



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105844645 B

(45)授权公告日 2019.11.12

(21)申请号 201610195907.7

(22)申请日 2016.03.31

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105844645 A

(43)申请公布日 2016.08.10

(73)专利权人 深圳大学

地址 518060 广东省深圳市南山区南海大道3688号

(72)发明人 覃正笛 和晓念 陈昕 陈思平

(74)专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务所(普通合伙) 44268

代理人 王永文 刘文求

(51)Int.Cl.

G06T 9/00(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 103908304 A,2014.07.09,

CN 103549978 A,2014.02.05,

林浩铭 等.表面波软组织黏弹性测量仿真的研究.《深圳大学学报理工版》.2013,第30卷(第3期),261-267.

刘宝亮.基于超声瞬时弹性成像技术的生物组织弹性特性研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 医药卫生科技辑》.2011,(第12期),E080-42.

鲍静.医学超声成像系统的编码激励技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程技术II辑》.2009,(第04期),C030-69.

审查员 张笑迪

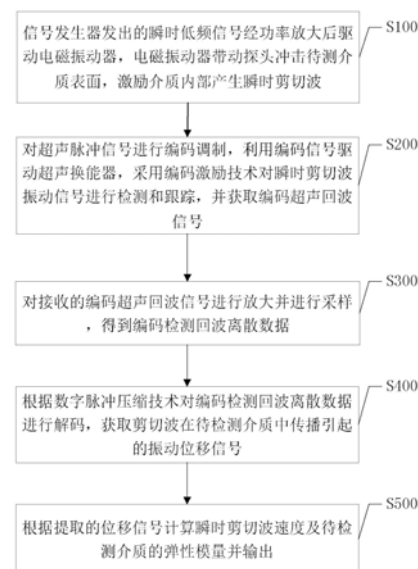
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统,方法包括:信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,激励介质内部产生瞬时剪切波;对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪,并获取编码超声回波信号;对接收的编码超声回波信号进行放大并采样,得到编码检测回波离散数据;根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。本发明提高信号的平均发射能量,提高回波信号的信噪比、系统的检测灵敏度和超声穿透能力,改善剪切波振动信号提取质量,提高了瞬时弹性成像深度检测穿透力。



1. 一种瞬时弹性成像编码检测方法,其特征在于,方法包括:

A、信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,电磁振动器带动探头冲击待检测介质表面,激励介质内部产生瞬时剪切波;

B、对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪,并获取编码超声回波信号;

C、对接收的编码超声回波信号进行放大并进行采样,得到编码检测回波离散数据;

D、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;

E、根据提取的振动位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出;

所述步骤E中,待检测介质的弹性模量的计算方法为:把待检测介质当成非粘性、各向同性的线弹性体,则其弹性模量E与剪切波的传播速度 C_s 理论关系表示为: $E = 3\rho C_s^2$,其中, ρ 代表待检测介质的密度,由此计算出待检测介质的弹性模量E;

所述步骤B具体包括:

B1、获取信号发生器的瞬时低频信号;

B2、利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪;

B3、获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的编码超声回波信号;

所述步骤D具体包括:

D1、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,解码后的超声回波信号y(d)为:

$$y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

d为采样深度序列号,x(d)是编码超声回波离散信号,c(i)是对应发射脉冲的码元序列,m为码的数据长度;

D2、根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;

所述步骤B2中,将超声换能器编码激励信号与低频驱动信号保持同步,这样容易实现对剪切波传播过程的检测和跟踪。

2. 根据权利要求1所述的瞬时弹性成像编码检测方法,其特征在于,所述步骤D2具体包括:

D21、获取解码后的超声回波信号,设第n帧和第n+1帧的回波信号分别为s(n)和s(n+1),其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$,互谱表示为:

$$S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)||S_{n+1}(f)|e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移; $S_n^*(f)$ 表示 $S_n(f)$ 的共轭复数;

D22、利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取,散射子振动速度 v_n 具体为:

$$v_n = c \cdot \Delta \theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分, T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率, c 为超声波速度;

