

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 4 月 18 日 (18.04.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/071850 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 29/34 (2006.01) **G01N 29/04** (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/119833

(22) 国际申请日: 2017 年 12 月 29 日 (29.12.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710945342.4 2017 年 10 月 12 日 (12.10.2017) CN

(71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(72) 发明人: 蔡建 (CAI, Jian); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。袁慎芳 (YUAN, Shenfang); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号 12 楼 B 座, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,

(54) Title: METHOD FOR ENHANCING RESOLUTION OF DISPERSIVE LAMB WAVE SIGNAL

(54) 发明名称: 一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法

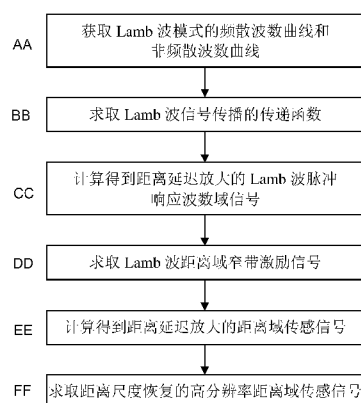


图 1

AA ACQUIRE A DISPERSION WAVE NUMBER CURVE AND A NON-DISPERSION WAVE NUMBER CURVE OF A LAMB WAVE MODE
BB CALCULATE A TRANSFER FUNCTION OF LAMB WAVE SIGNAL PROPAGATION
CC OBTAIN, BY MEANS OF CALCULATION, A LAMB WAVE PULSE RESPONSE WAVE NUMBER DOMAIN SIGNAL WITH DISTANCE DELAY AMPLIFIED
DD CALCULATE A LAMB WAVE DISTANCE DOMAIN NARROW-BAND EXCITATION SIGNAL
EE OBTAIN, BY MEANS OF CALCULATION, A DISTANCE DOMAIN SENSING SIGNAL WITH DISTANCE DELAY AMPLIFIED
FF CALCULATE A HIGH-RESOLUTION DISTANCE DOMAIN SENSING SIGNAL WITH DISTANCE SCALE RECOVERED

(57) Abstract: Provided is a method for enhancing the resolution of a dispersive Lamb wave signal, which belongs to the field of Lamb wave structure health monitoring. The method comprises the following steps: (1) acquiring a dispersion wave number curve and a non-dispersion wave number curve of a Lamb wave mode; (2) calculating a transfer function of Lamb wave signal propagation; (3) obtaining, by means of calculation, a Lamb wave distance domain pulse response signal with distance delay amplified; (4) calculating a Lamb wave distance domain narrow-band excitation signal; (5) obtaining, by means of calculation, a distance domain sensing signal with distance delay amplified; and (6) calculating a high-resolution distance domain sensing signal with distance scale recovered. The present invention further increases an interval of adjacent wave packets in a Lamb wave signal in a distance domain by means of distance delay amplification on the basis of compensating Lamb wave signal dispersion and recompressing original frequency dispersion expanded Lamb wave signal packets, thereby improving the spatial resolution of the Lamb wave signal.

IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：本发明提供了一种频散Lamb波信号分辨率增强方法，属于Lamb波结构健康监测领域。该方法包括下列步骤：(1)获取Lamb波模式的频散波数曲线和非频散波数曲线；(2)求取Lamb波信号传播的传递函数；(3)计算得到距离延迟放大的Lamb波距离域脉冲响应信号；(4)求取Lamb波距离域窄带激励信号；(5)计算得到距离延迟放大的距离域传感信号；(6)求取距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号。本发明在对Lamb波信号频散进行补偿，再压缩原始频散扩展的Lamb波信号波包的基础上，通过距离延迟放大进一步增大了Lamb波信号中近邻波包在距离域中的间隔，提高了Lamb波信号空间分辨率。

一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法

技术领域

本发明涉及一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，属于 Lamb 波结构健康监测领域。

背景技术

结构健康监测技术利用集成在结构中的先进传感器，在线实时地获取与结构健康状况相关的信息，结合先进的信息处理方法和结构力学建模方法，提取特征参数，从而实现对结构健康状态的在线监测与评估。结构健康监测技术对于提高工程结构安全性、降低维护费用具有重要意义。Lamb 波作为薄板类结构中的一种超声导波，其传播距离远并对结构内部和表面损伤均敏感，所以广泛应用于结构健康监测中。

