



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101799533 A

(43) 申请公布日 2010.08.11

(21) 申请号 201010144762.0

(22) 申请日 2010.04.09

(71) 申请人 华北电力大学

地址 102206 北京市德胜门外朱辛庄华北电力大学

(72) 发明人 安连锁 王鹏 姜根山 沈国清

(74) 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246

代理人 黄家俊

(51) Int. Cl.

G01S 5/18(2006.01)

G01M 3/24(2006.01)

F22B 37/38(2006.01)

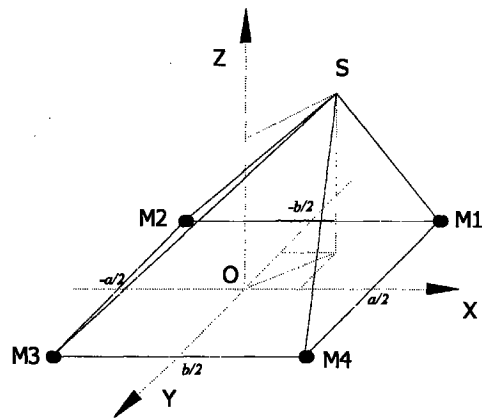
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 5 页

(54) 发明名称

平面四元阵列电站锅炉承压管泄漏定位方法

(57) 摘要

本发明公开了属于火力发电机组的锅炉管道泄漏探测定位技术领域的一种电站锅炉“四管”泄漏声测精确定位系统。根据电站锅炉的结构特点设计出了平面四元锅炉承压管泄漏精确定位传声器阵列及其在炉膛中的布置,通过最大似然广义互相关得到时间迟延估计,并采用十进制浮点编码自适应 Gaussian 高斯变异算法实现锅炉承压管泄漏的精确定位,具有高精度和稳健性。



1. 一种平面四元阵列电站锅炉承压管泄漏定位的方法,使用传声器收集锅炉内泄露信号,其特征在于,通过对四个传声器收集的声信号进行互相关处理确定泄漏位置,包括以下步骤:

步骤一:在锅炉膛中设计由第一传声器  $M_1$ 、第二传声器  $M_2$ 、第三传声器  $M_3$  和第四传声器  $M_4$  构成的平面声阵列,得到用于确定泄漏声源的双曲面定位方程组为:

$$||M_i-S||-||M_j-S|| = c \tau_{ij};$$

其中,  $M_i$ 、 $M_j$  为任意两个传声器的坐标,  $S$  为泄漏声源的坐标,  $c$  为有效声速,  $\tau_{ij}$  为该两个传声器收集声信号的时间延迟;

步骤二:通过最大似然广义互相关计算各路声信号之间的时间延迟估计;

加窗滤波后,两路声信号的互功率谱为:

$$G_{P_1 P_2}(f) = H_1(f)H_2^*(f)G_{x_1 x_2}(f),$$

对互功率谱函数进行傅里叶逆变换,得到互相关函数为:

$$\hat{R}_{x_1 x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{12} \hat{G}_{x_1 x_2}(f) e^{j2\pi f \tau} df$$

其中, ML 权函数  $\psi_{12} = H_1(f)H_2^*(f) = \frac{|\gamma(f)|^2}{|G_{x_1 x_2}(f)|(1-|\gamma(f)|^2)}$ ,  $|\gamma(f)|^2$  为两个传声器

采集声信号的模平方相干函数,表示为

$$|\gamma(f)|^2 = \frac{|G_{x_1 x_2}(f)|^2}{G_{x_1 x_1}(f)G_{x_2 x_2}(f)},$$

$G_{x_1 x_1}$  和  $G_{x_1 x_2}$  分别表示声信号的自功率谱和互功率谱;

步骤三:采用自适应 Gaussian 变异遗传算法对所述双曲面定位方程组进行优化。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述四个传声器在锅炉平面中以该平面中心为坐标原点对称分布,其坐标分别为  $M_1(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_2(-\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_3(-\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_4(\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0)$ , 其中,  $a$ ,  $b$  分别为所述平面声阵列的长度和宽度。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,采用自适应 Gaussian 变异遗传算法优化双曲面定位方程组包括以下步骤:

步骤 3-1:初始化变量的变化空间和进行编码;

依据所用传声器的探测半径确定变量的变化空间;采用浮点数编码方式,个体的每个基因值用某一范围内的一个浮点数来表示,个体的编码长度等于其决策变量的个数将每个染色体的基因  $X$ , 叠加与该分量相关的扰动偏差。

步骤 3-2:随机生成初始父代群体;

群体规模大小  $\text{popsize}(P_s) = 100$ , 其中  $P_s$  为种群数;分别在  $X$  向量各维分量的取值范围内以均匀分布随机地取值,得到初始解向量  $X_0$ , 并取  $\sigma$  向量赋初值  $\sigma_0 = 0.3$ 。