D23、散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为:

$$d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

其中散射子初始位移记为 d_0 。

3. 一种瞬时弹性成像编码检测系统,其特征在于,系统包括:

剪切波生成模块,用于信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,电磁振动器带动探头冲击待检测介质表面,激励介质内部产生瞬时剪切波;

编码模块,用于对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪,并获取编码超声回波信号;

采样模块,用于对接收的编码超声回波信号进行放大并进行采样,得到编码检测回波离散数据;

解码与信号提取模块,用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;

计算与输出模块,用于根据提取的振动位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出;

其中,待检测介质的弹性模量的计算方法为:把待检测介质当成非粘性、各向同性的线弹性体,则其弹性模量 E 与剪切波的传播速度 C_s 理论关系表示为:

$$E = 3\rho C_s^2, \text{ 其中, } \rho \text{ 代表待检测介质的密度,由此计算出待检测介质的弹性模量 } E;$$

所述编码模块具体包括:

第一信号获取单元,用于获取信号发生器的瞬时低频信号;

编码单元,用于利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪;

第二信号获取单元,用于获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的编码超声回波信号;

所述解码与信号提取模块具体包括:

超声回波信号解码单元,用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,解码后的超声回波信号 $y(d)$ 为:

$$y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

d 为采样深度序列号, $x(d)$ 是编码超声回波离散信号, $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列, m 为码的数据长度;

振动位移提取单元,用于根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;

所述编码单元还用于:将超声换能器编码激励信号与低频驱动信号保持同步,这样容易实现对剪切波传播过程的检测和跟踪。

4. 根据权利要求3所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其特征在于,所述振动位移提取单元具体包括:

回波信号互谱计算单元,用于获取解码后的超声回波信号,设第n帧和第n+1帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$,其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$,互谱表示为:

$$S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)| |S_{n+1}(f)| e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移; $S_n^*(f)$ 表示 $S_n(f)$ 的共轭复数;

振动速度计算单元,用于利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取,散射子振动速度 v_n 具体为:

$$v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分, T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率, c 为超声波速度;

位移计算单元,用于散射子在第n+1帧的位移 d_{n+1} 为:

$$d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

其中散射子初始位移记为 d_0 。

一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及弹性成像技术领域,尤其涉及一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统。

背景技术

[0002] 瞬时弹性成像技术提供了一种快速、简洁、无创且完全无痛的肝脏硬度检测方法,其原理主要通过测定低频剪切波在肝组织纤维中的传播速度来判断肝脏的硬度,从而评估出肝脏纤维化的程度。法国ECHOSENS公司拥有专门用于FibroScan设备的VCTE(振动控制瞬时弹性)肝脏硬度无创定量诊断专利技术,该瞬时弹性成像技术主要装置是将超声换能器固定在电磁振动器上,电磁振动器产生低频瞬时振动,带动超声换能器探头本身在粘弹性介质表面产生瞬时冲击,从而在组织内部产生剪切波。利用超声脉冲回波技术,采用常规短脉冲方式跟踪记录瞬时剪切波在组织中随时间的传播过程。通过对超声M模式信号的分析,来确定瞬时剪切波在组织中的传播速度,从而计算组织的弹性模量。

[0003] 超声回波信号的信噪比决定了剪切波信号的提取质量。超声波在人体中随传播距离成指数衰减,离探头较远的目标所返回的超声信号很弱,受噪声干扰严重,导致深处回波信号的信噪比降低。超声在脂肪组织中传播衰减更为严重,因此在瞬时弹性成像临床应用中,对于肥胖病人,超声信号的衰减导致很难对深度位置剪切波传播引起的微小组织振动信号进行提取,该技术表现出检测穿透力不够的现象,难以实现准确检测。

[0004] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0005] 鉴于现有技术的不足,本发明目的在于提供一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统,旨在解决现有技术中超声信号的衰减导致很难对深度位置剪切波传播引起的微小组织振动信号信号进行提取,检测穿透力不够的现象,难以实现准确检测的缺陷。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种瞬时弹性成像编码检测方法,其中,方法包括:

[0008] A、信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,电磁振动器带动探头冲击待测介质表面,激励介质内部产生瞬时剪切波;

