



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105717543 B

(45)授权公告日 2018.07.13

(21)申请号 201610048523.2

(22)申请日 2016.01.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105717543 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(73)专利权人 浪潮(北京)电子信息产业有限公司

地址 100085 北京市海淀区上地信息路2号
2-1号C栋1层

(72)发明人 高亚力

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 罗满

(51)Int.Cl.

G01V 1/36(2006.01)

(56)对比文件

US 2009046536 A1,2009.02.19,全文.

CN 1873443 A,2006.12.06,说明书第4-7
页.

US 2013135966 A1,2013.05.30,全文.

CN 101729157 A,2010.06.09,全文.

审查员 旷达

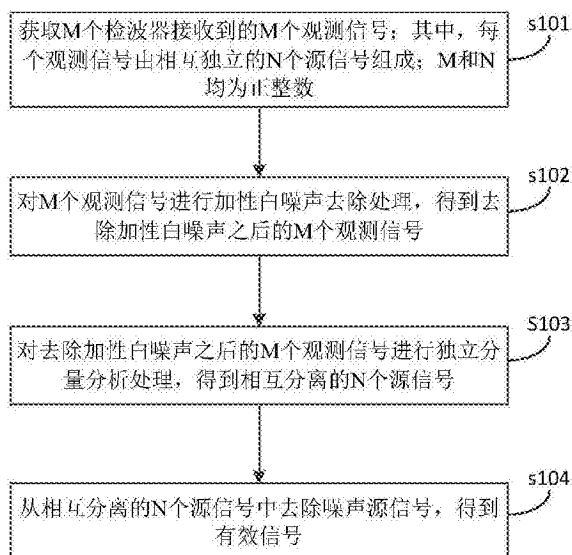
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种噪声压制方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种噪声压制方法,包括获取M个检波器接收到的M个观测信号;其中,每个观测信号由相互独立的N个源信号组成;M和N均为正整数;对M个观测信号进行加性白噪声去除处理,得到去除加性白噪声之后的M个观测信号;对去除加性白噪声之后的M个观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个源信号;从相互分离的N个源信号中去除噪声源信号,得到有效信号。该方法不仅能够去除噪声源信号,还能够去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率高;且能够避免加性白噪声对独立分量分析处理造成影响,准确性高。本发明还公开了一种噪声压制系统。



1. 一种噪声压制方法,其特征在于,包括:

获取M个检波器接收到的M个观测信号;其中,每个所述观测信号由相互独立的N个源信号组成;M和N均为正整数;

根据M个所述观测信号得到观测信号矢量 $X(k)$,其中, $X(k)=[x_1, x_2, \dots, x_M]^T$, $x_1, x_2, \dots, x_M$ 分别为M个所述观测信号进行采样处理后对应得到的矢量; k 为 $X(k)$ 的采样参量;

对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行中心化处理,使其均值为0;

根据所述观测信号矢量 $X(k)$ 以及相关矩阵关系式得到相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$,其中,所述相关矩阵关系式为:

$$\hat{R}_X(0) = \frac{1}{N} X(k) X^T(k);$$

根据所述相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$ 以及第一分解关系式得到特征值 Λ_X ;

其中,所述第一分解关系式为:

$$\hat{R}_X(0) = U_X \sum_X V_X^T = V_X \Lambda_X V_X^T, \text{ 其中, } \Lambda_X = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\};$$

根据预白化关系式对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行预白化处理,得到预白化矢量 $Z(k)$;

其中,所述预白化关系式为:

$$Z(k) = \Lambda_s^{-\frac{1}{2}} V_s^T X(k)$$

其中, $\Lambda_s = \text{diag}\{(\lambda_1 - \sigma_v^2), (\lambda_2 - \sigma_v^2), \dots, (\lambda_N - \sigma_v^2)\}$, $\sigma_v^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N}{M - N}$, V_s 为 Λ_s 对应的特征向量;

根据预设的时间滞后值 p 以及第二分解关系式得到对角矩阵 Σ_X ;其中,所述第二分解关系式为:

$$\hat{R}_X(p) = \frac{1}{N-p} \sum_{k=1}^N Z(k) Z^T(k-p) = U_X \sum_X V_X^T, \text{ 其中, } U_X \text{ 为特征矩阵, } p \neq 0;$$

判断所述对角矩阵 Σ_X 中的全部奇异值是否均不相同;如果是,根据所述预白化矢量 $Z(k)$ 、所述特征矩阵 U_X 以及所述预白化关系式得到去除加性白噪声后的观测信号矢量 $X_1(k)$; $X_1(k) = U_X^T Z(k)$;其中,所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 包括M个信号矢量,M个所述信号矢量分别对应于去除所述加性白噪声之后的M个所述观测信号;否则,返回根据预设的时间滞后值 p 以及第二分解关系式得到对角矩阵 Σ_X 的步骤,并预设不同的时间滞后值 p ;得到去除加性白噪声之后的M个所述观测信号;

对去除所述加性白噪声之后的M个所述观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个所述源信号;

从所述相互分离的N个所述源信号中去除噪声源信号,得到有效信号。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述时间滞后值 p 取1。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述对去除所述加性白噪声之后的M个所述观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个所述源信号的过程具体为:

步骤s401:令迭代次数 q 的初始值为1;

步骤s402:随机生成初始权矢量 W_q ;

步骤s403:将所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 以及所述初始权矢量 W_q 带入目标关系式,得到的结果即为目标权矢量 W ;

其中,所述目标关系式为:

$$W_q^* = E\{X_1 g(W_q^T X_1)\} - E\{g(W_q^T X_1)\} W_q$$

$$W_q = W_q - \sum_{j=1}^{q-1} (W_q^T W_j) W_j$$

$$W_q = W_q^* / \|W_q^*\|$$

其中, $E[\cdot]$ 为均值运算, $g[\cdot]$ 为非线性函数;

步骤s404:判断所述目标权矢量 W 是否收敛,如果是,进入步骤s405,否则,返回步骤s403;

