结合附图对本发明的优选实施例进行说明,应当理解,此处所描述的优选实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0071] 针对当前机械设备故障微弱振动特征识别技术的不足,本发明提供了一种故障识别方法,具体为一种基于信息熵和层次分析的组合加权马氏距离的故障识别方法,能有效将机械设备故障微弱振动特征,从动态系统的随机振动信息以及干扰信息中有效识别来,且能保证特征信息识别的准确性。

[0072] 本发明提供了一种故障识别方法,其实施方法包括如下步骤:

[0073] 1.采用层次分析法确定主观权重值:

[0074] 该法是将待决策的问题及其相关联的因素分解成目标层、准则层和方案层三层次,并由此对决策问题进行的定性分析与定量分析的一种决策方法。在此分析的基础上,利用较少的定量信息将决策问题数学化,能将多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。

[0075] 本发明中,采用层次分析法确定特征样本集的主观权重值,包括以下步骤:

[0076] (1)建立结构模型:

[0077] 根据故障样本集的特征,建立决策问题的结构模型,如图1所示。

[0078] 由该图可以得出各层次的权值集向量:决策目标层(决策目标层)的权重集 $A_1 = [A\mu_1, A\mu_2, A\mu_3]^T$;

[0079] 决策准则层(决策准则层)的权重集 $Au_1 = [u_{11}, u_{12}, u_{13}]^T, Au_2 = [u_{21}, u_{22}, u_{23}]^T, Au_3 = [u_{31}, u_{32}, u_{33}]^T$ 。

[0080] 其主观权重值的计算流程,如图2所示。

[0081] (2)确定各层的比较矩阵P:

[0082] 根据第(1)步中的权值矩阵,采用式(1-1)计算出各层的比较矩阵P。

$$[0083] \quad P = \begin{bmatrix} \frac{A\mu_1}{A\mu_1} & \frac{A\mu_1}{A\mu_2} & \frac{A\mu_1}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_2}{A\mu_1} & \frac{A\mu_2}{A\mu_2} & \frac{A\mu_2}{A\mu_3} \\ \frac{A\mu_3}{A\mu_1} & \frac{A\mu_3}{A\mu_2} & \frac{A\mu_3}{A\mu_3} \end{bmatrix} \quad (1-1);$$

[0084] (3)分别计算各个判断矩阵,各层的优先级向量W并将其标准化,如式(1-2)所示:

$$[0085] \quad W = \begin{bmatrix} \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_1}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}{\mu_i}} & \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_2}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}{\mu_i}} & \dots & \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_n}{\mu_i}}}{\sum_{j=1}^n \frac{n\sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{\mu_j}{\mu_i}}}{\mu_i}} \end{bmatrix}^T \quad (1-2)$$

[0086] 式中,n为对应判断矩阵的维数。

[0087] (4)分别对各个判断矩阵P(i)进行一致性检查,其计算式CR如式(1-3)所示:

$$[0088] \quad CR = \frac{\lambda_{max} - n}{RI(n - 1)} < 0.1 \quad (1-3)$$

[0089] 式中, λ_{max} 为对应判断矩阵的最大特征根,n为对应判断矩阵的维数,RI为平均随机一致性指标。

[0090] (5) 计算结构模型的综合优先级向量,如下表所示:

决策因素	Au ₁	Au ₂	...	Au _n	综合优先级向量
	W ₁	W ₂	...	W _n	
I	Wp ₁₁	Wp ₁₂	...	Wp _{1n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p_{1i}}$
II	Wp ₂₁	Wp ₂₂	...	Wp _{2n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p_{2i}}$
III	Wp ₃₁	Wp ₃₂	...	Wp _{3n}	$\sum_{i=1}^n W_i W_{p_{3i}}$

[0092] (6) 计算最优的主观权重值 α ,如式(1-4)所示:

[0093]
$$\alpha = [\sum_{i=1}^n W_i W_{p_{1i}} \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{p_{2i}} \quad \cdots \quad \sum_{i=1}^n W_i W_{p_{ni}}]^T$$

(1-4)。

[0094] 2. 采用信息熵法确定客观权重值:

[0095] 根据样本特征值的分布特性,采用信息熵法可以计算出决策样本的客观权重值。

[0096] 当样本中的某个属性稳定不变时,其该属性信息熵的值为1,则属性的权重(值)为0。

[0097] 权值为0时该样本属性对系统决策结果重要性的影响程度可忽略不计。

[0098] 反之,当样本中某个属性变化越复杂,其该属性信息熵的值越小,则属性的权重就越大。当设定指标的随机性较高时,信息熵值就会越大,该项指标对决策样本权重的重要程度较越高。反之,重要程度就越低。

