

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4679504号
(P4679504)

(45) 発行日 平成23年4月27日 (2011. 4. 27)

(24) 登録日 平成23年2月10日 (2011. 2. 10)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 N 29/44 (2006. 01)	GO 1 N 29/22 5 0 4
GO 1 S 15/04 (2006. 01)	GO 1 S 15/04
GO 1 S 7/52 (2006. 01)	GO 1 S 7/52 J
GO 1 N 29/04 (2006. 01)	GO 1 N 29/10 5 0 1

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-501984 (P2006-501984)	(73) 特許権者	505317322
(86) (22) 出願日	平成16年2月24日 (2004. 2. 24)		ソコマト アンターナショナル
(65) 公表番号	特表2006-518843 (P2006-518843A)		SOCOMATE INTERNATIO
(43) 公表日	平成18年8月17日 (2006. 8. 17)		NAL
(86) 国際出願番号	PCT/EP2004/002568		フランス国 77580 クレシイ ラ
(87) 国際公開番号	W02004/074864		シャペル アベス通り8 ゾーン アンド
(87) 国際公開日	平成16年9月2日 (2004. 9. 2)		ウストリエル
審査請求日	平成18年12月4日 (2006. 12. 4)	(74) 代理人	100076406
(31) 優先権主張番号	0302255		弁理士 杉本 勝徳
(32) 優先日	平成15年2月24日 (2003. 2. 24)	(72) 発明者	コブレ フィリップ
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		フランス国 77700 クーヴレイ ブ
			ルゴーニュ通り15
		審査官	比嘉 翔一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 媒体内の不連続部を検出する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

媒体内の欠陥を検出する方法であって、
 少なくとも1つの発信素子によって超音波を媒体内に発生させる操作と、
 この超音波に対する応答として媒体内を伝達する応答波をマトリックス状の複数の受信素子 T_j によって捕捉し、これをアナログ応答信号に変換する操作と、
 各受信素子 T_j によって生成された前記応答信号をデジタル化する操作と、
 受光素子 T_j 毎に、閾値を超えた前記デジタル応答信号の値の中から最大値を選択する操作と、

を含む方法において、

同一の欠陥に該当する最大値をまとめるために、前記選択された最大値に対して少なくとも1つのコヒーレンス基準を適用する最大値を処理する操作をさらに含み、
 前記最大値を処理する操作とは、

$|TOF(j)_{i=1 \text{ to } k} - TOF(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'}| \leq T$ の場合に、連続する2つの受信素子 j および $j+1$ で検出された2つの最大値を1つのセグメント l にまとめる第1のコヒーレンステストを行う操作と、

(但し、 $TOF(j)_{i=1 \text{ to } k}$ は、前記素子 j によって生成された前記応答信号内の最大値 i の時間位置であり、ここで $i=1 \sim k$ であり、 $TOF(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'}$ は、前記素子 $j+1$ によって生成された前記応答信号内の最大値 i' の時間位置であり、ここで $i'=1 \sim k'$ であり、かつ $T = t + \varepsilon$ であり、ここで $t = (s \sin \alpha / v) p$ であり、 α

10

20

は所望の最大偏向角であり、 p は受信器 j および $j + 1$ 間の距離であり、 v は媒体内の波の速度であり、 ε は計算誤差および機械的分散に対する前記処理操作の許容値である)

$|(\text{TOF}(j+1))_1 - (\text{TOF}(j+2))_{1+1}| \leq T$ 、および $|\text{slope } S(1) - \text{slope } S(1+1)| \leq \Delta P$ の場合に、連続する受信素子 j 、 $j + 1$ 、 $j + 2$ 、および $j + 3$ を2つずつまとめた2つのセグメント l および $l + 1$ を単一セグメントとしてまとめる第3のコヒーレンステストを行う操作と、

(但し、 $(\text{TOF}(j+1))_1$ および $(\text{TOF}(j+2))_{1+1}$ は、連続する2つのセグメント l および $l + 1$ に属する、連続する2つの最大値のそれぞれの時間位置であり、かつ

$\text{slope } S(1)$ および $\text{slope } S(1+1)$ は、セグメント l および $l + 1$ のそれぞれの傾斜であり、 ΔP は、連続する2つのセグメントのそれぞれの傾斜に対して許容される差として予め決められた値である)

であることを特徴とする方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、前記最大値を選択する操作が、
受光素子 T_j によって生成された各応答信号を微分することによって、動的雑音レベルを超える複数のピークを順次検出するステップと、
各ピークの最大値を特定するステップと、
を含む方法。

【請求項3】

請求項1に記載の方法であって、
 $|AMP(j)_1 - AMP(j+1)_1| \leq \Delta A$
の場合にのみ、前記最大値を処理する前記操作が、セグメント l を保持する第2のコヒーレンステストを含む方法。

但し、 $AMP(j)_1$ および $AMP(j+1)_1$ は、セグメント l 内の連続する2つの受信素子 j および $j + 1$ で検出された各最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

ΔA は、単一セグメントにまとめられる最大値のそれぞれの振幅に対して許容される差として予め決められた値である。

【請求項4】

請求項1に記載の方法であって、
 $|AMP(j+1)_1 - AMP(j+2)_{1+1}| \leq \Delta A$
の場合にのみ、前記最大値を処理する操作が、2つのセグメント l および $l + 1$ をまとめる第4のコヒーレンステストをさらに含む方法。

(但し、 $AMP(j+1)_1$ および $AMP(j+2)_{1+1}$ は、連続する2つのセグメント l および $l + 1$ に属する、連続する2つの最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

ΔA は、1つのセグメントにまとめられる最大値のそれぞれの振幅に対して許容される差として予め決められた値である。)

【請求項5】

請求項1～4のいずれか1項に記載の方法であり、前記媒体の複数の欠陥を特徴付けるために、少なくとも1つの第5の基準に従って複数のセグメントまたは1つのセグメント集合を選択する方法であって、前記第5の基準が、1つのセグメントにまとめられる最大値の最小数と、1つのセグメントまたは1つのセグメント集合の最大値の合計と振幅と、許容損失値と、角度応答値と、体積応答値とを含むパラメータリストから選択されるパラメータに関する基準である方法。