步骤s405:令所述迭代次数 q 加1,判断所述迭代次数 q 是否大于预设迭代次数阈值,如果是,进入步骤s406;否则,返回步骤s402;

步骤s406:将所述目标权矢量 W 以及所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 带入分离关系式,得到分离矢量 $Y(k)$,其中,所述分离关系式为:

$$Y(k) = WX_1(k)$$

其中,所述分离矢量 $Y(k)$ 中包括相互分离的 N 个源信号矢量, N 个所述源信号矢量分别对应于 N 个所述源信号。

4.根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述非线性函数 $g[\cdot]$ 可以为:

$$g(y) = \tanh(ay) \text{ 或 } g(y) = y \exp(-y^2/2) \text{ 或 } g(y) = y^3, \text{ 其中, } 1 \leq a \leq 2.$$

5.一种噪声压制系统,其特征在于,包括:

获取单元,用于获取 M 个检波器接收到的 M 个观测信号;其中,每个所述观测信号由相互独立的 N 个源信号组成; M 和 N 均为正整数;

观测信号获得单元,用于根据 M 个所述观测信号得到观测信号矢量 $X(k)$,其中, $X(k) = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$, $x_1, x_2, \dots, x_M$ 分别为 M 个所述观测信号进行采样处理后对应得到的矢量; k 为 $X(k)$ 的采样参量;

中心化单元,用于对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行中心化处理,使其均值为0;

矩阵获得单元,用于根据所述观测信号矢量 $X(k)$ 以及相关矩阵关系式得到相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$,其中,所述相关矩阵关系式为: $\hat{R}_X(0) = \frac{1}{N} X(k) X^T(k)$;

第一分解单元,用于根据所述相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$ 以及第一分解关系式得到特征值 Λ_X ;其中,所述第一分解关系式为: $\hat{R}_X(0) = U_X \sum_{\lambda} \lambda V_X^T = V_X \Lambda_X V_X^T$,其中, $\Lambda_X = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$;

预白化单元,用于根据预白化关系式对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行预白化处理,得到预白化矢量 $Z(k)$;其中,所述预白化关系式为: $Z(k) = \Lambda_S^{-\frac{1}{2}} V_S^T X(k)$ 其中,

$\Lambda_s = \text{diag}\{(\lambda_1 - \sigma_v^2), (\lambda_2 - \sigma_v^2), \dots, (\lambda_N - \sigma_v^2)\}$, $\sigma_v^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N}{M - N}$, V_s 为 Λ_s 对应的特征向量;

第二分解单元, 用于根据预设的时间滞后值 p 以及第二分解关系式得到对角矩阵 Σ_x ; 其中, 所述第二分解关系式为: $\hat{R}_x(p) = \frac{1}{N-p} \sum_{k=1}^N Z(k)Z^T(k-p) = U_x \Sigma_x V_x^T$, 其中, U_x 为特征矩阵, $p \neq 0$;

判断单元, 用于判断所述对角矩阵 Σ_x 中的全部奇异值是否均不相同; 如果是, 触发去除单元, 否则, 触发所述第二分解单元, 并预设不同的时间滞后值 p ;

所述去除单元, 用于根据所述预白化矢量 $Z(k)$ 、所述特征矩阵 U_x 以及所述预白化关系式得到去除加性白噪声后的观测信号矢量 $X_1(k)$; $X_1(k) = U_x^T Z(k)$; 其中, 所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 包括 M 个信号矢量, M 个所述信号矢量分别对应于去除所述加性白噪声之后的 M 个所述观测信号; 得到去除加性白噪声之后的 M 个所述观测信号;

独立分量分析处理单元, 用于对去除所述加性白噪声之后的 M 个所述观测信号进行独立分量分析处理, 得到相互分离的 N 个所述源信号;

有效信号取得单元, 从所述相互分离的 N 个所述源信号中去除噪声源信号, 得到有效信号。

一种噪声压制方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及地震勘探技术领域,特别是涉及一种噪声压制方法及系统。

背景技术

[0002] 随着地震勘探的目标逐渐向地下深层地区和地表复杂的地区转移,对地震资料的处理技术提出了更高的要求。在地震勘探中,由于会受到采集环境周围的大量高压输电线的影响,地面检波器接收到的观测信号中不仅包括有效波,还包含有许多交流电干扰波以及各种噪声,严重影响了地震勘探的精度,因此需要对交流电干扰波以及噪声信号进行滤除。

[0003] 由于地面检波器接收到的观测信号中的有效波与交流电干扰波为相互独立的源信号,故目前常采用ICA(independent component analysis,独立分量分析)算法来对观测信号进行信号分离,从而去除交流电干扰波。但是现有的ICA算法不能去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率低;且ICA算法的前提是“噪声(加性白噪声等)可忽略不计”,而实际中获取的观测信号中是具有加性白噪声的,而加性白噪声会对ICA算法造成影响,使得结果不准确。

[0004] 因此,如何提供一种去除噪声的效率 high 且准确性高的噪声压制方法及系统是本领域技术人员目前需要解决的问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种噪声压制方法及系统,不仅能够去除噪声源信号,还能够去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率 high;且能够避免加性白噪声对独立分量分析处理造成影响,准确性高。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种噪声压制方法,包括:

[0007] 获取M个检波器接收到的M个观测信号;其中,每个所述观测信号由相互独立的N个源信号组成;M和N均为正整数;

[0008] 对M个所述观测信号进行加性白噪声去除处理,得到去除加性白噪声之后的M个所述观测信号;

[0009] 对去除所述加性白噪声之后的M个所述观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个所述源信号;

[0010] 从所述相互分离的N个所述源信号中去除噪声源信号,得到有效信号。

[0011] 优选地,所述对M个所述观测信号进行加性白噪声去除处理具体为:

[0012] 采用两步特征值分解法对M个所述观测信号进行加性白噪声去除处理。

[0013] 优选地,所述采用两步特征值分解法对M个所述观测信号进行加性白噪声去除处理的过程具体为:

[0014] 步骤s201:根据M个所述观测信号得到观测信号矢量 $X(k)$,其中, $X(k)=[x_1, x_2, \dots, x_M]^T$, $x_1, x_2, \dots, x_M$ 分别为M个所述观测信号进行采样处理后对应得到的矢量;

[0015] 步骤s202:对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行中心化处理,使其均值为0;

[0016] 步骤s203:根据所述观测信号矢量 $X(k)$ 以及相关矩阵关系式得到相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$,其中,所述相关矩阵关系式为:

$$[0017] \quad \hat{R}_X(0) = \frac{1}{N} X(k) X^T(k);$$

[0018] 步骤s204:根据所述相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$ 以及第一分解关系式得到特征值 Λ_X ;

[0019] 其中,所述第一分解关系式为:

$$[0020] \quad \hat{R}_X(0) = U_X \sum_X V_X^T = V_X \Lambda_X V_X^T, \text{其中}, \Lambda_X = \text{diag} \{ \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N \};$$

[0021] 步骤s205:根据预白化关系式对所述观测信号矢量 $X(k)$ 进行预白化处理,得到预白化矢量 $Z(k)$;

[0022] 其中,所述预白化关系式为:

$$[0023] \quad Z(k) = \Lambda_s^{-\frac{1}{2}} V_s^T X(k)$$

$$[0024] \quad \text{其中}, \Lambda_s = \text{diag} \{ (\lambda_1 - \sigma_v^2), (\lambda_2 - \sigma_v^2), \dots, (\lambda_N - \sigma_v^2) \}, \sigma_v^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N}{M - N}, V_s \text{为} \Lambda_s$$

对应的特征向量;

[0025] 步骤s206:根据预设的时间滞后值 p 以及第二分解关系式得到对角矩阵

[0026] Σ_X ;其中,所述第二分解关系式为:

$$[0027] \quad \hat{R}_X(p) = \frac{1}{N-p} \sum_{k=1}^N Z(k) Z^T(k-p) = U_X \sum_X V_X^T, \text{其中}, U_X \text{为特征矩阵}, p \neq 0;$$

[0028] 步骤s207:判断所述对角矩阵 Σ_X 中的全部奇异值是否均不相同,如果是,则进入步骤s208;否则,返回步骤s206,并预设不同的时间滞后值 p ;

[0029] 步骤s208:根据所述预白化矢量 $Z(k)$ 、所述特征矩阵 U_X 以及所述预白化关系式得到去除所述加性白噪声后的观测信号矢量 $X_1(k)$;

$$[0030] \quad X_1(k) = U_X^T Z(k)$$

[0031] 其中,所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 包括 M 个信号矢量, M 个所述信号矢量分别对应于去除所述加性白噪声之后的 M 个所述观测信号。

[0032] 优选地,所述时间滞后值 p 取1。

[0033] 优选地,所述对去除所述加性白噪声之后的 M 个所述观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的 N 个所述源信号的过程具体为:

[0034] 步骤s401:令迭代次数 q 的初始值为1;

[0035] 步骤s402:随机生成初始权矢量 W_q ;

[0036] 步骤s403:将所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 以及所述初始权矢量 W_q 带入目标关系式,得到的结果即为目标权矢量 W ;

[0037] 其中,所述目标关系式为:

$$[0038] \quad W_q^* = E \{ X_1 g(W_q^T X_1) \} - E \{ g(W_q^T X_1) \} W_q$$

$$[0039] \quad W_q = W_q - \sum_{j=1}^{q-1} (W_q^T W_j) W_j$$

$$[0040] \quad W_q = W_q^* / \|W_q^*\|$$

[0041] 其中, $E[\cdot]$ 为均值运算, $g[\cdot]$ 为非线性函数;

[0042] 步骤s404: 判断所述目标权矢量 W 是否收敛, 如果是, 进入步骤s405, 否则, 返回步骤s403;

[0043] 步骤s405: 令所述迭代次数 q 加1, 判断所述迭代次数 q 是否大于预设迭代次数阈值, 如果是, 进入步骤s406; 否则, 返回步骤s402;

[0044] 步骤s406: 将所述目标权矢量 W 以及所述观测信号矢量 $X_1(k)$ 带入分离关系式, 得到分离矢量 $Y(k)$, 其中, 所述分离关系式为:

$$[0045] \quad Y(k) = WX_1(k)$$

[0046] 其中, 所述分离矢量 $Y(k)$ 中包括相互分离的 N 个源信号矢量, N 个所述源信号矢量分别对应于 N 个所述源信号。

[0047] 优选地, 所述非线性函数 $g[\cdot]$ 可以为:

$$[0048] \quad g(y) = \tanh(ay) \text{ 或 } g(y) = y \exp(-y^2/2) \text{ 或 } g(y) = y^3, \text{ 其中, } 1 \leq a \leq 2.$$

[0049] 为解决上述技术问题, 本发明还提供了一种噪声压制系统, 包括:

[0050] 获取单元, 用于获取 M 个检波器接收到的 M 个观测信号; 其中, 每个所述观测信号由相互独立的 N 个源信号组成; M 和 N 均为正整数;

[0051] 噪声去除单元, 用于对 M 个所述观测信号进行加性白噪声去除处理, 得到去除加性白噪声之后的 M 个所述观测信号;

[0052] 独立分量分析处理单元, 用于对去除所述加性白噪声之后的 M 个所述观测信号进行独立分量分析处理, 得到相互分离的 N 个所述源信号;

[0053] 有效信号取得单元, 从所述相互分离的 N 个所述源信号中去除噪声源信号, 得到有效信号。

[0054] 本发明提供了一种噪声压制方法及系统, 对传统的ICA算法进行了改进。本发明首先对 M 个检波器接收到的 M 个观测信号进行了加性白噪声去除处理, 去除了观测信号中的加性白噪声, 然后再对 M 个观测信号进行独立分量分析处理, 将观测信号中的噪声源信号分离出来并去除, 从而得到有效信号。即本发明不仅能够去除噪声源信号, 还能够去除观测信号中的加性白噪声, 去除噪声的效率高; 且去除加性白噪声后再进行独立分量分析处理, 满足了独立分量分析处理中“噪声忽略不计”的前提, 避免了加性白噪声对独立分量分析处理造成影响, 提高了结果的准确性。