步骤 3-3:进行父代个体的适应度评价;

定义第  $i$  个父代个体的适应度函数值为：

$$F_i = \sum_{i=1}^{ps} f_i(x, y, z)^2 \quad i = 1, 2, \dots, ps$$

步骤 3-4 :进行父代个体的概率选择；

取比例选择方式,则个体  $i$  的选择概率为：

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{ps} F_i}$$

步骤 3-5 :进行父代个体的杂交；

事先给定杂交概率  $P_c = 0.8$ ,从种群中依上述方式选择两个个体,确定是否要进行交叉运算;若要进行交叉,则在  $[1, 2]$  区间内产生一个均匀分布的随机整数  $j_{\text{cross}}$ ,两个被选择的染色体交换第  $j_{\text{cross}}$  位基因后面的染色体片断；

步骤 3-6 :进行子代个体的变异；

搜索的每个解向量包含一个扰动向量  $\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z]^T$ ,该扰动向量给出如何对  $X$  进行变异的信息,并且其本身也进行变异；

采用下式以变异概率  $P_m = 0.3$  对父代解向量  $(X, \sigma)$  进行变异,得到子代解向量  $(X', \sigma')$ ：

$$\sigma'_i = \sigma_i \exp[\alpha N(0, 1) + \beta N_i(0, 1)]$$

$$X'_i = X_i + N(0, \sigma'_i) \quad i = x, y, z$$

其中,  $N(0, 1)$  表示一个标准的 Gaussian 随机变量,  $N_i(0, 1)$  表示对应于  $X_i$  的独立的标准 Gaussian 随机扰动,常数  $\alpha, \beta$  为该变异算子的参数,分别定义了整个  $\sigma$  向量的搜索步长及其各维分量  $\sigma_i$  的搜索步长；

步骤 3-7 :进化迭代；

由步骤 3-6 得到的  $n$  个子代个体作为新的父代,算法转入步骤 3-3,进入下一次进化过程,如此循环往复使得个体逼近最优点。

## 平面四元阵列电站锅炉承压管泄漏定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于火力发电中锅炉承压管泄漏监测技术领域,具体说是涉及火力发电机组的锅炉内水冷壁、过热器、再热器和省煤器受热面管道泄漏的精确定位技术。

### 背景技术

[0002] 火电锅炉的“四管”泄漏一直是困扰火电机组安全生产的一大难题,进行锅炉爆管早期预报,在其还未发展成为破坏性爆漏之前及时发现泄漏,并确定泄漏点的位置。对于妥善安排停炉、缩短检修时间、减少经济损失有重大意义。

[0003] 目前,国内外(参见专利“Acoustic Leak Detection System”,US4960079、“锅炉承压管泄漏在线监测仪”,CN2253829)炉管泄漏检测装置采用大量布置测点覆盖锅炉受热面的方式,在滤掉锅炉背景噪声后检测泄漏声的声压级大小和泄漏声的频谱特征从而诊断泄漏是否发生。若某测点发生报警,则确定泄漏源位于该测点为圆心,10米为半径的半球空间内,所以装置的主要作用还是判断泄漏并确定泄露的受热面,并不能定位到具体的管排上。对于泄漏孔径1~4mm的情况,检修任务往往需要花费大量的人力和时间,其面临的重大技术难题是解决泄漏源的精确定位问题。

### 发明内容

[0004] 本发明突破当前锅炉四管泄漏检测中单点各自探测的思路,考虑各个单点传感器之间的相干信息,将传声器组成阵列接收泄漏信号,经过对声信号的互相关处理得出声音到达不同位置传声器的时间差,再根据目标与基元位置之间的几何关系确定出其泄漏位置。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0006] 步骤一:设计由 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 和 $M_4$ 四个传声器构成的平面声阵列及其在炉膛中的布置,所述传声器的坐标分别为 $M_1(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_2(-\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_3(-\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0)$ ,  $M_4(\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0)$ ,

其中 $a$ ,  $b$ 为平面四元阵列特征尺寸,假设泄漏声源 $S$ 的坐标为 $(x, y, z)$ ,  $d_{ij}$ 表示传声器 $M_i$ 和 $M_j$ 到泄漏声源的距离差,即 $d_{ij} = SM_i - SM_j = c \tau_{ij}$ ,其中 $\tau_{ij}$ 为时间延迟, $c$ 为有效声速。

[0007] 则泄漏声源应满足双曲面方程组:

$$[0008] \quad ||M_i - S|| - ||M_j - S|| = c \tau_{ij}$$

[0009] 步骤二:通过最大似然(ML)广义互相关得到时间延迟估计。 $T$ 为观测时间,任两路信号的互相关时延估计为:

$$[0010] \quad \hat{R}_{x_1 x_2}(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_{\tau}^T x_1(t) \cdot x_2(t + \tau) dt$$