【請求項6】

媒体内の複数の欠陥を検出するための装置であって、
少なくとも1つの発信素子によって超音波の発信波を媒体内に発生させるための少なくとも1つの発信器と、
前記発信波に対する応答として前記媒体内を伝達される応答波を捕捉し、これをアナログ応答信号に変換するための、マトリックス状の n 個の受信素子 T_j と、

各受光素子 T_j にそれぞれ直列に接続されている n 個のアナログ・デジタルコンバータの集合と、

受光素子 T_j 毎に、動的閾値を超えた前記デジタル応答信号の値から最大値を選択するために、アナログ・デジタルコンバータにそれぞれ直列に接続されている n 個のプログラム可能論理回路の集合と、

同一欠陥に該当する最大値をまとめるために、前記選択された最大値を少なくとも 1 つのコヒーレンス基準によってテストするためのデジタル信号プロセッサの集合と、から構成され、

連続する最大値を前記媒体内の同一欠陥に該当する複数のセグメントにまとめ、前記同一欠陥に該当する複数のセグメントを一つセグメントにまとめるために前記デジタル信号プロセッサの集合内の第 1 プロセッサ群が本構造に配置されている装置。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の装置であって、前記デジタルプロセッサ集合内の第 2 のプロセッサ群が並列に配置されており、第 1 のプロセッサ群によってまとめられた最大値に基づき、第 2 の各プロセッサ内の各プロセッサが、前記媒体内の複数の欠陥を特徴付けるための特定の処理を行う装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、媒体内の複数の不連続部を検出する方法および装置に関する。

20

【0002】

より具体的には、本発明は、少なくとも 1 つの発信素子によって超音波などの発信波を媒体内に発生させる操作と、この発信波に対する応答として媒体内を伝達される応答波をマトリックス状の複数の受信素子 T_j によって捕捉し、これをアナログ応答信号に変換する操作と、各受信素子 T_j によって受信された応答信号をデジタル化する操作と、各受信素子 T_j によって生成され、デジタル化された応答信号から、閾値より大きい複数の応答信号値に該当する複数の最大値を選択する操作と、を実現する方法と装置とに関する。

【背景技術】

30

【0003】

特許文献 1 には、上に詳述した各操作を実現する方法の一例が説明されている。この方法では、各発信素子と各受信素子とは、同一の探触子に属する複数の変換器から成る 1 つのマトリックス内の同一の変換器によって構成されている。発信信号は音響信号であり、媒体内の不連続部などの反射体によって反射される。次に、この信号のエネルギーを反射体に集束するために、反射された信号を時間反転して再発信することによって、媒体内の超音波のようでない伝搬バラツキを自動的に補正すると共に、探触子／媒体の位置決め誤差を補正する。この方法では、音響信号を「時間反転」によって集束するといえる。

【特許文献 1】 仏国特許第 FR-A-2 696 573 号

【特許文献 2】 仏国特許出願第 FR 01/12516 号

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この先行技術の方法は、発信器と受信器とを含むアセンブリに対して移動している媒体内の不連続部を検出する場合には向かない。実際問題として、再発信が行われる媒体の区域を、信号が本来発信された区域にできるだけ厳密に合致させる必要がある。よい結果、特によい深さ分解能、を得るには複数の時間反転を同一区域で行う必要があることから、発信器と受信器とを含むアセンブリに対して媒体が移動しており、このような移動が少なくとも 1 回は比較的高速になる媒体で不連続部を検出するには、検査に利用可能な時間に対応できない。

50

【0005】

本発明の1つの具体的な目的は、媒体内の不連続部の形状、位置、および向きに関係なく、また探触子が媒体に対して極めて高速で移動する場合でも本発明を使用できるように、時間反転による集束方法を用いずに、媒体内の不連続部の検出を良好に行える方法と装置とを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この目的のために本発明が提供する媒体内の欠陥を検出する方法は、上記の特徴に加え、最大値を処理する操作を含むことを特徴とし、この最大値を処理する操作では、デジタル化された応答信号から選択された最大値に対して以下のようにコヒーレンス基準を適用することによって、同一欠陥に該当する最大値をまとめる。

第1のコヒーレンステストは、次の場合連続する2つの受信素子 j および $j + 1$ で検出された2つの最大値を1つのセグメント l にまとめるものである。

$$| \text{TOF}(j)_{i=1 \text{ to } k} - \text{TOF}(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'} | \leq T$$

(但し、 $\text{TOF}(j)_{i=1 \text{ to } k}$ は、素子 j によって生成された応答信号内の最大値 i の時間位置であり、ここで $i = 1 \sim k$ であり、 $\text{TOF}(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'}$ は、素子 $j + 1$ によって生成された応答信号内の最大値 i' の時間位置であり、ここで $i' = 1 \sim k'$ であり、かつ $T = t + \varepsilon$ であり、ここで $t = (s \sin \alpha / v) p$ であり、 α は所望の最大偏向角であり、 p は受信器 j および $j + 1$ 間の距離であり、 v は媒体内の波の速度であり、 ε は計算誤差および機械的分散に対する処理操作の許容値である)

第3のコヒーレンステストは、次の場合連続する受信素子 j 、 $j + 1$ 、 $j + 2$ 、および $j + 3$ を2つずつまとめた2つのセグメント l および $l + 1$ を単一セグメントとしてまとめるものである。

$$| (\text{TOF}(j+1))_l - (\text{TOP}(j+2))_{l+1} | \leq T, \text{ および}$$

$$| \text{slope } S(l) - \text{slope } S(l+1) | \leq \Delta P$$

(但し、

$(\text{TOF}(j+1))_l$ および $(\text{TOP}(j+2))_{l+1}$ は、連続する2つのセグメント l および $l + 1$ に属する連続する2つの最大値のそれぞれの時間位置であり、かつ

$\text{slope } S(l)$ および $\text{slope } S(l+1)$ は、セグメント l および $l + 1$ のそれぞれの傾斜であり、 ΔP は、連続する2つのセグメントのそれぞれの傾斜に対して許容される差として予め決められた値である。)