附图说明

[0055] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案, 下面将对现有技术和实施例中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0056] 图1为本发明提供了一种噪声压制方法的过程的流程图;

- [0057] 图2为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种源信号组成示意图；
- [0058] 图3为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种观测信号组成示意图；
- [0059] 图4为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种分离矢量 $Y(k)$ 对应的分离信号示意图；
- [0060] 图5为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种源信号的频谱示意图；
- [0061] 图6为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种分离信号的频谱示意图；
- [0062] 图7为本发明提供的一种噪声压制系统的结构示意图。

具体实施方式

[0063] 本发明的核心是提供一种噪声压制方法及系统,不仅能够去除噪声源信号,还能够去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率;且能够避免加性白噪声对独立分量分析处理造成影响,准确性高。

[0064] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0065] 本发明提供了一种噪声压制方法,参见图1所示,图1为本发明提供的一种噪声压制方法的过程的流程图;该方法包括:

[0066] 步骤s101:获取M个检波器接收到的M个观测信号;其中,每个观测信号由相互独立的N个源信号组成;M和N均为正整数;

[0067] 步骤s102:对M个观测信号进行加性白噪声去除处理,得到去除加性白噪声之后的M个观测信号;

[0068] 步骤s103:对去除加性白噪声之后的M个观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个源信号;

[0069] 步骤s104:从相互分离的N个源信号中去除噪声源信号,得到有效信号。

[0070] 为方便理解,下面就具体的关系式来对本发明中的噪声压制方法进行介绍:

[0071] M个检波器接收到的M个观测信号为 $x_i, i=1, 2, \dots, M$;每个观测信号是由N个相互独立的源信号 $S_j, j=1, 2, \dots, N$ (包括有效波、交流电干扰波、单频噪声等)线性混合得到;则可通过如下关系式表示观测信号与加性白噪声以及源信号之间的关系:

$$[0072] \quad X=A \times S+N$$

[0073] 式中 $X=[x_1, x_2, \dots, x_M]^T$ 为观测信号矢量; $S=[s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 是未知的独立源信号矢量; N 是加性白噪声矢量; A 为 $m \times n$ 的未知混合矩阵。本发明通过加性白噪声去除处理能够去除加性白噪声矢量 N ,从而满足ICA算法中“噪声可以忽略不计”的假设,此时关系式可简化为:

$$[0074] \quad X=A \times S$$

[0075] 然后再通过独立分量分析处理,将 X 中的N个源信号进行分离,去除噪声源信号,从而得到有效信号。

[0076] 其中,这里的噪声源信号主要指的是单频噪声源信号,例如频率、相位以及振幅从地面浅层至深层基本保持不变的交流电干扰波。当然,本发明对此不作特别限定。

[0077] 可以理解的是,本发明中的噪声压制方法是一种改进后的ICA算法,常规的ICA算法是直接对观测信号进行处理,由于ICA算法的前提是“噪声可忽略不计”,故观测信号中存在的加性白噪声会对ICA算法造成影响,使得独立分量分析处理后得到的结果不准确。而本发明在原有的ICA算法的基础上,增加了加性白噪声去除处理,从而能够提高ICA算法的准确性。

[0078] 另外,这里的加性白噪声一般指热噪声、散弹噪声等,它们与信号的关系是相加,即不管检波器有没有接收到观测信号,加性白噪声都存在。

[0079] 信道中加性白噪声的来源一般分为如下三种:

[0080] 1、人为噪声,人为噪声来源于无关的其它信号源,例如:外台信号、开关接触噪声、工业的点火辐射等。

[0081] 2、自然噪声,自然噪声是指自然界存在的各种电磁波源,例如:闪电、雷击、大气中的电暴和各种宇宙噪声等。

[0082] 3、内部噪声,内部噪声是系统设备本身产生的各种噪声,例如:电阻中自由电子的热运动和半导体中载流子的起伏变化等。

[0083] 作为优选地,这里的M以及N一般均为不小于2的正整数。

[0084] 其中,对M个观测信号进行加性白噪声去除处理具体为:

[0085] 采用两步特征值分解法对M个观测信号进行加性白噪声去除处理。

[0086] 进一步可知,采用两步特征值分解法对M个观测信号进行加性白噪声去除处理的过程具体为:

[0087] 步骤s201:根据M个观测信号得到观测信号矢量 $X(k)$,其中, $X(k)=[x_1, x_2, \dots, x_M]^T$, $x_1, x_2, \dots, x_M$ 分别为M个观测信号进行采样处理后对应得到的矢量;

[0088] 步骤s202:对观测信号矢量 $X(k)$ 进行中心化处理,使其均值为0;

[0089] 步骤s203:根据观测信号矢量 $X(k)$ 以及相关矩阵关系式得到相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$,其中,相关矩阵关系式为:

$$[0090] \quad \hat{R}_X(0) = \frac{1}{N} X(k) X^T(k);$$

[0091] 步骤s204:根据相关矩阵 $\hat{R}_X(0)$ 以及第一分解关系式得到特征值 Λ_X ;

[0092] 其中,第一分解关系式为:

$$[0093] \quad \hat{R}_X(0) = U_X \sum_X V_X^T = V_X \Lambda_X V_X^T, \text{ 其中, } \Lambda_X = \text{diag} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\};$$

[0094] 步骤s205:根据预白化关系式对观测信号矢量 $X(k)$ 进行预白化处理,得到预白化矢量 $Z(k)$;

[0095] 其中,预白化关系式为:

$$[0096] \quad Z(k) = \Lambda_S^{-\frac{1}{2}} V_S^T X(k)$$

[0097] 其中, $\Lambda_S = \text{diag} \{(\lambda_1 - \sigma_v^2), (\lambda_2 - \sigma_v^2), \dots, (\lambda_N - \sigma_v^2)\}$, $\sigma_v^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N}{M - N}$, V_S 为

