



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104138277 B

(45) 授权公告日 2016.03.16

(21) 申请号 201410366119.0

(22) 申请日 2014.07.29

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 沈毅 潘文磊 金晶 王艳 章欣

(51) Int. Cl.

A61B 8/08(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102198009 A, 2011.09.28,

CN 101889877 A, 2010.11.24,

CN 102274050 A, 2011.12.14,

CN 101658434 A, 2010.03.03,

US 2010/0074496 A1, 2010.03.25,

US 2013/0163839 A1, 2013.06.27,

何光进等. 基于 EMD 与三阶累积量的水声瞬态信号检测.《舰船科学技术》.2012, 第 34 卷(第 1 期), 第 78-81 页.

陈凤林. 一种新的基于 EMD 模态相关的信号去噪方法.《西华大学学报(自然科学版)》.2009, 第 28 卷(第 6 期), 第 20-24 页.

曹汉. 基于相关系数的经验模态分解算法的改进.《中国新通信》.2010, 第 12 卷(第 7 期), 第 50-53 页.

黄骏等. 经验模态分解停止准则及在故障诊断中的应用.《机械强度》.2011, 第 33 卷(第 5 期), 第 655-659 页.

张磊等. 基于经验模式分解的骨密度参数检测.《电子技术应用》.2011, 第 37 卷(第 12 期), 第 94-97 页.

审查员 李陆美

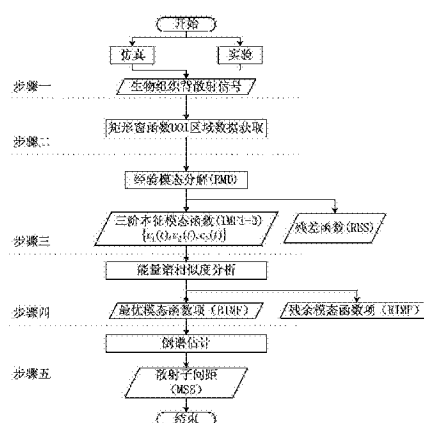
权利要求书1页 说明书4页 附图8页

(54) 发明名称

定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法,其检测方法为:步骤一、获取生物组织超声背散射信号;步骤二、截取 DOI 区域的背散射信号作为输入数据;步骤三、对输入数据进行 EMD 分解,得到三阶本征模态函数和一个残余项;步骤四、提取三阶本征模态函数能量谱,并与原信号能量谱进行相似度分析,确定包含组织微结构信息的 BIMF;步骤五、对确定出的 BIMF 进行估计,计算组织散射子间距信息。本发明具有如下优势:(1) 提取模态函数项 BIMF,去除非相干模态函数项中的无用信息;(2) 消除弥散散射元信号及噪声干扰,抑制倒谱中的干扰峰值,提高 MSS 估计精度,估计精度可达 90~95%。



1. 一种定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 其特征在于所述检测方法步骤如下:

步骤一、采用仿真获取方式或实验获取方式获取生物组织超声背散射信号, 所述实验获取方式中, 超声背散射信号收发由 2MHz 高频单阵元聚焦探头实现, 探头聚焦距离为 25mm, 探测方式为单一探头背散射作用方式;

步骤二、截取 DOI 区域的背散射信号作为输入数据;

步骤三、对输入数据进行 EMD 分解, 得到三阶本征模态函数和一个残余项;

步骤四、执行能量谱筛选, 分别求得三阶本征模态函数能量谱, 并与原信号能量谱进行相似度分析, 根据能量谱极值点值及其位置, 确定包含组织微结构信息的 BIMF;

步骤五、利用倒谱估计方法对 BIMF 进行估计, 由计算结果估计组织等效散射子间距, 利用该散射子间距表征生物组织特性。

2. 根据权利要求 1 所述的定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 其特征在于所述仿真数据获取方式采用有限元数值求解方法。

3. 根据权利要求 1 所述的定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 其特征在于所述步骤二中, 采用矩形窗函数截取 DOI 区域的背散射信号作为输入数据。

4. 根据权利要求 1 所述的定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 其特征在于所述步骤二中, 仿真数据截取信号序列时间长度为 $4\mu s$, 实验数据截取信号序列长度为 $8.125\mu s$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 其特征在于所述步骤三的具体步骤为:

1) 输入 DOI 区域背散射信号 $x(t)$ 为原始函数, $t = 1, 2, \dots, N$, N 为采样点数;

2) 确定输入的原始函数极值点, 采用三次样条函数确定输入信号上下包络 $x_L(t)$ $x_U(t)$;

3) 计算上下包络均值 $m_i(t) = \frac{1}{2}(x_L(t) + x_U(t))$, 定义 $h_i(t)$ 为原始函数与该包络均值的差值函数 $h_i(t) = x_i(t) - m_i(t)$, i 表示第 i 次分解, 分解结束得到第 i 个本征模态函数;

4) 迭代计算判断差值函数 $h_i(t)$ 是否满足 IMF 条件, 判断决策过程采用标准偏差准则:

$H_{SD} = (h_{(k-1)}(t) - h_k(t))^2 / h_{(k-1)}^2(t)$, $h_k(t)$ 为第 k 次迭代差值函数; 若 $H_{SD} \leq 0.15$, 则第 i 个本征模态函数成分 IMF i 定义为 $c_i(t) = h_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, N$, 继续执行第 5 步; 否则差值函数 $h_i(t) = x_i(t) - m_i(t)$ 作为输入的原始函数 $x_i(t)$ 返回执行第 2 步;

5) 存储 IMF 分解次数为 N , 判断若 $N \geq 3$, 继续执行第 6 步, 否则剩余函数 $x_i(t) = x_{i-1}(t) - c_i(t)$ 返回执行第 2 步, $c_i(t)$ 为第 i 个本征模态函数;

