

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101822548 A

(43) 申请公布日 2010.09.08

(21) 申请号 201010131911.X

(22) 申请日 2010.03.19

(71) 申请人 哈尔滨工业大学(威海)

地址 264209 山东省威海市文化西路2号

(72) 发明人 孙明健 马立勇 冯乃章 沈毅

张威

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006.01)

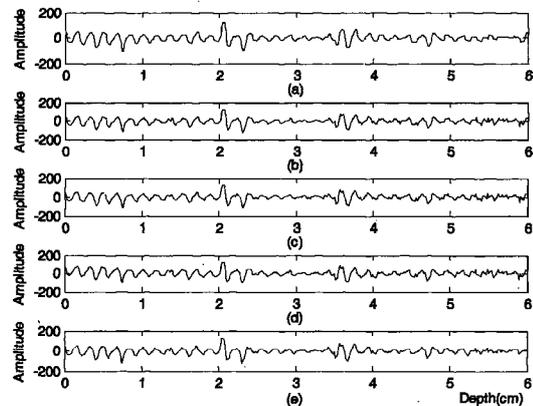
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法。首先在超声空采集状态下对纯噪声的能量曲线进行拟合,得到噪声随TGC增益变化的趋势曲线Alpha;然后将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分,一部分为回波信号与Alpha曲线的点乘,称为主噪声信号,另一部分为回波信号与前一部分的差值,称为主有用信号;对主噪声部分进行EMD分解,求取第一个IMF分量的能量比作为两帧信号的加权系数,再进行对应IMF分量的相关性分析后进行阈值处理;最后将主噪声部分和主信号部分进行加权重构后得到去噪后的信号。本发明具有自适应的信号分解和降噪能力,大大提高了超声信号的信噪比,取得了很好的去噪效果。



1. 一种基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法,其特征在于包括如下步骤:

(1) 在超声空采集状态下对纯噪声的能量曲线进行拟合,得到噪声随 TGC 增益变化的趋势曲线 Alpha;

(2) 将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分,一部分为回波信号与 Alpha 曲线的点乘,称为主噪声信号,另一部分为回波信号与前一部分的差值,称为主有用信号;

(3) 对主噪声部分进行 EMD 分解,求取第一个 IMF 分量的能量比作为两帧信号的加权系数,再进行对应 IMF 分量的相关性分析后进行阈值处理;

(4) 将主噪声部分和主信号部分进行加权重构后得到去噪后的信号。

2. 根据权利要求 1 所述的基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法,其特征在于:步骤(2)中,所述将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分:一部分为回波信号与 Alpha 曲线的点乘,称为主噪声信号 Noise:

$$x_{\text{Noise}}(t) = \alpha \cdot x(t)$$

另一部分为回波信号与前一部分的差值,称为主有用信号 Avail:

$$x_{\text{Avail}} = x(t) - x_{\text{Noise}}(t)$$

其中 $x(t)$ 、 $x_{\text{Noise}}(t)$ 和 $x_{\text{Avail}}(t)$ 分别表示超声回波信号、主噪声信号和主有用信号, α 表示噪声信号的能量比值。

3. 根据权利要求 1 所述的基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法,其特征在于:步骤(3)中,所述求取第一个 IMF 分量的能量比作为两帧信号的加权系数为:

$$\text{IMF_coef1} = E_{21} / (E_{11} + E_{21})$$

$$\text{IMF_coef2} = E_{11} / (E_{11} + E_{21})$$

其中 E_{11} 和 E_{21} 分别为两帧回波信号主噪声部分第一个 IMF 分量的总能量, IMF_coef1 和 IMF_coef2 分别为两帧信号重构的加权系数。

基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超声信号去噪方法,尤其涉及一种基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法。

背景技术

[0002] 超声成像技术具有实时性好、无损伤、无电离辐射、使用方便等优点,因而在临床诊断中得到了广泛应用。超声波在人体组织中传播时必然会引起反射和吸收等能量的损失,因此随着探测深度加深,回波信号会减弱,信噪比下降,所以通常采用时间增益补偿(TGC-TimeGain Compensation)放大器对回波信号进行补偿,远场噪声也得到了一定程度的放大,形成了近场噪声小、远场噪声大的噪声,是一种时变的噪声^[1]。