Λ_S 对应的特征向量;

[0098] 步骤s206:根据预设的时间滞后值p以及第二分解关系式得到对角矩阵

[0099] Σ_X ; 其中, 第二分解关系式为:

$$[0100] \quad \hat{R}_X(p) = \frac{1}{N-p} \sum_{k=1}^N Z(k) Z^T(k-p) = U_X \sum_X V_X^T, \text{ 其中, } U_X \text{ 为特征矩阵, } p \neq 0;$$

[0101] 步骤s207: 判断对角矩阵 Σ_X 中的全部奇异值是否均不相同, 如果是, 则进入步骤s208; 否则, 返回步骤s206, 并预设不同的时间滞后值p;

[0102] 其中, 这里的奇异值即指的是对角矩阵 Σ_X 中对角线上的数值;

[0103] 步骤s208: 根据预白化矢量 $Z(k)$ 、特征矩阵 U_X 以及所述预白化关系式得到去除加性白噪声后的观测信号矢量 $X_1(k)$;

$$[0104] \quad X_1(k) = U_X^T Z(k)$$

[0105] 其中, 观测信号矢量 $X_1(k)$ 包括M个信号矢量, M个信号矢量分别对应于去除加性白噪声之后的M个观测信号。

[0106] 其中, 这里的时间滞后值p取1。当然, 本发明对时间滞后值的具体数值不做限定, 工作人员可根据实际情况自行设定。

[0107] 另外, 对去除加性白噪声之后的M个观测信号进行独立分量分析处理, 得到相互分离的N个源信号的过程具体为:

[0108] 步骤s401: 令迭代次数q的初始值为1;

[0109] 步骤s402: 随机生成初始权矢量 W_q ;

[0110] 步骤s403: 将观测信号矢量 $X_1(k)$ 以及初始权矢量 W_q 带入目标关系式, 得到的结果即为目标权矢量 W ;

[0111] 其中, 目标关系式为:

$$[0112] \quad W_q^* = E \{ X_1 g(W_q^T X_1) \} - E \{ g(W_q^T X_1) \} W_q$$

$$[0113] \quad W_q = W_q - \sum_{j=1}^{q-1} (W_q^T W_j) W_j$$

$$[0114] \quad W_q = W_q^* / \|W_q^*\|$$

[0115] 其中, $E[\cdot]$ 为均值运算, $g[\cdot]$ 为非线性函数; 这里的目标关系式为基于负熵最大化的目标关系式;

[0116] 步骤s404: 判断目标权矢量 W 是否收敛, 如果是, 进入步骤s405, 否则, 返回步骤s403;

[0117] 步骤s405: 令迭代次数q加1, 判断迭代次数q是否大于预设迭代次数阈值, 如果是, 进入步骤s406; 否则, 返回步骤s402;

[0118] 步骤s406: 将目标权矢量 W 以及观测信号矢量 $X_1(k)$ 带入分离关系式, 得到分离矢量 $Y(k)$, 其中, 分离关系式为:

$$[0119] \quad Y(k) = W X_1(k)$$

[0120] 其中, 分离矢量 $Y(k)$ 中包括相互分离的N个源信号矢量, N个源信号矢量分别对应于N个源信号。

[0121] 其中, 这里的预设迭代次数阈值可通过多次试验来确定, 设置预设迭代次数阈值的目的是为了通过多次迭代处理, 使最终得到的分离矢量 $Y(k)$ 对应的分离信号能够尽可能的分别与N个源信号相等。当然, 本发明对预设迭代次数阈值的具体数值并不做限定。

[0122] 作为优选地,非线性函数 $g[\cdot]$ 可以为:

[0123] $g(y) = \tanh(ay)$ 或 $g(y) = y \exp(-y^2/2)$ 或 $g(y) = y^3$, 其中, $1 \leq a \leq 2$ 。

[0124] 当然,本发明对具体采用的非线性函数 $g[\cdot]$ 的类型不做特别限定。

[0125] 为了方便对本发明的理解,可采用模拟地震信号的方式来对本发明中独立分量分析处理的过程进行仿真试验,从而验证改进后的ICA算法的有效性和准确性。

[0126] 首先选择一个频率60Hz的零相位信号 S_1 作为有效波,一个频率100Hz的方波信号 S_2 和随机信号 S_3 作为交流电干扰波(即噪声源信号),组成源信号 S (即每个观测信号均是由相互独立的三个源信号 S_1 、 S_2 、 S_3 线性混合得到的),参见图2所示,图2为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种源信号组成示意图,源信号的时间采样间隔为1ms,信号长度为0.5s;横坐标表示采样点数,纵坐标表示幅度。

[0127] 源信号经过一个随机混合矩阵 $A_{5 \times 3}$ 后,得到5个观测信号 $X_1 \sim X_5$,参见图3所示,图3为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种观测信号组成示意图;

[0128] 此时,假设源信号 S 与随机混合矩阵 $A_{5 \times 3}$ 均未知,仅根据观测信号 X ,通过独立分量分析处理得到分离矢量 $Y(k)$ 对应的分离信号 $Y_1 \sim Y_3$,参见图4所示,图4为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种分离矢量 $Y(k)$ 对应的分离信号示意图。

[0129] 其中,独立分量分析处理在收敛误差精度为 10^{-7} 情况下,迭代用时0.0780s。经计算,分离信号与对应的源信号的相关系数分别为-0.9980、-1.0000/0.9763。

[0130] 参见图5和图6所示,图5为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种源信号的频谱示意图;图6为本发明提供的一种噪声压制方法中的一种分离信号的频谱示意图;分离信号中的两个独立分量 Y_1 和 Y_2 的主频分别为100Hz和60Hz,分别对应的与源信号 S_2 和 S_1 相比,频率无变化。即当观测信号中不包含加性白噪声时,独立分量分析处理能够准确地对观测信号进行分离,得到分别与各个源信号对应相同的分离信号,从而分离出噪声源信号,得到有效信号。