[0099] 该法的计算流程图,如图3所示。

[0100] 本发明中,采用信息熵法确定特征样本集的客观权重值,包括以下步骤:

[0101] (1) 假设有n个样本,含m个决策指标的原始矩阵A,且 $A = [A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m]^T$,如式(2-1)所示。则在矩阵A中第i个样本的第j个指标所对应的属性值为 a_{ij} 。

[0102]
$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{in} \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

(2-1)

[0103] (2) 确定矩阵A的正向指标 A^+ 和负向指标 A^- ,并将其归一化处理,其数学表述式,如式(2-2)和式(2-3)所示:

[0104] 正向指标集:

$$A^+ = \frac{a_{ij} - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

[0105]

(2-2)

[0106] 负向指标集计算方法为:

$$A^- = \frac{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - a_{ij}}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}] - \min[a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}]}$$

[0107]

(2-3)

[0108] (3) 计算出第*i*个样本在第*j*个指标中所占据的比重 p_{ij} ,如式(2-4)所示:

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

[0109] (2-4)

[0110] (4) 计算出第*j*个指标的信息熵 e_j ,如式(2-5)所示:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n (p_{ij}) \ln (p_{ij})$$

[0111] (2-5)

[0112] (5) 计算出样本的客观权重值 β ,如式(2-6)所示:

$$\beta = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}$$

[0113] (2-6)

[0114] 3. 计算组合权值 ζ :

[0115] 分别采用信息熵法和层次分析法,计算出故障样本集的主观权重值和客观权重值,再采用式(3-1)的方法计算出故障样本集的组合权值 ζ :

$$\zeta_j = \frac{\alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}{\sum_{j=1}^n \alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}$$

[0116] (3-1)

[0117] 式中, α 为主观权重值, β 为客观权重值, λ 为偏好因子, $0 \leq \lambda \leq 1$,当 λ 小时组合权重偏向于 α ,当 λ 大时组合权重偏向于 β 。

[0118] 4. 计算故障特征样本的马氏距离:

[0119] 根据马氏距离原理,采用式(4-1)计算出各样本集的马氏距离值 D_{Maha} :

$$D_{Maha} = \sqrt{(X - \mu_Y)^T C_Y^{-1} (X - \mu_Y)}$$

[0120] (4-1)

[0121] 式中, μ_Y 为故障特征的均值向量, C_Y 为故障特征的协方差矩阵。

[0122] 5. 计算故障特征样本的组合加权马氏距离 D_{Maha}^S :

[0123] 在马氏距离的基础上,将故障特征样本进行组合加权,得出组合加权马氏距离值

D_{Maha}^N , 其计算方法如式 (5-1) 和式 (5-2) 所示:

$$D_{Maha}^N = \sqrt{(X - \mu_Y)^T \mathfrak{S} C_Y^{-1} \mathfrak{S} (X - \mu_Y)} \quad (5-1)$$

$$\mathfrak{S}_i = \text{diag}(\sqrt{\zeta_1}, \sqrt{\zeta_2}, \dots, \sqrt{\zeta_m}) \quad (5-2)$$

[0126] 式中, \mathfrak{S} 为权值矩阵, ζ 为组合权值。

[0127] 本发明提供了一种故障识别方法的检测装置, 将一种故障识别方法以软件形式写入到检测装置中, 所述检测装置检测齿轮箱或混联齿轮传动系统中轮齿产生的微弱故障振动时, 将故障特征信息从各类噪声场中准确的识别来。

[0128] 本发明提供了一种故障识别设备, 包括存储器和处理器; 所述存储器, 用于存储计算机程序; 所述处理器, 用于当执行所述计算机程序时, 实现上述的一种故障识别方法。

[0129] 上述故障识别设备提到的存储器可以包括随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM), 也可以包括非易失性存储器 (Non-Volatile Memory, NVM), 例如至少一个磁盘存储器。可选的, 存储器还可以是至少一个位于远离前述处理器的存储装置。

[0130] 上述的处理器可以是通用处理器, 包括中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、网络处理器 (Network Processor, NP) 等; 还可以是数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现场可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。