【0007】

本発明の方法の複数の好適な実現形態においては、さらに以下の構成を1つまたは複数用いてもよい。

【0008】

複数の最大値を選択する操作であって、受信素子 T_j によって生成された各応答信号の傾斜を査定することによって、動的雑音レベルを超える複数のピークをスライディング検出するステップと、各ピークの最大値を特定するステップと、を含む操作。

【0010】

次の場合にのみ、複数の最大値を処理する操作は、セグメント l を保持する第2のコヒーレンステストをさらに含む。

$$| \text{AMP}(j)_l - \text{AMP}(j+1)_l | \leq \Delta A$$

但し、

$\text{AMP}(j)_l$ および $\text{AMP}(j+1)_l$ は、セグメント l 内の連続する2つの受信素子 j および $j + 1$ で検出された複数の最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

ΔA は、単一セグメントにまとめられる複数の最大値のそれぞれの振幅に対して許容される差として予め決められた値である。

【0012】

次の場合にのみ、複数の最大値を処理する操作は、2つのセグメント l および $l + 1$ を

まとめる第4のコヒーレンステストをさらに含む。

$$|AMP(j+1)_1 - AMP(j+2)_{1+1}| \leq \Delta A$$

但し、

$AMP(j+1)_1$ および $AMP(j+2)_{1+1}$ は、連続する2つのセグメント1および1+1に属する連続する2つの最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

ΔA は、まとめられた複数の最大値のそれぞれ振幅に対して許容される差として予め決められた値である。

【0013】

本方法は、媒体の不連続部を特徴付けるために、複数のセグメントまたは1つのセグメント集合を少なくとも第5の基準に従って選択する操作を含み、この第5の基準は、1つのセグメントにまとめられる最大値の最少数と、1つのセグメントまたは1つのセグメント集合の最大値の合計の振幅と、許容損失値と、角度応答値と、体積応答値とを含むパラメータのリストから選択された1つのパラメータに関する。

【0014】

「許容損失値」パラメータは、複数の検出素子 T_j によって生成された一定数の信号にわたって分散する複数の最大値のうち無視できる最大値の数に対応する。「角度応答値」パラメータによって、所定の角度ウィンドウに含まれないセグメントを無視し、まとめる対象から外すことができる。「体積応答値」パラメータによって、三次元の不連続部、すなわち曲線形状のセグメントによって特定される不連続部、に対応しないセグメントを無視し、まとめる対象から外すことができる。

【0015】

別の態様において、本発明は本発明の方法を実施するための装置を提供する。本装置は、媒体内の複数の欠陥を検出するための装置であって、少なくとも1つの発信素子によって超音波の発信波を媒体内に発生させるための少なくとも1つの発信器と、前記発信波に対する応答として前記媒体内を伝達される応答波を捕捉し、これをアナログ応答信号に変換するための、マトリックス状のn個の受信素子 T_j と、各受光素子 T_j にそれぞれ直列に接続されているn個のアナログ・デジタルコンバータの集合と、受光素子 T_j 毎に、動的閾値を超えた前記デジタル応答信号の値から最大値を選択するために、アナログ・デジタルコンバータにそれぞれ直列に接続されているn個のプログラム可能論理回路の集合と、同一欠陥に該当する最大値をまとめるために、前記選択された最大値を少なくとも1つのコヒーレンス基準によってテストするためのデジタル信号プロセッサの集合と、から構成され、

連続する最大値を前記媒体内の同一欠陥に該当する複数のセグメントにまとめ、前記同一欠陥に該当する複数のセグメントを一つセグメントにまとめるために前記デジタル信号プロセッサの集合内の第1プロセッサ群が本構造に配置されている装置。

【0016】

本発明の装置の複数の好適な実施形態においては、以下の構成を1つまたは複数さらに用いることもできる。

【0018】

第1のプロセッサ群によってまとめられた複数の最大値に基づき、媒体内の複数の不連続部を特徴付けるための特定の処理を行わせるために、デジタルプロセッサ集合内の第2のプロセッサ群を並列に配置する。

【発明の効果】

【0019】

このような構成によって、複数の検出素子によって生成された信号の処理は、自己適応方法によって行われる。空間および時間の分解能は、生成された信号内のコヒーレンスを探ることによって得られるので、時間反転による集束を必要としない。本発明においては、信号の生成と処理とがリアルタイムで行われるので、媒体に対する探触子の相対移動速度が高速または超高速（たとえば、鉄道線路のレールの検査時のように、ほぼ秒速30メートル（m/s）かそれ以上の速度）であっても、同じ性能が維持される。

【0020】

また、本発明の装置では、欠陥の向きおよび欠陥の形状に関係なく、また面欠陥であるか体積欠陥であるかにかかわらず、欠陥の検出が可能であり、また出力選択基準を満たさない検出結果が拒否されるので、信号対雑音比が極めてよくなる。

【0021】

本発明の装置では、欠陥が面欠陥である場合は実角度の検出によって、また欠陥が体積欠陥である場合は曲線状の応答によって、欠陥が極めてよく特徴付けられる。

【0022】

さらに、本発明の方法では、いくつかの先行技術の方法で実現された単一素子検出器の位置決めおよび移動に必要な機構のように高価でかさばる機構を使用せずに済む。さらに
10 本発明の方法では、発信信号を電子的に柔軟に制御できることから、このような機械の調整がより簡単になる。したがって、本発明の方法は、探触子に対する検査対象部品の機械的案内に関する許容度が極めて大きい。

【0023】

また、本発明の方法は、超音波の伝搬速度のバラツキに対して、それが全般的であろうと局部的であろうと、極めて許容度が大きい。

【0024】

本発明の装置では、欠陥の検出を探触子の幅に等しい検査ピッチで全方向同時に行えるので、検査を瞬時に行うことができる。

【0025】

検出方法とその処理アルゴリズムとは良好に適合すると同時に、極めて単純である。
20

【0026】

本発明の装置の金額に見合う価値は卓越している。

【0027】

本方法は音響像を処理する方法であり、超音波ビームを再構築する方法ではないので、探触子の定義基準が極めて異なる。特に、特定の用途においては、検出素子 T_j の数を大幅に減らすことができるので、さらなるコストの削減が可能である。

