

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3710126号

(P3710126)

(45) 発行日 平成17年10月26日(2005.10.26)

(24) 登録日 平成17年8月19日(2005.8.19)

(51) Int.Cl.⁷

F I

GO 1 N 29/00

GO 1 N 29/00

// GO 1 H 17/00

GO 1 H 17/00

Z

請求項の数 2 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2001-241036 (P2001-241036)	(73) 特許権者	000005902
(22) 出願日	平成13年8月8日(2001.8.8)		三井造船株式会社
(65) 公開番号	特開2003-57210 (P2003-57210A)		東京都中央区築地5丁目6番4号
(43) 公開日	平成15年2月26日(2003.2.26)	(74) 代理人	100091306
審査請求日	平成14年8月8日(2002.8.8)		弁理士 村上 友一
		(74) 代理人	100086922
			弁理士 大久保 操
		(72) 発明者	竹田 博
			岡山県玉野市玉3丁目1番1号 三井造船株式会社 玉野事業所内
		審査官	鈴木 俊光
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 測定波形診断方法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

機械から生じる音あるいは振動の波形を測定・解析して異常を診断する方法において、
 信号の大きさの平均エネルギーを表す0次の線形予測係数と、周波数特性を表す一次以降の線形予測係数とを求めるとともに、前記一次以降の線形予測係数の値に対して前記0次の線形予測係数又はその平方根の値を乗算し、その得られた線形予測係数の乗算値と、これらの値の時間変化に着目して波形異常を診断することを特徴とする測定波形の診断方法。

【請求項2】

機械から生じる音あるいは振動の波形を測定・解析して異常を診断する装置において、
 音あるいは振動を測定する測定手段と、
 測定手段からの音あるいは振動より線形予測分析を行なうとともに、0次線形予測係数と、1次以降の線形予測係数とを求める周波数解析手段と、
 0次以降の信号を受けて、前記一次以降の線形予測係数の値に対して0次の線形予測係数又はその平方根の値を乗算する乗算手段と、
 乗算値を計測時間に沿って表示する表示手段とからなることを特徴とする測定波形診断装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

20

本発明は、測定波形診断方法およびその装置に係り、特に、短時間に衝撃音を発生する機械の故障等に起因する音や振動によって得られた計測波形の異常診断を行う測定波形診断方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、機械の故障を診断する方法の一つに、機械から生ずる音や振動等の波形を解析して診断を行うものがある。通常、これらの診断の方法は、信号の計測・信号の特徴解析・良否診断という手順で行なわれている。従来、信号の特徴を解析する方法として、信号のパワーの大小を解析する方法、FFT（高速フーリエ変換）等を用いて信号のスペクトルを解析する方法、ソナグラム（声紋）を解析する方法、線形予測係数（反射係数）を解析する方法等があった。

10

【0003】

信号のパワーを特徴量とする方法は、故障の程度が大きくならなければ故障を特定できなかったり、特定できない故障がある等の理由で適用に限界されたものとなっている。信号のスペクトルを特徴とする方法は、信号のパワーを特徴とする方法と比較すると故障の特定性能は向上するが、元来スペクトルは、長時間の平均的な周波数特性を示すもので、時間情報が含まれていないため特徴解析方法としては十分とはいえない。ソナグラムを特徴量とする方法はこの点を解決するもので、時間情報と周波数情報を同時に分析するため、信号のもつ特徴量を完全に把握することができる。したがって、音声認識や話者の特定、艦船の特定等、多くの分野で使用されている。

20

【0004】

ところで、機器の故障を自動的に判定しようとする、ソナグラムの情報量が多いため自動診断には向いていない。例えば、周波数方向が200個、時間方向が10個を判定するための指標とすると、特徴量の数は、2000個となる。そこで、この特徴量の数を合理的に減少させる方法として、線形予測係数を特徴量とする方法が考えられている。

【0005】

線形予測係数は、数式1の α_k で表されている係数である。

【数1】

$$x(n) = -\sum_{k=1}^m \alpha_k x(n-k) + e(n)$$

30

ただし、 $X(n)$ ：時刻 $n \Delta t$ における信号の値、 Δt ：サンプリング間隔、 m ：モデル次数である。

【0006】

数式1は、任意の時刻の信号はそれ以前の信号の加重和として表すことを示しており、自己回帰モデルと呼ばれている。そして、線形予測係数を基に数式2に示すように記号のパワースペクトルを算出することができる。

【数2】

$$P(f) = \frac{\Delta t P_m}{\left| 1 - \sum_{k=1}^m \alpha_k e^{i2\pi f k \Delta t} \right|^2}$$