[0131] 由以上模拟实验仿真结果可知,改进后的ICA算法收敛速度快、计算精度高,且不必再在频率域进行滤波处理,且能够有效地克服加性白噪声对常规ICA算法的影响,较好地分离出叠前地震资料中的噪声源信号,从而实现对叠前地震资料中的噪声源信号进行压制的目的,且与现有技术中的陷波处理方法相比,能够有效地保护与噪声源信号处于相同频段的有效信号,利于后续储层预测及反演等解释工作,满足实际生产的需要。

[0132] 本发明提供了一种噪声压制方法,对传统的ICA算法进行了改进。本发明首先对 M 个检波器接收到的 M 个观测信号进行了加性白噪声去除处理,去除了观测信号中的加性白噪声,然后再对 M 个观测信号进行独立分量分析处理,将观测信号中的噪声源信号分离出来并去除,从而得到有效信号。即本发明不仅能够去除噪声源信号,还能够去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率高;且去除加性白噪声后再进行独立分量分析处理,满足了独立分量分析处理中“噪声忽略不计”的前提,避免了加性白噪声对独立分量分析处理造成影响,提高了结果的准确性。

[0133] 本发明还提供了一种噪声压制系统,参见图7所示,图7为本发明提供的一种噪声压制系统的结构示意图。该系统包括:

[0134] 获取单元11,用于获取 M 个检波器接收到的 M 个观测信号;其中,每个观测信号由相互独立的 N 个源信号组成; M 和 N 均为正整数;

[0135] 噪声去除单元12,用于对M个观测信号进行加性白噪声去除处理,得到去除加性白噪声之后的M个观测信号;

[0136] 独立分量分析处理单元13,用于对去除加性白噪声之后的M个观测信号进行独立分量分析处理,得到相互分离的N个源信号;

[0137] 有效信号取得单元14,从相互分离的N个源信号中去除噪声源信号,得到有效信号。

[0138] 本发明提供了一种噪声压制系统,对传统的ICA算法进行了改进。本发明首先对M个检波器接收到的M个观测信号进行了加性白噪声去除处理,去除了观测信号中的加性白噪声,然后再对M个观测信号进行独立分量分析处理,将观测信号中的噪声源信号分离出来并去除,从而得到有效信号。即本发明不仅能够去除噪声源信号,还能够去除观测信号中的加性白噪声,去除噪声的效率高;且去除加性白噪声后再进行独立分量分析处理,满足了独立分量分析处理中“噪声忽略不计”的前提,避免了加性白噪声对独立分量分析处理造成影响,提高了结果的准确性。

[0139] 需要说明的是,在本说明书中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0140] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其他实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