【0028】

本発明の方法は、線形であろうと円形であろうと、あらゆる種類の探触子に適用でき、特に、マトリックス構成の探触子に適用可能であり、マトリックス探触子においては必須
30 基準となる素子数の削減が可能である。

【0029】

本発明は、超音波を使用したあらゆる種類の検査、特に非破壊検査の分野における携帯用器具および自動システム、および医療分野における位置決め器具に適用可能である。

【0030】

本発明は、渦電流、超低周波音、電磁波などの付随する物理現象に関係なく、複数の独立素子から成るセンサを使用するあらゆるシステムにも適用可能である。

【0031】

本発明の方法は、線形かマトリックス形態かに関係なく、あらゆる多素子センサに全般的に適用できる。
40

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

本発明の装置の他の態様、目的、および利点は、本発明の装置の一実施形態に関する以下の説明を読まれると明らかになる。

【0033】

本発明は添付図面の助けを借りるとより良く理解されるであろう。

【0034】

各種の図において、同一または同様の素子は同じ参照符号で示す。

【0035】

本発明の装置の一実施形態、およびこの装置によって実現される方法の一例を例示的か
50

つ非限定的な方法で以下に説明する。

【0036】

この例において、図1(a)および図1(b)に示す本発明の装置は、超音波を用いて媒体内の複数の不連続部を検出するための装置1である。より正確には、装置1はこのような複数の不連続部を、装置1に対して極めて高速で移動している媒体、この場合は部品2、において検出するためのものである。

【0037】

装置1は、複数の変換素子 T_j によって構成される探触子3を含み、ここで $j = 1 \sim n$ である。

【0038】

これらの変換素子 T_j は、発信素子と受信素子との両方を構成する。したがって、図1(a)に示すように、発信波4はパルスの形態で部品2内に発せられる。

【0039】

図1(b)に示すように、部品2の媒体はこの発信波4に対する応答として、「エコー」とも称される応答波5を反射する。パルスの発信とそれに続く取得期間、すなわち応答波5の戻りに相当する期間、とにわたる期間を表すために、「ショット」という用語を用いる。

【0040】

応答波5は、部品2の媒体内の複数の不連続部を表す。一例として、図1(a)および図1(b)は、負の面角度反射 $DP - \alpha$ を示す不連続部と、正の面角度反射 $DP + \beta$ を示す不連続部と、体積反射DVを有する不連続部と、バックグラウンドエコーEFなどのゼロ度付近の反射を有する不連続部とを示す。

【0041】

変換器の種類は、本発明の方法には直接影響しないので、本発明の方法の実現を目指す用途に応じて、さらに／または品質対価格比の点から最良の貨幣価値が得られるように選択してもよい。一例として、変換器を圧電変換器としてもよい。この種の変換器およびその使用方法は、当業者には周知である。

【0042】

探触子3の複数の素子 T_j はアレイを形成するが、その分散形態は線形でも、マトリックス形態でも、不規則な形態でもよい。

【0043】

図2に示すように、検査対象の部品2に正確に音を印加するために、発生器E1～Enは複数の素子 T_j を励起するための複数の信号を発生させる。発生器E1～Enは、単極式または二極式の論理型でも線形型でもよい。発信器の種類は、本発明の方法には直接影響しないので、本発明の方法の実現を目指す用途に応じて、さらに／または最良の貨幣価値が得られるように選択してもよい。

【0044】

発生器E1～Enは、たとえば特許文献2に説明されているように、集束または非集束の多方向ビームを形成するような方法で駆動される。

【0045】

本願明細書に記載の方法の複数の変体においては、それぞれ線形またはマトリックス形態の探触子の単一素子Tから発することによって、集束または非集束の単一方向の信号、あるいはまさに円柱状または球面形の信号を形成するように発生器E1～Enを駆動することができる。

【0046】

受波時、探触子3の複数の素子 T_j によって捕捉される複数の波5は複数の素子 T_j によって複数のアナログ信号に変換され、アナログ・デジタルコンバータCAN1～CANnに直接印加され、ここでサンプリングとデジタル化とが行われる。

【0047】

上流でのアナログゲインの修正を避けるために、またデジタル化された信号の線形性を

10

20

30

40

50

保証するために、各アナログ信号の動作ダイナミックレンジが約80デシベル(dB)である場合は、少なくとも14ビットを操作するコンバータCAN1～CANnを使用する必要がある。

【0048】

$\lambda/10$ (λ は応答波の波長)のオーダの十分な時間精度を得るために、使用する探触子3の動作周波数に応じて、例として以下に説明する2つのデジタル化手法を使用することが可能である。

【0049】

これらの手法の1つでは、探触子周波数の約10倍の周波数で直接サンプリングを行う。たとえば、探触子の動作周波数が3メガヘルツ(MHz)、通過帯域が65%の場合は、サンプリングを50MHzで行う。

10

【0050】

これらの手法のもう1つでは、探触子の周波数の約3倍の周波数でサンプリングを行い、デジタルフィルタリングによる補間によって分解能を上げる。たとえば、探触子の動作周波数が15MHz、通過帯域が80%の場合は、サンプリングを50MHzで行い、補間係数を4にする。

【0051】

このように、本発明の装置では探触子3を1MHzから20MHzの範囲内の周波数で使用できるので、大半の用途に対応できる。

【0052】

20

本願明細書に記載の本発明の方法の実現においては、第2の手法が選択されており、公称周波数が15MHzおよび通過帯域が80%の探触子に対するサンプリング周波数は約64MHz、デジタル補間器の動作係数は3である。

【0053】

デジタル化された複数の信号は、次に最大値検出器DCE1～DCEnに印加される。

【0054】

デジタル化された複数の信号において複数の最大値を適切に検出するには、レール、管、金属板、または複合体の検査などの大部分の工業検査用途において通常そうであるように、これらの信号が十分な信号対雑音比を示す必要がある。