在 Lamb 波结构健康监测领域，高分辨率损伤监测技术是当前研究的热点。Lamb 波损伤监测分辨率很大程度上决定于 Lamb 波信号分辨率。然而在实际情况下，Lamb 波信号分辨率常受到包括频散特性在内的 Lamb 波传播特性的影响。Lamb 波频散特性是指其传播的相/群速度与频率相关，该特性使信号波包发生扩展变形，容易造成相邻波包发生混叠，从而降低了信号的分辨率。另一方面，如果 Lamb 波信号中两个相邻波包相隔过近，也容易造成两者的混叠，这主要是受限于非频散情况下 Lamb 波信号波包的自身分辨率。

目前针对频散 Lamb 波的信号分辨率增强处理方法一般分为频散补偿和激励信号优化这两类方法，其中频散补偿方法通过再压缩原始频散扩展的信号波包，激励信号优化方法则通过时间反转和脉冲压缩等处理方法使 Lamb 波信号波包宽度减小，最终达到增强 Lamb 波信号分辨率的目的。从现有资料来看，已提出的方法很少综合考虑频散补偿和 Lamb 波信号波包自身分辨率优化这两个方面来提高频散 Lamb 波信号分辨率，限制了信号分辨率的进一步提高。

发明内容

本发明提出了一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法,该方法在对频散 Lamb 波信号进行频散补偿的基础上,通过调整信号距离延迟放大因子进一步增强 Lamb 波信号的分辨率。

本发明为解决其技术问题采用如下技术方案:

一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法,包括下列步骤:

(1) 获取 Lamb 波模式的频散波数曲线和非频散波数曲线

通过理论计算或测量得到所选 Lamb 波模式的原始频散曲线 $K_0(\omega)$, 并计算得到非频散波数曲线 $K_{non}(\omega) = \frac{\omega}{c_{g0}}$, 其中 ω 和 c_{g0} 分别为角频率和所选 Lamb 波模式在中心频率处的群速度;

(2) 求取 Lamb 波信号传播的传递函数

利用结构中激励器和传感器,并通过脉冲或阶跃激励获取 Lamb 波脉冲响应时域信号 $h(t)$, 将 Lamb 波信号传播的传递函数 $H(\omega)$ 计算为 $H(\omega) = \text{FT}[h(t)]$, 其中 $\text{FT}[\]$ 表示傅里叶变换运算;

(3) 计算得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号

对所述 Lamb 波信号传播的传递函数 $H(\omega)$ 进行频域插值处理,得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号 $h_1(r)$, 其中 r 为距离变量;

(4) 求取 Lamb 波距离域窄带激励信号

首先确定插值映射序列 $\Omega_{non}(\omega) = K_{non}^{-1}(\omega)$, 其中 $K_{non}^{-1}(\omega)$ 为 $K_{non}(\omega)$ 的逆函数; 然后计算 Lamb 波窄带激励频域信号 $V_a(\omega) = \text{FT}[v_a(t)]$, 其中 $v_a(t)$ 为 Lamb 波窄带激励时域信号;

接着将 Lamb 波距离域窄带激励信号计算为 $v_a(r) = \text{IFT}\{V_a[\Omega_{non}(\omega)]\}$, 其中 $\text{IFT}[\]$ 表示逆傅里叶变换运算;

(5) 计算得到距离延迟放大的距离域传感信号

将距离延迟放大的距离域传感信号 $v_1(r)$ 计算为 $v_1(r) = v_a(r) * h_1(r)$ ，其中 $*$ 表示卷积运算；

(6) 求取距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号

对所述距离域传感信号 $v_1(r)$ 进行距离尺度变换，计算得到距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号 $v_2(r) = v_1(m \cdot r)$ ，其中： m 为距离延迟放大因子，并且 $m \geq 1$ ， r 为距离变量。

步骤 (3) 中计算得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号，包括以下步骤：

首先确定新的频散波数曲线 $K_1(\omega) = K_0(\omega)/m$ ，其中 m 为距离延迟放大因子，并且 $m \geq 1$ ；

再将 $K_1(\omega)$ 调整为 $K_2(\omega) = K_1(\omega) - K_1(\omega_0) + K_{non}(\omega_0)$ ，其中 ω_0 为中心角频率， $K_1(\omega_0)$ 为频散波数曲线 $K_1(\omega)$ 在 ω_0 处的波数值， $K_{non}(\omega_0)$ 为非频散波数曲线 $K_{non}(\omega)$ 在 ω_0 处的波数值；