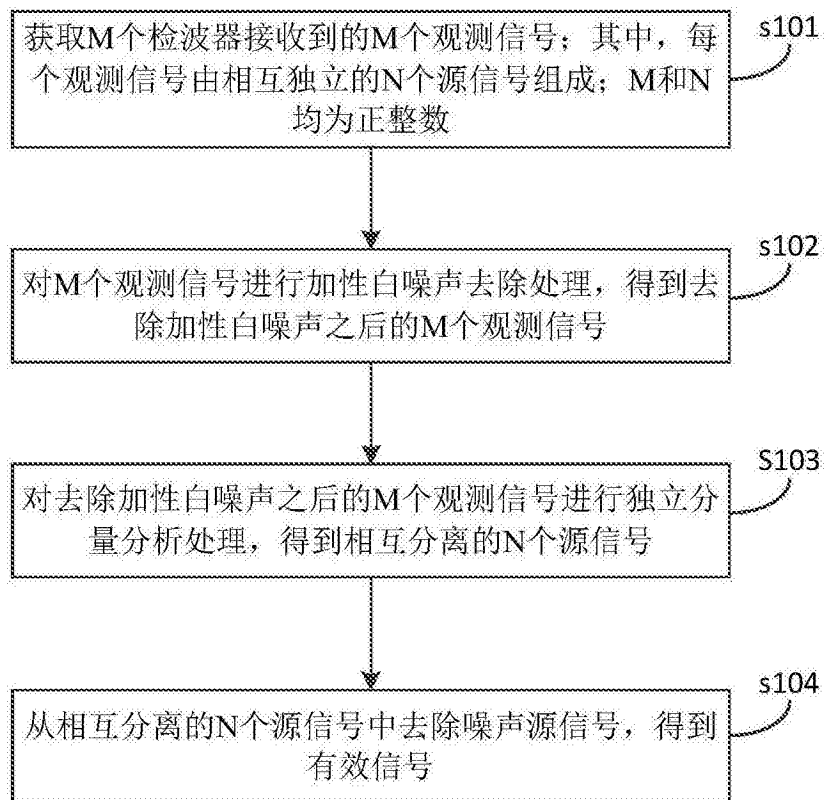


图1

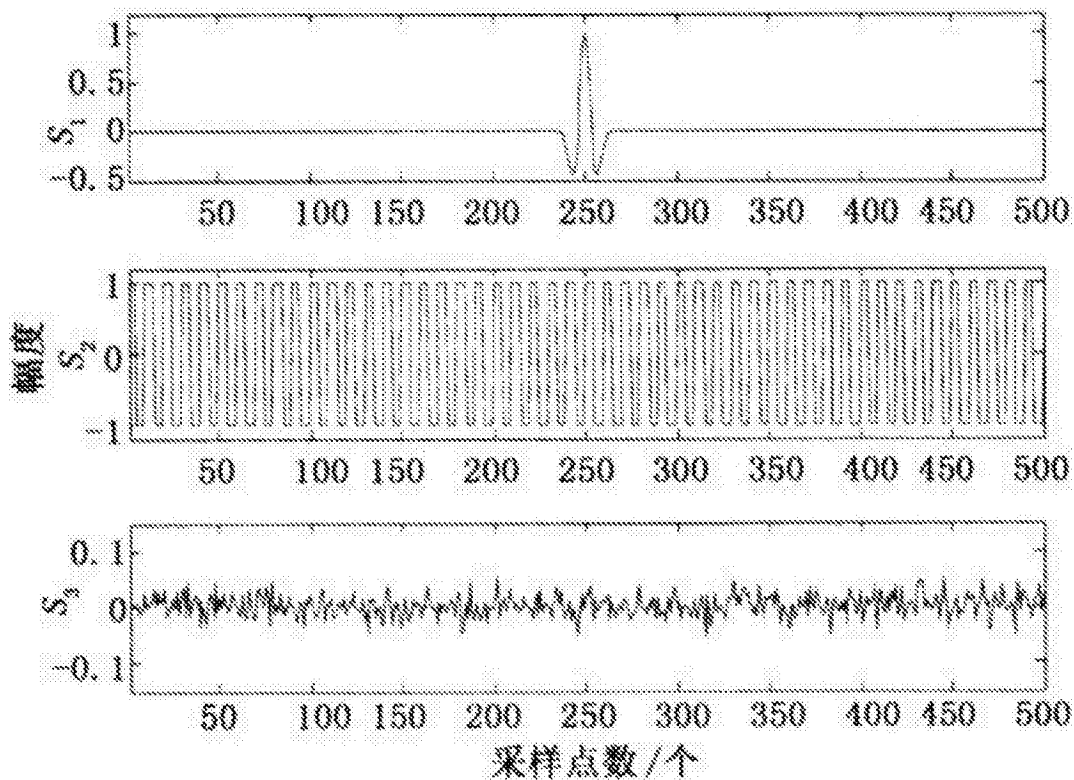


图2

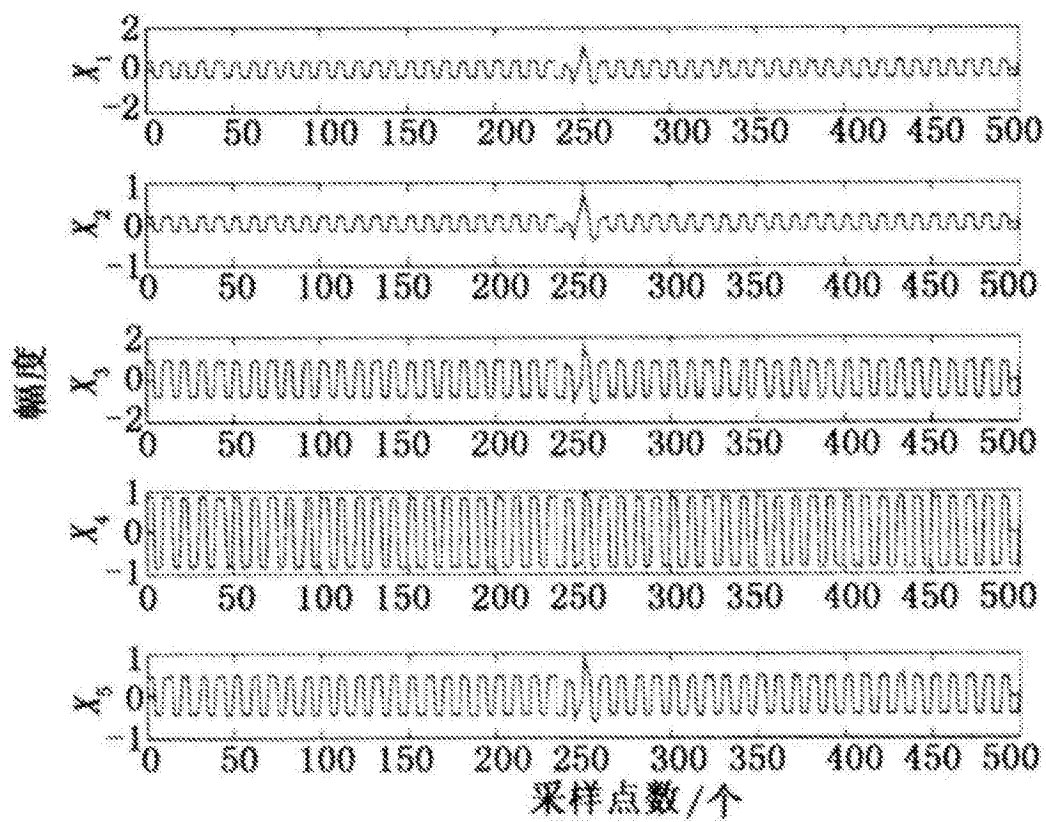


图3

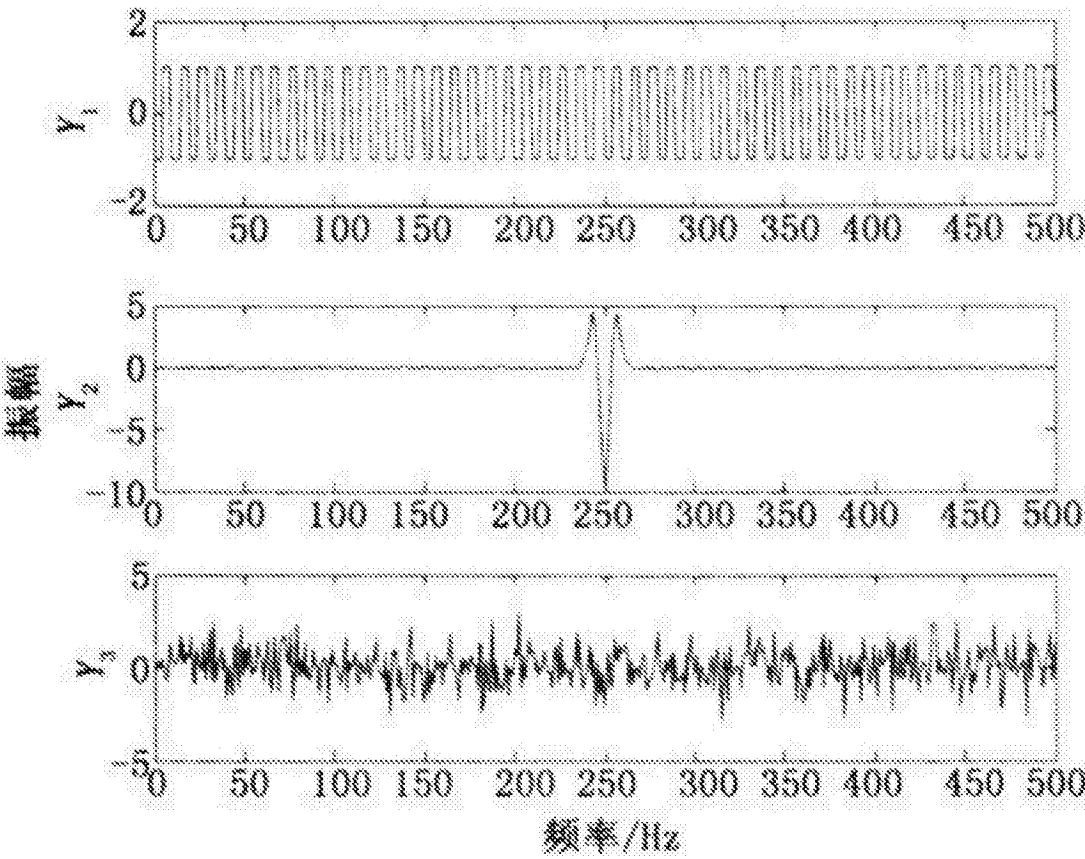