【0055】

30

しかしながら、信号対雑音比が必ずしも十分でない場合、たとえば、粒子の大きい材料の場合は、雑音が定常か不規則に応じて、2種類の処理をアナログ・デジタルコンバータCAN1～CANnと最大値検出器DCE1～DCEnとの間に挿入することによって信号対雑音比を向上することが可能である。

【0056】

不連続部の有無を検査する部品の形状に対応する「形状エコー」型の定常雑音の場合は、この雑音を欠陥のない区域で取得して格納しておき、次にこの雑音を検査中に取得した雑音から引き、その後最大値を検出することができる。この雑音の減算は全面的に行うことも、たとえば入力エコーとバックグラウンドエコーとを保持するために、部分的に行うこともできる。

40

【0057】

不規則な電子雑音および／または不規則な音響雑音が存在する場合は、連続する複数のショットの平均、および／または複数の回帰経路間の平均、および／または相互に近接する複数の素子間の平均によって、信号対雑音比を向上させることができる。たとえば、連続する10個のショットの平均、2つの回帰経路間の平均、および5個の近接素子間の平均をとれば、取得数の合計が平均100個の場合、理論的には信号対雑音比を20dB向上させることができる。

【0058】

両種の雑音が混在する場合は、これらの2つの処理の両方を同時に行うことができる。

【0059】

50

したがって、場合によっては、記憶回路MD 1～MD nと計算回路D 1～D nとをコンバータCAN 1～CAN nからの出力の後に配置してもよい。下流に位置する最大値検出器の動作が「形状エコー」型の定常雑音によって妨害される場合は、これらの回路によってこのような雑音を減らすことができる。これを行うには、本発明の装置を校正する段階で、形状エコーを記憶回路MD 1～MD nに格納する。その後、不連続部そのものを検出する段階で、格納されたデータを計算回路D 1～D nによって現行データから減じる。

【0060】

この種の操作を行うには、これらのコンバータのダイナミックレンジが大きく、検出条件が極めて安定している必要がある。

【0061】

同様に、またオプションの方法においても、コンバータCAN 1～CAN nまたは計算回路D 1～D nからの出力位置に、他の記憶回路MM 1～MM nおよび平均化回路M 1～M nを配置することもできる。これらの回路は、信号対不規則雑音の比が下流に位置する最大値検出器DCE 1～DCE nの適正動作に不十分な場合に、信号対不規則雑音の比を向上するために役立つ。この目的のために、データを記憶回路MM 1～MM nに格納し、平均化回路M 1～M nによって上記のようにショット間、および／または回帰経路間、および／または近接素子間を平均化する。

【0062】

最大値検出器DCE 1～DCE nは、複数のアナログ・デジタルコンバータからの生信号、または上記処理の一方または両方によってフィルタリングされた信号を受信する。

【0063】

したがって、これらの検出器は、一般的な用途においては数百マイクロ秒継続しうる取得期間中にクロック周波数64 MHzで信号を受信するので、探触子3の検出素子 T_j ($j = 1 \sim n$) あたり数万個のサンプルが得られる。

【0064】

最大値検出器DCE 1～DCE nは、複数の最大値、つまり雑音を除いた複数のピークを探し、それぞれの振幅AMPおよび位置TOFを記憶回路MC 1～MC nに格納する。この動作を図3 (a)と図3 (b)、および図4 (A)と図4 (B)に示す。

【0065】

最大値の検出そのものは、探触子3の検出素子 T_j のそれぞれについて、隣接素子間を一切関係付けずに、次のように行われる。

【0066】

最大値検出器DCE 1～DCE nによって受信される信号は、図3 (a)に示す型である。検出器DCE 1～DCE nにおいて、これらの信号は整流および低域通過型フィルタリングにかけられ、図3 (b)に示すようなエネルギー曲線が抽出される。

【0067】

次に、このエネルギー曲線に沿ったm個のサンプル（たとえば $m = 10$ ）にわたって最大値が順次検出（スライディング検出）が行われ、最大値を探すための閾値となる動的雑音レベルが求められる。

【0068】

次に、順次検出器の Δt に位置するサンプルが前のステップで求められた動的雑音レベルに値 Δamp を足した値より大きいかどうかを判定するためのテストが行われる（図3 (b)の検出曲線を参照）。このステップによって、各検出素子 T_j によって生成された信号の傾斜ひいては立ち上がり時間、たとえば、 $\Delta t = +4$ サンプルとコンバータCAN 1～CAN nの $\Delta amp = +3$ 変換レベルとに対応するエネルギー曲線の変化量を検出することが可能になる。

【0069】

上のテスト結果が正であれば（図3 (b)を参照）、動的雑音順次検出器がブロックされ、

発信波のスペクトルおよび探触子3の通過帯域で、エコーの幅にほぼ等しい幅の「時間

10

20

30

40

50

ウィンドウ」が開き、

「時間ウィンドウ」に含まれている信号の最大値が探され、その振幅AMPと位置TOFとが格納され（図4（A）、図4（B））、

「時間ウィンドウ」が閉じられ、動的雑音順次検出器のブロックが解除されるので、エコーが考慮されなくなる。

【0070】

大半の用途において音響像を特徴付けるには、探触子3の検出素子 T_j （ $j = 1 \sim n$ ）あたり約10個の最大値があれば、約1000分の1のデータ圧縮を表すために十分である。

【0071】

最大値検出器DCE1～DCE n は、たとえば、小容量のプログラム可能論理回路である。したがって、これらのコストは極めて妥当なものである。

【0072】

その後、セグメント化回路SG2～SG n がメモリMC1～MC n に格納されている複数の最大値間のコヒーレンスをピラミッド形式で探し、最大値を2つずつまとめる。

【0073】

各セグメント化回路SG2は、探触子3の2つの連続検出素子 T_j からの各デジタル信号で検出された最大値を選択し、これらの最大値を2つずつセグメントにまとめる。

【0074】

各セグメント化回路SG4は、探触子3の2つの連続検出素子 T_j に対する前のセグメント化回路によって選択された連続する2つのセグメントからのデジタル信号で検出された最大値を選択し、これらの最大値を4つずつセグメントにまとめる。