[0011] 加窗滤波后,两路信号的互功率谱为:

$$[0012] \quad G_{P_1 P_2}(f) = H_1(f) H_2^*(f) G_{x_1 x_2}(f)$$

[0013] 由于互相关函数与互功率谱函数之间是一对傅里叶变换的关系,相关函数的输出

为：

$$[0014] \quad \hat{R}_{x_1x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{12} \hat{G}_{x_1x_2}(f) e^{j2\pi f\tau} df$$

$$[0015] \quad \text{ML 权函数} \psi_{12} = H_1(f)H_2^*(f) = \frac{|\gamma(f)|^2}{|G_{x_1x_2}(f)|(1-|\gamma(f)|^2)}$$

[0016] 其中,  $|\gamma(f)|^2$  为两个传声器接受信号的模平方相干函数, 表达式为

$$[0017] \quad |\gamma(f)|^2 = \frac{|G_{x_1x_2}(f)|^2}{G_{x_1x_1}(f)G_{x_2x_2}(f)}$$

[0018]  $G_{x_1x_1}$  和  $G_{x_1x_2}$  分别表示信号的自功率谱和互功率谱。

[0019] 步骤三: 采用自适应 Gaussian 变异遗传算法对双曲线定位方程组进行优化。

[0020] 1) 变量初始变化空间和编码；

[0021] 由于传声器的探测半径为 12m, 变量对应的范围设定为  $[-12, 12]$ 。采用浮点数编码方式。在浮点数编码中, 个体的每个基因值用某一范围内的一个浮点数来表示, 个体的编码长度等于其决策变量的个数。将每个染色体的基因  $X$ , 叠加与该分量相关的扰动的偏差。

[0022] 2) 随机生成初始父代群体；

[0023] 群体规模大小  $\text{popsize}(P_s) = 100$ , 其中  $P_s$  为种群数。分别在  $X$  向量各维分量的取值范围内以均匀分布随机地取值, 得到初始解向量  $X_0$ , 并取  $\sigma$  向量赋初值  $\sigma_0 = 0.3$ 。

[0024] 3) 进行父代个体的适应度评价；

[0025] 定义第  $i$  个父代个体的适应度函数值为：

$$[0026] \quad F_i = \sum_{i=1}^{ps} f_i(x, y, z)^2 \quad i = 1, 2, \dots, ps$$

[0027] 4) 进行父代个体的概率选择；

[0028] 取比例选择方式, 则个体  $i$  的选择概率为：

$$[0029] \quad p_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{ps} F_i}$$

[0030] 5) 进行父代个体的杂交；

[0031] 事先给定杂交概率  $P_c = 0.8$ , 从种群中依上述方式选择两个个体, 确定是否要进行交叉运算。若要进行交叉, 则在  $[1, 2]$  区间内产生一个均匀分布的随机整数  $j_{\text{cross}}$ , 两个被选择的染色体交换第  $j_{\text{cross}}$  位基因后面的染色体片断。

[0032] 6) 进行子代个体的变异；

[0033] 搜索的每个解向量包含一个扰动向量  $\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z]^T$ , 该扰动向量给出如何对  $X$  进行变异的信息, 并且其本身也进行变异。采用下式以变异概率  $P_m = 0.3$  对父代解向量  $(X, \sigma)$  进行变异, 得到子代解向量  $(X', \sigma')$ ：

$$[0034] \quad \sigma'_i = \sigma_i \exp[\alpha N(0, 1) + \beta N_i(0, 1)]$$

$$[0035] \quad X'_i = X_i + N(0, \sigma'_i) \quad i = x, y, z$$

[0036] 这里  $N(0, 1)$  表示一个标准的 Gaussian 随机变量,  $N_i(0, 1)$  表示对应于  $X_i$  的独立

的标准 Gaussian 随机扰动。常数  $\alpha$ ,  $\beta$  是这个变异算子的参数,分别定义了整个  $\sigma$  向量的搜索步长及其各维分量  $\sigma_i$  的搜索步长。

[0037] 7) 进化迭代;

[0038] 由步骤 6 得到的  $n$  个子代个体作为新的父代,算法转入步骤 3,进入下一次进化过程,如此循环往复使得个体逼近最优点。

[0039] 本发明的有益效果是突破当前锅炉四管泄漏检测中单点各自探测的思路,考虑各个单点传感器之间的相干信息 - 将传声器组成阵列接收泄漏信号,经过对声信号的互相关处理得出声音到达不同位置传声器的时间差,再根据目标与基元位置之间的几何关系确定出其泄漏位置。根据锅炉结构特点设计出了锅炉承压管泄漏精确定位传声器阵列及其在炉膛中的布置;通过 ML 广义互相关函数得到时间延迟估计比直接互相关峰值稳定尖锐;采用遗传算法:十进制浮点编码,自适应 Gauss 变异算子,进行双曲面方程组定位解的全局性概率搜索,避免了初值猜测与远场假设实现承压管泄漏的精确位置确定,具有稳健性。

