

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6258314号
(P6258314)

(45) 発行日 平成30年1月10日(2018.1.10)

(24) 登録日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 29/06 (2006.01) GO 1 N 29/06
A 6 1 B 8/14 (2006.01) A 6 1 B 8/14

請求項の数 11 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-521053 (P2015-521053)	(73) 特許権者	510225292
(86) (22) 出願日	平成25年7月12日 (2013.7.12)		コミサリア ア レネルギー アトミック
(65) 公表番号	特表2015-522175 (P2015-522175A)		エ オ ゼネルギー アルテルナティブ
(43) 公表日	平成27年8月3日 (2015.8.3)		COMMISSARIAT A L' EN
(86) 国際出願番号	PCT/FR2013/051677		ERGIE ATOMIQUE ET A
(87) 国際公開番号	W02014/009671		UX ENERGIES ALTERNA
(87) 国際公開日	平成26年1月16日 (2014.1.16)		TIVES
審査請求日	平成28年6月3日 (2016.6.3)		フランス, パリ エフー75015, リュ
(31) 優先権主張番号	1256718		ールブラン 25, パティマン ル ポ
(32) 優先日	平成24年7月12日 (2012.7.12)		ナン デ
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		Batiment Le Ponant
		(74) 代理人	100091982
			弁理士 永井 浩之
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探査によって収集された信号を処理する方法、対応するプログラムおよび超音波探査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波探査によって収集された超音波信号 (S) を処理する方法 (200) であって、対象領域 (102) に対して超音波を L 回逐次放出するために複数の放出変換器 (1081, ..., 108N) を制御するステップ (202) と、

所定の時間にわたって、各逐次放出に対して、特に前記対象領域内での当該の前記放出の反射によりノイズのあるエコーを測定する N 個の測定信号を同時に受信するように、N 個の受信変換器 (1081, ..., 108N) を制御するステップ (202) と、 サイズ L x N の超音波時間信号の配列 (K(t)) を得るステップ (204) であって、前記配列の各係数 $K_{i,j}(t)$ が、i 番目の放出のために j 番目の受信変換器によって受信される前記測定信号を表す、ステップ (204) と、

前記時間信号配列 (K(t)) を周波数信号配列 (K()) に変換するステップ (208) と、

前記周波数信号配列 (K()) の特異値分解を行うステップ (210) とを含む方法 (200) において、

前記特異値分解 (210) から得られた特異値および関連特異ベクトルの一部を、欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための所定の基準に従って除去すること (214) であって、前記基準が差異値に基づいており、各々の前記差異値は前記周波数信号配列 (K()) に基づいて決定された前記特異値の減少する一連の振幅において、特異値の連続的な振幅間の差として算出されること、

10

20

除去されていない特異値および特異ベクトルに基づいてノイズ除去された周波数信号配列 ($K f ()$) を再構成すること (214)、および

前記ノイズ除去された周波数信号配列 ($K f ()$) からノイズ除去された時間信号配列 ($K f (t)$) への逆変換 (216) を行うこと

により前記超音波時間信号配列 ($K (t)$) のノイズ除去をするステップ (208、210、212、214、216) を含むことを特徴とする方法 (200)。

【請求項2】

欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための前記所定の基準が、前記減少する一連の特異値振幅の曲率変化基準である、請求項1に記載の超音波時間信号を処理する方法 (200)。

10

【請求項3】

欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための前記所定の基準が、前記減少する一連の特異値振幅の勾配変化基準である、請求項1に記載の超音波時間信号を処理する方法 (200)。

【請求項4】

前記変換 (208) および前記逆変換 (216) が離散フーリエ変換である、請求項1から3のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

【請求項5】

前記ノイズ除去ステップ (208、210、212、214、216) の前に、前記対象領域 (102) から除外された飛行時間に位置するデータがあればこれを削除することにより前記時間信号配列 ($K (t)$) にフィルタをかけるステップ (206) を含む、請求項1から4のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

20

【請求項6】

前記超音波時間信号配列 ($K (t)$) のノイズ除去をするステップ (208、210、212、214、216) は、特異値と前記対象領域 (102) 内の欠陥との間の対応関係を最適化し、したがってノイズフィルタリングを最適化するように、前記周波数信号配列 ($K ()$) の前記特異値および前記特異ベクトルの周波数成分を再編成する、請求項1から5のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

【請求項7】

各逐次放出時に、M個の隣り合う放出変換器が作動され、遅延シーケンスが、前記複数の放出変換器 ($1081, \dots, 108N$) から所定の距離 (F) を置いて位置する仮想源 (O) から球面波を放出するように前記M個の放出変換器に適用される、請求項1から6のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

30

【請求項8】

各受信がL'個の仮想受信変換器によって行われ、各仮想受信変換器が、遅延シーケンスが適用される対象のM'個の隣り合う受信変換器からなる、請求項1から7のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

【請求項9】

特に合成全集束処理を用いて、前記ノイズ除去された時間信号配列 ($K f (t)$) から前記対象領域 (102) のデジタル画像を再構成する追加ステップ (218) を含む、請求項1から8のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200)。

40

【請求項10】

通信ネットワークからダウンロード可能であり、かつ/または、コンピュータ可読媒体に保存され、かつ/または、プロセッサ (114) によって実行可能であるコンピュータプログラム (118) において、前記プログラムがコンピュータ (112) 上で実行されるときに、請求項1から9のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法 (200) の各ステップを実行するための命令を含むことを特徴とするコンピュータプログラム (118)。

【請求項11】

複数の超音波放出変換器 ($1081, \dots, 108N$) および複数の超音波受信変換

50

器(1081, . . . , 108N)を備えるプローブ(104)と、請求項1から9のいずれか一項に記載の超音波信号を処理する方法(200)を実施するように設計された変換器制御および処理手段(112)と

を備える超音波探査装置(100)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波探査(ultrasonic probing)によって収集された信号を処理する方法に関し、詳細には超音波画像化(ultrasonic imaging)を行う方法に関する。本発明は、対応するコンピュータプログラムおよび超音波探査装置にも関する。

10

【背景技術】

【0002】

本発明は、特に、超音波非破壊試験の分野に適用可能であり、超音波信号の収集により、構造内の欠陥を観察して検出することが可能になるが、本発明は、特に人体または動物体内の対象領域を検査するための医療分野で、任意のタイプの超音波エコーグラフィック画像化(ultrasonic echographic imaging)に適用することもできる。