然后计算插值映射序列 $\Omega_2(\omega) = K_2^{-1}(\omega)$ ，其中 $K_2^{-1}(\omega)$ 为所述波数曲线 $K_2(\omega)$ 的逆函数；

接着求取距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号 $h_1(r) = \text{IFT}\{H[\Omega_2(\omega)]\}$ 。

本发明的有益效果如下：

(1) 本发明在对 Lamb 波信号频散进行补偿以再压缩原始频散扩展的 Lamb 波信号波包的基础上，通过放大距离延迟因子，增加了补偿后 Lamb 波距离域信号中近邻波包的距离间隔，进一步提高了 Lamb 波信号空间分辨率。

(2) 本发明最后得到的高分辨率 Lamb 波距离域信号中波包的距离域位置与实际传播距离一致，便于后续信号分析和处理。

附图说明

图 1 是实施例提供的频散 Lamb 波信号分辨率增强方法的实施流程。

图 2 是铝板结构中压电片的布置示意图。

图 3 是 Lamb 波时域窄带激励信号。

图 4 是原始频散的 Lamb 波 A_0 模式传感信号图。

图 5 是计算得到的 Lamb 波 A_0 模式原始频散波数曲线和非频散波数曲线图。

图 6 是 Lamb 波脉冲响应时域信号图。

图 7 是 Lamb 波 A_0 模式新的频散波数曲线图。

图 8 是根据 Lamb 波 A_0 模式新的频散波数曲线得到的插值映射序列图。

图 9 是距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号图。

图 10 是根据 Lamb 波 A_0 模式非频散波数曲线得到的插值映射序列图。

图 11 是 Lamb 波距离域窄带激励信号图。

图 12 是距离延迟放大的距离域传感信号图。

图 13 是距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号图。

图 14 是对原始频散 Lamb 波 A_0 模式传感信号进行未经距离延迟放大的频散补偿结果图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，以下将参照本发明实施例中的附图，通过实施方式清楚、完整地描述本发明的技术方案，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作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。

为了便于验证，本实施例采用 LY21 铝板结构，尺寸为 1200mm×1000mm×1.5mm，材料参数见表 1。

表 1. 铝板材料参数

厚度 d (mm)	密度 ρ (kg/m ³)	泊松比 μ	弹性模量 E (GPa)
1.5	2780	0.33	73.1

铝板结构中布置两个压电片 P_A 和 P_B 分别作为激励和传感器，如图 2 所示。

窄带激励时域信号 $v_a(t)$ 选用中心频率为 60kHz 的三波峰正弦调制信号，如图 3

所示。利用传感器 P_B 采集到的原始频散的 Lamb 波 A_0 模式传感信号 $v_1(t)$ 如图 4 所示, 可看到由于频散和信号波包自身分辨率的限制, 除了时域位置在 $200\mu s$ 附近频散扩展的直达波包外, 其它边界反射波包则发生了严重混叠而无法分辨, 这说明信号分辨率较低。

本实施例的频散 Lamb 波信号分辨率增强方法, 包括下列步骤:

(1) 获取 Lamb 波模式的频散波数曲线和非频散波数曲线

利用表 1 中的铝板材料参数计算得到 A_0 模式的原始频散曲线 $K_0(\omega)$ 。 A_0 模式在中心频率为 60kHz 下的群速度 c_{g0} 为 1821.7m/s, 由 $K_{non}(\omega) = \frac{\omega}{c_{g0}}$ 计算得到非频散波数曲线 $K_{non}(\omega)$ 。图 5 给出了计算出的 $K_0(\omega)$ 和 $K_{non}(\omega)$ 。

(2) 求取 Lamb 波信号传播的传递函数

在作为激励的 P_A 上加载阶跃激励信号, 利用传感器 P_B 采集得到阶跃响应信号, 进行求导后得到 Lamb 波脉冲响应时域信号 $h(t)$, 如图 6 所示。对 $h(t)$ 进行傅里叶变换得到 Lamb 波信号传播的传递函数 $H(\omega)$ 。

(3) 计算得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号

首先确定距离延迟放大因子 $m=2.5$, 根据公式 $K_1(\omega) = K_0(\omega)/m$ 和 $K_2(\omega) = K_1(\omega) - K_1(\omega_0) + K_{non}(\omega_0)$ 计算得到 $K_2(\omega)$, 如图 7 所示。