[0009] B、对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪,并获取编码超声回波信号;

[0010] C、对接收的编码超声回波信号进行放大并进行采样,得到编码检测回波离散数据;

[0011] D、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;

[0012] E、根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。

[0013] 所述的瞬时弹性成像编码检测方法,其中,所述步骤B具体包括:

[0014] B1、获取信号发生器的瞬时低频信号；

[0015] B2、利用编码信号驱动超声换能器，采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪；

[0016] B3、获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的的编码超声回波信号。

[0017] 所述的瞬时弹性成像编码检测方法，其中，所述步骤D具体包括：

[0018] D1、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码，解码后的超声回波信号 $y(d)$ 为：

$$[0019] \quad y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

[0020] d 为采样深度序列号， $x(d)$ 是编码超声回波离散信号， $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列， m 为码的数据长度；

[0021] D2、根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号。

[0022] 所述的瞬时弹性成像编码检测方法，其中，所述步骤D2具体包括：

[0023] D21、获取解码后的超声回波信号，设第 n 帧和第 $n+1$ 帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$ ，其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$ ，互谱表示为：

$$[0024] \quad S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)||S_{n+1}(f)|e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

[0025] 其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移；

[0026] D22、利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取，散射子振动速度 v_n 具体为：

$$[0027] \quad v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

[0028] 其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分， T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率， c 为超声波速度；

[0029] D23、散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为：

$$[0030] \quad d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

[0031] 其中散射子初始位移记为 d_0 。

[0032] 一种瞬时弹性成像编码检测系统，其中，系统包括：

[0033] 剪切波生成模块，用于信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器，电磁振动器带动探头冲击待测介质表面，激励介质内部产生瞬时剪切波；

[0034] 编码模块，用于对超声脉冲信号进行编码调制，利用编码信号驱动超声换能器，采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪，并获取编码超声回波信号；

[0035] 采样模块，用于对接收的编码超声回波信号进行放大并进行采样，得到编码检测回波离散数据；

[0036] 解码与信号提取模块，用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码，获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号；

[0037] 计算与输出模块，用于根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。

[0038] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统，其中，所述编码模块具体包括：

[0039] 第一信号获取单元,用于获取信号发生器的瞬时低频信号;

[0040] 编码单元,用于利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪;

[0041] 第二信号获取单元,用于获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的的编码超声回波信号。

[0042] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其中,所述解码与信号提取模块具体包括:

[0043] 超声回波信号解码单元,用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,解码后的超声回波信号 $y(d)$ 为:

$$[0044] \quad y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

[0045] d 为采样深度序列号, $x(d)$ 是编码超声回波离散信号, $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列, m 为码的数据长度;

[0046] 振动位移提取单元,用于根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号。

[0047] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其中,所述振动位移提取单元具体包括:

[0048] 回波信号互谱计算单元,用于获取解码后的超声回波信号,设第 n 帧和第 $n+1$ 帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$,其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$,互谱表示为:

$$[0049] \quad S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)||S_{n+1}(f)|e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

[0050] 其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移;

[0051] 振动速度计算单元,用于利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取,散射子振动速度 v_n 具体为:

$$[0052] \quad v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

[0053] 其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分, T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率, c 为超声波速度;

[0054] 位移计算单元,用于散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为:

$$[0055] \quad d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

[0056] 其中散射子初始位移记为 d_0 。

[0057] 本发明提供了一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统,本发明在不增加发射信号的瞬时功率的前提下,保持检测分辨率的同时,提高信号的平均发射能量,提高回波信号的信噪比,系统的检测灵敏度和超声穿透能力。同时系统的检测灵敏度和超声穿透能力的提高对应提高了对组织深度微小振动信号的检测能力,从而改善对剪切波振动信号的提取质量,改善了瞬时弹性成像深度穿透力不够的问题,提高瞬时弹性成像检测鲁棒性。