6) 经过上述迭代计算, 获得原始函数 3 个本征模态函数成分 IMF1, IMF2, IMF3: $\{c_1(t), c_2(t), c_3(t)\}$ 。

定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用超声背散射技术对表征组织微观结构的平均散射子间距进行检测的方法。

背景技术

[0002] 医学超声广泛应用于人体组织器官成像中,虽然该技术在临床应用中已经具有相当成熟的应用基础,并能提供实时的高精度人体器官图像,但其不能提供由于组织钙化、变异等导致的微观结构变化。

[0003] 目前一些等效散射子模型如二元混合模型、Faran 圆柱模型以及弱散射子模型等常用来表征组织微观结构变化。在这些模型中,组织的检测转化为对超声衰减、背散射系数、散射子密度、散射子直径和平均散射子间距 (MSS) 等的检测。其中 MSS 是一种最常用的方法,该方法主要利用了生物组织在声学特性分布上具有一定的准周期性,这种生物周期性来自组织结构中的规则散射元和弥散散射元,会随着组织健康状况改变而发生变化,通过利用 MSS 测量该周期性,可以对生物组织微观结构进行测量,并对如血管动脉粥样硬化、骨质疏松等健康状况做出诊断。

[0004] 在平均散射子间距估计中目前常用的方法主要有倒谱方法、功率谱方法和瞬态相关图等方法。这些方法在一定程度上能够有效检测平均散射子间距,但受背散射超声信号序列短、衰减大和噪声大的影响,检测结果不稳定。一些自相关谱分析方法、周期性小波变换方法、奇异谱分析方法等提高了检测鲁棒性,但计算量大,在去除噪声和弥散散射信号干扰方面有待提高。

发明内容

[0005] 为了解决定量超声系统中利用现有技术方法无法有效消除超声背散射信号中的噪声和弥散散射信号干扰的问题,本发明提供了一种定量超声系统中基于经验模态分解 (EMD) 的组织微观结构检测方法。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤一、获取生物组织超声背散射信号;

[0009] 步骤二、截取 DOI (Domain of Interest) 区域的背散射信号作为输入数据;

[0010] 步骤三、对输入数据进行 EMD 分解,得到三阶本征模态函数和一个残余项;

[0011] 步骤四、执行能量谱筛选:提取三阶本征模态函数能量谱,并与原信号能量谱进行相似度分析,确定包含组织微结构信息的最优模态函数项 (BIMF);

[0012] 步骤五、对确定出的 BIMF 进行估计,计算组织散射子间距信息。

[0013] 所述步骤一中,超声背散射信号获取有仿真和实验两种获取方式。其中实验获取

方式中,超声背散射信号收发由 2MHz 高频单阵元聚焦探头实现,探头聚焦距离为 25mm,探测方式为单一探头背散射作用方式。

[0014] 所述步骤二中,截取 DOI 区域信号时,采用矩形窗函数。仿真数据截取信号序列时间长度为 $4\mu s$,实验数据截取信号序列长度为 $8.125\mu s$ 。

[0015] 所述步骤三中,基于经验模态分解的组织微观结构检测方法具体通过以下迭代进行检测:

[0016] 1) 输入 DOI 区域背散射信号 $x(t)$ ($t = 1, 2, \dots, N$, N 为采样点数) 为原始函数;

[0017] 2) 确定输入的原始函数极值点,采用三次样条函数确定输入信号上下包络 $x_L(t)$ $x_U(t)$;

[0018] 3) 计算上下包络均值 $m_i(t) = \frac{1}{2}(x_{L_i}(t) + x_{U_i}(t))$, 定义 $h_i(t)$ 为原始函数与该包络均值的差值函数 $h_i(t) = x_i(t) - m_i(t)$; (i 表示第 i 次分解,分解结束得到第 i 个本征模态函数)

[0019] 4) 迭代计算判断差值函数 $h_i(t)$ 是否满足 IMF 条件,判断决策过程采用标准偏差 (Standard Deviation, SD) 准则:

[0020] $H_{SD} = (h_{(k-1)}(t) - h_k(t))^2 / h_{(k-1)}^2(t)$ ($h_k(t)$ 为第 k 次迭代差值函数)。若

[0021] $H_{SD} \leq 0.15$, 则第 i 个本征模态函数成分 IMF i 定义为

[0022] $c_i(t) = h_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, N$), 继续执行第 5 步; 否则差值函数 $h_i(t) = x_i(t) - m_i(t)$ 作为输入的原始函数 $x_i(t)$ 返回执行第 2 步;

[0023] 5) 存储 IMF 分解次数为 N 。判断若 $N \geq 3$, 继续执行第 6 步, 否则剩余函数 $x_i(t) = x_{i-1}(t) - c_i(t)$ 返回执行第 2 步 ($c_i(t)$ 为第 i 个本征模态函数);

[0024] 6) 经过上述迭代计算, 获得原始函数 3 个本征模态函数成分 IMF1, IMF2, IMF3: $\{c_1(t), c_2(t), c_3(t)\}$ 。

[0025] 所述步骤四中, 执行能量谱筛选, 分别求得三阶本征模态函数 IMF1-3 能量谱, 根据能量谱极值点值及其位置, 确定包含组织微结构信息的最优模态函数项 (BIMF)。

[0026] 所述步骤五中, 利用倒谱估计方法对模态函数项 BIMF 进行估计, 由计算结果估计组织等效散射子间距, 利用该散射子间距表征生物组织特性。

[0027] 本发明所述的一种定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法, 可应用于生物医学检测、组织定征领域。与现有检测技术及方法相比, 具有如下优势:

[0028] (1) 提取模态函数项 BIMF, 去除非相干模态函数项中的无用信息;

[0029] (2) 消除弥散散射元信号及噪声干扰, 抑制倒谱中的干扰峰值, 提高 MSS 估计精度, 估计精度可达 $90 \sim 95\%$ 。

附图说明

[0030] 图 1 为本发明中技术方法流程图;