然后根据 $\Omega_2(\omega) = K_2^{-1}(\omega)$ 计算得到插值映射序列 $\Omega_2(\omega)$, 如图 8 所示。

再由 $h_1(r) = \text{IFT}\{H[\Omega_2(\omega)]\}$ 计算出距离延迟放大的了 Lamb 波距离域脉冲响应信号 $h_1(r)$, 如图 9 所示。

(4) 求取 Lamb 波距离域窄带激励信号

由 $\Omega_{non}(\omega) = K_{non}^{-1}(\omega)$ 确定出插值映射序列 $\Omega_{non}(\omega)$, 如图 10 所示;

然后对 $v_a(t)$ 进行傅里叶变换得到 Lamb 波窄带激励频域信号 $V_a(\omega)$;

根据 $v_a(r) = \text{IFT}\{V_a[\Omega_{non}(\omega)]\}$ 计算得到 Lamb 波距离域窄带激励信号 $v_a(r)$,

如图 11 所示。

(5) 计算得到距离延迟放大的距离域传感信号

根据 $v_1(r) = v_a(r) * h_1(r)$ ，计算出距离延迟放大的距离域传感信号 $v_1(r)$ ，如图 12 所示。

(6) 求取距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号

根据 $v_2(r) = v_1(m \cdot r)$ ，对 $v_1(r)$ 进行距离尺度收缩，得到距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号 $v_2(r)$ ，如图 13 所示。

图 14 则为对原始频散信号 $v_1(t)$ 进行未经距离延迟放大处理的频散补偿结果 $v_0(r)$ 。对比图 4 和图 14 可知，经过频散补偿，图 4 所示的 $v_1(t)$ 中各个频散扩展的波包在图 13 所示的非频散距离域信号 $v_0(r)$ 中均得到了再压缩，可在 $v_0(r)$ 中明显区分出 200-1000mm 距离区间的四个 A_0 模式波包。但值得注意的是，如图 14 中的两个虚线框内的信号所示，在后面 1400mm 附近的两个非频散近邻波包则由于自身分辨率的限制发生了混叠，在 1800mm 附近的两个近邻波包则严重混叠为一个波包，这说明频散补偿后的非频散距离域信号 $v_0(r)$ 仍需要进一步提高自身的分辨率。

对比图 13 和图 14 可知， $v_2(r)$ 中每个波包得到了再压缩，而且通过距离延迟放大，使 $v_0(r)$ 中 1400mm 和 1800mm 附近原先严重混叠无法分辨的波包在 $v_2(r)$ 中均能有效分离和分辨出来，如图 13 中的两个虚线框内的信号所示，这说明利用本发明的方法在频散补偿的基础上，通过优化 Lamb 波信号波包自身分辨率，进一步增强了 Lamb 波信号的空间分辨率，而且每个波包位置与其传播距离分别对应，为后续信号分析和处理提高了便利。

本发明的基本原理是：在将频散 Lamb 波信号从时域变换到距离域以补偿 Lamb 波信号频散效应的基础上，对变换后的距离域信号进行距离延迟放大，使距离域信号中相邻非频散波包的距离域位置差值增大，从而降低相邻波包的混叠程度，进一步提高信号空间分辨率。最后，再恢复距离域信号的距离尺度，让波包的距离域位置与实际传播距离对应，为后续信号处理提供便利。

权利要求书

1、一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，其特征在于，包括下列步骤：

(1) 获取 Lamb 波模式的频散波数曲线和非频散波数曲线

通过理论计算或测量得到所选 Lamb 波模式的原始频散曲线 $K_0(\omega)$ ，并计算得到非频散波数曲线 $K_{non}(\omega) = \frac{\omega}{c_{g0}}$ ，其中 ω 和 c_{g0} 分别为角频率和所选 Lamb 波模式在中心频率处的群速度；

(2) 求取 Lamb 波信号传播的传递函数

利用结构中激励器和传感器，并通过脉冲或阶跃激励获取 Lamb 波脉冲响应时域信号 $h(t)$ ，将 Lamb 波信号传播的传递函数 $H(\omega)$ 计算为 $H(\omega) = \text{FT}[h(t)]$ ，其中 $\text{FT}[\]$ 表示傅里叶变换运算；

(3) 计算得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号

对所述 Lamb 波信号传播的传递函数 $H(\omega)$ 进行频域插值处理，得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号 $h_1(r)$ ，其中 r 为距离变量；