附图说明

[0058] 图1为本发明中一种瞬时弹性成像编码检测方法的较佳实施例的流程图。

[0059] 图2为本发明的瞬时弹性成像装置示意图。

[0060] 图3a为对剪切波信号采用现有脉冲检测的效果示意图。

[0061] 图3b为对剪切波信号采用本发明的编码脉冲检测的效果示意图。

[0062] 图4为本发明的一种瞬时弹性成像编码检测系统的较佳实施例的功能原理框图。

具体实施方式

[0063] 为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确，以下对本发明进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0064] 本发明还提供了一种瞬时弹性成像编码检测方法的较佳实施例的流程图，如图1、图2所示，其中图2中1为电磁振动器，2为瞬时低频信号，3为探头，4为编码超声回波信号，5为待测介质。其中，方法包括：

[0065] 步骤S100、信号发生器发出的瞬时低频信号2经功率放大后驱动电磁振动器1，电磁振动器1带动探头3冲击待测介质5表面，激励介质内部产生瞬时剪切波；

[0066] 步骤S200、对超声脉冲信号进行编码调制，利用编码信号驱动超声换能器，采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪，并获取编码超声回波信号4；

[0067] 步骤S300、对接收的编码超声回波信号4进行放大并进行采样，得到编码检测回波离散数据；

[0068] 步骤S400、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码，获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号；

[0069] 步骤S500、根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。

[0070] 具体实施时，所述步骤S100中信号发生器发出瞬时低频信号，低频信号的频率范围为：50~200Hz，而瞬时低频信号经过功率放大器驱动电磁振动器，振动器带动绑在其轴上的超声探头瞬时冲击介质表面，在组织内部产生剪切波。

[0071] 所述步骤S200将超声换能器编码激励信号与低频驱动信号保持同步，这样容易实现对剪切波传播过程的检测和跟踪。

[0072] 所述步骤S300中，对编码回波信号经过初步放大（范围-1V到+1V），直接进行A/D采样，完成编码检测回波信号的数字化。

[0073] 所述步骤S400中由于剪切波在待测介质中传播，会引起待测介质震动。本发明以待测介质为组织。

[0074] 所述步骤S500中，组织振动位移信号提取完成以后，首先对组织震动位移信号FFT处理，提取出每个深度剪切波的中心频率 f_0 处的剪切波的相位，该过程可表达为： $\varphi(z) = \arg(FFT(d(z,t)))$ 。对一定深度范围内的剪切波相位进行线性拟合，剪切波在不同深度的组织之间有一个相位延迟，假设某一深度 Z_2 相对于深度 Z_1 的相位延迟为 $\varphi_2 - \varphi_1$ ，则剪切波的平均传播速度 C_s 可以表示为：

$$[0075] \quad C_s = 2\pi f_0 \frac{Z_2 - Z_1}{\varphi_2 - \varphi_1}$$

[0076] 如果把肝等组织近似当成非粘性、各向同性的线弹性体，那么其弹性模量与剪切波的传播速度理论关系可以表示为： $E = 3\rho C_s^2$ ，其中， ρ 代表肝组织的密度，由此可以计算出肝组织的平均弹性模量 E ，以kPa表示。

[0077] 进一步地实施例中，步骤S200具体包括：

[0078] 步骤S201、获取信号发生器的瞬时低频信号；

[0079] 步骤S202、利用编码信号驱动超声换能器，采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪；

[0080] 步骤S203、获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的的编码超声回波信号。

[0081] 具体实施时，编码信号，并不局限于相位编码，还有别的编码方式，如对频率编码等。以相位编码为例进行介绍。相位编码激励信号的产生实际上就是一个二次调制的过程，将已经进行载波调制的发射信号，再与码片相乘即可。该码片的选择是基于对系统带宽资源，系统硬件实现的复杂度，以及解码滤波器和脉冲压缩的性能进行的综合考虑。编码激励信号通过驱动电路去激励超声换能器，以脉冲回波的方式，经过T/R开关模块，接收获得含有剪切波传播信息的超声回波信号。

[0082] 进一步的实施例，所述步骤S400具体包括：

[0083] 步骤S401、根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码，解码后的超声回波信号 $y(d)$ 为：

$$[0084] \quad y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

[0085] d 为采样深度序列号， $x(d)$ 是编码超声回波离散信号， $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列， m 为码的数据长度；