[0131] 本发明提供了一种计算机可读存储介质, 所述存储介质上存储有计算机程序, 当所述计算机程序被处理器执行时, 实现上述的一种故障识别方法。其中, 所述的计算机可读存储介质, 如只读存储器 (Read-Only Memory, ROM)、随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)、磁碟或者光盘等。在上述实施例中, 可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用软件实现时, 可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载和执行所述计算机程序指令时, 全部或部分地产生按照本发明实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中, 或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输, 例如, 所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线 (例如同轴电缆、光纤、数字用户线 (DSL)) 或无线 (例如红外、无线、微波等) 方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质, (例如, 软盘、硬盘、磁带)、光介质 (例如, DVD)、或者半导体介质 (例如固态硬盘 Solid State Disk (SSD)) 等。

[0132] 本发明是一种基于信息熵和层次分析的组合加权马氏距离的故障识别方法, 其系统信号特征的识别流程, 如图4所示。

[0133] (1) 重置系统配置:

[0134] 在对信号特征识别前,先要将软件、硬件中的参数重置,消除软硬件中的参数记忆,减少软硬件参数对特征信息识别效果的影响。

[0135] (2) 计算实际信号序列的主观权重值 α :

[0136] 本发明采用层次分析法,为信号序列的主观权重值 α 提供准确的计算依据,降低了采用传统方法计算主观权重值 α 准确性较低的问题,由此减少了权重 α 对信号序列中各元素重要程度判别不利影响。

[0137] (3) 计算实际信号序列的客观权重值 β :

[0138] 本发明中用到的信息熵法具有能客观性反映出故障特征信号中,各序列重要程度真实情况提供准确决策的优势,能为故障信号序列计算出最优客观权重值 β 提供依据。

[0139] (4) 主观权重值 α 和客观权重值 β 的组合计算:

[0140] 在第(2)和第(3)步的基础上,已计算出实际信号序列的 α 和 β 的最优权值,再按照式(3-1)计算出故障序列的组合权值 ζ 。

[0141] (5) 计算故障信号序列的组合加权马氏距离值 D_{Maha}^N :

[0142] 在上述基础上,采用式(5-1)计算故障信号的组合加权马氏距离值 D_{Maha}^N ,并根据 D_{Maha}^N 判别故障特征类型。

[0143] 本发明提供了一种故障识别方法,包括:获取故障样本集;所述故障样本集为齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障样本集;基于信息熵法计算出故障样本集的客观权重 β 的最优值;基于层次分析法计算出故障样本集的主观权重值 α 最优值;计算出故障样本集的的组合权值 ζ ;基于组合加权马氏距离法,计算故障样本集的最小组合加权马氏距离值;根据最小组合加权马氏距离值识别齿轮箱或混联齿轮传动系统运行时轮齿产生的故障振动的故障类型。本发明中一整套的故障特征信息识别算法,能对齿轮箱或混联齿轮传动系统中齿轮的早期故障产生预警作用,以保障齿轮系统安全运行。

[0144] 本发明与现有加权马氏距离法识别故障特征信息技术相比,本发明的有益效果是:该套算法对机械动力学行为的微弱突变最为敏感,能更好的将微弱动力的特征信息从各类干扰信息中高效识别来,而且该法对有效特征信息的影响最小,能保证各类特征信息识别的准确性和有效性。另外,齿轮箱中的齿轮,在故障产生的初期就能将故障特征信息进行有效识别,并能给出相应的预警提示,其预警性能可以满足实际应用的要求。

[0145] 本发明与现有加权马氏距离法识别故障特征信息技术相比,本发明的有益效果是:该套算法对机械动力学行为的微弱突变最为敏感,能更好的将微弱动力的特征信息从各类干扰信息中高效识别来,而且该法对有效特征信息的影响最小,能保证各类特征信息识别的准确性和有效性。另外,齿轮箱中的齿轮,在故障产生的初期就能将故障特征信息进行有效识别,并能给出相应的预警提示,其预警性能可以满足实际应用的要求。