[0031] 图 2 为本发明中超声组织背散射仿真数据获取示意图;

[0032] 图 3 为本发明中生物组织目标区域 (DOI 区域) 示意图;

[0033] 图 4 为本发明中超声组织背散射实验数据获取示意图;

[0034] 图 5 为本发明中仿真背散射信号;

[0035] 图 6 为本发明中仿真背散射信号 EMD 分解所得三阶本征模态函数 (IMF1-3);

- [0036] 图 7 为本发明中实验背散射信号；
- [0037] 图 8 为本发明中实验背散射信号 EMD 分解所得三阶本征模态函数 (IMF1-3)；
- [0038] 图 9 为本发明中仿真数据原始信号的平均散射子间距倒谱估计结果；
- [0039] 图 10 为本发明中仿真数据最优模态函数项 BIMF 的平均散射子间距倒谱估计结果；
- [0040] 图 11 为本发明中实验数据原始信号的平均散射子间距倒谱估计结果；
- [0041] 图 12 为本发明中实验数据最优模态函数项 BIMF 的平均散射子间距倒谱估计结果。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图对本发明的技术方案作进一步的说明,但并不局限于此,凡是对本发明技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的保护范围内。

[0043] 本发明提供了一种基于有限元的超声理疗骨组织内部应力分布数值模拟方法,其实现的过程如图 1 所示,具体包括以下步骤:

[0044] (1) 获取生物组织超声背散射信号。

[0045] 获取生物组织超声背散射信号的方式包括仿真和实验两种获取方式。

[0046] 仿真数据获取方式采用有限元数值求解方法。在有限元求解过程中,对目标区域 DOI 进行离散化处理,离散单元采用 2-D8 节点单元 Plane-82,DOI 区域大小为 $16 \times 32\text{mm}$,散射子大小为 $0.1 \pm 0.05\text{mm}$,散射子数量为 32,散射子间距为 0.5。采用自由边界条件,单元离散化尺寸为超声波长的 $1/10$ 。利用有限元方法求解弹性波动方程:

$$[0047] \quad \rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \left(\mu + \eta \frac{\partial}{\partial t} \right) \nabla^2 \mathbf{u} + \left(\lambda + \mu + \xi \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\eta}{3} \frac{\partial}{\partial t} \right) \nabla \nabla \cdot \mathbf{u};$$

[0048] 其中 λ 和 μ 分别为第一阶和第二阶拉梅常量, $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x, y, z, t)$ 为位移场矢量, η 和 ξ 为粘度, ρ 为组织密度。

[0049] 图 2 所示为当超声频率为 1MHz,超声速度为 2073m/s 时弹性波动方程的求解结果。

[0050] 实验背散射信号的获取采用来自骨组织的超声背散射信号。图 3 所示为选定的骨组织 DOI 区域,该区域位于股骨两端,区域上线边界法线平行于受力方向。采用 2MHz 单阵元超声探头,焦距 25mm,由三维移动平台搭载进行 DOI 区域扫描,如图 4 所示。

[0051] (2) 采用矩形窗函数截取 DOI (Domain of Interest) 区域的背散射信号作为输入数据。

[0052] 获取超声背散射数据采用矩形窗函数截取来自 DOI 区域的组织背散射信号。对于仿真超声背散射信号,矩形窗截取区间 $7.5 \mu\text{s} \sim 11.5 \mu\text{s}$,采样数为 805,如图 5 所示;对于实验超声背散射信号,矩形窗截取区间为 $50 \mu\text{s} \sim 58.125 \mu\text{s}$,采样数为 650,如图 7。

[0053] (3) 对输入数据进行 EMD 分解,得到三阶本征模态函数 (IMF1-3) $\{c_1(t), c_2(t), c_3(t)\}$ 。

[0054] 对输入信号进行 EMD 分解时,采用三次样条插值函数确定输入信号上下包络。在迭代计算中标准偏差 SD 较大的区域,将该区域分离,并对分离部分增加迭代次数。该操作通过定义阈值 $\theta = 0.15$ 和窗函数 $w(t)$ 实现:

$$[0055] \quad w(t) = \begin{cases} 1 & \left| \frac{m(t)}{\frac{1}{2} \cdot (e_{\max}(t) - e_{\min}(t))} \right| > \theta \\ 0 & \text{others} \end{cases};$$

[0056] 则迭代计算时,步骤三第 4 步差值函数变为 $h_i(t) = x_i(t) - w(t) \cdot m_i(t)$ 。

[0057] 仿真和实验超声背散射数据经过 EMD 分解后得到的三阶模态函数如图 6 和图 8 所示。

[0058] (4) 分别求得 3 阶本征模态函数 IMF1-3 能量谱,根据能量谱极值点值及其位置,筛选包含组织微结构信息的最优模态函数项 (BIMF)。

[0059] 经窗函数截取的初始信号极值点值序列为 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, 极值点位置序列为 $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ 。经 EMD 分解的三阶模态函数极值点值序列分别为 V_1, V_2, V_3 , 计算其与原信号极值点值序列 V 相关性为 C_{v1}, C_{v2}, C_{v3} ; 经 EMD 分解的三阶模态函数极值点位置序列分别为 P_1, P_2, P_3 , 计算其与原信号极值点值序列 V 相关性为 C_{p1}, C_{p2}, C_{p3} 。模态函数项 BIMF 定义为 $C_{vi} + C_{pi}$ ($i = 1, 2, 3$) 取最大值时的模态函数项。

[0060] (5) 对确定出的 BIMF 做倒谱估计,计算组织散射子间距信息。

[0061] 采用倒谱散射子估计方法,对选定的模态函数项 BIMF 进行倒谱估计。仿真超声背散射数据原信号倒谱估计结果及 BIMF 散射子间距估计结果如图 9 和图 10 所示。实验超声背散射数据原信号倒谱估计结果及 BIMF 散射子间距估计结果如图 11 和图 12 所示。可以看出,干扰峰值得到抑制,反应 MSS 的正确倒谱峰值得到增强。