40

ただし、 $P(f)$ ：周波数 f のスペクトル値、 P_m ：予測誤差の分散である。

【0007】

数式2に示されるようにスペクトルと線形予測係数に対応関係があるため、スペクトルに違いがみられれば線形予測係数に違いがみられるため、線形予測係数を信号の特徴量として利用できることが分かる。また、通常は少数の線形予測係数でスペクトルが計算できるため、特徴量の数が減少する。通常、信号の特徴を識別するためには線形予測係数の個数は20個程度で十分な場合が多く、ソナグラムと比較すると特徴量の数は減少し、自己診断が可能なレベルまでになり、波形を基にした自動診断において有効な方法となってい

50

る。

【0008】

線形予測係数を算出する方法にはいくつかあるが、これらの予測係数の中で、最大エントロピー法(MEM)により求めた線形予測係数は次の特徴があり、故障診断には適している。

1、モデル次数(m)を変えても係数値は変化しない。他の方法はモデル次数を変えると変わる。

2、線形予測係数を用いてスペクトルを計算する場合、時間的に短いデータに対して高精度のスペクトルが得られる。したがって、速い減少でも特徴量を取得できる。

【0009】

10

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、最大エントロピー法による線形予測係数は、信号の振幅に関する情報は0次の係数で表現し、高次の係数で信号の特徴(信号の質的特徴)を表現するものである。そこで、通常では、音質が異なる信号に対しては高次の係数で信号の特徴を把握していたが、振幅の違いはあるけれども音質が異なる場合には異常を特定することができないという欠点がある。例えば、製品検査においていつも発生している音としては同じであるが、異常の違いは発生音が大きい小さいかの違いである場合が相当する。このように、異常を特定する場合に音質は異ならず振幅だけが異なるものがあり、かかる場合には、0次の係数しか識別に利用できなかった。したがって、音質などを表している高次の次数の線形予測係数から判断しようとする場合、上記のような異常判定ができない問題があったのである。

20

【0010】

本発明は上記従来の問題点に着目し、測定波形診断方法およびその装置に係り、特に、高次の線形予測係数にも信号の振幅情報を反映させ、より多数の線形予測係数で特徴を解析し、短い時間に発生する衝撃音を識別できる測定波形診断方法およびその装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係る測定波形の診断方法は、機械から生じる音あるいは振動の波形を測定・解析して異常を診断する方法において、信号の大きさの平均エネルギーを表す0次の線形予測係数と、周波数特性を表す一次以降の線形予測係数とを求めるとともに、前記一次以降の線形予測係数の値に対して前記0次の線形予測係数又はその平方根の値を乗算し、その得られた線形予測係数の乗算値と、これらの値の時間変化に着目して波形異常を診断することを特徴とする。

30

【0012】

本発明に係る測定波形診断装置は、機械から生じる音あるいは振動の波形を測定・解析して異常を診断する装置において、音あるいは振動を測定する測定手段と、測定手段からの音あるいは振動より線形予測分析を行なうとともに、0次線形予測係数と、1次以降の線形予測係数とを求める周波数解析手段と、0次以降の信号を受けて、前記一次以降の線形予測係数の値に対して0次の線形予測係数又はその平方根の値を乗算する乗算手段と、乗算値を計測時間に沿って表示する表示手段とからなることを特徴とする。

40

【0013】

【作用】

上記方法によれば、機械の近傍にマイクロホンに配置された測定手段が、コツコツ音等の0.5～1.5秒の間に発生する衝撃音である異常音を測定する。この測定された衝撃音は、音圧の大きさに応じた電気信号に変換されて、周波数解析手段に送信され、周波数解析手段は、音あるいは振動の信号を解析し、0次および1次以降の線形予測分析を行なうとともに、各周波数の0次、1次以降の線形予測係数を求める。この求められた各線形予測係数は、乗算手段に送信され、信号の大きさのエネルギーを表す0次の線形予測係数又は平方根などの0次の線形予測係数に演算を施すことによって得られる値と、周波数特

50

性を表す一次以降の線形予測係数とのそれぞれを乗算する。または、信号の大きさの平均振幅を表す0次の線形予測係数又は平方根などの0次の線形予測係数に演算を施すことによって得られる値と、周波数特性を表す一次以降の線形予測係数のそれぞれを乗算する。この求められた乗算値は、計測時間とともに表示手段に送信され、各乗算値を計測時間に沿って表示する。この乗算値の表示は、従来に比べて衝撃音のところで、信号の大きさのエネルギーあるいは平均振幅が大きくなっているため、その衝撃音の個所で前の部分よりも大きくなっている。この乗算値の差が、表示手段の模式図に、より鮮明に異常部として表示されるため、作業者により容易に識別される。これにより、正常および異常が容易に判定される。