[0146] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

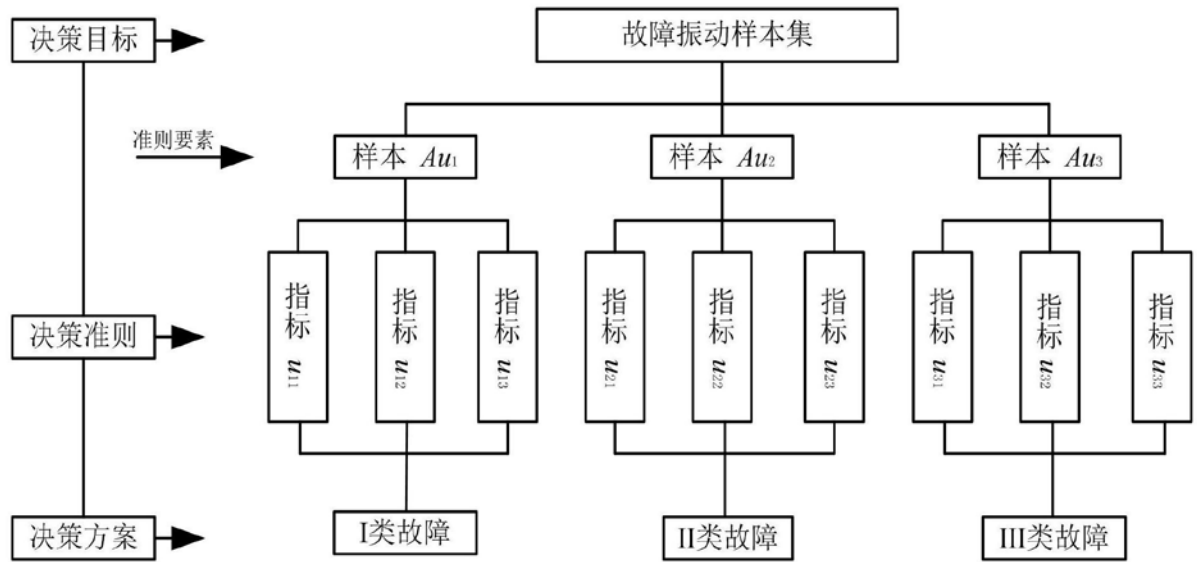