[0062] 倒谱峰值所对应时间为 t_{cmax} , 则 MSS 值可用下式进行计算:

$$[0063] \quad MSS = \frac{t_{cmax} \cdot V_s}{2};$$

[0064] 式中, V_s 为超声在介质中的传播速度。

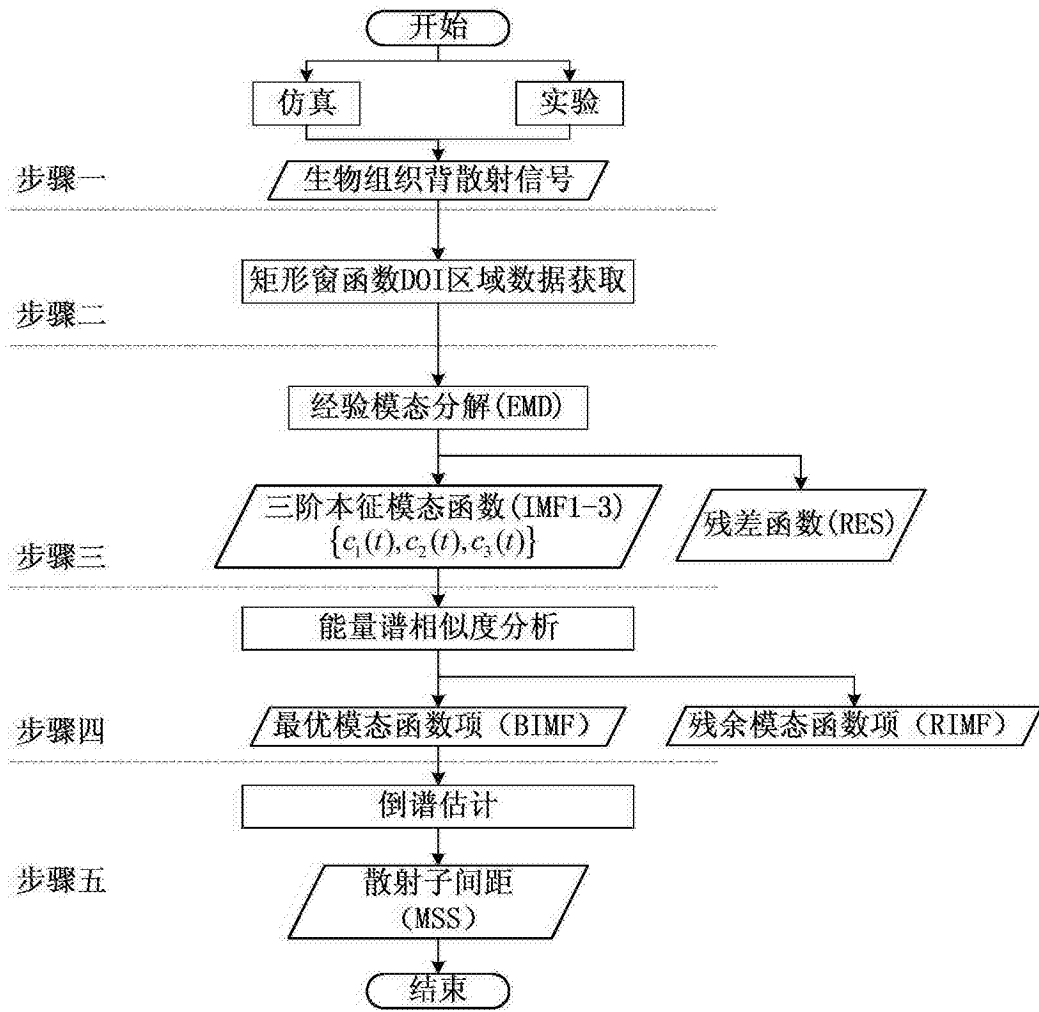


图 1

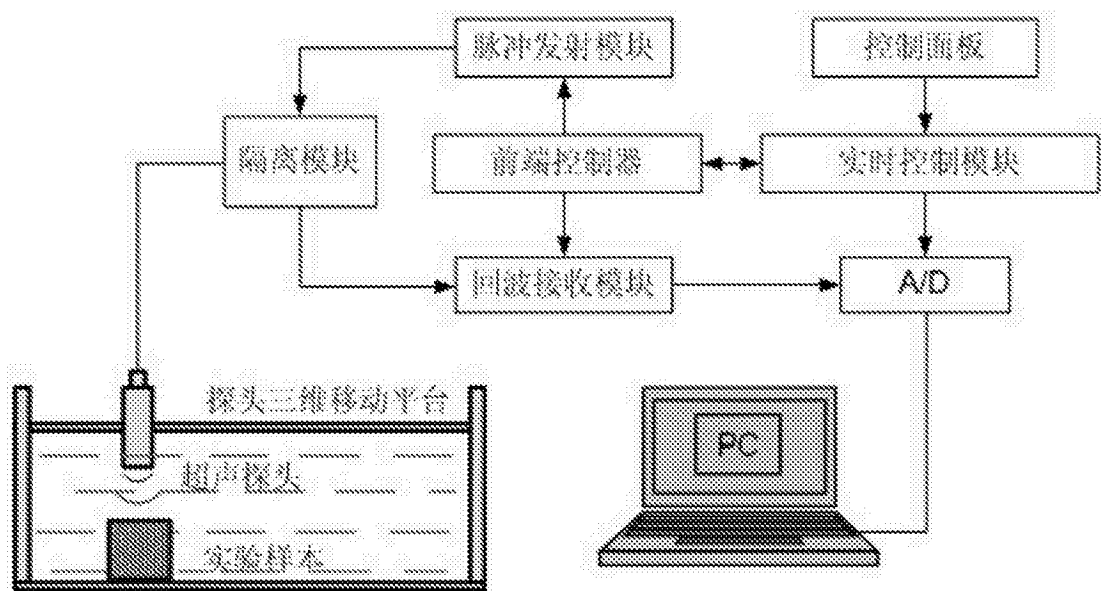


图 4

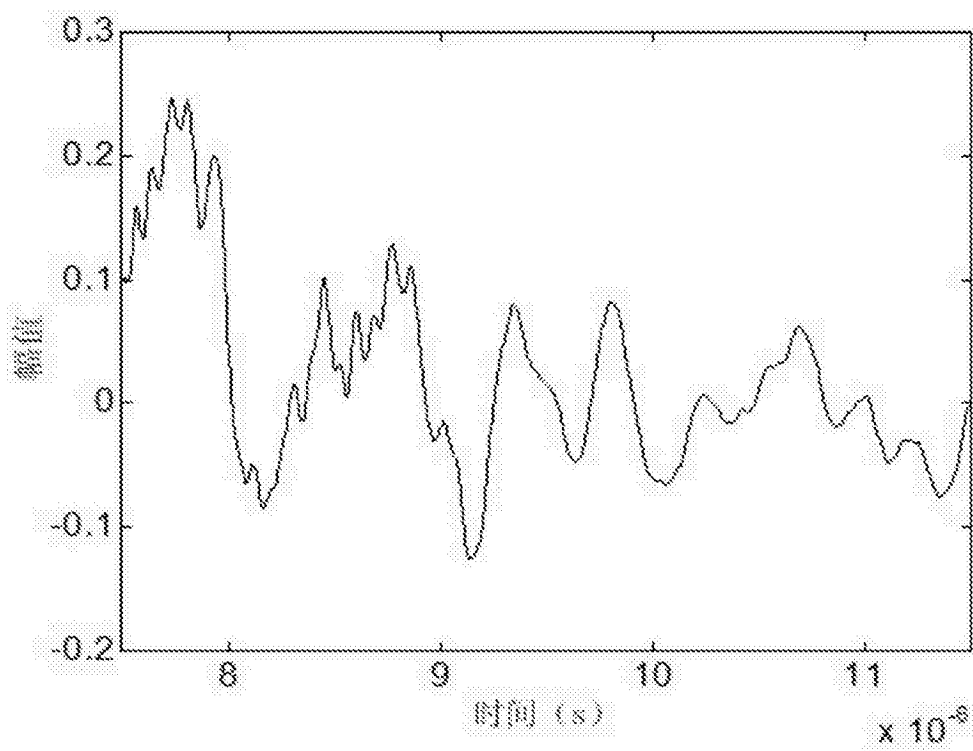