(4) 求取 Lamb 波距离域窄带激励信号

首先确定插值映射序列 $\Omega_{non}(\omega) = K_{non}^{-1}(\omega)$ ，其中 $K_{non}^{-1}(\omega)$ 为 $K_{non}(\omega)$ 的逆函数；
然后计算 Lamb 波窄带激励频域信号 $V_a(\omega) = \text{FT}[v_a(t)]$ ，其中 $v_a(t)$ 为 Lamb 波窄带激励时域信号；

接着将 Lamb 波距离域窄带激励信号计算为 $v_a(r) = \text{IFT}\{V_a[\Omega_{non}(\omega)]\}$ ，其中 $\text{IFT}[\]$ 表示逆傅里叶变换运算；

(5) 计算得到距离延迟放大的距离域传感信号

将距离延迟放大的距离域传感信号 $v_1(r)$ 计算为 $v_1(r) = v_a(r) * h_1(r)$ ，其中 $*$ 表

示卷积运算；

(6) 求取距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号

对所述距离域传感信号 $v_1(r)$ 进行距离尺度变换，计算得到距离尺度恢复的高分辨率距离域传感信号 $v_2(r) = v_1(m \cdot r)$ ，其中： m 为距离延迟放大因子，并且 $m \geq 1$ ， r 为距离变量。

2、根据权利要求 1 所述的一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，其特征在于，步骤 (2) 中所述结构为铝板结构。

3、根据权利要求 1 所述的一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，其特征在于，步骤 (2) 中所述激励器为压电片 P_A 。

4、根据权利要求 1 所述的一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，其特征在于，步骤 (2) 中所述传感器为压电片 P_B 。

5、根据权利要求 1 所述的一种频散 Lamb 波信号分辨率增强方法，其特征在于，步骤 (3) 中所述计算得到距离延迟放大的 Lamb 波距离域脉冲响应信号，包括以下步骤：

首先确定新的频散波数曲线 $K_1(\omega) = K_0(\omega)/m$ ，其中 m 为距离延迟放大因子，并且 $m \geq 1$ ；

再将 $K_1(\omega)$ 调整为 $K_2(\omega) = K_1(\omega) - K_1(\omega_0) + K_{non}(\omega_0)$ ，其中 ω_0 为中心角频率， $K_1(\omega_0)$ 为频散波数曲线 $K_1(\omega)$ 在 ω_0 处的波数值， $K_{non}(\omega_0)$ 为非频散波数曲线 $K_{non}(\omega)$ 在 ω_0 处的波数值；

然后计算插值映射序列 $\Omega_2(\omega) = K_2^{-1}(\omega)$ ，其中 $K_2^{-1}(\omega)$ 为所述波数曲线 $K_2(\omega)$ 的逆函数；