图1

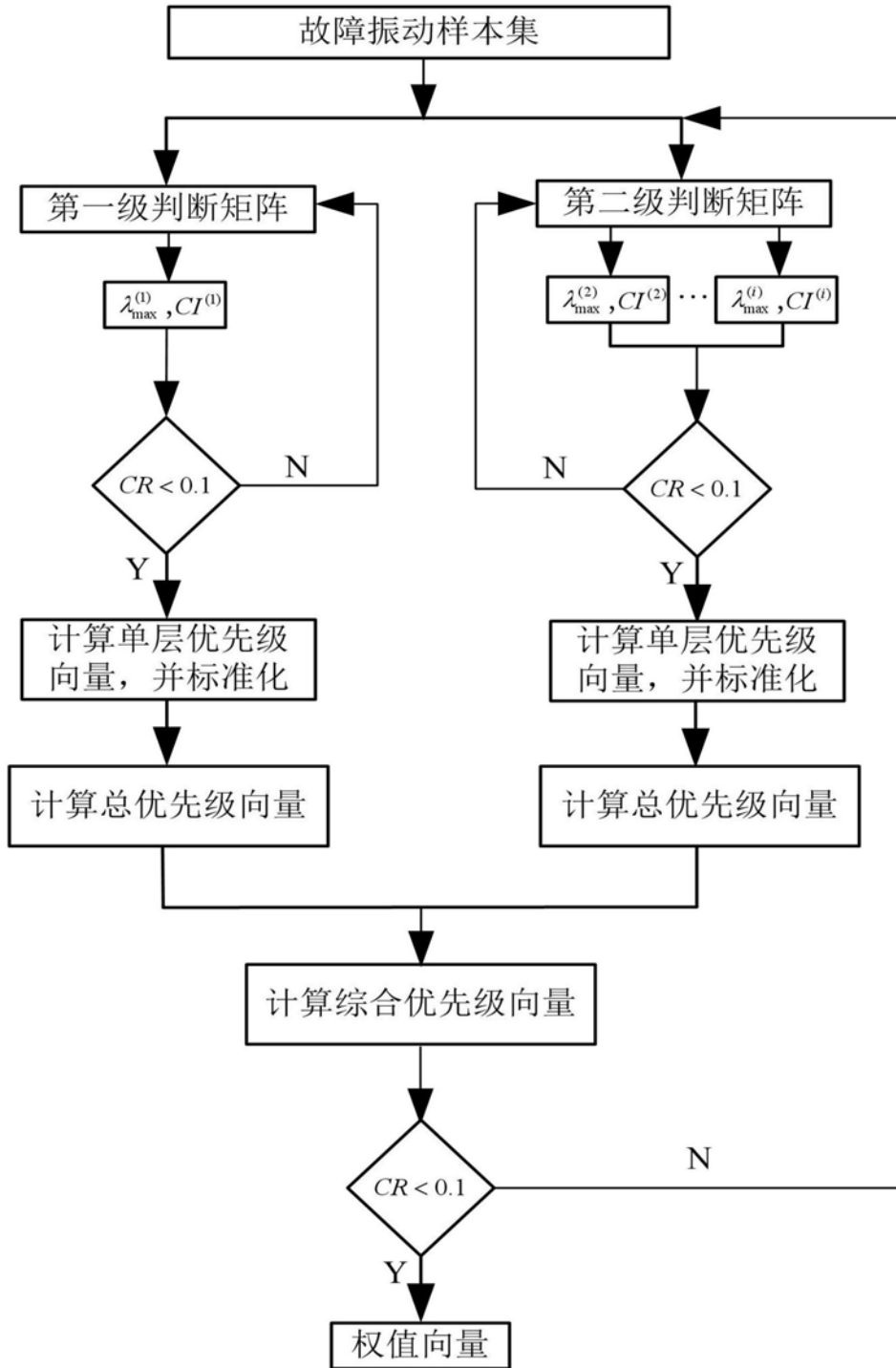


图2