图 5

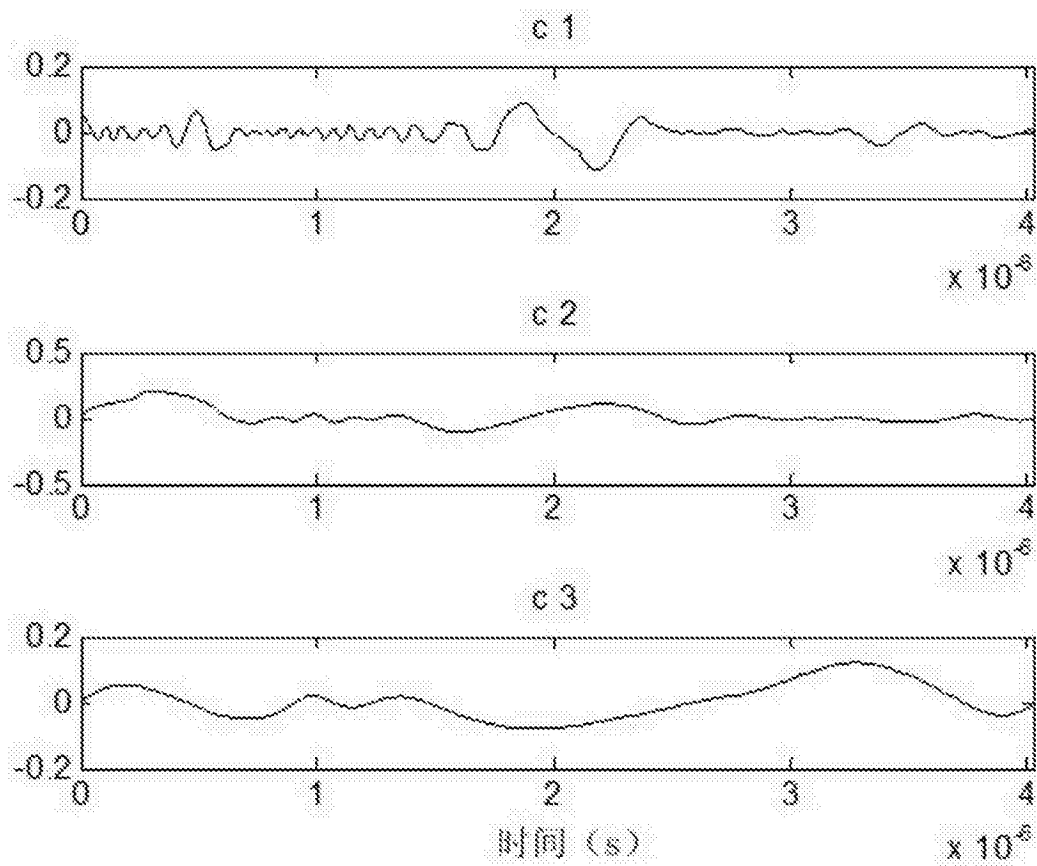


图 6

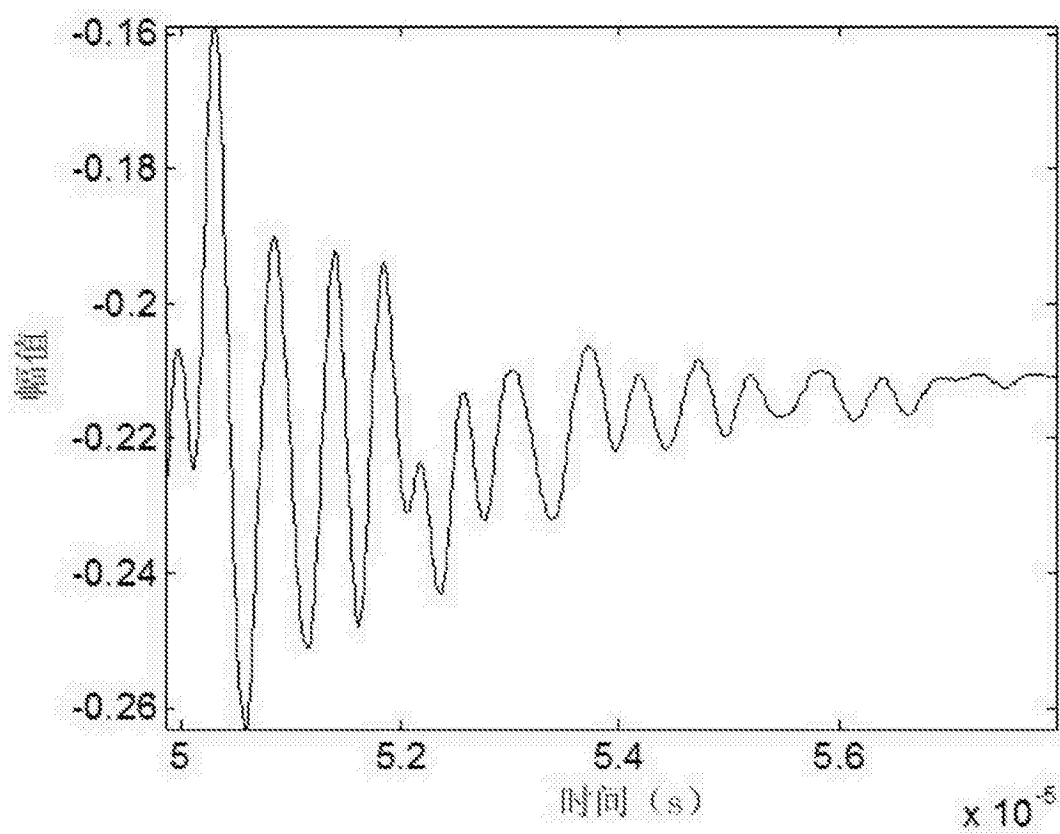


图 7

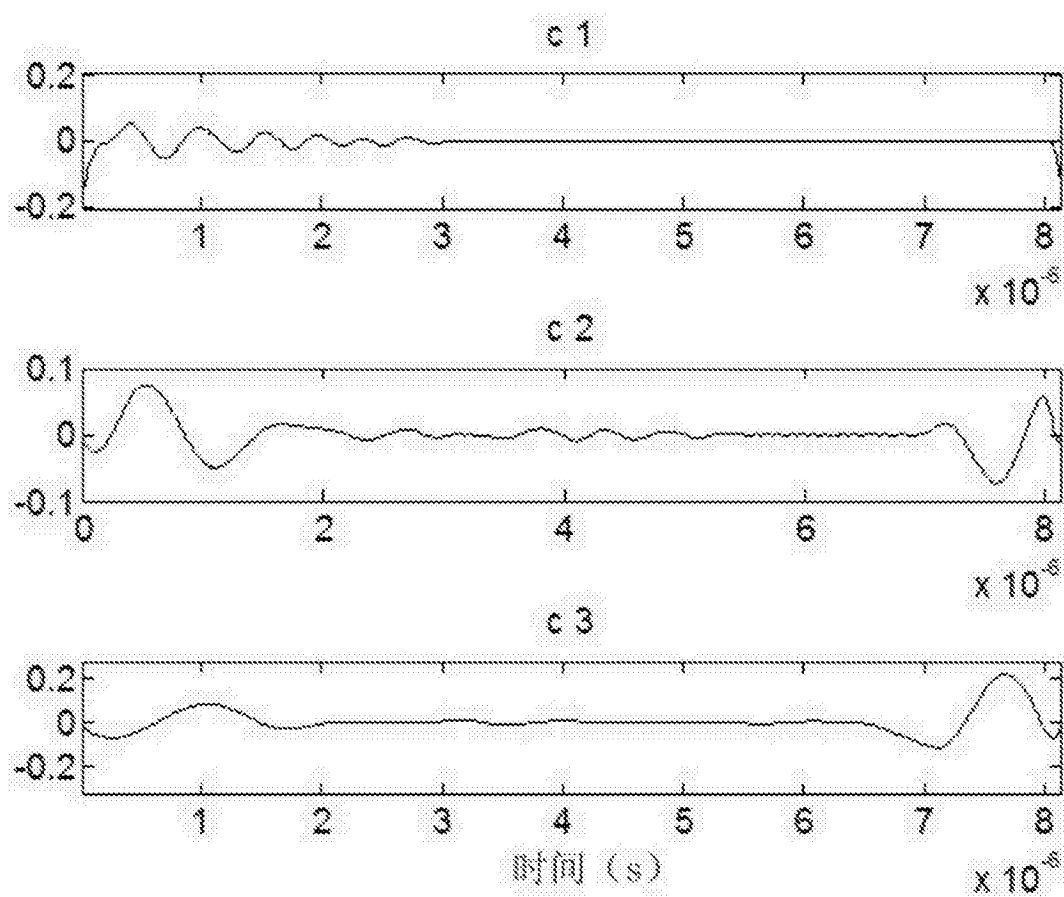


图 8

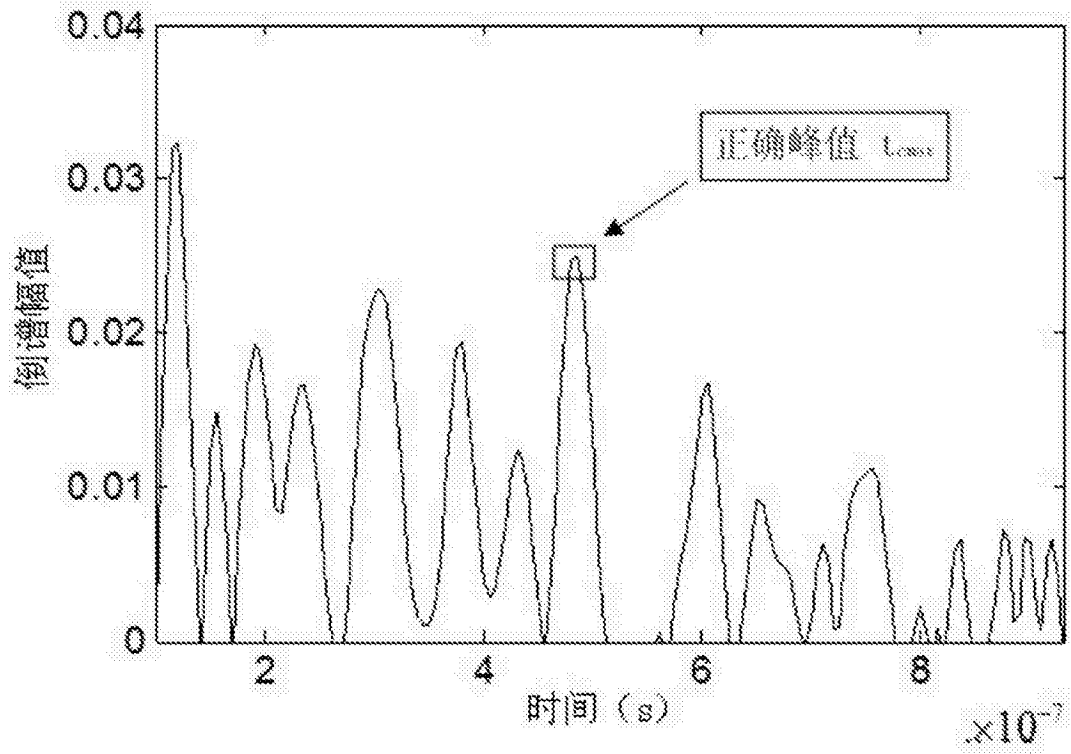


图 9

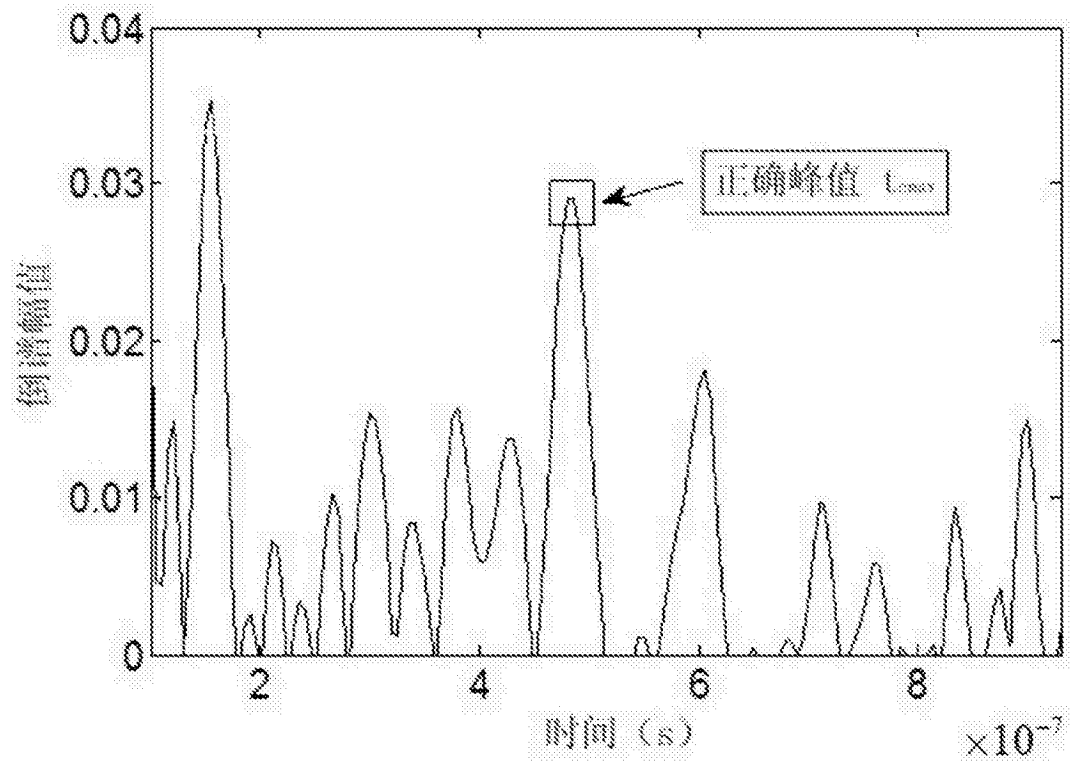


图 10