[0003] 超声信号中噪声的存在无法避免,大大影响了超声图像的对比灵敏度,降低了图像质量。因此应该尽量减小噪声,提高有用信号强度,即提高信噪比,从而改善图像的质量,所以寻找有效的去噪方法一直是超声信号和超声图像处理过程中一项重要的研究内容^[2]。

[0004] 经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)是最新发展起来的处理非平稳非线性信号的方法,其主要的优点在于基函数可以从信号自身获得,克服了小波变换中选择基函数的困难。根据信号时间尺度的不同,EMD可以将复杂的信号分解成若干个按频率由高到低排列的固有模态函数(intrinsic mode function, IMF)和一个余项(Residue)的和。其中IMF反应信号的内部特征,余项表示信号的趋势,故可以将EMD分解看作是信号极值特征尺度为度量的时空滤波过程,可以利用这个性质对信号进行滤波分析和降噪处理^[3-6]。

[0005] 超声信号中噪声的幅值和频率是时刻变化的,适合采用时频分析的方法进行处理,传统的分析方法主要包括傅立叶变换、短时傅立叶变换,小波变换等^[7],由于这些变换的自身存在对非平稳、非线性信号处理能力有限,具有确切表达式的基函数导致自适应能力较差的缺点,而EMD方法是一种自适应的信号处理方法,具有自适应的信号分解和降噪能力,因此可以将EMD方法应用到超声信号去噪中来。

[0006] 由于超声设备所扫描的大部分组织为静态组织,即使是动态组织,其相对于超声设备的高成像帧率,变化也是非常小的,所以可以取连续两帧的相同位置的的回波信号进行处理,可以认为两帧回波信号中是有用信号是不变的,而噪声成分是随机变化的,所以两帧回波信号的噪声是不相关的,在此基础上区分出噪声强弱区域后重点提取主噪声部分各自进行EMD分解,通过分析对应IMF分量的相关性进行分段处理,取得了很好的去噪效果。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对现有超声信号去噪方法存在的缺点和不足,提供一种基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法。这种方法不仅结合了EMD分解自适应的信号分解和降噪能力,而且基于能量的噪声经验阈值对超声回波信号进行分段处理,不仅可以大大提高超声回波信号的信噪比,减小均方差和平均绝对误差,而且克服了EMD分解

的模式混叠现象,可以最大限度的除去噪声,保留有用回波信号。

[0008] 本发明的目的通过下述技术方案实现:本发明首先在超声空采集状态下对纯噪声的能量曲线进行拟合,得到噪声随 TGC 增益变化的趋势曲线 Alpha;然后将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分,一部分为回波信号与 Alpha 曲线的点乘,称为主噪声信号,另一部分为回波信号与前一部分的差值,称为主有用信号;对主噪声部分进行 EMD 分解,求取第一个 IMF 分量的能量比作为两帧信号的加权系数,再进行对应 IMF 分量的相关性分析后进行阈值处理;最后将主噪声部分和主信号部分进行加权重构后得到去噪后的信号。

[0009] 以下对本发明作进一步的说明,包括如下步骤:

[0010] 第一步,求取噪声随 TGC 增益变化的趋势曲线。首先超声工作在空采状态下,即探头前没有任何物体,可得到一组信号,该信号为随机噪声在 TGC 的作用下所形成的噪声,然后使用非线性最小二乘法对噪声的能量曲线进行拟合,得到噪声随 TGC 增益变化的趋势曲线 Alpha。