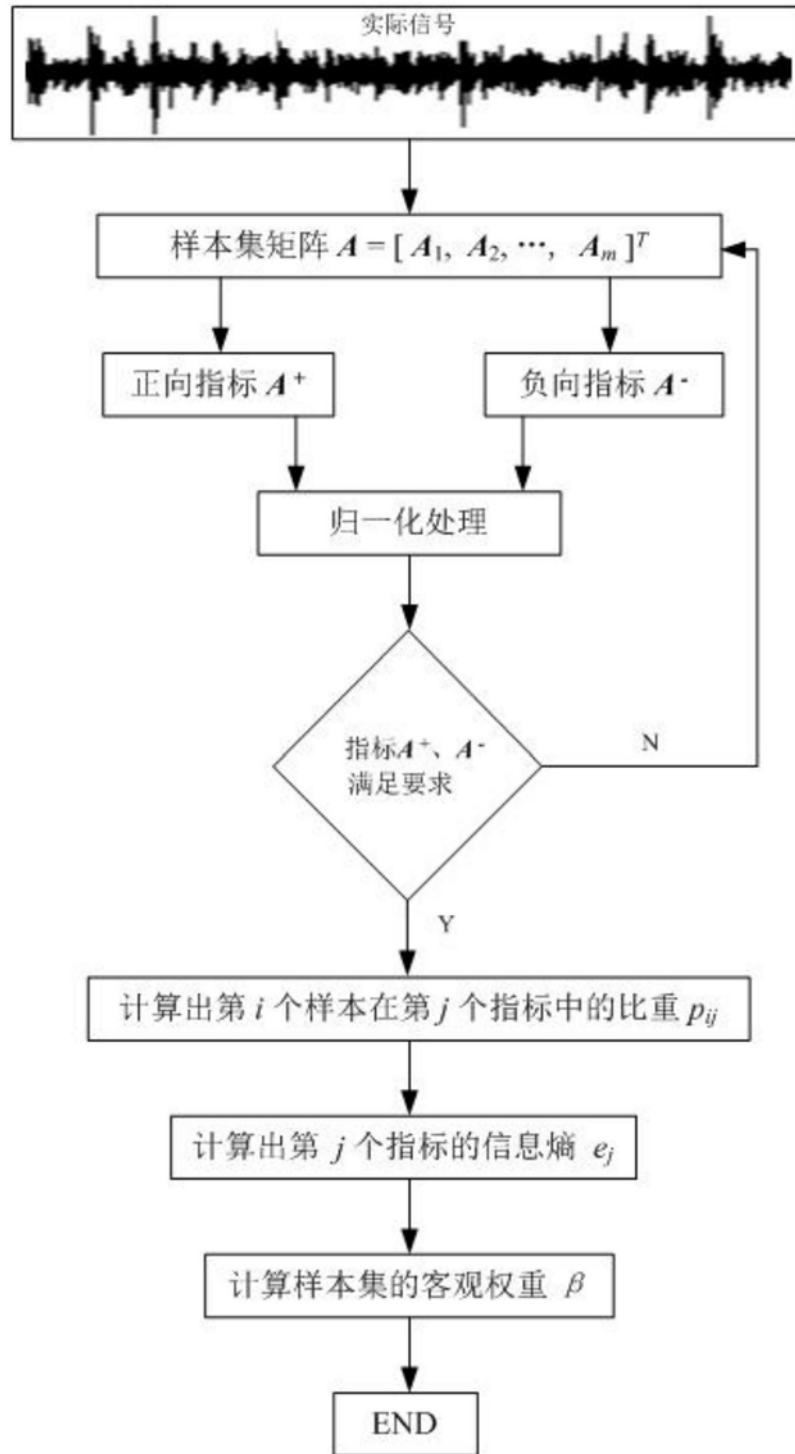


图3

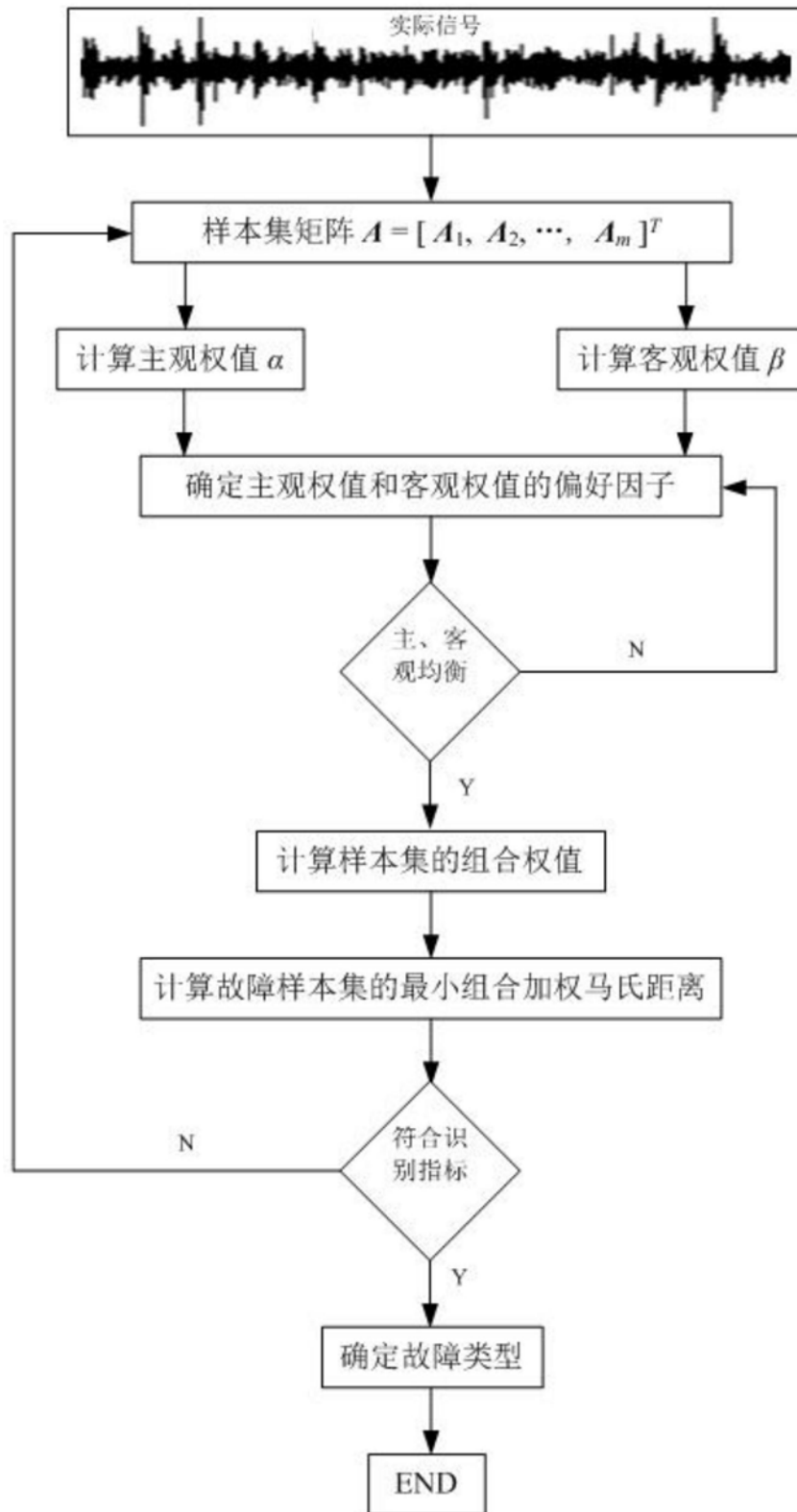


图4