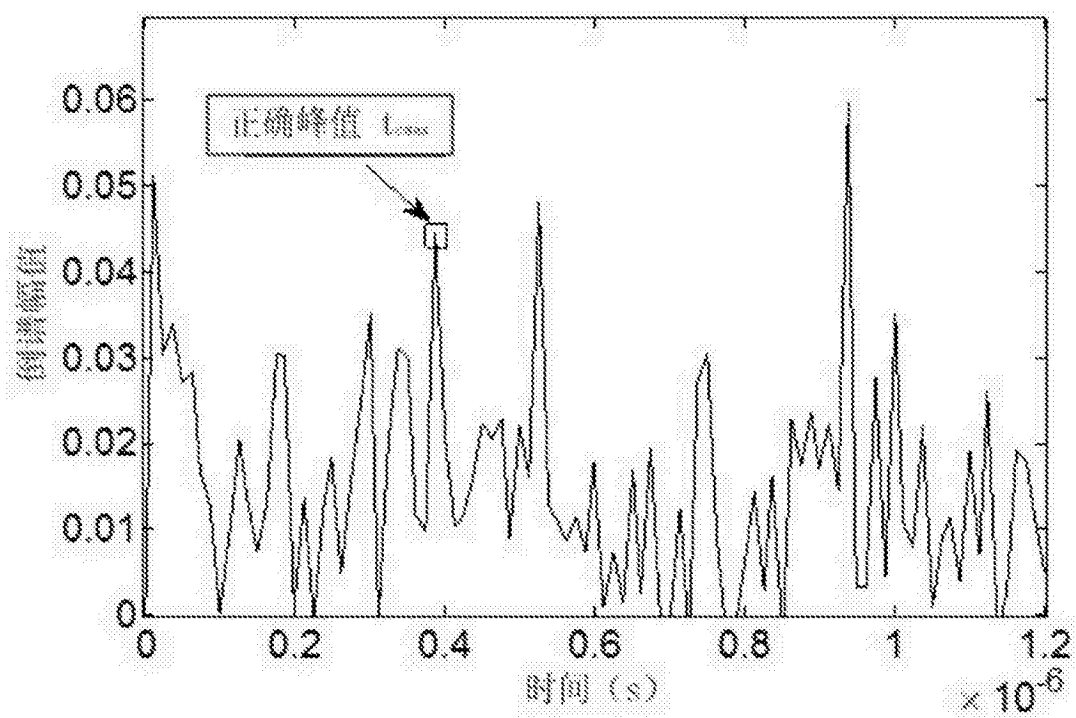


图 11

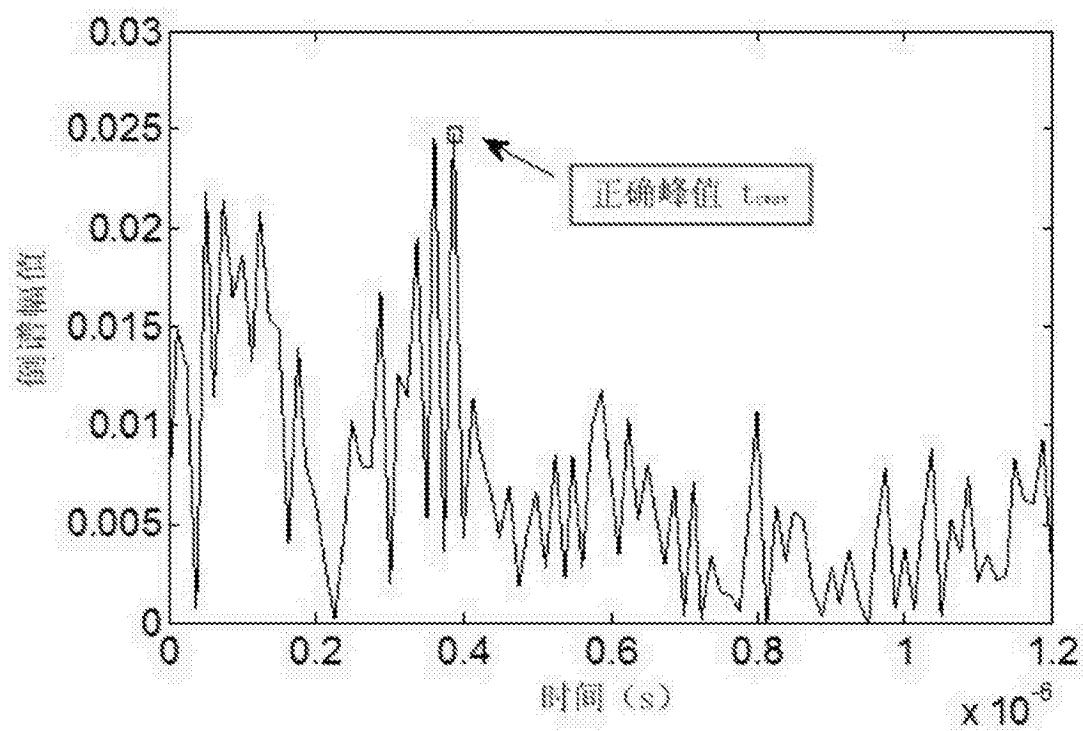


图 12

专利名称(译)	定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法		
公开(公告)号	CN104138277B	公开(公告)日	2016-03-16
申请号	CN201410366119.0	申请日	2014-07-29
[标]申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
当前申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
[标]发明人	沈毅 潘文磊 金晶 王艳 章欣		
发明人	沈毅 潘文磊 金晶 王艳 章欣		
IPC分类号	A61B8/08		
其他公开文献	CN104138277A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种定量超声系统中基于经验模态分解的组织微观结构检测方法，其检测方法为：步骤一、获取生物组织超声背散射信号；步骤二、截取DOI区域的背散射信号作为输入数据；步骤三、对输入数据进行EMD分解，得到三阶本征模态函数和一个残余项；步骤四、提取三阶本征模态函数能量谱，并与原信号能量谱进行相似度分析，确定包含组织微结构信息的BIMF；步骤五、对确定出的BIMF进行估计，计算组织散射子间距信息。本发明具有如下优势：(1)提取模态函数项BIMF，去除非相关模态函数项中的无用信息；(2)消除弥散散射元信号及噪声干扰，抑制倒谱中的干扰峰值，提高MSS估计精度，估计精度可达90~95%。