### 附图说明

[0040] 图 1 为平面四元阵列被动声定位系统传声器布置;

[0041] 图 2 为 600MW 机组锅炉承压管泄漏定位四元阵列分布图;

[0042] 图 3 为锅炉承压管泄漏精确定位系统拓扑图;

[0043] 图 4a 为承压管泄漏被动声测  $\tau_{21}$  ML 广义互相关时间延迟估计;

[0044] 图 4b 为承压管泄漏被动声测  $\tau_{31}$  ML 广义互相关时间延迟估计;

[0045] 图 4c 为承压管泄漏被动声测  $\tau_{41}$  ML 广义互相关时间延迟估计;

[0046] 图 5a 为时间延迟估计误差为  $1 \mu s$  的情况下,承压管泄漏双曲面定位自适应 Gauss 变异遗传算法的典型进化曲线;

[0047] 图 5b 为时间延迟估计误差为  $0.1 \mu s$  的情况下,承压管泄漏双曲面定位自适应 Gauss 变异遗传算法的典型进化曲线;

[0048] 图 5c 为时间延迟估计误差为 0 的情况下,承压管泄漏双曲面定位自适应 Gauss 变异遗传算法的典型进化曲线。

### 具体实施方式

[0049] 采用平面四元阵列对电站锅炉四管泄漏进行精确定位,其传声器的阵列结构及其在炉膛的分布如图 1、图 2 所示,测点布置可根据现场情况适当改动。SG-1025/17.5-M723 型号锅炉共分为 A、B、C、D、E、F、G 层,共 28 个测点。

[0050] 定位系统的硬件及软件拓扑结构如图 3 所示。传声器和前置放大器采用 1/2 英寸预极化驻极体测量传声器 MP201 (灵敏度 50mV/Pa) 和 ICP 前置放大器 MA201。信号调理器提供用于传感器的 ICCP 供电,并可对信号进行滤波与放大。调节档分三个:1 倍、10 倍、100 倍,BNC 接头,18V 直流电源供电,调理后的信号通过 68 针同轴接头电缆与数据采集卡连接。

[0051] 采用 LabVIEW 软件和 NI PXI-6133 采集卡,每通道采样速率最高可达 3MS/s。设置采样频率为  $f_s = 102400S/s$ 。我们在国内某电厂 1025 吨 / 小时循环硫化床锅炉上设计的平面四元阵列特征尺寸  $a = 12m$ ,  $b = 7.3m$ 。现场蒸汽喷气,蒸汽压力为  $5 \sim 8.1MPa$ ,孔径为 2mm 得到  $\tau_{21}$ 、 $\tau_{31}$ 、 $\tau_{41}$  的 ML 广义互相关时间延迟估计分别如图 4a,4b,4c 所示。在采

样点检测到 ML 广义互相关函数非常稳定的尖锐峰值,从而时间迟延估计:  $\tau_{ij} = f_s/N$ , 其中 N 为采样点数。

[0052] 采用自适应 Gauss 变异遗传算法进行双曲面定位结果如下:

[0053] 实施例一

[0054] 当时间迟延估计误差为  $1 \mu s$  时,采用自适应 Gauss 变异遗传算法,群体经过 16 代演化,群体最小适应度为 26.1769,如图 5a 所示,定位结果为 (4.8805, 2.6297, 9)。

[0055] 实施例二

[0056] 当时间迟延估计误差为  $0.1 \mu s$  时,采用自适应 Gauss 变异遗传算法,群体经过 157 代演化,群体最小适应度为 0.1332,如图 5b 所示,定位结果为 (4.8693, 2.8716, 9.5692)。

[0057] 实施例三

[0058] 当时间迟延估计误差为 0,采用自适应 Gauss 变异遗传算法,群体经过 16 代演化,群体最小适应度为 0.0071,如图 5c 所示,定位结果为 (5.007, 3.006, 10)。