【0003】

本発明は、より詳細には、以下のように超音波信号を収集する処理方法に関する、すなわち

20

対象領域に対して超音波(ultrasound waves)をL回逐次放出するために複数の放出変換器を制御すること、

所定の時間にわたって、各逐次放出に対して、特に対象領域内での当該の放出の反射によりノイズのあるエコー(noisy echo)を測定するN個の測定信号を同時に受信するように、N個の受信変換器を制御すること、

サイズL×Nの超音波時間信号の配列を得ることであって、この配列の各係数 $K_{i,j}(t)$ が、i番目の放出のために第j番目の受信変換器によって受信される測定信号を表すこと

を含む方法に関する。

30

【0004】

このような収集は、一般に多要素センサ探査装置を使用して行われ、各変換器は送信器と受信器の両方であり、これらの2つのモードの切替えが電子的に制御され得る。センサは、物体と接触してまたは物体から離れて置かれてもよいが、後者の場合、センサは、探査されるべき物体内での超音波の伝送を確実にするために液中に沈められるべきである。このセンサは、剛性要素または可撓性要素を用いて線形(1D(次元))または配列ベース(2D(次元))とすることができる。

【0005】

その場合、この種の収集を用いて得られる時間信号配列は、特に、検査される対象領域の画像を提供するために、または、検査される対象領域内の重要な構造欠陥パラメータを取り出すために処理する対象とすることができる。プロセッサの計算能力を考慮して、この処理は実時間処理用の監視機器に組み込まれてもよい。

40

【0006】

実際には、一般にFMC(「フルマトリクスキャプチャ(Full Matrix Capture)」)と呼ばれる上記に規定した超音波収集は、第1の放出変換器を励起することによって超音波を放出し、この放出のエコーをN個の受信変換器のセットで受信し、次いで放出変換器のセットにおいてこれらの放出変換器を逐次励起するように電子的に切り替えることからなる。放出変換器および受信変換器は、2つの別々のセンサ上に配置されてもよいが、同じ変換器が放出機能および受信機能を果たしたときに、サイズN×Nの超音波時間信号配列 $K(t)$ が得られる。

50

【0007】

NDT&E International 38(2005年6月15日にオンラインで利用可能)、701~711頁に掲載された、C. Holmesらの「Post-processing of the full matrix of ultrasonic transmit-receive array data for non-destructive evaluation」という名称の論文において、配列 $K(t)$ の係数は、「全集束(total focusing)」タイプ合成開口集束を行って対象領域の高解像度画像を得ることを可能にするために使用される。

【0008】

より具体的には、この合成集束は、対象領域の各ポイントに関して、各放出変換器(索引 i)と各受信変換器(索引 j)との間の当該ポイント経由の移動時間に対応する飛行時間 $T_{i,j}$ (各ポイントに対して $L \times N$ 回の飛行時間)を計算することからなる。合成集束は、対象領域の各ポイントに対して、信号 $K_{i,j}(t)$ から時間 $t = T_{i,j}$ で取り戻された振幅を合計することによって行われる。したがって、画像のポイント P での振幅は次式で表すことができる。

【数1】

$$A(P) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N K_{i,j} [T_{i,j}]$$

全集束を使用する再構成は、様々な既知の超音波検査モード、すなわち、関連する飛行時間が上述されている直接モード、および、飛行時間がモード変換とともに構造の境界上での多重反射を含むその他のより複雑なモードに従って行うことができる。これらの他のより複雑なモードの詳細な説明として、特に、Review of Quantitative Nondestructive Evaluation、第29巻(2009年)、847~854頁に掲載された、A. Fidahoussenらの「Imaging of defects in several complex configurations by simulation-helped processing of ultrasonic array data」という名称の論文を参照することができる。

【0009】

しかし、ノイズのある部分の画像化に適用されると、全集束を使用する再構成は、従来の超音波診断法に比べて低い品質の画像を提供する場合がある。実際、後者の場合、変換器はすべて、所与のポイントで集束するように事前定義した遅延シーケンスを適用することにより同時に放出する。しかし、合成開口集束を用いて続いて再構成を行うために一般に実施されるFMC収集法によれば、各放出は、伝送されるエネルギーおよび被検査部分内の波の侵入深さを制限する単一変換器によって行われる。これは、エコー信号の振幅が電子ノイズより弱いかもしいないので、信号対ノイズ比(SNR)の劣化によって最終的に運ばれる。このSNRの劣化は、物体が高水準の構造ノイズを有する場合に増大して、欠陥の検出および特性評価を困難にする。

【0010】

このSNR劣化の問題への1つの部分解決法が、IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control、第42巻、第3号(1995年5月)、429~442頁に掲載された、M. Karamanらの「Synthetic aperture imaging for small scale systems」という名称の論文に提供されている。

【0011】

上記解決法は、各ミッションに、もはや1つの変換器を使用するのではなく、 M 個の隣り合う変換器を使用することからなる。遅延シーケンスが作動された M 個の放出変換器に

10

20

30

40

50

適用されて、M個の放出変換器は、センサから一定距離を置いて位置する仮想源によって放出されるはずのものと類似の球面超音波を媒体中で伝送するようにする。したがって、仮想源によって放出される超音波は、この超音波のエネルギーが、仮想源を形成している変換器の数の平方根に比例するので、より強い。生成されるノイズが本質的に無相関な電子ノイズであるという仮定で、SNRはそれに応じて改善される。

【0012】

しかし、被検査部分が高水準の構造ノイズを有する場合、最終的に合成全集束によって得られる画像の品質の向上はより制限され、SNRの増加は低くなり、検出に対する影響は望まれているかもしれないほど肯定的ではない。この解決法は、上述した問題をある程度補償するが、取り除くことはない。さらに、仮想源を用いて放出することは、幾何学的エコーや複合エコーなどの妨害エコーが物体の境界面上での多重反射およびモード変換を含んでいるため、本質的に再構成アーチファクトによって引き起こされ得る問題を排除するのに役立たない。最後に、N個の放出/受信変換器を有するセンサの場合、得られる超音波時間信号の配列 $K(t)$ が縮小されたサイズ $L \times N$ を有し、ただし、 $1 \leq L \leq N - M + 1$ であり、Mが仮想源を形成するために同時に作動される変換器の数 $(1 \leq M \leq N)$ であることに留意されたい。