【0075】

各セグメント化回路SG8は、探触子3の4つの連続検出素子 T_j に対する前のセグメント化回路によって選択された連続する2つのセグメントからのデジタル信号で検出された最大値を選択し、これらの最大値を8つずつセグメントにまとめる。以降も同様である。

【0076】

最後に、回路SG n は、探触子3の $n/2$ 個の連続検出素子 T_j に対する前のセグメント化回路で選択された連続する2つのセグメントからのデジタル信号で検出された最大値を選択してまとめる。

【0077】

この構造は、各セグメント化回路SG2～SG n が対応するアルゴリズムを実行するために、探触子3内の素子 T_j の数に関係なく、ショット1つ分の時間幅を利用できるという利点がある。ランク r の各セグメント化回路SG r が1つのショットに対応する信号を処理している間に、次のランク $r+1$ のセグメント化回路SG $r+1$ は前のショットに対応する信号を処理する。以降も同様である。

【0078】

このように、本発明の装置は、探触子3の素子 T_j の数に関係なく、リアルタイムで動作し、「パイプライン」型の同期遅延は探触子3内の素子 T_j の数のべき乗に等しい。

【0079】

前のセグメント化操作中に最大値がまとめられなかった場合は、各セグメント化回路SG4～SG n に対して、最大値の1つが上記のように2つのセグメントをまとめるための基準を満たしている場合は、この最大値を新しいセグメント内で1つのセグメントにまとめる。欠けている傾斜は、この最大値と実セグメントの直前の最大値とで作成された仮想セグメントにわたって計算してもよい。

【0080】

これらの最大値の2つが第1の基準を、場合によっては第2の基準も、満たす場合は、これら2つの最大値を単一セグメントにまとめることによって、上記のように連続する複

10

20

30

40

50

数の検出素子 T_j によって生成された信号を 2 つずつまとめる。

【0081】

上のどの場合にも該当しない最大値は、そのまま以降のセグメント化回路に転送され、そこで処理可能な場合は処理される。集合内のどのセグメント化回路によっても処理されなかった最大値は、グループ化回路 R_G によって処理される。

【0082】

セグメント化回路 $SG_2 \sim SG_n$ は、デジタル信号プロセッサ (DSP) である。これらの回路は、上記のセグメント化アルゴリズムをリアルタイムで実行するために適している。これらの回路は、2 つのセグメント化回路 SG_r および SG_{2r} 間でのデータ転送を可能にする通信線路も有する。

10

【0083】

グループ化回路 R_G は最後のセグメント化回路 SG_n からデータを回収し、用途に応じた基準に基づきこのデータを処理する。つまり、不連続部を特徴付けるために直接処理するか、または従来の A-SCAN を再構築する。この A-SCAN は次に「時間ウィンドウ」によって従来の方法で使用される。

【0084】

グループ化回路 R_G も同様に DSP によって構成され、対応する処理を行うためにショット 1 つ分の時間幅を利用できる。

【0085】

複雑な用途においては、このレベルの処理において複数の DSP を並列化することが可能である。この場合、図 4 の例のように、各 DSP は以下の特定のタスクをそれぞれ実行する。

20

体積応答の処理

正の面角度応答の処理

負の面角度応答の処理

バックグラウンドエコーを含むゼロ度近辺の応答の処理

ここで、セグメント化回路 $SG_2 \sim SG_n$ によるコヒーレンスの探索に戻る (図 4 (B) ~ 図 4 (F) を参照)。

【0086】

図 4 (B) および図 4 (C) に示すように、セグメント化回路 SG_2 は、第 1 のコヒーレンステスト、場合によってはさらに第 2 のコヒーレンステスト、を行うことによって、コヒーレンスを探す。

30

【0087】

次の場合、第 1 のコヒーレンステストによって、連続する 2 つの受信素子 j および $j+1$ で検出された 2 つの最大値が 1 つのセグメント l にまとめられる。

$$|TOF(j)_{i=1 \text{ to } k} - TOF(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'}| \leq T$$

但し、

$TOF(j)_{i=1 \text{ to } k}$ は、素子 j によって生成された応答信号内の最大値 i の時間位置であり、ここで $i = 1 \sim k$ であり、

$TOF(j+1)_{i'=1 \text{ to } k'}$ は、素子 $j+1$ によって生成された応答信号内の最大値 i' の時間位置であり、ここで $i' = 1 \sim k'$ であり、かつ

40

$T = t + \varepsilon$ であり、ここで $t = (s \sin \alpha / v)_p$ であり、 α は所望の最大偏向角であり、 p は受信器 j および $j+1$ の間の距離であり、 v は媒体内の波の速度であり、 ε は計算誤差と (部品 2 に対して案内される探触子 3 と、不連続部の向きとに関連する) 機械的分散とに対する処理操作の許容値である。

【0088】

たとえば、最大偏向角 α が 90° に等しく、探触子のピッチが 0.5 mm に等しく、かつ媒体内の超音波の伝搬速度が 3.230 m/s に等しい場合は、 t は 155 ns に等しい。したがって、 ε が $10\% t$ に等しい場合は、 T は 170 ns に等しい。

【0089】

50

次の場合にのみ、第2のコヒーレンステストでセグメント1が保持される。

$$|AMP(j)_1 - AMP(j+1)_1| \leq \Delta A$$

但し、

$AMP(j)_1$ および $AMP(j+1)_1$ は、セグメント1内の連続する2つの受信素子jおよびj+1で検出された各最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

ΔA は、単一セグメントにまとめられる最大値のそれぞれの振幅に対して許容される差として予め決められた値である。

【0090】

図4(D)および図4(E)に示すように、セグメント化回路SG4~SGnは、第3のコヒーレンステスト、場合によってはさらに第4のコヒーレンステスト、を行うことによ

10

【0091】

次の場合は、第3のコヒーレンステストによって、連続する受信素子j、j+1、j+2、およびj+3を2つずつまとめた2つのセグメント1および1+1を単一セグメントにまとめる。

$$|(TOF(j+1)_1 - (TOP(j+2))_{1+1})| \leq T、および$$

$$|slope_S(1) - slope_S(1+1)| \leq \Delta P$$

但し、

$(TOF(j+1))_1$ および $(TOP(j+2))_{1+1}$ は、連続する2つのセグメント1および1+1に属する連続する2つの最大値のそれぞれの時間位置であり、かつ