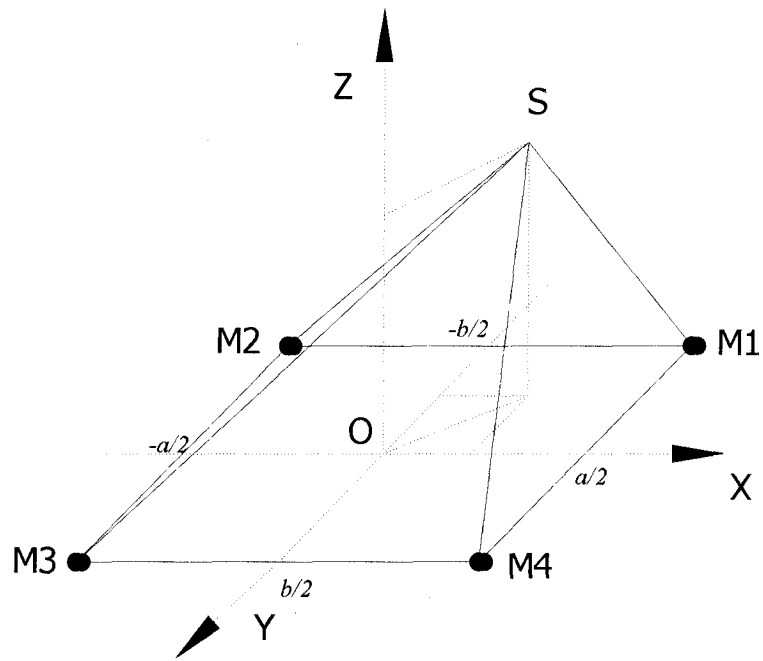


图 1

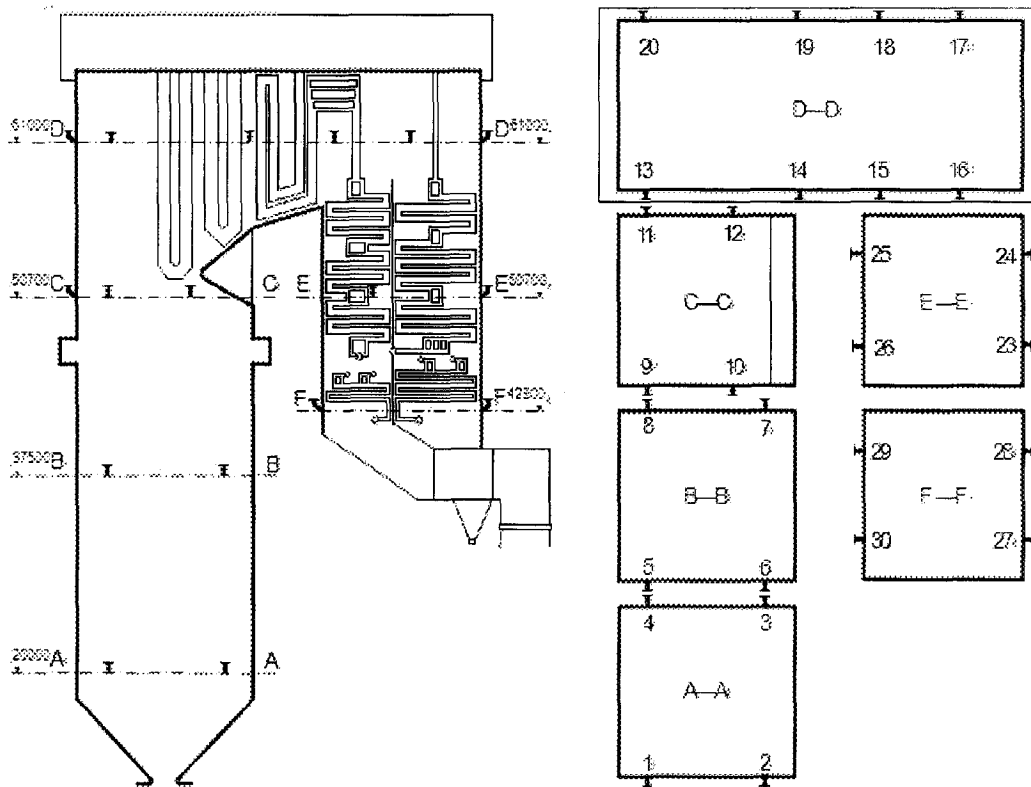


图 2



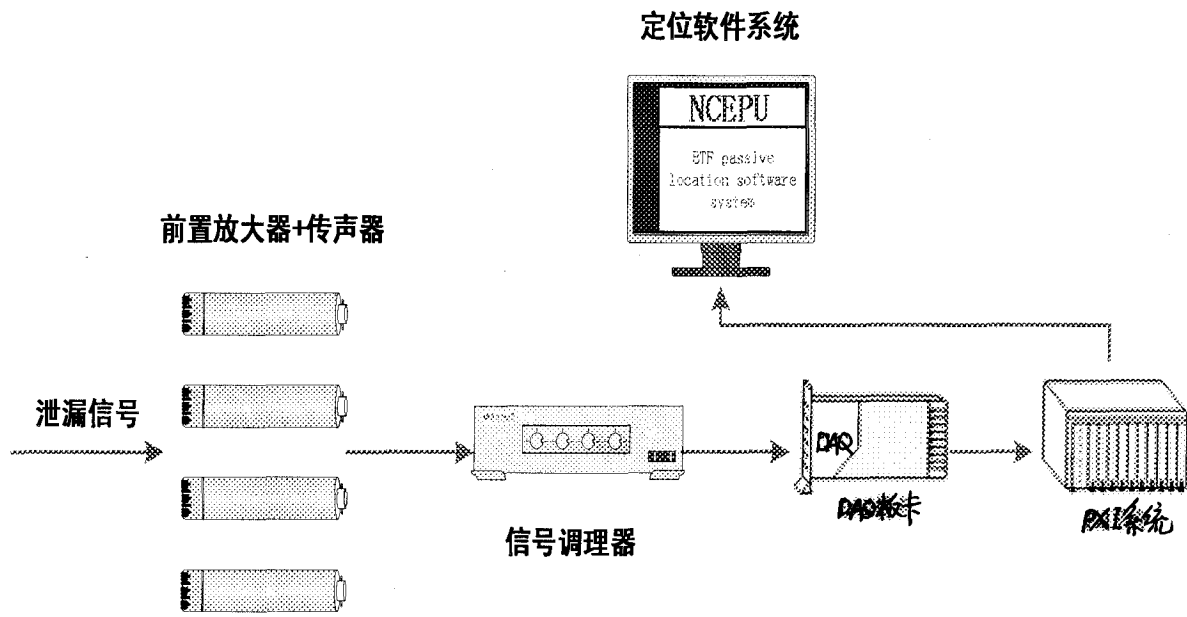