[0011] 第二步,将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分。一部分为回波信号与 Alpha 曲线的点乘,称为主噪声信号 Noise:

$$[0012] \quad x_{\text{Noise}}(t) = \alpha \cdot x(t) \quad (1)$$

[0013] 另一部分为回波信号与前一部分的差值(相当于含噪成分多的超声信号),即残余信号(相当于含噪成分少的超声信号),称为主有用信号,称为主有用信号 Avail:

$$[0014] \quad x_{\text{Avail}} = x(t) - x_{\text{Noise}}(t) \quad (2)$$

[0015] 其中 $x(t)$ 、 $x_{\text{Noise}}(t)$ 和 $x_{\text{Avail}}(t)$ 分别表示超声回波信号、主噪声信号和主有用信号, α 表示噪声信号的能量比值。

[0016] 第三步,完成回波信号的 EMD 分解与相关性分析。取连续两帧的相同位置的回波信号 Signal1 和 Signal2,将第一部分信号(主噪声信号 Noise1 和 Noise2)进行 EMD 分解,得到 IMF_Noise1 和 IMF_Noise2,其中 IMF_Noise1 和 IMF_Noise2 的第一个分量基本为噪声,所以求出这两个对应分量的平均能量的反比,以该反比作为两个对应分量的加权时的权值。求取第一个 IMF 分量的能量比作为两帧信号的加权系数为:

$$[0017] \quad \text{IMF_coef1} = E_{21} / (E_{11} + E_{21}) \quad (3)$$

$$[0018] \quad \text{IMF_coef2} = E_{11} / (E_{11} + E_{21}) \quad (4)$$

[0019] 其中 E_{11} 和 E_{21} 分别为两帧回波信号主噪声部分第一个 IMF 分量的总能量, IMF_coef1 和 IMF_coef2 分别为两帧信号重构的加权系数。

[0020] 对于两个一维信号 $x(t)$ 与信号 $y(t)$ 的相关性系数,可以这样求得:

$$[0021] \quad R(x, y) = \frac{C(x, y)}{\sqrt{C(x, x)C(y, y)}} \quad (5)$$

[0022] 其中 $C(x, y)$ 表示 x 矩阵与 y 矩阵的协方差。

[0023] 根据式 (5) 可对于相应的 EMD 分解的 IMF 分量,取一定的窗长度进行相关性计算,其结果在 0-1 的范围,表征了 IMF_Noise1 与信号 IMF_Noise2 对应分量的相关性大小。将该区间分为几个相互连续的子区间,将计算出的结果作为所取窗范围中心元素的相关性参数,根据求得的相关性系数取阈值对信号分段进行处理。

[0024] 第四步,完成主噪声信号和主有用信号的信号重构。将主噪声部分 Noise 的最终

结果 Result 与主信号部分 Avail (取 Avail1 和 Avail2 的均值) 进行信号加权重构, 得到去噪后的最终结果。

[0025] 本发明在基于 EMD 分解的滤波器的基础上, 引入基于能量比的相关系数对超声回波信号进行分段处理, 可以最大限度的除去超声回波信号中的噪声, 保留有用回波信号, 有广泛的应用前景。

附图说明

[0026] 图 1 超声回波信号纯噪声的能量曲线 Alpha 示意图。

[0027] 其中, 图 1(a) 为超声回波信号纯噪声的能量曲线, 图 1(b) 为采用非线性最小二乘的方法拟合出噪声信号的数学模型 Alpha 曲线。

[0028] 图 2 超声回波信号对应的主噪声部分和主有用部分示意图。

[0029] 其中, 图 2(a) 为超声回波信号 Signal1 对应的主噪声部分 Noise1, 图 2(b) 超声回波信号 Signal2 对应的主噪声部分 Noise2, 图 2(c) 为超声回波信号 Signal1 对应的主有用部分 Avail1, 图 2(d) 为超声回波信号 Signal2 对应的主有用部分 Avail2。超声回波信号 Signal1 和超声回波信号 Signal2 是采集到的连续两帧的相同位置的超声回波信号。

[0030] 图 3 基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法与其它去噪方法的效果对比图。

[0031] 其中, 图 3(a) 为超声信号自适应中值滤波去噪结果, 图 3(b) 为超声信号维纳滤波去噪结果, 图 3(c) 为超声信号小波软阈值滤波结果, 图 3(d) 为超声信号 EMD 分解重构结果, 图 3(e) 为基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪结果。