20

$slope_S(1)$ および $slope_S(1+1)$ は、セグメント1および1+1のそれぞれの傾斜であり、 ΔP は、連続する2つのセグメントのそれぞれの傾斜に対して許容される差として予め決められた値である。

【0092】

次の場合にのみ、第4のコヒーレンステストによって2つのセグメント1および1+1がまとめられる。

$$|AMP(j+1)_1 - AMP(j+2)_{1+1}| \leq \Delta A$$

但し、

$AMP(j+1)_1$ および $AMP(j+2)_{1+1}$ は、連続する2つのセグメント1および1+1に属する連続する2つの最大値のそれぞれの振幅であり、かつ

30

ΔA は、まとめられる最大値のそれぞれの振幅に対して許容される差として予め決められた値である。

【0093】

図4(F)に示すように、グループ化回路RGは、媒体内の不連続部を特徴付けるために、少なくとも1つの第5の基準に従って複数のセグメントまたは1つのセグメント集合を選択する。この第5の基準は、1つのセグメントにまとめられる最大値の最少数と、1つのセグメント内または1つのセグメント集合内の最大値の合計の振幅と、許容損失値と、角度応答値と、体積応答値とを含むパラメータのリストから選択されるパラメータに関する。したがって、図4(F)において、バックグラウンドエコーEFに対応するセグメントの再構築には許容損失値を使用し、体積欠陥DVに対応するセグメントの再構築には

40

体積応答値を使用し、面欠陥DP- α およびDP+ β に対応するセグメントの再構築には角度応答値を使用する。図4(D)および図4(E)においては、最大値の最少数を考慮することによって、2つの最大値によって構成された1つのセグメントの削除が可能になることがわかるはずである。

【0094】

したがって、本発明の装置では、欠陥の向きおよび欠陥の形状に関係なく、また面欠陥であるか体積欠陥であるかにかかわらず、欠陥の検出が可能であり、また出力選択基準を満たさない検出結果が拒否されるので、信号対雑音比が極めてよくなる。

【0095】

したがって、本発明の装置では、欠陥が面欠陥である場合は実角度の検出によって、ま

50

た欠陥が体積欠陥である場合は曲線状の応答によって、欠陥が極めてよく特徴付けられることがわかる。

【0096】

さらに、本発明の方法では、いくつかの先行技術の方法で実現された単一素子検出器の位置決めおよび移動に必要な機構のように高価でかさばる機構を使用せずに済む。さらに本発明の方法では、発信信号を電子的に柔軟に制御できることから、このような機械の調整がより簡単になる。したがって、本発明の方法は、探触子3に対する検査対象部品2の機械的案内に関する許容度が極めて大きい。

【0097】

また、本発明の方法は、超音波の伝搬速度のバラツキに対して、それが全般的であろうと局部的であろうと、極めて許容度が大きい。

10

【0098】

本発明の装置では、欠陥の検出を探触子3の幅に等しい検査ピッチで全方向同時に行えるので、検査を瞬時に行うことができる。

【0099】

検出方法とその処理アルゴリズムとは良好に適合すると同時に、極めて単純である。

【0100】

本発明の装置の金額に見合う価値は卓越している。

【0101】

本方法は音響像を処理する方法であり、超音波ビームを再構築する方法ではないので、探触子の定義基準が極めて異なる。特に、特定の用途においては、検出素子 T_j の数を大幅に減らすことができるので、さらなるコストの削減が可能である。

20

【0102】

本発明の方法は、線形であろうと円形であろうと、あらゆる種類の探触子に適用でき、特に、マトリックス構成の探触子に適用可能であり、マトリックス探触子においては必須基準となる素子数の削減が可能である。

【0103】

本発明は、超音波を使用したあらゆる種類の検査、特に非破壊検査の分野における携帯用器具および自動システム、および医療分野における位置決め器具に適用可能であるが、これだけに限定されるものではない。

30

【0104】

本発明は、渦電流、超低周波音、電磁波などの付随する物理現象に関係なく、複数の独立素子から成るセンサを使用するあらゆるシステムにも適用可能である。

【0105】

本発明の方法は、線形かマトリックス形態かに関係なく、あらゆる多素子センサに全般的に適用できる。

【産業上の利用可能性】

【0106】

本発明の装置および方法は、自動システムおよび／または携帯用器具による、金属管などの製造部品の非破壊検査、鉄道のレールの非破壊検査などに特に適用可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】(a)は本発明による装置を用いて媒体に音を印加している状態を示す図である。(b)は本発明による装置を用いて媒体に音を印加している状態を示す図である。

【図2】本発明の装置の一例のアーキテクチャを要約した図面である。

【図3】(a)は本発明の装置の検出素子から取られたデジタル化信号の平滑化前の一例を示す図面である。(b)は本発明の装置の検出素子から取られたデジタル化信号の平滑化後の一例を示す図面である。

【図4】図2に示す装置によって実現される方法のステップ(A)～(F)において行われる、図3(b)に示す信号などの信号処理を示す図面である。

50

【符号の説明】

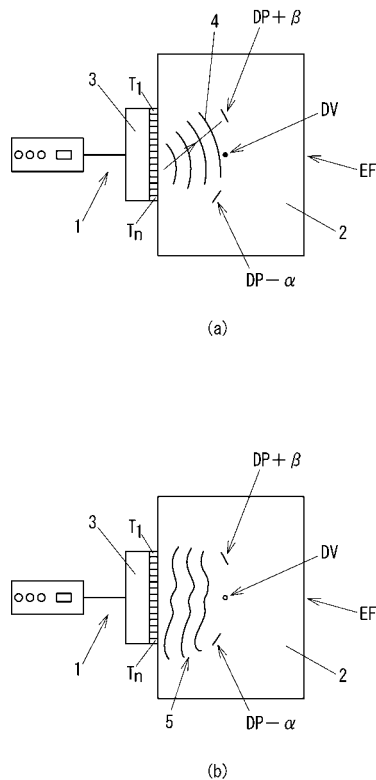
【0108】

- 1 装置
 2 部品
 3 探触子
 4 発信波
 5 応答波
 CAN1～CANn アナログ・デジタルコンバータ
 D1～Dn 計算回路
 DCE1～DCEn 最大値検出器
 DP- α 負の面角度反射
 DP+ β 正の面角度反射
 DV 体積反射
 E1～En 発生器
 EF バックグラウンドエコー
 M1～Mn 平均化回路
 MC1～MCn 記憶回路
 MD1～MDn 記憶回路
 MM1～MMn 記憶回路
 RG グループ化回路
 SG2～SGn セグメント化回路
 T_j 変換素子