图 3

$\tau_{21}$  估计

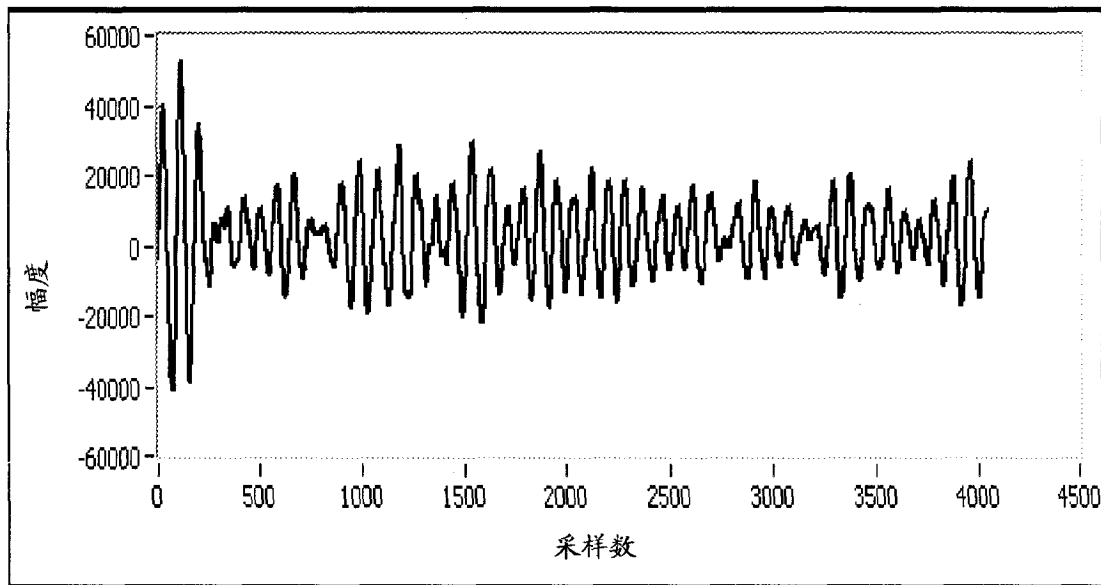


图 4a

$\tau_{31}$  估计

