



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104793253 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 22

(21) 申请号 201510193706. 9

(22) 申请日 2015. 04. 22

(71) 申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街 2699 号

(72) 发明人 于生宝 李齐 高明亮 刘伟宇 陈旭

(74) 专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201

代理人 王立文

(51) Int. Cl.

G01V 3/38(2006. 01)

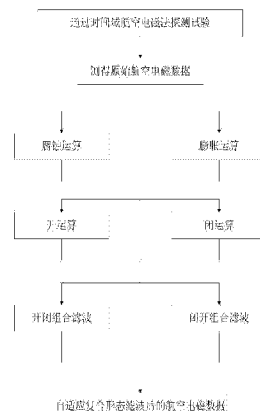
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,通过试验获取航空电磁探测数据,采用三角形结构元素与半圆形结构元素相结合,对航空电磁数据进行自适应多尺度复合形态滤波:先根据原始信号中相邻峰值间隔的最小值和最大值确定结构元素的长度范围并以此确定相应的分析尺度大小 K;再根据信号峰值的最小值和最大值确定高度范围;采用各结构元素集对原始信号进行复合形态运算并取平均值作为输出结果。本发明提出的自适应多尺度复合形态滤波方法克服了传统形态滤波结构元素选取随机的问題,该方法能够根据信号局部特征和噪声特点自适应的选择结构元素类型和尺寸大小,然后对航空电磁信号进行滤波。



1. 一种基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,其特征在于,包括以下步骤:

A、通过时间域直升机电磁探测实验,经数据采集硬件电路,进行定时等间隔采样,采集到原始航空电磁数据;

B、采用三角形结构元素与半圆形结构元素相结合,将航空电磁信号进行自适应多尺度复合形态滤波处理,滤除目标信号中的正、负脉冲噪声和随机噪声。

2. 按照权利要求 1 所述的基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,其特征在于,步骤 B 包括以下步骤:

a、首先根据原始信号中相邻峰值间隔的最小值和最大值确定结构元素的长度范围并以此确定相应的分析尺度大小 K;

b、再根据信号峰值的最小值和最大值确定高度范围;

c、然后利用小 / 大长度对应小 / 大高度确定多尺度分析中的各结构元素并构成相应的多结构元素集;

d、最后采用各结构元素集对原始信号进行复合形态运算并取平均值作为输出结果。

3. 按照权利要求 2 所述的基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,其特征在于,所述的对原始信号进行复合形态运算是先分别进行腐蚀运算、膨胀运算、开运算和闭运算,再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波:

$$\text{腐蚀运算: } (f \ominus g)(n) = \min_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n+m) - g(m)\} \quad n = 0, 1, \dots, N+M-2$$

$$\text{膨胀运算: } (f \oplus g)(n) = \max_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n-m) + g(m)\} \quad n = 0, 1, \dots, N-M$$

$$\text{开运算: } (f \circ g)(n) = [(f \ominus g) \oplus g](n)$$

$$\text{闭运算: } (f \bullet g)(n) = [(f \oplus g) \ominus g](n)$$

其中, \ominus 表示腐蚀运算, \oplus 表示膨胀运算, \circ 表示开运算, \bullet 表示闭运算, f 为原始航空电磁波形数据, g 为选定的形态学结构元素, m 和 n 为输入信号的离散采样点数, $N \gg M$;

再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波:

$$\text{形态开闭滤波: } Foc(f(n)) = f \circ g \bullet g$$

$$\text{形态闭开滤波: } Fco(f(n)) = f \bullet g \circ g$$

最后,构造复合形态滤波器:

$$\text{自适应复合形态滤波器: } z(n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [CFco(f(n), G_i) + CFoc(f(n), G_i)]$$

其中, $G = (g_1, g_2, \dots, g_i)$, 代表一组多结构元素集, N 为结构元素的类型数。

基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种航空电磁领域的的数据去噪方法,尤其是时间域航空电磁领域,具体是一种基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法。

背景技术

[0002] 航空电磁法是一种以飞机为载体,进行地球物理探测的一种勘察探测方法,主要用来快速普查金属矿体,大面积地质填图,水文地质,工程地质勘查和环境监测等领域。