图4

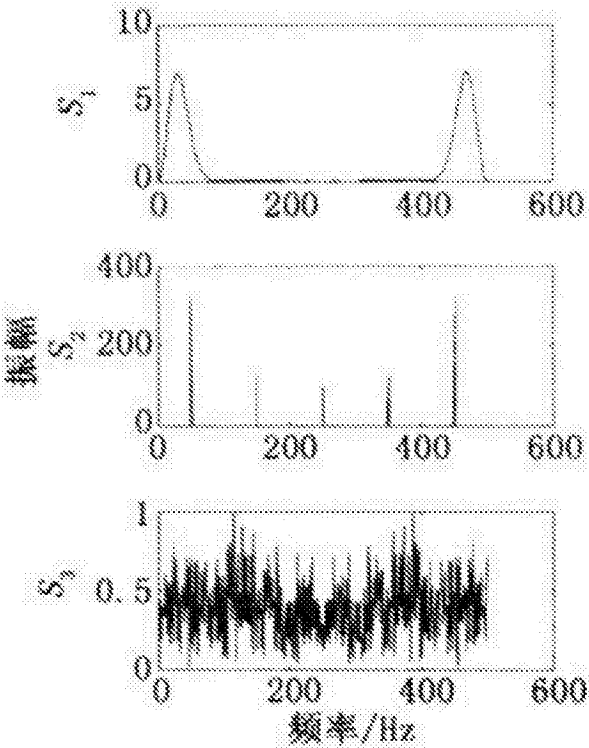


图5

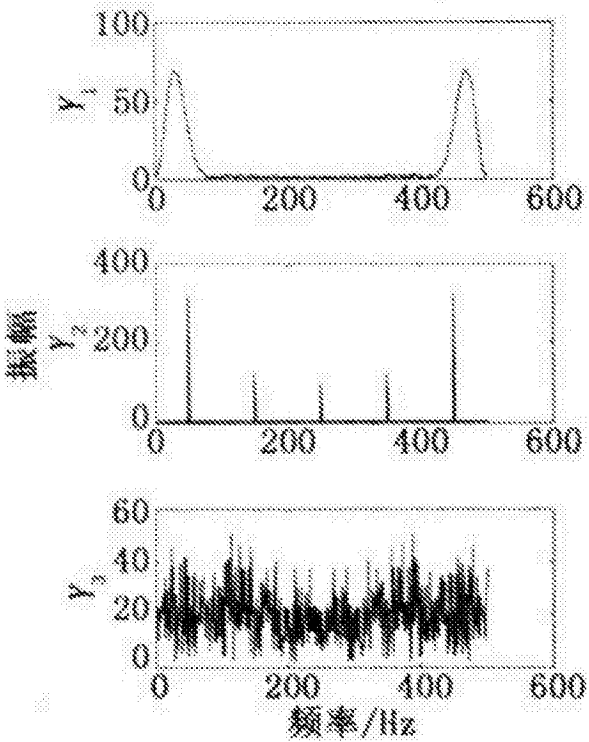


图6

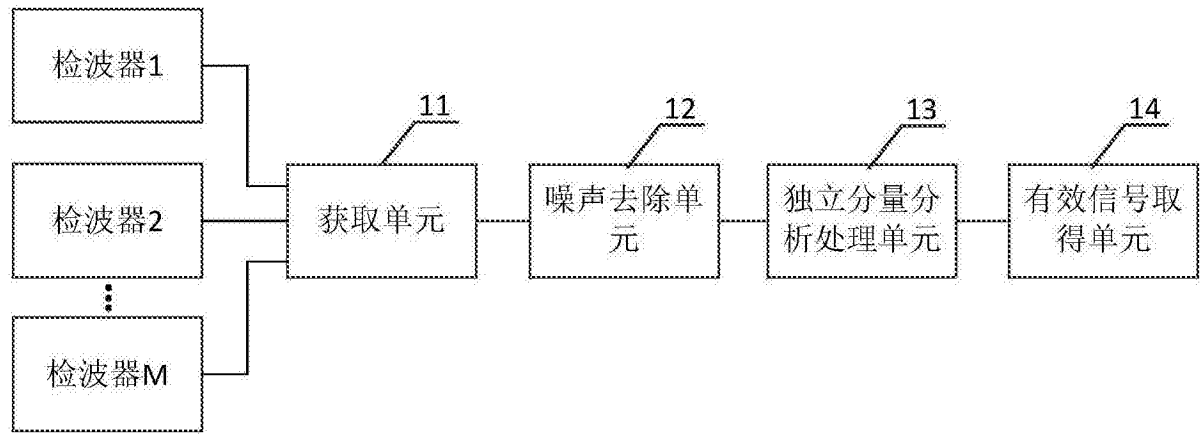


图7