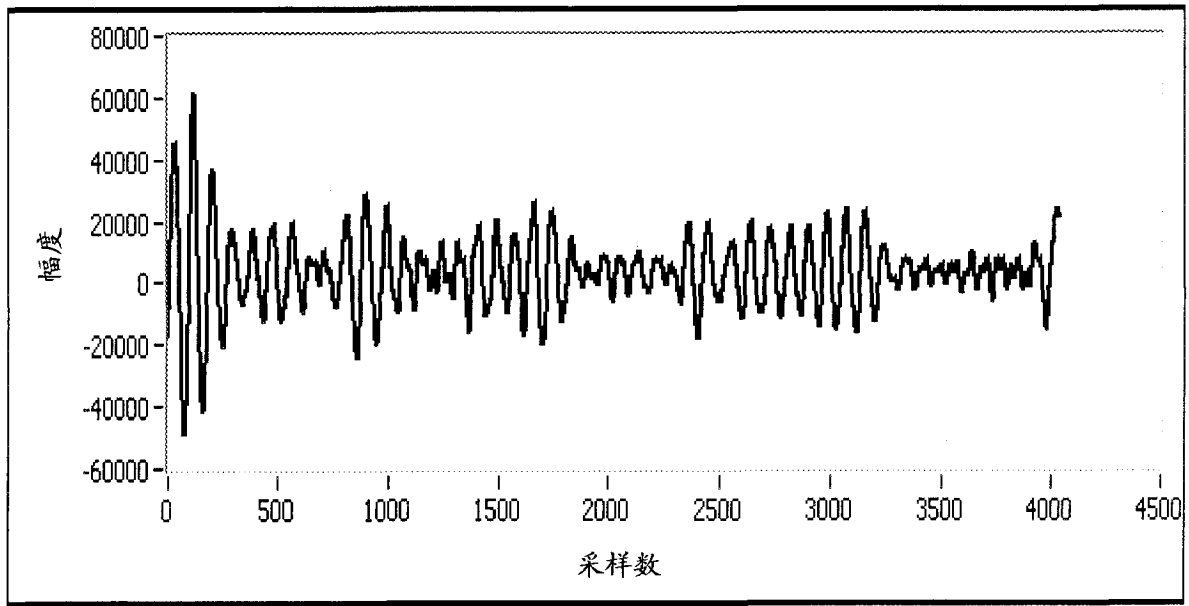


图 4b

$\tau_{41}$  估计

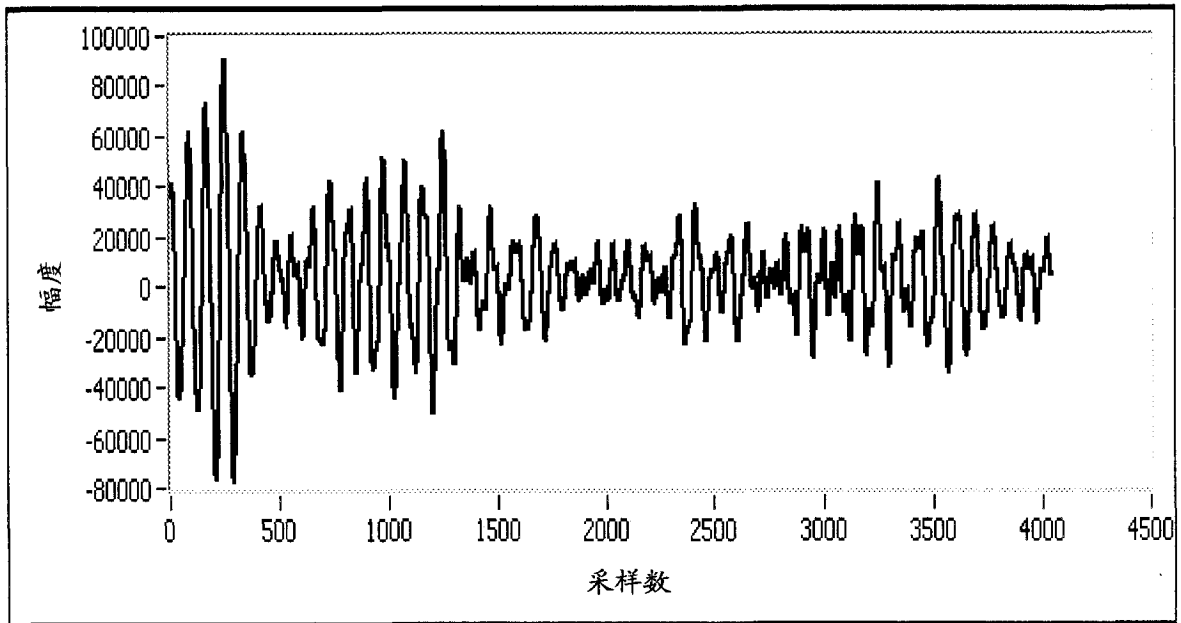


图 4c

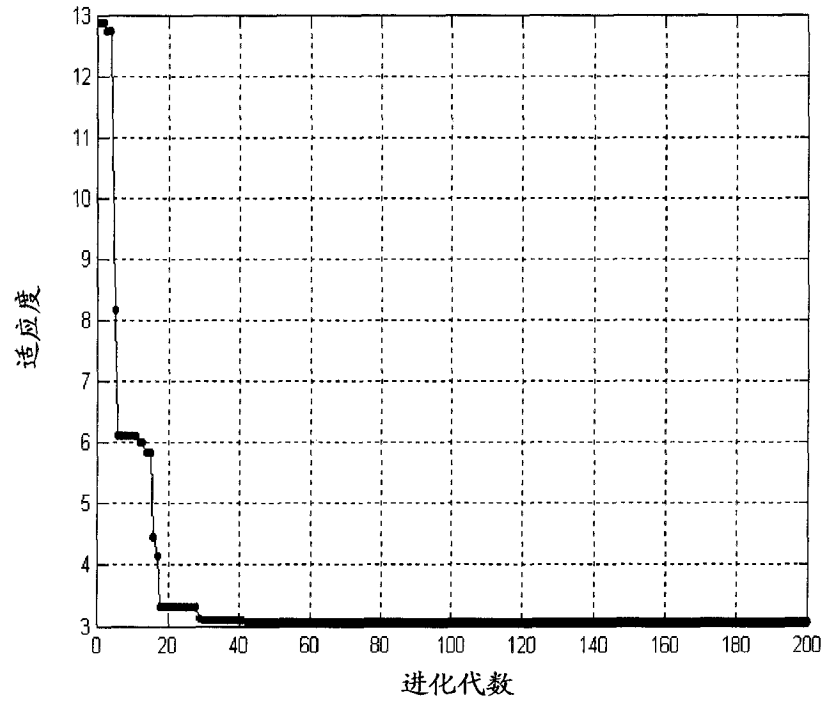