接着求取距离延迟放大的了 Lamb 波距离域脉冲响应信号 $h_1(r) = \text{IFT}\{H[\Omega_2(\omega)]\}$ 。

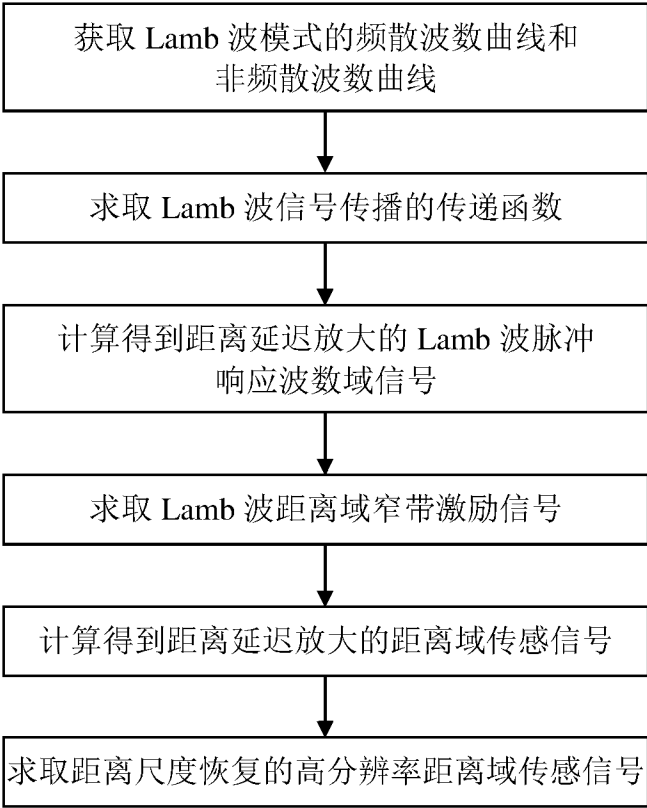


图 1

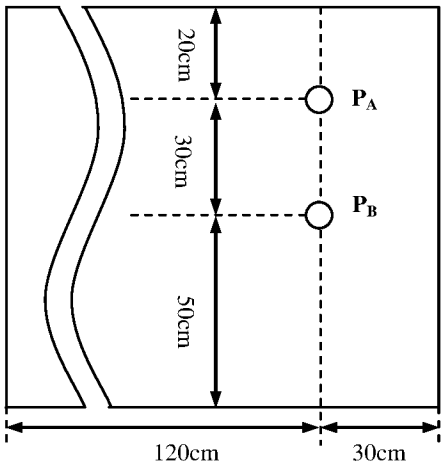


图 2

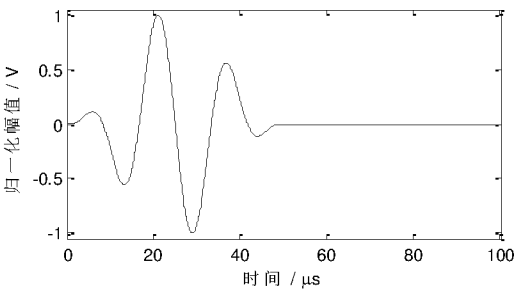


图 3

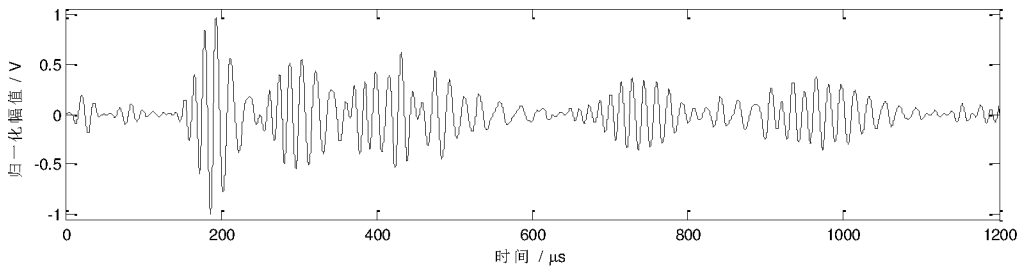


图 4

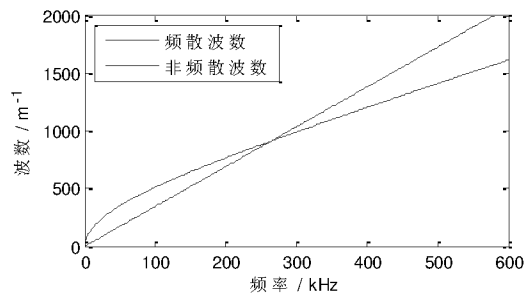


图 5

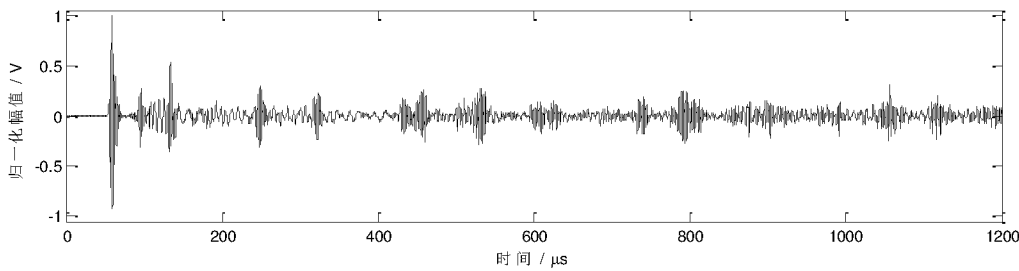


图 6

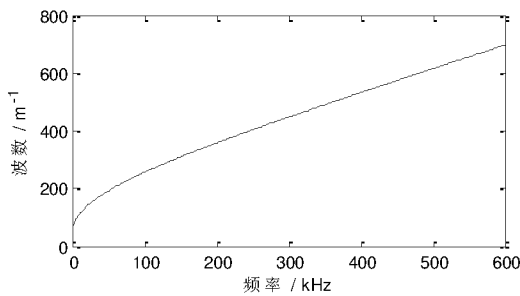


图 7

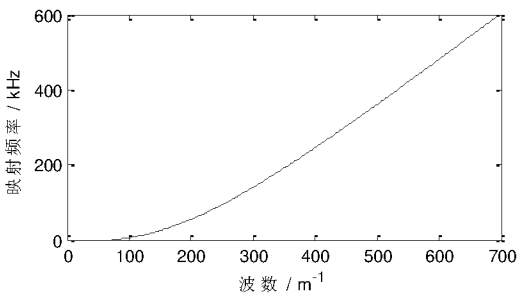


图 8

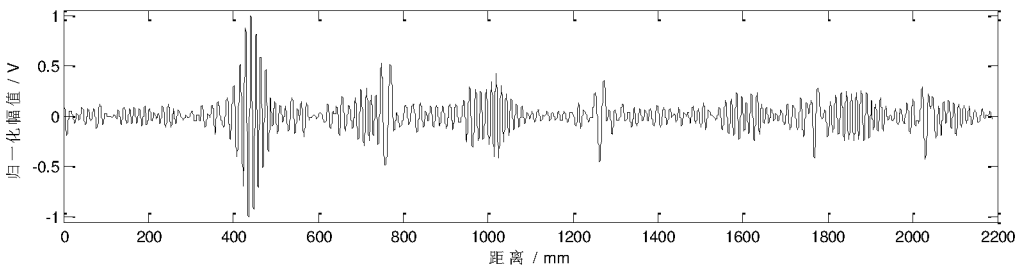


图 9

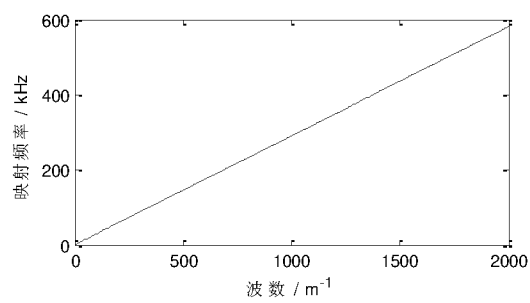


图 10

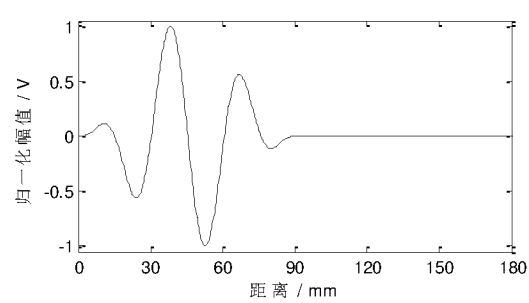


图 11

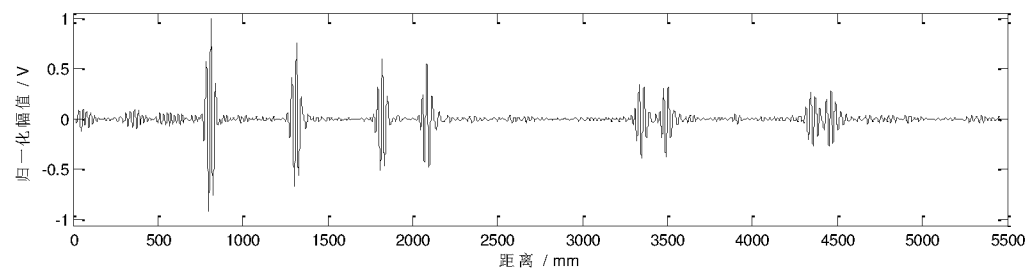


图 12

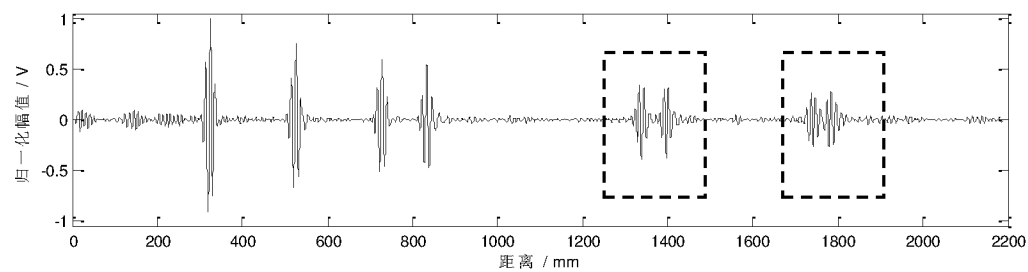


图 13

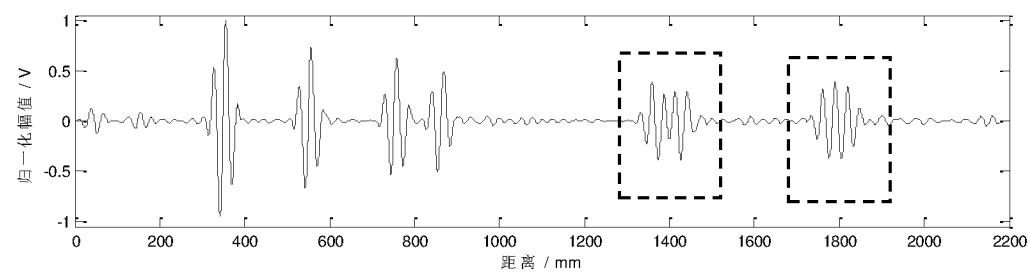


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/119833

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 29/34 (2006.01) i; B06B 1/06 (2006.01) i; G01N 29/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N; B06B; G06F; G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 频散 分辨率 增强 波信号 补偿 压缩 激励 优化 距离 延迟放大 窄带 传感 lamb wave
enhanc+ relolution compensat+ compress+ incentive optimize distance delay amplificat+ narrow band sense