[0003] 数学形态学是一门建立在严格数学理论基础上的学科,现已成功应用于图像处理、图形分析、模式识别、计算机视觉、电能扰动、机械振动及地震检测等工程实践领域,并引起广泛重视。该方法运算简单,其基本运算包括腐蚀、膨胀、开运算和闭运算以及在此基础上引出的形态开闭和形态闭开运算。基于数学形态学的信号去噪方法仅取决于待处理信号的局部特征,利用结构元素对信号的几何特征进行匹配或修正,同时保留目标信号的主要形状,以达到抑制噪声、提取有用信息和保留细节成分的目的。

[0004] 数学形态学滤波方法中存在的一个主要难题是结构元素的选取,对结构元素类型的选取是影响其滤波效果的关键因素。采用不同类型的结构元素可将目标信号中不同的形状特征进行提取,结构元素的选取要尽可能地接近待处理信号本身的形状特点,这样才能尽可能达到最好的滤波效果,常见的结构元素类型有直线型、矩形、圆盘型、抛物线型、三角形以及其他多边形组合。

[0005] 现有的形态滤波方法大多只采用单尺度结构元素,单尺度形态学只选择一个固定的结构元素对信号进行形态学分析,这种方法虽然简单且易于实现,但其处理效果的好坏却极大的依赖相关先验知识,而准确有效的先验知识却往往难以获得。另外由于在信号中通常包含不止一种噪声类型,而且噪声在信号中往往也不是均匀分布的。

[0006] 现有的形态滤波方法均不能对不同尺度下的结构元素信号中不同类型与强度的噪声成分进行复合形态滤波。

发明内容

[0007] 本发明的目的就在于针对现有技术的不足,提供一种在抑制噪声、提取有用信息的同时,更好地保留信号细节特征的基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法。

[0008] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0009] 本发明的主要思想是:针对航空电磁数据中包含的多种干扰成分,提出了自适应多尺度的形态学滤波,选取了三角形结构元素和半圆形结构元素,滤除信号中的正、负脉冲噪声和随机噪声。

[0010] 基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,包括以下步骤:

[0011] A、通过时间域直升机电磁探测实验,经数据采集硬件电路,进行定时等间隔采样,采集到原始航空电磁数据;

[0012] B、采用三角形结构元素与半圆形结构元素相结合,将航空电磁信号进行自适应多

尺度复合形态滤波处理,滤除目标信号中的正、负脉冲噪声和随机噪声。

[0013] 步骤 B 包括以下步骤:

[0014] a、首先根据原始信号中相邻峰值间隔的最小值和最大值确定结构元素的长度范围并以此确定相应的分析尺度大小 K;

[0015] b、再根据信号峰值的最小值和最大值确定高度范围;

[0016] c、然后利用小/大长度对应小/大高度确定多尺度分析中的各结构元素并构成相应的多结构元素集;

[0017] d、最后采用各结构元素集对原始信号进行复合形态运算并取平均值作为输出结果。

[0018] 所述的对原始信号进行复合形态运算是先分别进行腐蚀运算、膨胀运算、开运算和闭运算,再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波:

$$[0019] \quad \text{腐蚀运算: } (f \ominus g)(n) = \min_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n+m) - g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N+M-2$$

$$[0020] \quad \text{膨胀运算: } (f \oplus g)(n) = \max_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n-m) + g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N-M$$

$$[0021] \quad \text{开运算: } (f \circ g)(n) = [(f \ominus g) \oplus g](n)$$

$$[0022] \quad \text{闭运算: } (f \bullet g)(n) = [(f \oplus g) \ominus g](n)$$

[0023] 其中, \ominus 表示腐蚀运算, \oplus 表示膨胀运算, \circ 表示开运算, \bullet 表示闭运算, f 为原始航空电磁波形数据, g 为选定的形态学结构元素, m 和 n 为输入信号的离散采样点数, $N \gg M$;

[0024] 再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波:

$$[0025] \quad \text{形态开闭滤波: } F_{oc}(f(n)) = f \circ g \bullet g$$

$$[0026] \quad \text{形态闭开滤波: } F_{co}(f(n)) = f \bullet g \circ g$$

[0027] 最后,构造复合形态滤波器:

$$[0028] \quad \text{自适应复合形态滤波器: } z(n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [CF_{co}(f(n), G_i) + CF_{oc}(f(n), G_i)]$$