图 5a

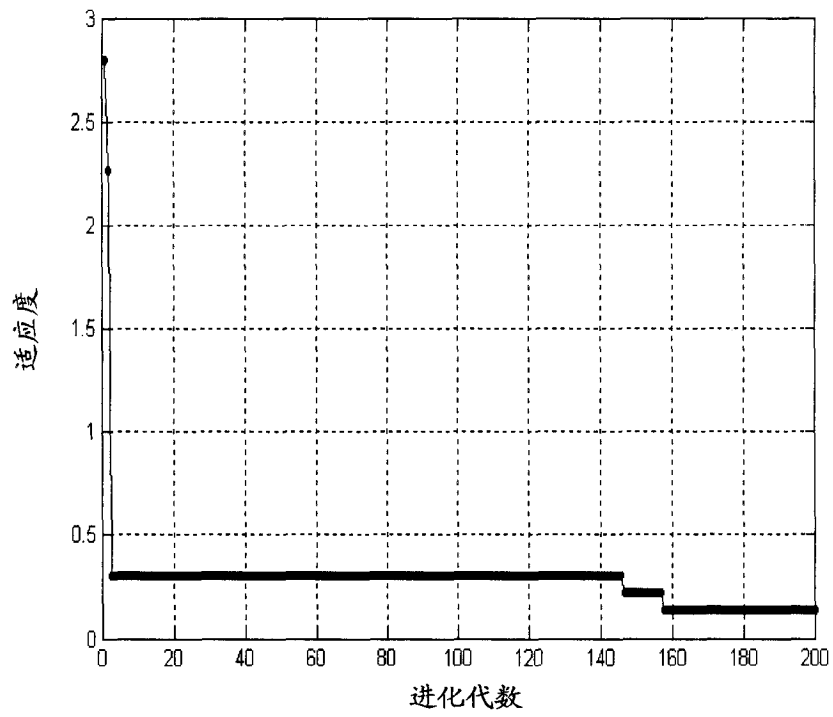


图 5b

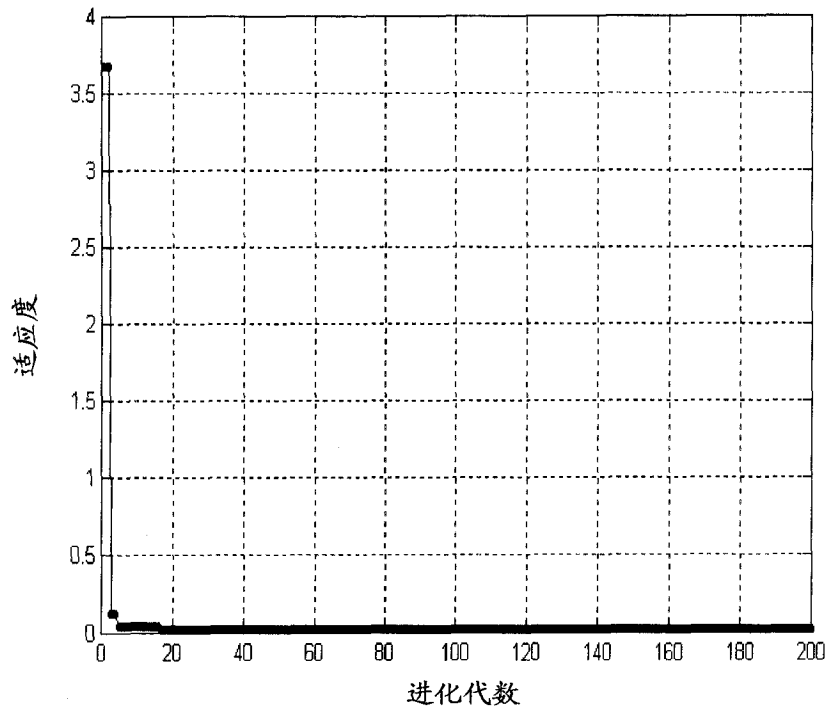


图 5c