10

【0013】

Wave Motion 20 (1994年)、151~163頁に掲載された、C. Pradaらの「Eigenmodes of the time reversal operator: a solution to selective focusing in multiple-target media」という名称の論文において、配列 $K(t)$ は、共役積(Tは複素共役を示す) $K(t) \cdot K^T(t)$ であり、ただし $K^T(t)$ は配列 $K(t)$ のフーリエ変換に対応するものとして定義される時間反転演算子の分解を行うために使用される。この論文に記述されている原理は、この時間反転演算子の不変量を決定する原理である。この目的のために、時間信号配列 $K(t)$ のフーリエ変換を用いて得られた周波数信号配列 $K(f)$ の特異値分解が、FMC収集に続いて行われる。原則として、得られる特異値の分布では、高特異値(すなわち、有意な振幅を有する)の数は検査される部分内の欠陥の数に等しいことが実際に観測されている。ただし、欠陥は十分に小さくかつ互いに隔てているものとする。したがって、各特異ベクトルは、物体の幾何学的かつ音響的特性に関する正確な情報を必要とせずに特異ベクトルに集束するように使用され得る欠陥からの応答(特異ベクトルのグリーン関数)を提供する。これはオートフォーカス原理と呼ばれる。特異ベクトルの順序は、多かれ少なかれ欠陥の散乱性に依存する。このようにして、第1の特異ベクトルは、最大の拡散体、例えばセンサに最も近い欠陥などに対応する。

20

30

【0014】

しかし、この時間反転演算子分解法は本質的に、高水準の構造ノイズの存在下で、または、欠陥が、例えば部品ベースに近接する欠陥の場合に、被検査物体の界面に近接しているときに、時間反転演算子分解法の限界を実証する有意なパラメータを検索することによる検出方法である。確かに、これらの仕様では、他に関連する特異値の実際的な分離は観測されない。したがって、実際には、特異値を考えられる欠陥に調和させるのは困難である。したがって、検出はより困難である。さらに、上述した合成開口集束方法とは異なり、この方法は画像を提供せず、単に欠陥の存在の有無の表示を提供する。欠陥の位置または特性評価は、画像処理アルゴリズムの追加を必要とする。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

したがって、上述した問題および制約のうちの少なくともいくつかを排除するのに適した超音波信号を処理する方法を提供することが求められ得る。

【課題を解決するための手段】

【0016】

50

したがって、超音波探査によって収集された超音波信号を処理する方法であって、対象領域に対して超音波をL回逐次放出するために複数の放出変換器を制御するステップと、

所定の時間にわたって、各逐次放出に対して、特に対象領域内での当該の放出の反射によりノイズのあるエコーを測定するN個の測定信号を同時に受信するように、N個の受信変換器を制御するステップと、

サイズ $L \times N$ の超音波時間信号の配列を得るステップであって、この配列の各係数 K_{ij} が、 i 番目の放出のために j 番目の受信変換器によって受信される測定信号を表す、ステップと、

この時間信号配列を変換することによって得られた周波数信号配列の特異値分解を行うステップと

を含む方法において、

前記特異値分解から得られた特異値および関連特異ベクトルの一部を除去すること、および

除去されていない特異値および特異ベクトルからノイズ除去された時間信号配列を再構成すること

により超音波時間信号配列のノイズ除去をするステップを含む方法が提案される。

【0017】

このようにして、収集された時間信号配列の変換によって得られた周波数信号配列の特異値分解は、収集された時間信号配列のノイズ除去をするために機敏に使用される。というのは、これらの特異値の一部は、実際に、多要素センサを用いて被探査部分からの構造ノイズおよび/または超音波収集からの妨害エコー（境界面エコー）と直接関連しているからである。ノイズ除去された時間信号配列をこのようにして再構成することにより、次いで、より高品質のデータに基づいて、例えば被探査対象領域の優れた超音波画像を得るために、収集された時間信号配列の従来処理を続けることが可能である。

【0018】

随意に、ノイズ除去ステップは、

時間信号配列を周波数信号配列に変換すること、

周波数信号配列を特異値分解すること、

欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための所定の基準に従って特異値および関連特異ベクトルの一部を除去すること、

除去されていない特異値および特異ベクトルに基づいてノイズ除去された周波数信号配列を再構成すること、

このノイズ除去された周波数信号配列を逆変換してノイズ除去された時間信号配列にすること

によって行われる。

【0019】

また随意に、欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための所定の基準は、周波数信号配列に基づいて決定された特異値の減少する一連の振幅の特異値相互間の連続的な振幅差に関する基準であり、例えば、この減少する一連の特異値振幅の曲率変化基準または勾配変化基準である。

【0020】

また随意に、変換および逆変換は離散フーリエ変換である。

【0021】

また随意に、本発明による超音波信号を処理する方法は、ノイズ除去ステップの前に、対象領域から除外された飛行時間に位置するデータがあればこれを削除することにより時間信号配列にフィルタをかけるステップを含むことができる。

【0022】

また随意に、本発明による超音波信号を処理する方法は、特異値と対象領域内の欠陥との間の対応関係を最適化し、したがってノイズフィルタリングを最適化するように、特異

10

20

30

40

50

ベクトルの周波数発生相互間の相関の最適化に基づいて周波数信号配列の特異値および特異ベクトルの周波数成分を再編成するステップを含むことができる。

【0023】

また随意に、各逐次放出時に、M個の隣り合う放出変換器が作動され、遅延シーケンスが、前記複数の放出変換器から所定の距離を置いて位置する仮想源から球面波を放出するようにこれらのM個の放出変換器に適用される。

【0024】

また随意に、各受信がL'個の仮想受信変換器によって行われ、各仮想受信変換器は、遅延シーケンスが適用される対象のM'個の隣り合う受信変換器からなる。

【0025】

また随意に、本発明による超音波信号を処理する方法は、特に合成全集束処理を用いて、ノイズ除去された時間信号配列から対象領域のデジタル画像を再構成する追加ステップを含むことができる。

【0026】

通信ネットワークからダウンロード可能であり、かつ/または、コンピュータ可読媒体に保存され、かつ/または、プロセッサによって実行可能であるコンピュータプログラムであって、前記プログラムがコンピュータ上で実行されるときに、本発明による超音波信号を処理する方法の各ステップを実行するための命令を含むコンピュータプログラムも提案される。