[0029] 其中, $G = (g_1, g_2, \dots, g_i)$, 代表一组多结构元素集, N 为结构元素的类型数。

[0030] 有益效果:基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,使其在去噪时不仅提取了有用信息,同时还很好地保留了航空电磁信号的细节信息,以便更进一步的数据分析;本发明提出了自适应多尺度复合形态滤波方法,克服了现有形态滤波结构元素选取随机的问题,能够根据信号局部特征和噪声特点自适应的选择结构元素类型和尺寸大小,然后对航空电磁信号进行滤波。

附图说明:

[0031] 附图 1 基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法流程图

[0032] 附图 2 自适应复合形态滤波方法图

[0033] 附图 3 航空电磁原始数据图

[0034] 附图 4 航空电磁原始信号及数学形态学滤波效果对比图

[0035] 附图 5 自适应复合形态滤波效果图

具体实施方式：

[0036] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0037] 基于数学形态学的航空电磁数据去噪方法,包括以下步骤：

[0038] A、通过时间域直升机电磁探测实验,经数据采集硬件电路,进行定时等间隔采样,采集到原始航空电磁数据；

[0039] B、采用三角形结构元素与半圆形结构元素相结合,将航空电磁信号进行自适应多尺度复合形态滤波处理,滤除目标信号中的正、负脉冲噪声和随机噪声。

[0040] 步骤 B 包括以下步骤：

[0041] a、首先根据原始信号中相邻峰值间隔的最小值和最大值确定结构元素的长度范围并以此确定相应的分析尺度大小 K ；

[0042] b、再根据信号峰值的最小值和最大值确定高度范围；

[0043] c、然后利用小 / 大长度对应小 / 大高度确定多尺度分析中的各结构元素并构成相应的多结构元素集；

[0044] d、最后采用各结构元素集对原始信号进行复合形态运算并取平均值作为输出结果。

[0045] 所述的对原始信号进行复合形态运算是先分别进行腐蚀运算、膨胀运算、开运算和闭运算,再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波：

$$[0046] \quad \text{腐蚀运算} : (f \ominus g)(n) = \min_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n+m) - g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N+M-2$$

$$[0047] \quad \text{膨胀运算} : (f \oplus g)(n) = \max_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n-m) + g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N-M$$

$$[0048] \quad \text{开运算} : (f \circ g)(n) = [(f \ominus g) \oplus g](n)$$

$$[0049] \quad \text{闭运算} : (f \bullet g)(n) = [(f \oplus g) \ominus g](n)$$

[0050] 其中, \ominus 表示腐蚀运算, \oplus 表示膨胀运算, \circ 表示开运算, \bullet 表示闭运算, f 为原始航空电磁波形数据, g 为选定的形态学结构元素, m 和 n 为输入信号的离散采样点数, $N \gg M$ ；

[0051] 再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波：

$$[0052] \quad \text{形态开闭滤波} : Foc(f(n)) = f \circ g \bullet g$$

$$[0053] \quad \text{形态闭开滤波} : Fco(f(n)) = f \bullet g \circ g$$

[0054] 最后,构造复合形态滤波器：

$$[0055] \quad \text{自适应复合形态滤波器} : z(n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [CFco(f(n), G_i) + CFoc(f(n), G_i)]$$

[0056] 其中, $G = (g_1, g_2, \dots, g_i)$, 代表一组多结构元素集, N 为结构元素的类型数。

[0057] 实施例 1：

[0058] (一) 通过时间域直升机电磁探测飞行试验获得原始航空电磁数据。具体为：利

用航空电磁探测系统数据采集硬件电路获得探测结果波形数据,经数据采集硬件电路进行定时等间隔采样,采集到航空电磁原始信号数据。

[0059] (二) 三角形结构元素适于滤除正、负脉冲噪声干扰,半圆形结构元素适于滤除随机噪声干扰。因此考虑采用三角形和半圆形结构元素对原始信号进行复合形态滤波。具体过程如下:

[0060] (1) 首先,分别对信号进行腐蚀运算、膨胀运算、开运算以及闭运算:

$$[0061] \quad \text{腐蚀运算: } (f \ominus g)(n) = \min_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n+m) - g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N+M-2$$

$$[0062] \quad \text{膨胀运算: } (f \oplus g)(n) = \max_{m=0,1,\dots,M-1} \{f(n-m) + g(m)\} \quad n = 0,1,\dots,N-M$$

$$[0063] \quad \text{开运算: } (f \circ g)(n) = [(f \ominus g) \oplus g](n)$$

$$[0064] \quad \text{闭运算: } (f \bullet g)(n) = [(f \oplus g) \ominus g](n)$$

[0065] (2) 再分别进行形态开闭滤波和形态闭开滤波:

$$[0066] \quad \text{形态开闭滤波: } Foc(f(n)) = f \circ g \bullet g$$

$$[0067] \quad \text{形态闭开滤波: } Fco(f(n)) = f \bullet g \circ g$$

[0068] 构造一种自适应复合形态滤波器,从而改善滤波效果。

$$[0069] \quad \text{自适应复合形态滤波: } z(n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [CFco(f(n), G_i) + CFoc(f(n), G_i)]$$

$$[0070] \quad \text{其中 } CFoc(f(n), G) = \max(f \circ g_i \bullet g_i)(n)$$

[0071]

$$CFco(f(n), G) = \min(f \bullet g_i \circ g_i)(n)$$

[0072] (三) 三角形结构元素和半圆形结构元素的数学表达式分别如下所示:

[0073] (1) 三角形结构元素

$$[0074] \quad g(i) = H \times \left[1 - \frac{|i|}{L}\right] \quad (i = -L, \dots, 0, \dots, L)$$

[0075] (2) 半圆形结构元素

$$[0076] \quad g(i) = H \times \left[\sqrt{1 - \left(\frac{i}{L}\right)^2}\right] \quad (i = -L, \dots, 0, \dots, L)$$

[0077] 其中, L 代表结构元素的长度, H 代表结构元素的高度。

[0078] (四) 结构元素长度的确定

[0079] 设原始信号为 $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ (N 为原始信号的数据点数), 首先计算原始信号的局部极大值序列, 且在计算之前均已进行了均值化处理。设 $PE = \{PE_i | i = 1, 2, \dots, N_{PE}\}$ 为原始信号的局部极大值序列, N_{PE} 为局部极大值序列的个数。设 $NE = \{NE_i | i = 1, 2, \dots, N_{NE}\}$ 为原始信号的局部极小值序列, N_{NE} 为局部极小值序列的个数。定义局部极大值间隔为 d_{PE} , 局部极小值间隔为 d_{NE} 。由得到的局部极大极小间隔与三角、半圆形结构元素的特点, 可以计算得到相应的形态学结构元素长度尺度的最小值 K_{1min} 和最大值 K_{1max} 。

[0080]

$$K_{\min} = \min(\lceil (\min(d_{p_i}) - 1) / 2 \rceil, \lceil (\min(d_{N_i}) - 1) / 2 \rceil)$$

[0081]

$$K_{\max} = \max(\lfloor (\max(d_{p_i}) - 1) / 2 \rfloor, \lfloor (\max(d_{N_i}) - 1) / 2 \rfloor)$$

[0082] 式中, $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整运算符, $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整运算符。[0083] 由此可以得到结构元素的长度尺度序列 K_1 为:

[0084]
$$K_1 = \{K_{\min}, K_{\min} + 1, K_{\max} - 1, K_{\max}\}$$

[0085] (五) 结构元素高度的确定

[0086] 由于结构元素的高度对应信号的幅值, 因此根据信号局部极大极小值的幅值大小来确定结构元素的高度。设局部极大值序列的最大值和最小值分别为 $p_{p \max}$ 和 $p_{p \min}$, 则信号的局部极大值和局部极小值的高度值分别为 $H_{pe} = p_{p \max} - p_{p \min}$ 和 $H_{ne} = p_{n \max} - p_{n \min}$ 。为充分利用信号的高度局部特征信息, 定义信号的局部极值的高度值为 H_e 。

[0087]
$$H_e = \max(H_{pe}, H_{ne})$$

[0088] 为了使高度值序列 H_1 与结构元素长度尺度 K_1 相对应, 可定义结构元素高度序列 H_1 为:

[0089]
$$H_1 = \{\alpha \cdot [H_e / (K_{\max} - K_{\min} + 1) + (j-1) \cdot H_e / (K_{\max} - K_{\min} + 1)]\}$$

[0090]
$$j = 1, 2, \dots, K_{\max} - K_{\min} + 1$$

[0091] 式中 α 为高度比例系数, 本实施例取 0.05。

[0092] (六) 单位结构元素的定义

[0093] 以三角形结构元素为例, 选择三个数据点的结构元素为单位结构元素 B , 而 $KB = B \oplus B \oplus \dots \oplus B$ ($K-1$ 次膨胀运算), 尺度 $K = 1$ 时, $KB = \{0, \underline{1}, 0\}$, 尺度 $K = 2$ 时, $KB = \{0, 1, \underline{2}, 1, 0\}$, 依次类推, 下划线表示原点的位置。

[0094] (七) 各尺度结构元素的确定

[0095]
$$G_1 = H_1(i) \cdot K_1(i) B_T \quad i = 1, 2, \dots, K_{\max} - K_{\min} + 1$$

[0096]
$$G_2 = H_1(i) \cdot K_1(i) B_S \quad i = 1, 2, \dots, K_{\max} - K_{\min} + 1$$

[0097] 其中, B_T 和 B_S 分别为单位三角形结构元素和单位半圆形结构元素。

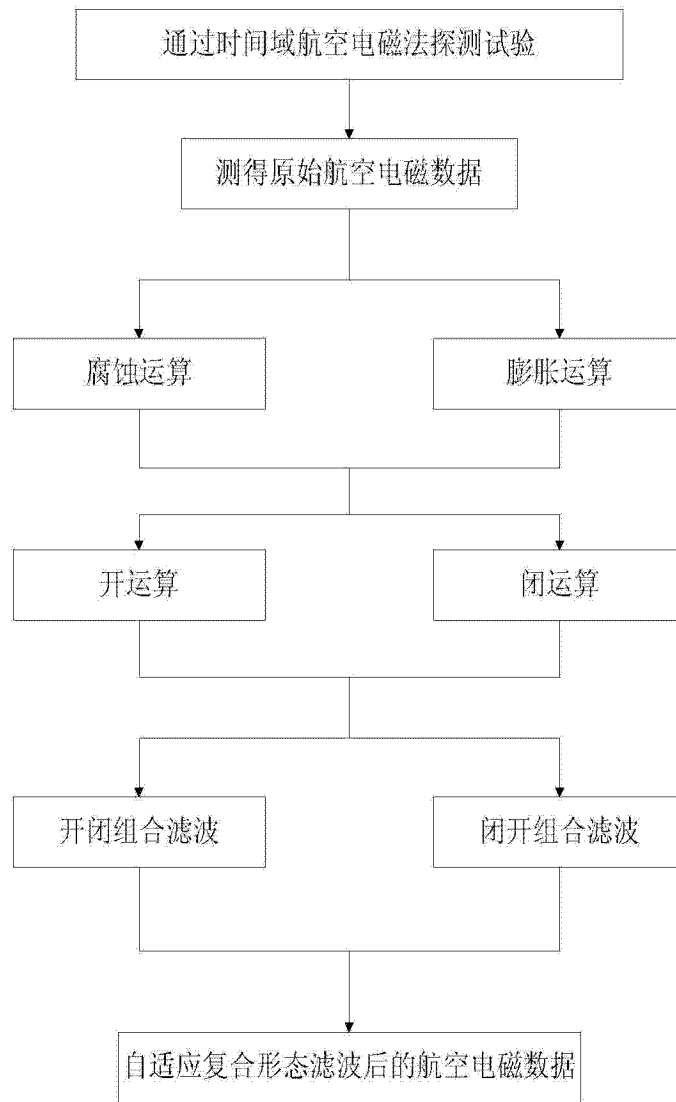


图 1

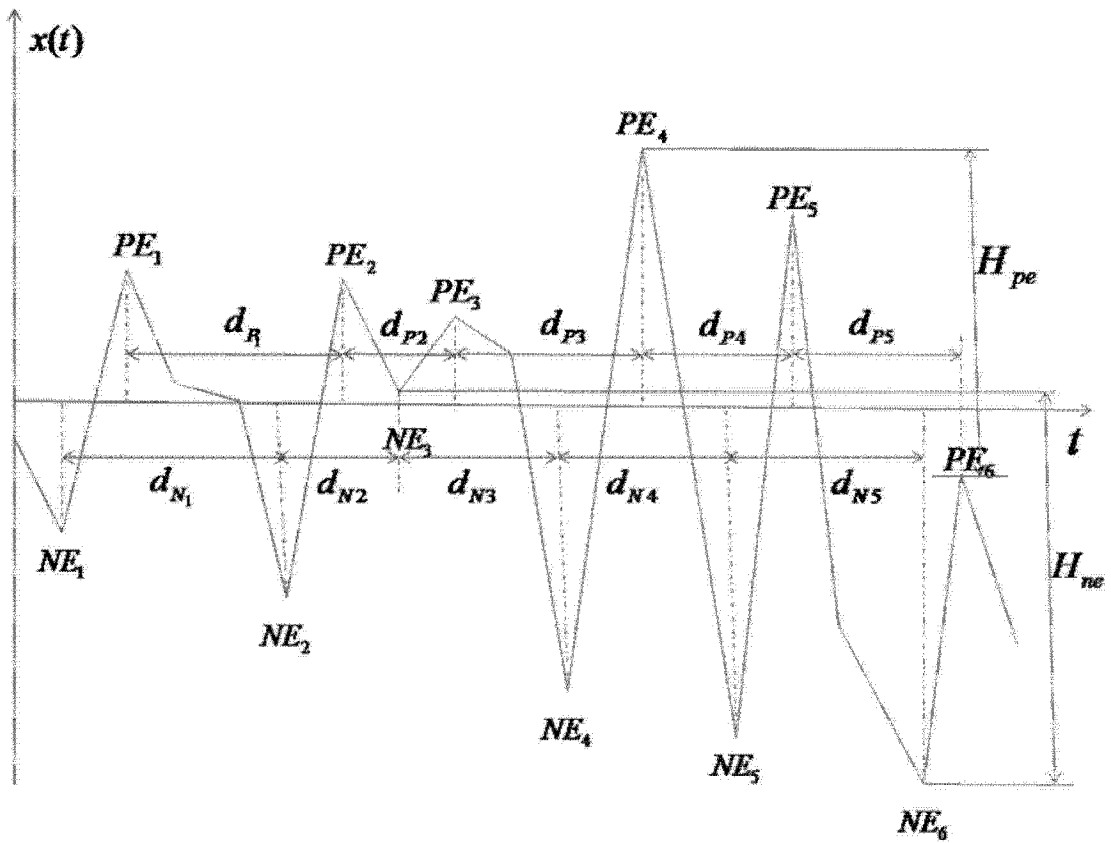


图 2

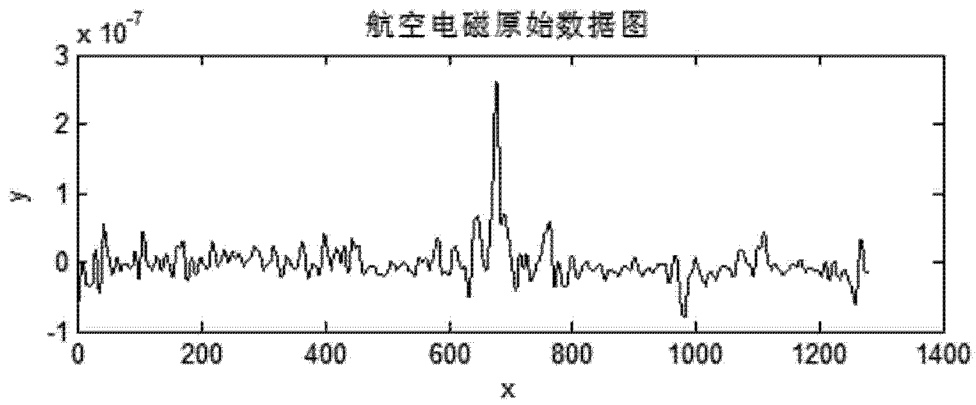


图 3

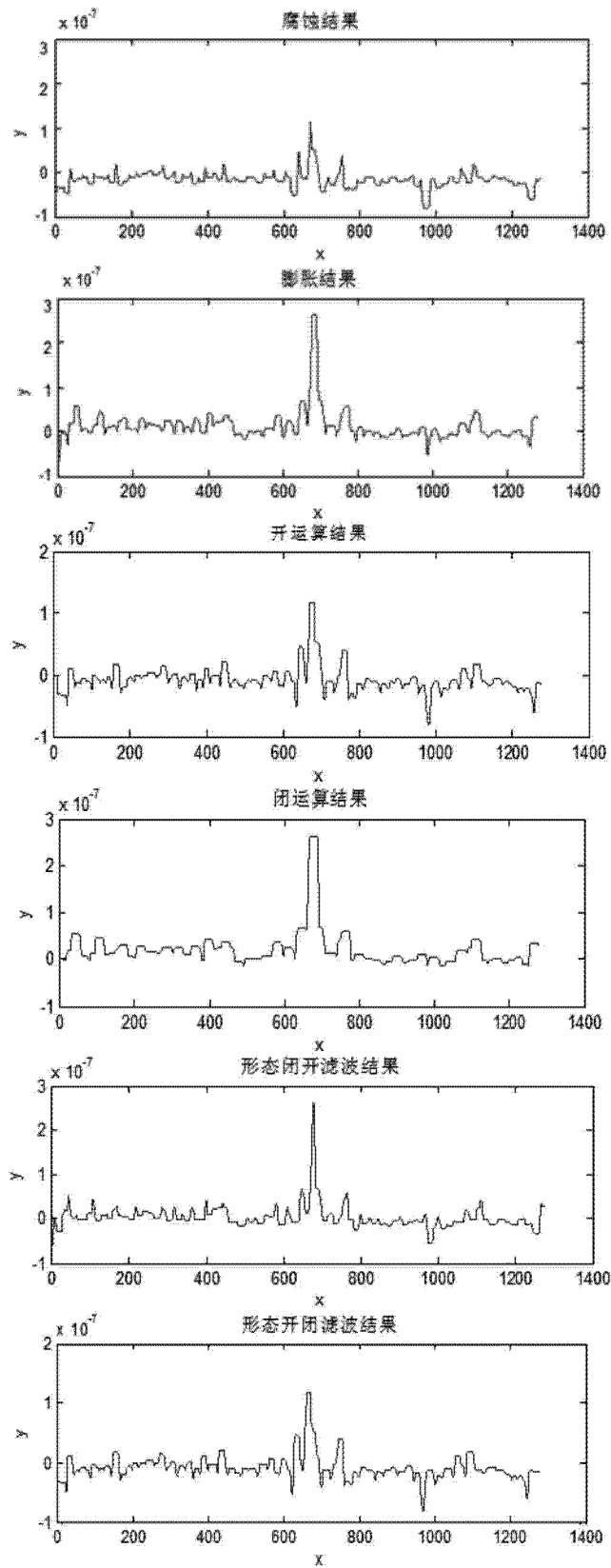


图 4

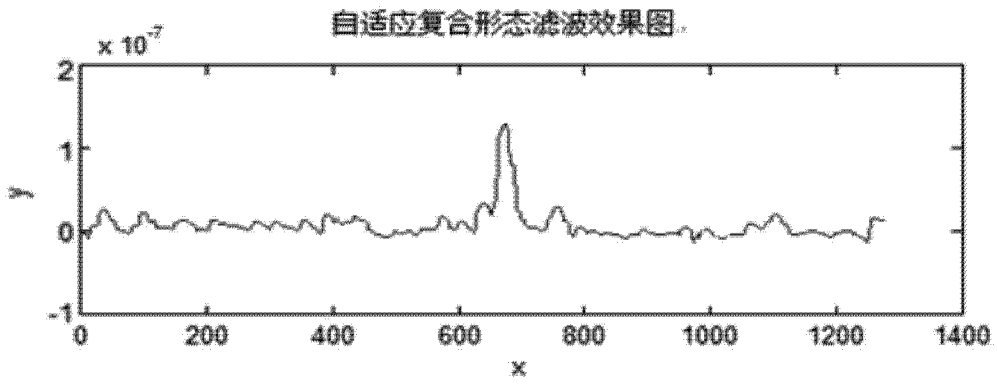


图 5