【0014】

10

【発明の実施の形態】

以下に、本発明に係る測定波形診断方法およびその装置の具体的実施の形態を図面に示して詳細に説明する。図1は、本発明に係る測定波形診断装置1の一例を示すブロック図であり、図2は測定する音圧の一例を示す図であり、短時間に生ずる衝撃音の音圧の波形である。以下では、被測定物体10の機械の音圧について記述するが、機械の振動でも良い。図3は測定した音圧を測定波形診断装置1で求めた表示図の一例である。

【0015】

図1において、測定波形診断装置1は、検査対象である機械等の被測定物体10の近傍に、音を収集するマイクロホン等の測定手段12が配置されている。この測定手段12は、実施形態では機械の近傍にマイクロホンが用いられて構成されており、図2に示すような測定対象物から周期的に発生される波形Psを測定している。例えば、図2は車両用椅子10aに用いたリニアスライド10bで生ずる3分間の波形一例であり、0.5～1.5秒の間で部品同士の衝突により発生する異常音である衝撃音（コツコツ音Da）が多数発生していることが確かめられている。なお、測定手段12には、振動を測定する場合には振動加速度計を用いて振動波形を抽出するようにすればよい。実施形態では、上記車両用椅子10aのように被測定物体10の機械が駆動したときに生ずる音圧を集音し、音圧の大きさに応じた電気信号に変え、図示しない増幅器、フィルタを介して、周波数解析手段14に入力している。周波数解析手段14は、音（あるいは振動）の信号を解析し、0次および1次以降の線形予測係数 α_k を求める。この解析された音あるいは振動の0次線形予測係数 α_0 は平均エネルギーを示し、1次以降の線形予測係数 α_1 、 α_2 、 α_3 、…は音質を示す。この0次の平均エネルギーの線形予測係数 α_0 と、および、音質の1次以降の線形予測係数 α_k とが乗算手段16に送信される。乗算手段16は、0次の線形予測係数 α_0 と、一次以降の線形予測係数 α_1 、 α_2 、 α_3 、…とのそれぞれを数式3に示すごとく乗算し、この乗算した各乗算値 α'_k と、計測時間 T_n を表示手段18に送信する。周波数解析手段14および乗算手段16は、コントローラ等の制御手段20により構成されている。

20

30

【数3】

$$\alpha'_k = \alpha_k \times \alpha_0$$

ただし、 $k = 1, 2, 3, \dots$ を示す。

40

【0016】

表示手段18は、各乗算値 α'_k とその時間変化を、図3に示すように模式図表示する。

または、他の実施例の第1周波数解析手段14Aは、音あるいは振動の信号を解析し、0次および1次以降の線形予測係数 α_k を求める。この解析された音あるいは振動の0次線形予測係数 α_0 は、平均エネルギーから平方根の平均振幅を求め、1次以降の線形予測係数 α_1 、 α_2 、 α_3 、…は高次の音質を求める。この平均振幅の0次線形予測係数 α_0 の平方根と、および、音質の1次以降の線形予測係数 α_k が第1乗算手段16Aに送られる。第1乗算手段16Aは、0次線形予測係数 α_0 の平方振幅と、一次以降の線形予測係数 α_1 、 α_2 、 α_3 、…とのそれぞれを数式4に示すごとく乗算し、この乗算した各乗算

50

値 α_k'' と、その時間変化を表示手段 18 に送信する。

【数 4】

$$\alpha_k'' = \alpha_k \times \sqrt{\alpha_0}$$

ただし、 $k = 1, 2, 3, \dots$ を示す。

【0017】

表示手段 18 は、各乗算値 α_k'' とその時間変化を、図 3 と同様に、模式図表示する。

表示手段 18 は、各乗算値 α_k' 、あるいは α_k'' と、その時間変化を、図 3 に示すように模式図に示し、ある単位時間に収集した波形データの中に衝撃的に発生する衝撃音、例えば、コツ、コツ音等が測定されるために、突発的に衝撃音が入った場合でも、従来の表示手段よりも、より鮮明に差異が表示される表示手段 18 を見て判断することにより、機械の良否の診断が個人差による判断のばらつきも無くなり、検査ミスも無くなる。また、後述するように、閾値を超える各乗算値 α_k' 、あるいは α_k'' を測定することにより、正常・異常品の診断を行うこともできる。