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102818860 A (PLA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 12 December 2012 (12.12.2012), description, paragraphs [0005]-[0010], and figures 1-8	1-5
A	CN 102565201 A (PLA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 11 July 2012 (11.07.2012), entire document	1-5
A	US 2003167141 A1 (STASZEWSKI WIESLAW J.) 04 September 2003 (04.09.2003), entire document	1-5
A	US 2011058453 A1 (HONEYWELL INTERNATIONAL INC.) 10 March 2011 (10.03.2011), entire document	1-5
A	蔡建. Lamb 波损伤成像中的频散补偿方法研究. 中国博士学位论文全文数据库. 30 September 2012 (30.09.2012), chapters 1-5. (CAI, Jian. Lamb Research on Dispersion Compensation Methods in Lamb Wave Damage Imaging. China Doctoral Dissertations Full-text Database.)	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 08 June 2018	Date of mailing of the international search report 28 June 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Tingting Telephone No. (86-10) 53961728

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/119833

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102818860 A	12 December 2012	None	
CN 102565201 A	11 July 2012	None	
US 2003167141 A1	04 September 2003	None	
US 2011058453 A1	10 March 2011	EP 2293058 A1	09 March 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/119833

A. 主题的分类

G01N 29/34(2006.01)i; B06B 1/06(2006.01)i; G01N 29/04(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01N; B06B; G06F; G01S

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 频散 分辨率 增强 波信号 补偿 压缩 激励 优化 距离 延迟放大 窄带 传感 lamb wave enhanc+ relolution compensat+ compress+ incentive optimize distance delay amplificat+ narrow band sense

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102818860 A (中国人民解放军理工大学) 2012年 12月 12日 (2012 - 12 - 12) 说明书第[0005]-[0010]段, 附图1-8	1-5
A	CN 102565201 A (中国人民解放军理工大学) 2012年 7月 11日 (2012 - 07 - 11) 全文	1-5
A	US 2003167141 A1 (STASZEWSKI WIESLAW J.) 2003年 9月 4日 (2003 - 09 - 04) 全文	1-5
A	US 2011058453 A1 (HONEYWELL INTERNATIONAL INC.) 2011年 3月 10日 (2011 - 03 - 10) 全文	1-5
A	蔡建. "Lamb波损伤成像中的频散补偿方法研究" 中国博士学位论文全文数据库, 2012年 9月 30日 (2012 - 09 - 30), 第1-5章	1-5

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 6月 8日

国际检索报告邮寄日期

2018年 6月 28日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

李婷婷

电话号码 86-(10)-53961728

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/119833

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102818860	A	2012年 12月 12日	无			
CN	102565201	A	2012年 7月 11日	无			
US	2003167141	A1	2003年 9月 4日	无			
US	2011058453	A1	2011年 3月 10日	EP	2293058	A1	2011年 3月 9日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)