【0027】

複数の超音波放出変換器および複数の超音波受信変換器を備えるプローブと、本発明による超音波信号を処理する方法を実施するように設計された変換器制御および処理手段と

を備える超音波探査装置も提案される。

【0028】

本発明は、単に例として添付図面を参照して与えられる以下の記述を用いてより明瞭に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明の一実施形態による超音波探査装置の一般構造を概略的に示す図である。

【図2】本発明の一実施形態による、図1の装置によって実施される超音波信号を収集し処理する方法の一連のステップを示す図である。

【図3】図1の装置によって実施される超音波放出/受信原理を示す図である。

【図4】図1の装置によって実施される超音波放出/受信原理を示すもう1つの図である。

【図5】図2の方法の中間ステップから得られた特異値分布を、線図を用いて示す図である。

【図6】図2の方法の中間ステップから得られた特異値分布を、線図を用いて示すもう1つの図である。

【図7】図2の方法を完全には適用せずに得られた超音波画像を比較して示す図である。

【図8】図2の方法を完全に適用して得られた超音波画像を比較して示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図1を参照すると、本発明の一実施形態による物体102を探査するための装置100は、ハウジング106、すなわちプローブ104に取り付けられた基準として働く変形しない構造要素を有する超音波プローブ104を備え、例えば直線状にまたは配列に従って、N個の固定変換器または可動変換器108₁, ..., 108_Nが配置される。

【0031】

物体102は、例えば、非破壊検査によって検査されるべき機械部品、または、医療状況では非侵襲的に監視されるべき人体の一部である。図1の実施形態では、物体102は

10

20

30

40

50

水 1 1 0 などの液体中に沈められ、プローブ 1 0 4 は、水 1 1 0 がプローブ 1 0 4 および物体 1 0 2 を隔てるように物体 1 0 2 からある距離を置いて保持される。しかし、別の同等の実施形態では、プローブ 1 0 4 は、物体 1 0 2 と直接接触していてもよい。

【 0 0 3 2 】

変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ は、図 1 に点線矢印で、図 1 の面である主平面内に示されている互いに平行な主方向に沿って、一般参照符号 C の下に識別表示されている制御信号にตอบสนองして超音波を物体 1 0 2 に向かって放出するように設計される。

【 0 0 3 3 】

変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ は、物体 1 0 2 上または物体 1 0 2 内で反射された超音波のエコーを検出するとともに、一般参照符号 S の下に識別表示されこれらのエコーに対応する測定信号を供給するように設計される。このように、図 1 の非限定的な例では、変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ は放出と受信の両方の機能を果たすが、放出体とは異なる受信器が、本発明の原理に適合し続けながら異なる独立したハウジング内に設けられてもよい。

10

【 0 0 3 4 】

探査装置 1 0 0 は、プローブ 1 0 4 の変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ を制御しかつ測定信号 S を処理するための電子回路 1 1 2 をさらに備える。この電子回路 1 1 2 は、電子回路 1 1 2 に制御信号 C を送信するとともに、測定信号 S を受信するために、プローブ 1 0 4 に接続される。電子回路 1 1 2 は、例えばコンピュータの電子回路である。電子回路 1 1 2 は、プローブ 1 0 4 に対して制御信号 C を放出し、プローブ 1 0 4 から測定信号 S を受信するように設計されたマイクロプロセッサなどの中央処理装置 1 1 4 と、コンピュータプログラム 1 1 8 が保存されるメモリ 1 1 6 とを有する。

20

【 0 0 3 5 】

コンピュータプログラム 1 1 8 は、最初に、

変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ を、物体 1 0 2 の対象領域に対して超音波を L 回逐次放出するための放出体として作動させ、

変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ を、各逐次放出に続いて、これらの N 個の受信器を介してかつ求められる検査深さの所定時間幅にわたって、特に対象領域内の各放出の反射によりノイズのあるエコーを測定する N 個の測定信号を同時に受信する受信器として作動させる

30

ように変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ 用の制御信号 C を生成するための命令 1 2 0 を含む。

【 0 0 3 6 】

変換器 $1 0 8_1, \dots, 1 0 8_N$ によって送信される $L \times N$ 個の測定信号のセット S は、プローブ 1 0 4 によって中央処理装置 1 1 4 に戻される。

【 0 0 3 7 】

コンピュータプログラム 1 1 8 は、サイズ $L \times N$ の超音波時間信号配列 $K(t)$ を構成するための命令 1 2 2 をさらに含み、この配列の各係数 $K_{i,j}(t)$ は、i 番目の放出にตอบสนองして変換器 $1 0 8_j$ によって受信される測定信号を表す。

40

【 0 0 3 8 】

随意に、コンピュータプログラム 1 1 8 は、配列 $K(t)$ の時間フィルタリングを行うための命令 1 2 4 をさらに含み、このフィルタリングは、物体 1 0 2 内の対象領域から除外された飛行時間に位置するデータがあればこれを削除するためのものである。

【 0 0 3 9 】

コンピュータプログラム 1 1 8 は、フーリエ変換を用いて、有利には配列 $K(t)$ の係数の時間サンプリング後の離散フーリエ変換を用いて、または、より有利には配列 $K(t)$ の各係数のサンプル数が許せば FFT (「高速フーリエ変換」) 計算を用いて、配列 $K(t)$ を周波数信号配列 $K()$ に変換するための命令 1 2 6 をさらに含む。

【 0 0 4 0 】

コンピュータプログラム 1 1 8 は、周波数信号配列 $K()$ を周波数帯にわたって前記

50

配列を対角化するように特異値に分解するための命令 1 2 8 をさらに含む。この既知の演算は、

【数 2】

$$K(\omega) = U.S.V^T = \sum_{i=1}^L \lambda_i(\omega) u_i(\omega) v_i^T(\omega)$$

、ただし、 $U = [u_1(\omega), \dots, u_L(\omega)]$ および $V = [v_1(\omega), \dots, v_N(\omega)]$ はそれぞれ、送信および放出の特異ベクトル、すなわち時間反転演算子の受信および放出の不変量を含むサイズ $L \times L$ およびサイズ $N \times N$ の直交配列であり、 S は、所与の基準周波数 $\omega_1(\omega) \dots \omega_L(\omega)$ 0 で高いものから順に整列された、配列 $K(\omega)$ の L 個の特異値 $\lambda_i(\omega)$ を含むサイズ $L \times N$ の対角配列である