[0086] 步骤S402、根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号。

[0087] 具体实施时，由于对回波信号直接进行了数字化处理，因此在这里可以很方便的应用数字脉冲压缩技术来实现信号的解码。根据编码理论，解码器应该是一个自相关的过程，其可以由下式表示：

$$[0088] \quad y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

[0089] d 为采样深度序列号， $y(d)$ 是经过解码之后的超声回波信号， $x(d)$ 是编码脉冲超声回波信号， $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列， m 为码的数据长度。

[0090] 具体实施时，步骤S402具体包括：

[0091] 步骤S421、获取解码后的超声回波信号，设第 n 帧和第 $n+1$ 帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$ ，其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$ ，互谱表示为：

$$[0092] \quad S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)||S_{n+1}(f)|e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

[0093] 其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移；

[0094] 步骤S422、利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取，散射子振动速度 v_n 具体为：

$$[0095] \quad v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

[0096] 其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分， T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率， c 为超声波速度；

[0097] 步骤S423、散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为：

$$[0098] \quad d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

[0099] 其中散射子初始位移记为 d_0 。

[0100] 具体实施时,超声波速度优选为1540m/s。利用解码之后的回波信号进行组织振动位移信号提取。基于超声方法的位移估计可采用互相关或相移算法实现,互相关方法虽能较准确地估计位移,但是计算量大,而相移算法虽然准确度高,但是不适合较大位移的估计,因此,本编码检测方法中采用互谱方法实现位移估计,该方法具有稳定、快速及精确的优点。设第 n 帧和第 $n+1$ 帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$,其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$,互谱可以通过对其频谱进行共轭相乘运算可以得到,该过程表达式为:

$$[0101] \quad S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)| |S_{n+1}(f)| e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

[0102] 其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次回波产生的相移,利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取,该过程表达为: $v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$,其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分,这样自适应选择可以降低振动信号估计偏差。 T_{prf} 为编码超声脉冲

重复频率。设散射子初始位移为 d_0 ,则散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为: $d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$ 。

完成振动位移信号提取。

[0103] 举例:以7位巴克码编码检测为例,与常规短脉冲检测方法进行对比,对本发明方法做进一步说明:

[0104] 图3a和图3b所示:在相同的瞬时振动电压激励条件下,分别采用短脉冲方式和巴克码编码方式对瞬时振动产生的剪切波信号进行检测和跟踪。对比容易发现,在相同的电压激励条件下,编码检测可以很好的抑制噪声,提高剪切波信噪比,进而提高瞬时弹性成像检测穿透力,和提高瞬时弹性检测的鲁棒性。

[0105] 本发明不仅局限于7位巴克码,还可以选择使用其它不同长度的巴克码,以及线性调频码、伪随机码等编码方案依然属于该发明范围。

[0106] 由以上方法实施例可知,本发明提供了一种瞬时弹性成像编码检测方法,在瞬时弹性成像中,采用编码激励技术对剪切波信号进行检测和跟踪(不同于以往的常规短脉冲检测),保持检测分辨率的同时,提高了超声回波信号的信噪比,增加超声信号的探测深度,提高了对组织深度微小剪切波振动信号的检测能力,提高剪切波信噪比,从而一定程度上增加了瞬时弹性成像检测的穿透深度,和提高瞬时弹性检测的鲁棒性。

[0107] 本发明还提供了一种瞬时弹性成像编码检测系统的较佳实施例的功能原理框图,如图4所示,其中,系统包括:

[0108] 剪切波生成模块100,用于信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,电磁振动器带动探头冲击待测介质表面,激励介质内部产生瞬时剪切波;具体如上方法实施例所述。

[0109] 编码模块200,用于对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪,并获取编码超声回波信号;具体如上方法实施例所述。

[0110] 采样模块300,用于对接收的编码超声回波信号进行放大并进行采样,得到编码检测回波离散数据;具体如上方法实施例所述。

[0111] 解码与信号提取模块400,用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据

进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;具体如上方法实施例所述。

[0112] 计算与输出模块500,用于根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出;具体如上方法实施例所述。