具体实施方式

[0032] 为了更好地了解本发明的技术方案, 以下结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0033] 第一步, 求取噪声随 TGC 增益变化的趋势曲线。

[0034] 在超声成像系统空采集状态下, 可以采集到纯噪声信号。根据 TGC 曲线的特性可知, 噪声信号的数学模型是非线性的, 在图 1(a) 中给出了纯噪声信号的能量曲线, 采用非线性最小二乘的方法拟合出噪声信号的数学模型 Alpha 曲线, 如图 1(b) 所示。

[0035] 第二步, 将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分。

[0036] 采集两帧连续的相同位置的超声回波信号 Signal1 和 Signal2, 根据超声射频回波的生成原理可将其分成两部分: 一部分为源信号与 Alpha 增益的点乘, 相当于回波信号中含噪声大的部分, 即主噪声部分 Noise1 和 Noise2, 分别如图 2(a) 和图 2(b) 所示; 另一部分为回波信号与前一部分的差值, 相当于超声回波信号中的有用部分 Avail1 和 Avail2, 分别如图 2(c) 和图 2(d) 所示。

[0037] 第三步, 完成回波信号的 EMD 分解与相关性分析。

[0038] 将主噪声部分进行 EMD 分解, 取一定的窗口尺寸对每一个 IMF 分量与另一个信号相对应的 IMF 分量进行相关性计算, 将计算出的结果作为窗口中心元素的相关性系数, 然后对这一组分量进行阈值处理:

[0039] (1) 当对应的相关性低于噪声下限阈值, 则搜索以当前为中心的一定窗口范围内

的点的相关性,若都小于下限,则该点置 0;若有大于上限的点,则将中心点的值置为该点值;若以上两种情况都不满足,则将该窗口内的每个点按其相关性按系数取加权和,作为该点的值;

[0040] (2) 当对应的相关性大于噪声上限阈值,则保持原值不变;

[0041] (3) 当对应的相关性介于噪声上下限阈值之间,则最终将该窗口内的每个点按其相关性取加权和,作为该点的值。

[0042] 由于主噪声信号中含有噪声信号和有用信号,故对含有有用信号较多的 IMF 乘上较大的加权系数,对含有有用信号少而噪声较多的 IMF 乘上较小的加权系数。因为主噪声信号 EMD 分解后的第一个 IMF 分量为纯噪声信号,因此将分解后的各 IMF 分量按第一个 IMF 的能量的反比为权值取加权和,得到最终的主噪声信号去噪结果。

[0043] 第四步,完成主噪声信号和主有用信号的信号重构。

[0044] 将主噪声部分 Noise 的最终结果与主信号部分 Avail(取 Avail1 和 Avail2 的均值)进行信号加权重构,得到去噪后的最终结果,如图 3(e) 所示。

[0045] 按照以上步骤在 MATLAB7.0 中进行仿真计算,实验中超声回波信号构建如下模型:

$$x(t) = A(t - \tau_0) \cos[2\pi(f_0 - f_d)(t - \tau_0)] + n(t) \quad (6)$$

[0047] 其中, τ_0 是距离发射时刻的时间偏移, f_0 表示发射信号中心频率, f_d 表示频率下移量。假定组织是均质的,则回波的中心频率随深度线性衰减,即 f_d 是探查深度的线性函数。 $A(t)$ 是一个慢动的时间信号,仿真中采用的是实际超声图像中的一条扫查波束, $n(t)$ 代表噪声。取 $f_0 = 4\text{MHz}$, 在 6cm 深度回波中心频率下移量为 400KHz。对采集到的超声源信号进行去噪分析,分别采用自适应中值滤波、维纳滤波、小波软阈值滤波、EMD 分解重构方法和基于相关性分析和经验模态分解的超声信号去噪方法,其中小波软阈值滤波选用 'sym4' 小波,5 层分解,软阈值去噪,阈值选用 Matlab 中的 'heursure' 阈值,结果如图 3 所示,并对滤波结果进行比较。关于滤波算法去除噪声和保护有用信号的综合性能,一般采用信噪比 (SNR)、均方误差 (MSE) 和平均绝对误差 (MAE) 等指标来进行评判,滤波结果的评价指标如表 1 所示。通过上述滤波试验可以看出,相比其它的滤波除噪方法,本发明的去噪方法获得了最大的 SNR 和最小的 MSE 与 MAE,对于噪声具有最佳的去噪效果,它不仅结合了 EMD 分解自适应的信号分解和降噪能力,而且基于噪声的 Alpha 曲线对超声回波信号进行分段,着重提取出主噪声部分进行相关性分析后进行阈值处理,不仅可以大大提高超声回波信号的信噪比,而且克服了 EMD 分解的模式混叠现象,可以最大限度的除去噪声,保留有用回波信号。

[0048] 表 1 滤波结果评价指标的比较表

[0049]

去噪方法	SNR	MSE	MAE
自适应中值滤波	12.0241	61.4875	5.4257
维纳滤波	11.0114	77.6359	5.5978
小波软阈值滤波	10.8582	80.4228	5.7408
EMD 分解重构方法	9.6316	103.2710	10.0963
基于相关性分析与经验模态分解的去噪方法	15.2032	29.5717	3.5505

[0050] 参考文献

- [0051] [1] 王艳丽, 金宝荣. 影响超声图像质量的变量因素及控制对策. 数理医药学杂志. 2007, vol. 20, no. 1, pp. 85-86.
- [0052] [2] J. U. Quistgaard. Signal Acquisition and Processing in Medical Diagnostic Ultrasound. IEEE SignalProcessing Magazine. 1997, vol. 10, no. 1, pp. 67-73.
- [0053] [3] Wu, Z., and N. E. Huang, A study of the characteristics of white noise using the empirical modedecomposition method, Proc. Roy. Soc. London, 2004, pp. 1597-1611.
- [0054] [4] Patrick Flandrin, Paulo Goncalves, Gabriel Rilling. Detrending and denoising with empirical modedecompositions. Pro. EUSIPCO, Wien, Austria, 2004, pp. 20-30.
- [0055] [5] Flandrin, P., G. Rilling, and P. **Gonçalves**, Empirical Mode Decomposition as a Filter Bank. IEEE SignalProcessing Letters, vol. 11, no. 2, Feb. 2004, pp. 112-114.
- [0056] [6] Han C, Guo H, Wang C, Fan D. A novel rmethod to reduce speckle in SAR images. International Journalof Remote Sensing, 2002, vol. 23, no. 23, pp. 5095-5101.
- [0057] [7] QIAN Shie. Introduction to time-frequency and wavelet transforms, China machine press, 2005, pp. 99-173.