ように、配列 U 、 S および V を推定することを可能にする。

【0041】

随意に、コンピュータプログラム 1 1 8 は、周波数に従って、配列 $K(\omega)$ の特異値および特異ベクトルの周波数成分を再編成することにより配列 $K(\omega)$ を配列 $\underline{K}(\omega)$ に再編成するための命令 1 3 0 をさらに含む。実際、欠陥のエコーが物体 1 0 2 の境界面のエコーに近接する飛行時間に位置する（例えば、部品のベースに近接する欠陥）場合、または、このエコーが構造ノイズとほぼ同じ振幅を有する場合、配列 S の同じ特異値は、欠陥、境界面、およびプローブのスペクトルバンド幅内の当該周波数による構造ノイズに同等に対応することができる。このことは、特異値と欠陥との間の対応関係を最適化するように、特異値の周波数成分の再編成および関連特異ベクトルの対応する周波数発生に有利に値することができる。再編成された固有値は、注釈付き $\omega_1(\omega) \dots \omega_L(\omega)$ 0 である。

【0042】

コンピュータプログラム 1 1 8 は、特異値 ω_i のうちのいくつかを除去することにより、随意に再編される、配列 $\underline{K}(\omega)$ の階数（または、オプションの命令 1 3 0 が実行されない場合は配列 $K(\omega)$ の階数）を減じるための命令 1 3 2 をさらに含む。この除去は、欠陥に関連する特異値とノイズに関連する特異値とを区別するための基準に従って行われ、欠陥に関連する特異値はノイズに関連する特異値よりも大きい振幅を有する。 $\omega_1 \dots \omega_L$ 0 とすると、 $\omega_1, \dots, \omega_P$ が物体 1 0 2 内の検出されるべき欠陥に関連すると見なされ得るように、かつ、 $\omega_{P+1}, \dots, \omega_L$ が、 $\omega_{P+1}, \dots, \omega_L$ がノイズに関連すると見なされるときに除去され得るように、1 と L との間の値 P を求める必要がある。実際には、 P は、特異値振幅減退曲線を研究することによって決定され、より具体的には、基準周波数、例えば配列 $\underline{K}(\omega)$ の周波数スペクトルの中心周波数における特異値の連続的な振幅差（すなわち、 $\omega_2 - \omega_1, \dots, \omega_N - \omega_{N-1}$ ）を研究することによって決定される。非限定的な例として、 P は特異値に関連する指数に等しくてもよく、特異値減退曲線は、そのために、特異値相互間の連続的な振幅差の有意な変動を示す曲率の変化、より具体的には勾配の変化を示す。 P のこのような決定は、2 段階線形減退を前提として線形回帰によってそれ自体が知られる方法で行われてもよい。理想的には互いに一定の間隔をあけて配置された小欠陥の場合、 P は、検査される対象領域内に存在する欠陥の数に等しい。したがって、配列 $\underline{K}(\omega)$ の階数を減じることは、次式中の $K_f(\omega)$ を維持することだけからなる。

【数 3】

$$\underline{K}(\omega) = K_f(\omega) + K_b(\omega)$$

、ただし

【数4】

$$Kf(\omega) = \sum_{i=1}^P \lambda_i(\omega) \underline{u}_i(\omega) \underline{v}_i^T(\omega)$$

であり、

【数5】

$$Kb(\omega) = \sum_{i=P+1}^L \lambda_i(\omega) \underline{u}_i(\omega) \underline{v}_i^T(\omega)$$

である。

10

【0043】

このようにして再構成された配列 $Kf(\)$ はノイズ除去された周波数信号配列であり、配列 $Kb(\)$ で表されるノイズ部分空間は除去されている。

【0044】

コンピュータプログラム118は、逆フーリエ変換を用いて、有利には逆離散フーリエ変換を用いて、または、より有利には配列 $Kf(\)$ の各係数のサンプル数が許せばIFFT（「逆高速フーリエ変換」）計算を用いて、配列 $Kf(\)$ をノイズ除去された時間信号配列 $Kf(t)$ に変換するための命令134をさらに含む。

【0045】

最後に、コンピュータプログラム118は、ノイズ除去された配列 $Kf(t)$ に対して

20

C. Holmesらの上述した論文に規定されているように合成全集束を行うための命令136を含む。したがって、対象領域のデジタル画像が再構成され、品質は、合成集束がノイズ除去されていない配列 $K(t)$ に対して行われている場合よりも良い。特に、SNRが改善される。

【0046】

次に図2を参照して、図1の装置100によって実施される超音波信号を収集し処理する方法200について説明する。

【0047】

ステップ202の間、命令120を実行する処理装置114は、配列 $K(t)$ を収集するために変換器108₁、・・・、108_Nの放出シーケンスおよび受信シーケンスを制御する。

30

【0048】

これらのシーケンスの数はLであり、1とN-M+1との間の整数である。ただし、M、1とNとの間の整数は、少なくとも1つの変換器のインターバルでプローブ104のハウジング106に沿って移動する放出副開口を形成する隣り合う変換器の数である。数Mの選択は、副開口によって放出される球面波の求められる品質に依存する。各ラウンドの後、信号は、N個の変換器のすべてにおいて受信され、デジタル化され、電子回路112に送信される。図3は、これらの放出シーケンスおよび受信シーケンスに、連続的に参照符E1およびR1、E2およびR2、E3およびR3、・・・、ELおよびRLを付けて示してあり、作動した変換器はグレートーンで描かれている。

40

【0049】

M=2の場合、所定の遅延シーケンスが、M個の変換器の副開口を形成する変換器に適用される。所定の遅延シーケンスは、プローブ104の下の深さFmmのところに位置するポイントOで放出された波の集束を可能にする。放出された波面はポイントOのところでは止まらない。波はこのポイントから発散し、媒体中を伝搬される。Fよりも深いところに位置する観測者には、それは、発散波がOのところに配置された仮想源からであるようなものである。作られる仮想源は、点源のような完全無指向性を有しておらず、比較的広い角度をもつ角度指向性を有する。この指向性は、仮想源によって放出された波が物体102内で好ましい方向に向けられるように副開口の変換器に適用される遅延を修正することによって調整することができる。このことはこの領域内の欠陥の検出を増進する。

50

図4は、例として与えられた2つの遅延シーケンスによる仮想源の原理を示す。

【0050】

ステップ204の間、処理装置114は命令122を実行して配列 $K(t)$ を構成し、この配列の各係数 $K_{i,j}(t)$ は、 i 番目の放出に回答して変換器108 $_j$ によって受信された測定信号を表し、この信号は、その信号の後続処理を容易にするためにデジタル化される。