[0113] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其中,所述编码模块具体包括:

[0114] 第一信号获取单元,用于获取信号发生器的瞬时低频信号;具体如上方法实施例所述。

[0115] 编码单元,用于利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪;具体如上方法实施例所述。

[0116] 第二信号获取单元,用于获取对瞬时剪切波振动信号跟踪后的的编码超声回波信号;具体如上方法实施例所述。

[0117] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其中,所述解码与信号提取模块具体包括:

[0118] 超声回波信号解码单元,用于根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,解码后的超声回波信号 $y(d)$ 为:

$$[0119] \quad y(d) = \sum_{i=1}^m c(i)x(d+i-1)$$

[0120] d 为采样深度序列号, $x(d)$ 是编码超声回波离散信号, $c(i)$ 是对应发射脉冲的码元序列, m 为码的数据长度;具体如上方法实施例所述。

[0121] 振动位移提取单元,用于根据解码后的超声回波信号利用互谱法提取出剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;具体如上方法实施例所述。

[0122] 所述的瞬时弹性成像编码检测系统,其中,所述振动位移提取单元具体包括:

[0123] 回波信号互谱计算单元,用于获取解码后的超声回波信号,设第 n 帧和第 $n+1$ 帧的回波信号分别为 $s(n)$ 和 $s(n+1)$,其对应频谱为 $S_n(f)$ 和 $S_{n+1}(f)$,互谱表示为:

$$[0124] \quad S_n^*(f)S_{n+1}(f) = |S_n(f)||S_{n+1}(f)|e^{j\Delta\theta_n(f)}$$

[0125] 其中 $\Delta\theta_n(f)$ 是散射子运动导致的相邻两次超声回波产生的相移;具体如上方法实施例所述。

[0126] 振动速度计算单元,用于利用互谱最大频率成分的相移进行散射子振动速度提取,散射子振动速度 v_n 具体为:

$$[0127] \quad v_n = c \cdot \Delta\theta_n(f_{\max}) / 4\pi f_{\max} T_{\text{prf}}$$

[0128] 其中 $f_{\max}$ 是互谱中最大频率成分, T_{prf} 为编码超声脉冲重复频率, c 为超声波速度;具体如上方法实施例所述

[0129] 位移计算单元,用于散射子在第 $n+1$ 帧的位移 d_{n+1} 为:

$$[0130] \quad d_{n+1} = d_0 + \sum_1^n v_n T_{\text{prf}}$$

[0131] 其中散射子初始位移记为 d_0 ;具体如上方法实施例所述。

[0132] 综上所述,本发明提供了一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统,方法包括:信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器,激励介质内部产生瞬时剪切波;对超声脉冲信号进行编码调制,利用编码信号驱动超声换能器,采用编码激励技术对瞬

时剪切波振动信号进行检测和跟踪,获取编码超声回波信号;对接收的编码超声回波信号进行放大并采样,得到编码检测回波离散数据;根据数字脉冲压缩技术对编码检测回波离散数据进行解码,获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号;根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。本发明可提高信号的平均发射能量,提高回波信号的信噪比、系统的检测灵敏度和超声穿透能力,从而改善对剪切波振动信号的提取质量,提高了瞬时弹性成像深度检测穿透力,提高瞬时弹性成像检测鲁棒性。