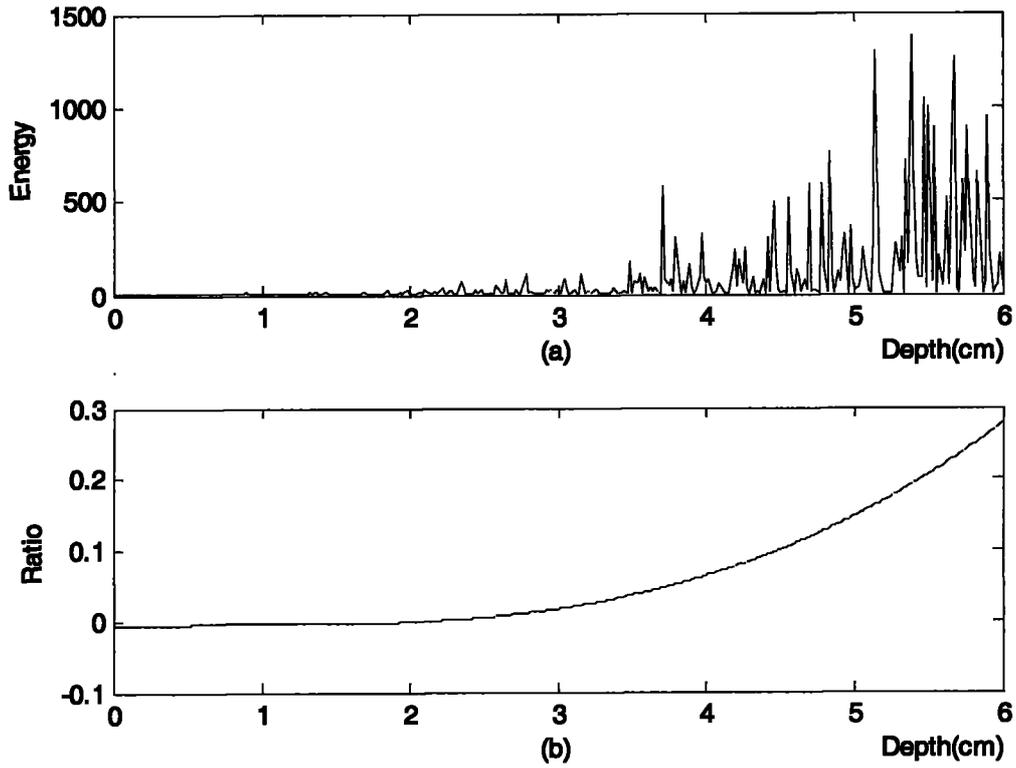


图 1

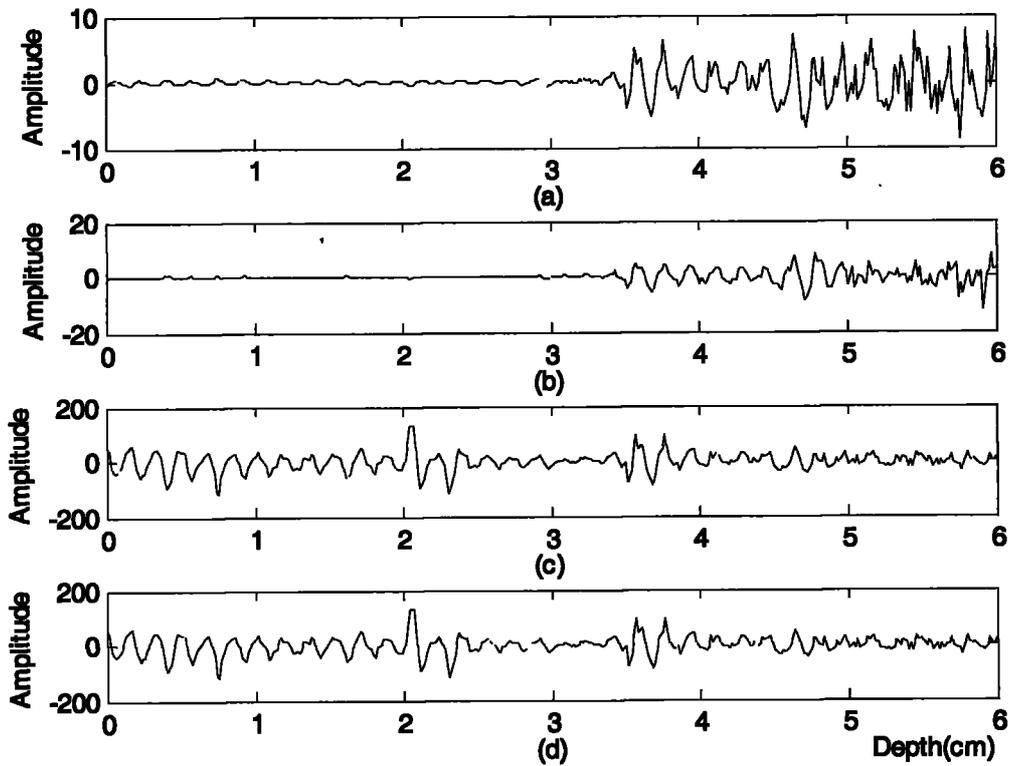


图 2

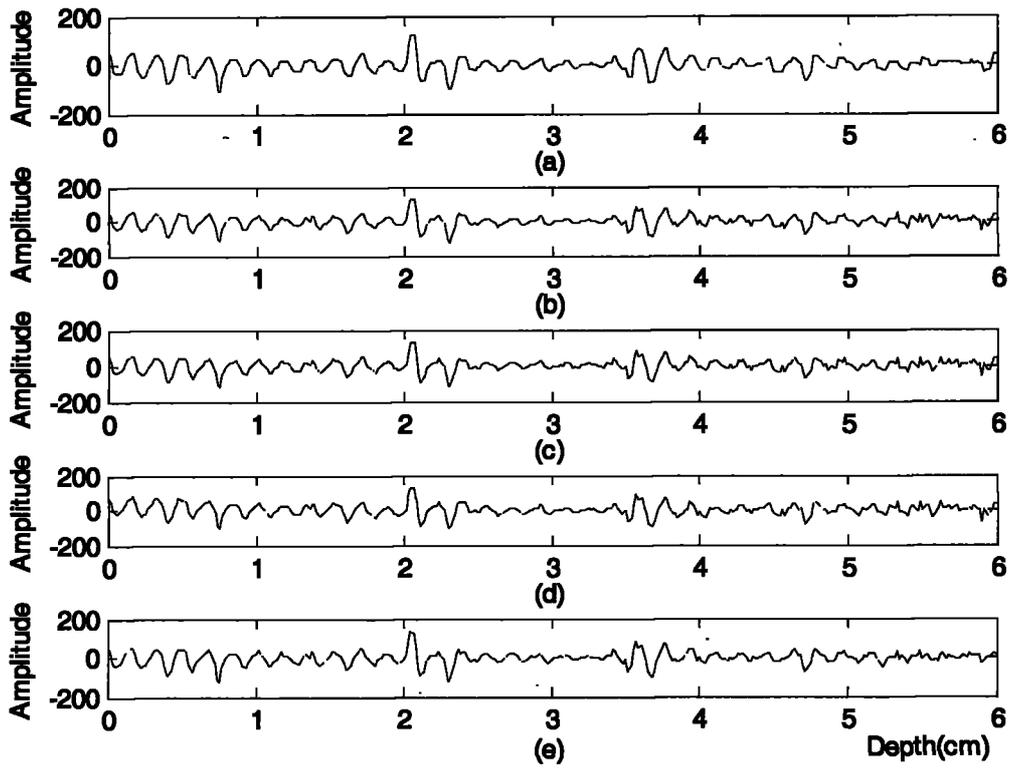


图 3

专利名称(译)	基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法		
公开(公告)号	CN101822548A	公开(公告)日	2010-09-08
申请号	CN201010131911.X	申请日	2010-03-19
[标]申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学(威海)		
申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学(威海)		
当前申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学(威海)		
[标]发明人	孙明健 马立勇 冯乃章 沈毅 张威		
发明人	孙明健 马立勇 冯乃章 沈毅 张威		
IPC分类号	A61B8/00		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供一种基于相关性分析与经验模态分解的超声信号去噪方法。首先在超声空采集状态下对纯噪声的能量曲线进行拟合，得到噪声随TGC增益变化的趋势曲线Alpha；然后将正常采集到的连续两帧的超声回波信号分成两部分，一部分为回波信号与Alpha曲线的点乘，称为主噪声信号，另一部分为回波信号与前一部分的差值，称为主有用信号；对主噪声部分进行EMD分解，求取第一个IMF分量的能量比作为两帧信号的加权系数，再进行对应IMF分量的相关性分析后进行阈值处理；最后将主噪声部分和主信号部分进行加权重构后得到去噪后的信号。本发明具有自适应的信号分解和降噪能力，大大提高了超声信号的信噪比，取得了很好的去噪效果。