【0051】

オプションのステップ206の間、処理装置114は命令124を実行して配列 $K(t)$ の時間フィルタリングを行い、このフィルタリングは、対象領域から除外された飛行時間に位置するデータがあればこれを削除するためのものである。ステップ206の目的は、特に、画像化されるべき欠陥が有意に反響性の境界面、例えば部品のベースなどに近接しているときに、配列 $K_f()$ および $K_b()$ で表される2つの部分空間の分離を後で容易にすることである。ステップ206は、特に妨害反響性境界面を除外することにより画像化されるべき領域を欠陥に近接する領域に限定することを可能にする。ステップ206は、物体のベースから形成された亀裂を画像化することを特に対象としている。

10

【0052】

ステップ208の間、処理装置114は命令126を実行して配列 $K(t)$ の離散フーリエ変換を行い、それによって周波数信号配列 $K()$ を得る。

【0053】

ステップ210の間、処理装置114は命令128を実行して、上記のように配列 $K()$ を特異値に分解することによって配列 $K()$ を診断する。

20

【0054】

オプションのステップ212の間、処理装置114は命令130を実行して、分解配列 $S()$ 、 $U()$ および $V()$ の特異値および特異ベクトルの周波数成分を再編成することにより新たな分解配列 $\underline{S}()$ 、 $\underline{U}()$ および $\underline{V}()$ に再編成することにより配列 $K()$ を配列 $\underline{K}()$ に再編成する。

【0055】

特異値および特異ベクトルの周波数成分を再編成するための第1の代替実施形態によれば、各特異値 $\lambda_i()$ 、 $1 \leq i \leq L$ に対して、

$\lambda_i()$ に関連する特異ベクトル、例えば配列 U の特異ベクトル $u_i()$ の基準周波数発生が選択され、この基準周波数発生は注釈付き $u_i^{ref} = u_i[ref]$ であり(これは一般に $K()$ の周波数スペクトルの中心周波数からなり、最高特異値の分離がそのために観察される)、

30

この基準周波数発生 u_i^{ref} の位相は計算され、この位相はインターバル $[0, 1]$ で正規化され、次いで、

$K()$ の周波数スペクトルの各周波数について、

配列 U の他の特異ベクトルの周波数発生 $u_k[]$ の位相が計算され、これらの位相はインターバル $[0, 1]$ で正規化され、

u_i^{ref} の正規化位相と各 $u_k[]$ の正規化位相との間の相関が計算され、

相関が最大となる k の値 j が決定され、

40

$v_j[]$ の値が $v_i[]$ に割り当てられ、 $u_j[]$ の値が $u_i[]$ に割り当てられ、 $v_j[]$ の値が $v_i[]$ に割り当てられる。

【0056】

これは、新たな再編成された配列 $\underline{S}()$ 、 $\underline{U}()$ および $\underline{V}()$ 、したがって新たな再編成された配列

【数6】

$$\underline{K}(\omega) = \underline{U} \cdot \underline{S} \cdot \underline{V}^T$$

を与える。

【0057】

50

特異値および特異ベクトルの周波数成分を再編成するための第2の代替実施形態によれば、各特異値 $\lambda_i(\omega)$ 、 $1 \leq i \leq L$ に対して、

$\lambda_i(\omega)$ に関連する特異ベクトル、例えば配列 U の特異ベクトル $u_i(\omega)$ の基準周波数発生が選択され、この基準周波数発生は注釈付き $u_i^{ref} = u_i[\omega_{ref}]$ であり、特異値 $\lambda_i(\omega)$ の最大周波数発生に対応し（これもまた一般に $K(\omega)$ の周波数スペクトルの中心周波数からなる）、

この基準周波数発生 u_i^{ref} の位相が計算され、次いで、

$K(\omega)$ の周波数スペクトルを反復的に走査するための基本増分 $\Delta\omega$ を定義することにより、

配列 U の他の特異ベクトルの周波数発生 $u_k[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ の位相が計算され、 u_i^{ref} の位相と各 $u_k[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ の位相との間の相関が計算され、その相関が最大となる k の値 j が決定され、 $v_j[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ の値が $v_i[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ に割り当てられ、 $u_j[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ の値が $u_i[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ に割り当てられ、 $v_j[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ の値が $v_i[\omega_{ref} \pm \Delta\omega]$ に割り当てられ、

新たな基準周波数発生として、特異値の基準周波数発生が周波数 $\omega_{ref} \pm \Delta\omega$ での前のステップとの相関を最大にすることが採用され、 $\omega_{ref} \pm 2\Delta\omega$ での前のステップの相関計算が繰り返され、

したがって、プローブのスペクトルバンド幅内の $K(\omega)$ の研究が、 $K(\omega)$ の限界まで段階的に継続される。

【0058】

したがって、新たな再編成された配列 $\underline{S}(\omega)$ 、 $\underline{U}(\omega)$ および $\underline{V}(\omega)$ 、したがって新たな再編成された配列

【数7】

$$\underline{K}(\omega) = \underline{U} \cdot \underline{S} \cdot \underline{V}^T$$

が得られる。

【0059】

したがって次に、再編成された配列 $K(\omega)$ は特異値に分解され、特異値はそれぞれ、選定された一定基準周波数に関して（第1の代替実施形態）または段階的に（第2の代替実施形態）、特異値の相関をすべての周波数で最適化する特異ベクトルを有する。このようにして、配列 $\underline{K}(\omega)$ を再編成した後、欠陥が、プローブのスペクトルバンド内のすべての周波数に対して同じ特異値に関連する。L個の固有値の振幅（A）に関する周波数分布の一例が図5に示されている。配列 $\underline{K}(\omega)$ の周波数スペクトルの平均、または選定された中心周波数での、これらの固有値の正規化振幅の減少は、例えば図6に示されており、この例では、第1の特異値と第2の特異値との間に振幅の有意な差が観測される。

【0060】

ステップ214の間、処理装置114は命令132を実行して、配列 $\underline{K}(\omega)$ の階数（または前のオプションのステップが実行されなかった場合の配列 $\underline{K}(\omega)$ の階数）を減じて

【数8】

$$Kf(\omega) = \sum_{i=1}^P \lambda_i(\omega) \underline{u}_i(\omega) \underline{v}_i^T(\omega)$$