[0133] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

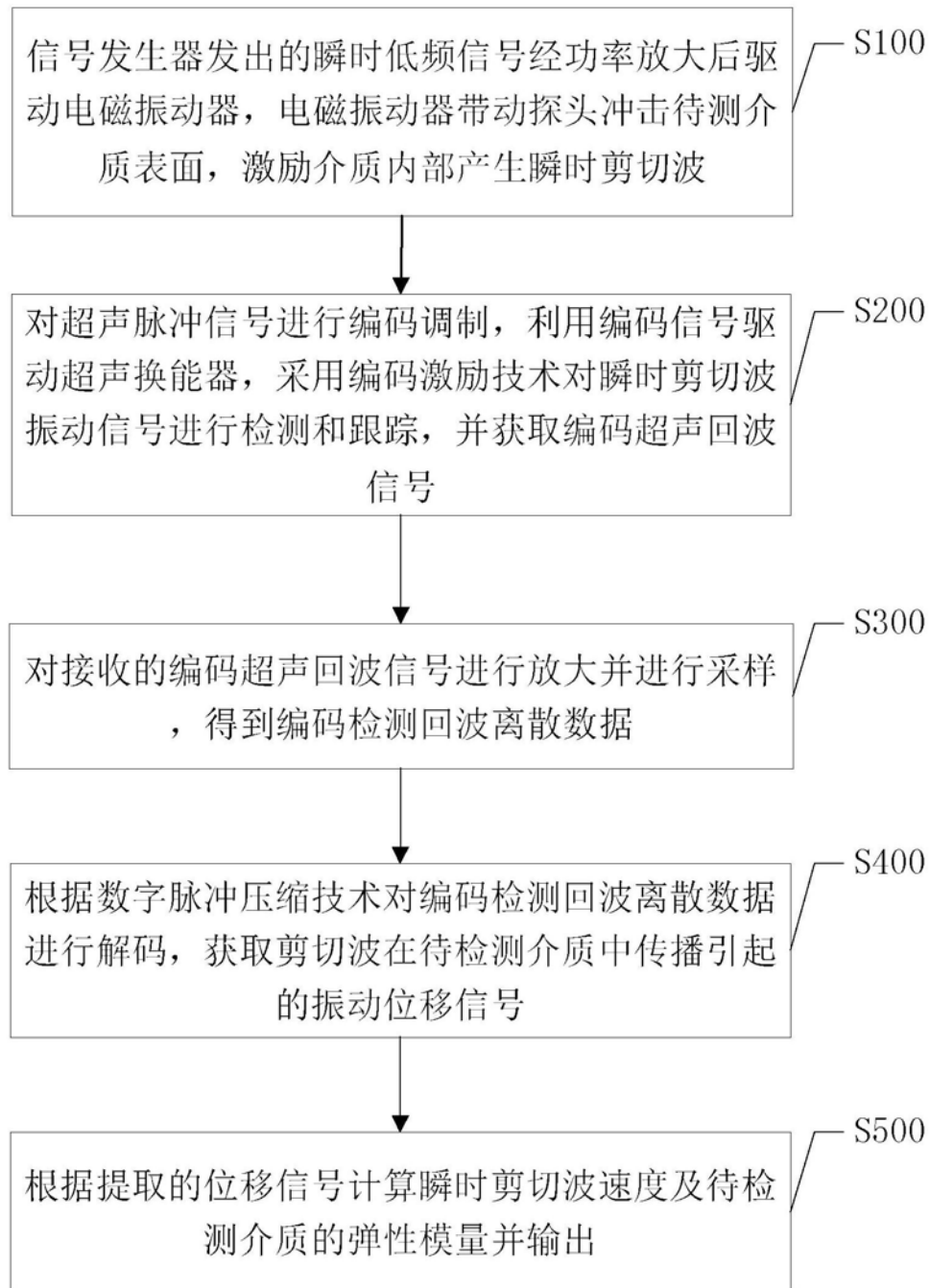


图1

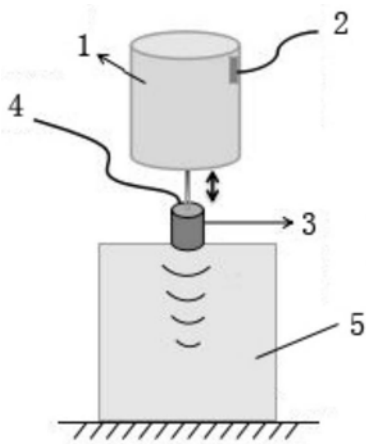


图2

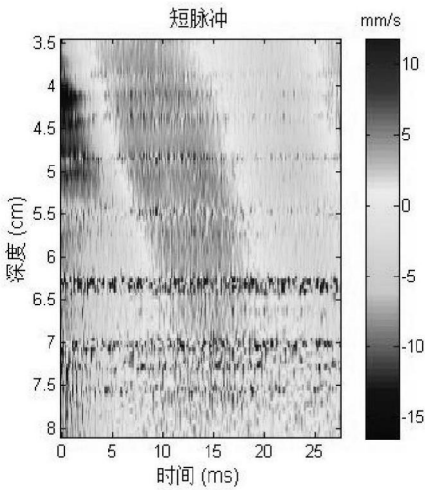


图3a

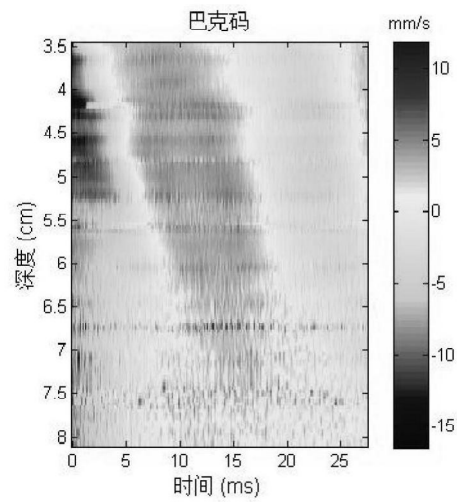


图3b

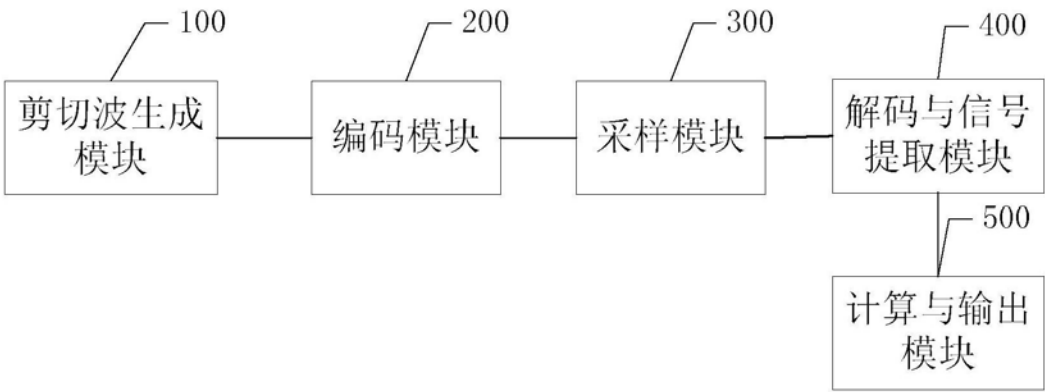


图4

专利名称(译)	一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统		
公开(公告)号	CN105844645B	公开(公告)日	2019-11-12
申请号	CN201610195907.7	申请日	2016-03-31
[标]申请(专利权)人(译)	深圳大学		
申请(专利权)人(译)	深圳大学		
当前申请(专利权)人(译)	深圳大学		
[标]发明人	覃正笛 和晓念 陈昕 陈思平		
发明人	覃正笛 和晓念 陈昕 陈思平		
IPC分类号	G06T9/00 A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/085 A61B8/485 G06T7/0012 G06T2207/10132 G06T2207/30056		
代理人(译)	王永文		
审查员(译)	张笑迪		
其他公开文献	CN105844645A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种瞬时弹性成像编码检测方法及系统，方法包括：信号发生器发出的瞬时低频信号经功率放大后驱动电磁振动器，激励介质内部产生瞬时剪切波；对超声脉冲信号进行编码调制，采用编码激励技术对瞬时剪切波振动信号进行检测和跟踪，获取编码超声回波信号；对接收的编码超声回波信号进行放大并采样，得到编码检测回波离散数据；根据数字脉冲压缩技术进行解码，获取剪切波在待检测介质中传播引起的振动位移信号；根据提取的位移信号计算瞬时剪切波速度及待检测介质的弹性模量并输出。本发明提高信号的平均发射能量，提高回波信号的信噪比、系统的检测灵敏度和超声穿透能力，改善剪切波振动信号提取质量，提高了瞬时弹性成像深度检测穿透力。