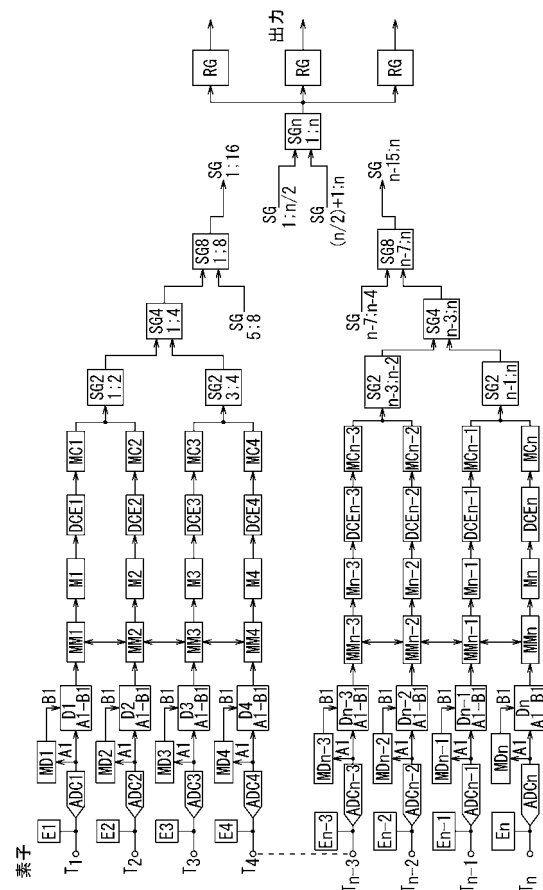
10

20

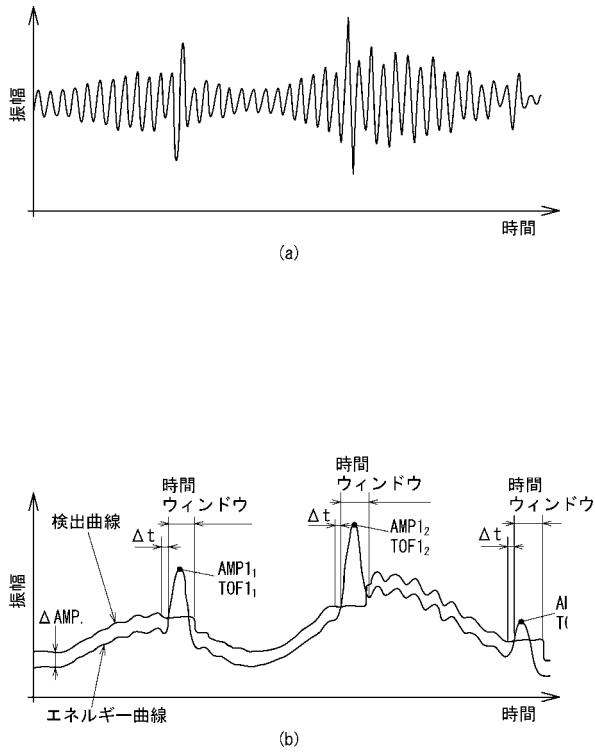
【図1】



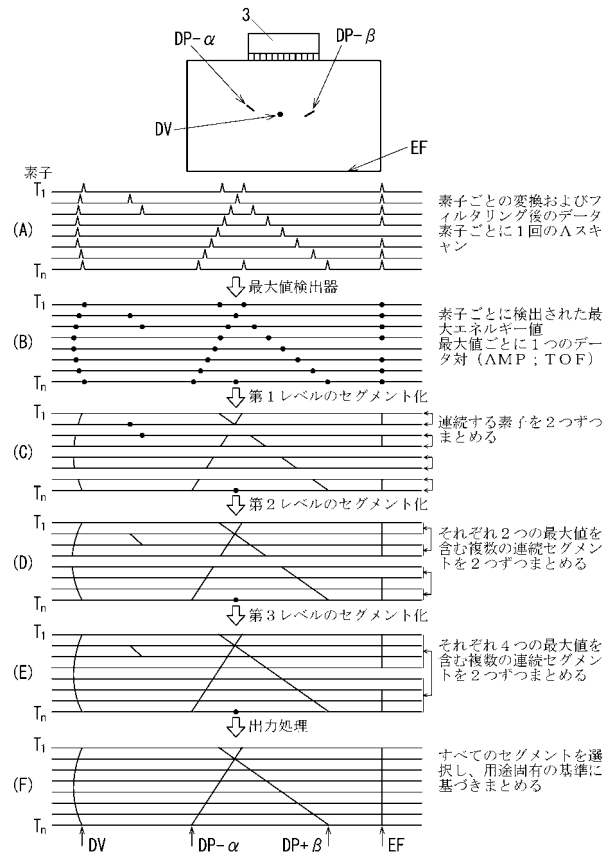
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-304365 (JP, A)
米国特許第04441369 (US, A)
米国特許第05319554 (US, A)
国際公開第02/03099 (WO, A2)
特開平09-264881 (JP, A)
特開平10-062396 (JP, A)
特開平01-311261 (JP, A)
特開平08-338813 (JP, A)
特開平07-198726 (JP, A)
特開昭62-102152 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N29/00-29/52
G01B17/00-17/08
A61B 8/00- 8/14
JSTPlus(JDreamII)