を維持するにすぎない。

【0061】

ステップ216の間、処理装置114は命令134を実行して配列 $Kf(\omega)$ の離散逆フーリエ変換を行い、それによってノイズ除去された時間信号配列 $Kf(t)$ を得る。

【0062】

最後に、最終ステップ218の間、処理装置114は命令136を実行して、ノイズ除去された配列 $Kf(t)$ に基づいて合成集束することにより対象有効領域のデジタル画像

10

20

30

40

50

を再構成する。比較として、図7および図8は、図7では配列K(t)を構成するためのステップ204のすぐ後、または、図8ではステップ202~216をすべて実行した後の再構成されたデジタル画像の例を示す。

【0063】

具体的には、図5~図8に示されている例は、人工的な直径2mmの母線穴(Generator Hole)(GH)が40mmの深さのところに機械加工されている、オーステナイト鋼で作られた厚み70mmのノイズのある部分で実験をすることによって得られたことに留意されたい。この実験では、64個の放出/受信変換器からなる1.1MHz中心周波数センサを使用して欠陥を画像化しようとした。センサの要素間インターバル(すなわち、2つの隣り合う変換器の間の空間に加えた変換器の幅)(1.4mm)および欠陥の深さを考慮すると、32個の中心要素だけが作動される。適用例として、このセンサは、物体102上にGH欠陥から45°で置かれる。従来のFMC収集に関する収集を増進するために、放出はM=7個の変換器からなる副開口を使用して行われ(その場合、38個の中心要素が32個の逐次放出のために作動される)、適用される遅延シーケンスは、7個の変換器に対して、放出される波が本質的に45°で向けられるように定義された。

10

【0064】

上記に詳述したような方法および装置は、上記に定義したように配列K(t)の形で収集された超音波信号のノイズを効果的に除去するのに適していることは明らかである。

【0065】

さらに、本発明は上述した実施形態に限定されないことに留意されたい。本明細書で開示される教示に照らして上述した実施形態に種々の修正がなされ得ることが当業者には明らかであろう。

20

【0066】

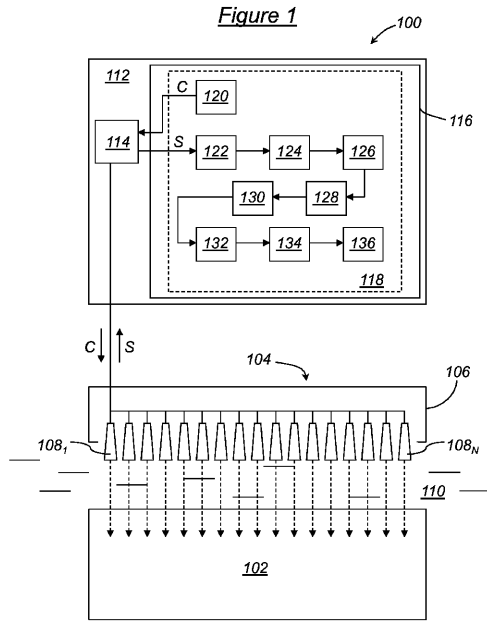
特に、コンピュータプログラム命令は、これらの命令の実行中に果たされる機能用に設けられた電子回路で置き換えることができる。

【0067】

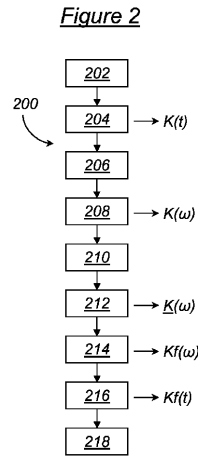
原則として、特許請求の範囲において、使用されている用語は、特許請求の範囲を本明細書に開示される実施形態に限定するものとして解釈されるべきでなく、特許請求の範囲でその表現により網羅されるように意図され、かつ、本明細書で開示される教示の実施に当業者の一般知識を適用することにより当業者によって着想され得る任意の同等物を含むと解釈されるべきである。

30

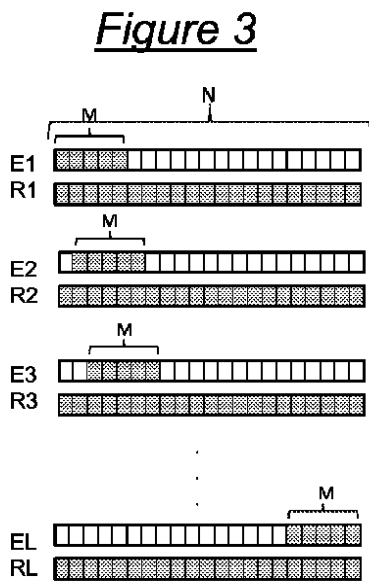
【 図 1 】



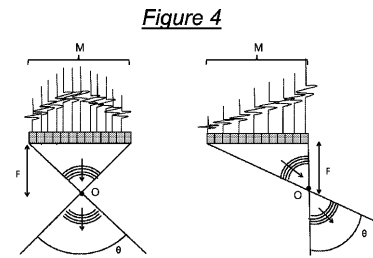
【 図 2 】



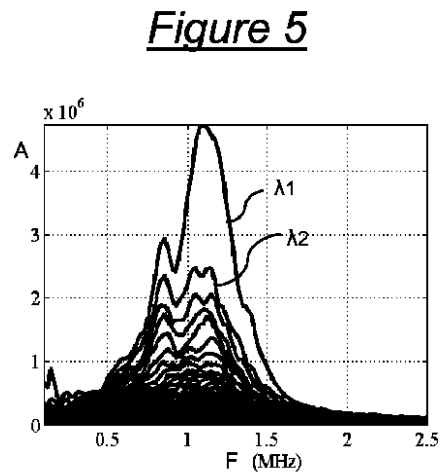
【 図 3 】



【 図 4 】

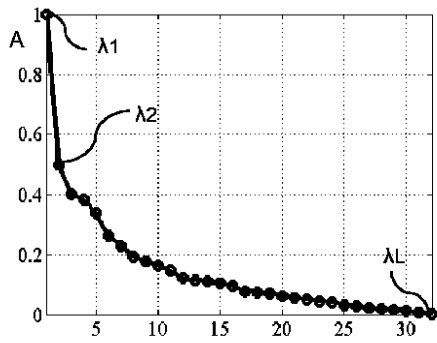


【 図 5 】



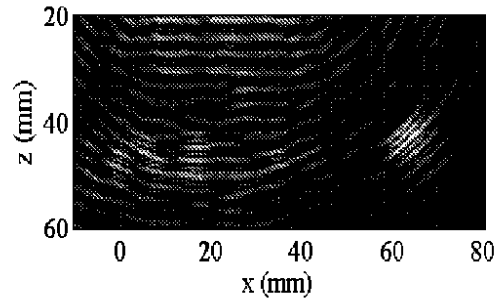
【 図 6 】

Figure 6



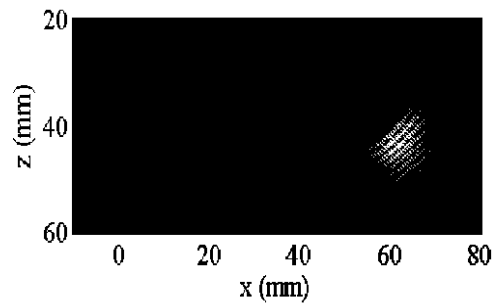
【 図 7 】

Figure 7



【 図 8 】

Figure 8



フロントページの続き

- (74)代理人 100091487
弁理士 中村 行孝
- (74)代理人 100105153
弁理士 朝倉 悟
- (74)代理人 100117787
弁理士 勝沼 宏仁
- (74)代理人 100082991
弁理士 佐藤 泰和
- (74)代理人 100103263
弁理士 川崎 康
- (74)代理人 100107582
弁理士 関根 毅
- (74)代理人 100192577
弁理士 梶 大樹
- (72)発明者 スアド、バンヌフ
フランス国エピネー、シュル、セーヌ、プラス、オベルルセル、3
- (72)発明者 オリピエ、カスラ
フランス国ロンボン - シュル - オルジュ、リュ、デュ、メニル、4 6
- (72)発明者 クレール、ブラダ、ジュリア
フランス国バリ、リュ、マダム、6 0
- (72)発明者 セバスチャン、ロペール
フランス国サン - トゥアン、リュ、アルペール、ダールヌヌ、6 5、ビス

審査官 比嘉 翔一

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0125014 (US, A1)
特表2006-512129 (JP, A)
米国特許出願公開第2012/0111116 (US, A1)
国際公開第2012/022886 (WO, A1)
特開2000-316852 (JP, A)
米国特許出願公開第2005/0154306 (US, A1)
国際公開第2010/053156 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52
A61B 8/00 - 8/15
JSTPlus (JDreamIII)

专利名称(译)	处理超声波测量收集的信号的方法，相应的程序和超声波探头		
公开(公告)号	JP6258314B2	公开(公告)日	2018-01-10
申请号	JP2015521053	申请日	2013-07-12
[标]申请(专利权)人(译)	原子能委员会		
申请(专利权)人(译)	Komisaria一个抗皱紧肤原子D 2 O Zeneruji月神艺术修复		
当前申请(专利权)人(译)	Komisaria一个抗皱紧肤原子D 2 O Zeneruji月神艺术修复		
[标]发明人	スアドバンヌフ オリビエカスラ クレールプラダジュリア セバスチャンロペール		
发明人	スアド、バンヌフ オリビエ、カスラ クレール、プラダ、ジュリア セバスチャン、ロペール		
IPC分类号	G01N29/06 A61B8/14		
CPC分类号	G01N29/44 G01N29/069 G01N29/24 G01N29/262 G01N29/4472 G01N29/46 G01N2291/0289 G01N2291/106 G01S7/52046 G01S7/52077 G01S15/006 G01S15/8927 G01S15/8977		
FI分类号	G01N29/06 A61B8/14		
代理人(译)	永井裕之 中村KoTakashi 朝仓悟 川崎靖		
优先权	2012056718 2012-07-12 FR		
其他公开文献	JP2015522175A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)
 处理的超声波信号 (200) 的方法，包括用于控制多个发射换能器以发出超声波顺序L次，在预定时间内一个步骤 (202)，对于每个连续的释放，N用于控制所述N个接收换能器同时接收所述测量信号的块，步骤 (204)，以获得超声时间信号大小为L的序列×N的步骤 (202) (K (t)) 的满足确，系数K 我该序列，J 的是 (T)，表示-第j个接收换能器为第i个发射由所接收的测量信号，所述步骤 (204) 包括。的方法 (200) 中，从时间信号序列获得的特定值通过 (208)，用于将 (210) 的 (K (ω-)) 的奇异值分解获得的 (K (t)) 的频率的信号序列和去除所述相关联的奇异向量 (214) 的一部分，并且，通过基于奇异值和奇异向量的噪声去除时间信号序列不被除去以重建 (KF (t)) 的 (216) 还包括用于去除噪声的时间信号序列的步骤 (208, 210, 212) (K (t)) 的。

(19) 日本国特許庁 (JP)	(12) 特許公報 (B2)	(11) 特許番号 特許第6258314号 (P6258314)
(45) 発行日 平成30年1月10日 (2018. 1. 10)	(24) 登録日 平成29年12月15日 (2017. 12. 15)	
(51) Int. Cl. G01N 29/06 (2006.01) A61B 8/14 (2006.01)	F I GO1N 29/06 A61B 8/14	
請求項の数 11 (全 16 頁)		
(21) 出願番号 特願2015-521053 (P2015-521053)	(73) 特許権者 510225292 コミサリア ア レネルジー アトミック エ オ セネルジー アルテルナティブ COMMISSARIAT A L' EN ERGIE ATOMIQUE ET A UX ENERGIES ALTERNA TIVES	
(86) (22) 出願日 平成25年7月12日 (2013. 7. 12)		
(65) 公表番号 特表2015-522175 (P2015-522175A)		
(43) 公表日 平成27年8月3日 (2015. 8. 3)		
(86) 国際出願番号 PCT/FR2013/051677		
(87) 国際公開番号 W02014/009671		
(87) 国際公開日 平成26年1月16日 (2014. 1. 16)		
審査請求日 平成28年6月3日 (2016. 6. 3)		
(31) 優先権主張番号 1256718		
(32) 優先日 平成24年7月12日 (2012. 7. 12)		
(33) 優先権主張国 フランス (FR)		
		(74) 代理人 100091982 弁理士 永井 浩之 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探査によって収集された信号を処理する方法、対応するプログラムおよび超音波探査装置