10

【0018】

上記構成により、次に作動について説明する。まず、機械の近傍にマイクロホンに配置された測定手段 12 は、図 2 は示すような、車用椅子に用いたリニアスライドで生ずるコツコツ音等の 0.5～1.5 秒の間に発生する衝撃音である異常音を測定する。この測定された異常音は、音圧の大きさに応じた電気信号に変換されて、周波数解析手段 14 に入力されている。周波数解析手段 14 は、音あるいは振動の信号を解析し、0 次および 1 次以降の線形予測係数 α_k を求める。この求められた線形予測係数 α_k は、乗算手段 16 に送信され、数式 3、あるいは数式 4 により乗算されて、乗算値 α_k' 、あるいは α_k'' が求められる。この求められた乗算値 α_k' 、あるいは α_k'' は、計測時間 T_n とともに表示手段 18 に送信され、各乗算値 α_k' 、あるいは α_k'' と、その時間変化を、後述する図 4 に示す MEM で求めた模式図と比較して、図 3 に示すように、異常部 U_a が模式図により鮮明に表示される。図 3 は、図 4 に比べて、乗算値の表示が、従来に比べて衝撃音のところで、信号の大きさのエネルギーあるいは平均振幅が大きくなっているため、その衝撃音の個所の異常部 U_a が前の部分よりも大きくなっている。この乗算値の差が、表示手段 18 の模式図に、より鮮明に異常部 U_a として表示されるため、作業者により容易に識別される。これにより、正常および異常が容易に判定される。

20

30

【0019】

次に、比較例として、MEM により線形予測係数で求めた模式図を図 4 に示す。

上記の故障診断方法では、信号の大きさのエネルギーを表す 0 次の線形予測係数と、一次以降の線形予測係数とのそれぞれを乗算し、その得られた乗算値の線形予測係数の特徴量と、計測時間との相関を模式図にして故障を診断するために、高次の線形予測係数にも信号の振幅情報を反映させ、より多数の線形予測係数で特徴を解析し、短い時間に発生する衝撃音をより正確に、精度良く識別できる。

【0020】

上記のように計測信号から線形予測係数 α_k' （または α_k'' 以下同じ）を求めるが、図 3 のようにモニタ表示して視覚判断するようにしてもよいが、このようにして求めた線形予測係数 α_k' をニューラルネットワークなどに入力し、自動判別するようにできる。特徴量が顕著に表されるように式 3、4 の如くデータ処理しているため、自動判定が的確に行われる。

40

【0021】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、測定波形診断方法およびその装置において、信号の大きさの平均エネルギーを表す 0 次の線形予測係数と、周波数特性を表す一次以降の線形予測係数とを求めるとともに、前記一次以降の線形予測係数の値に対して前記 0 次の線形予測係数又はその平方根の値を乗算し、その得られた線形予測係数の乗算値と、これらの値の時間変化に着目して波形異常を診断する。これにより、機械音等の波形の時間的特徴

50

、周波数的特徴、その大小を効果的に解析できるので、機械の故障等により生ずる波形の特徴を模式図に、より鮮明に、精度良く表すことができ、この模式図が作業者により識別されることにより、正常および異常が容易に判定される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る測定波形診断装置の一例を示すブロック図である。

【図 2】 本発明に係る測定波形診断装置により、測定する音圧の一例を示す図である。

【図 3】 本発明に係る測定波形診断装置により求めた音圧を模式図にした例を示す図である。

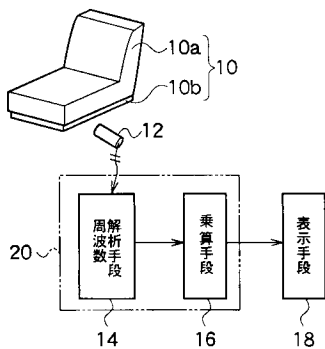
【図 4】 従来のMEMにより求めた音圧を模式図にした例を示す図である。

【符号の説明】

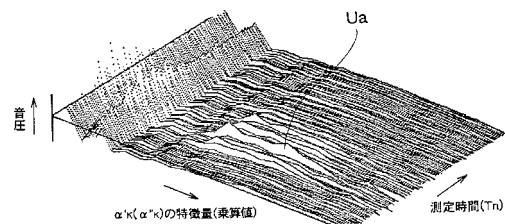
1 ……測定波形診断装置、10 ……被測定物体、12 ……測定手段、
14 ……周波数解析手段、16 ……乗算手段、18 ……表示手段、
20 ……制御手段。

10

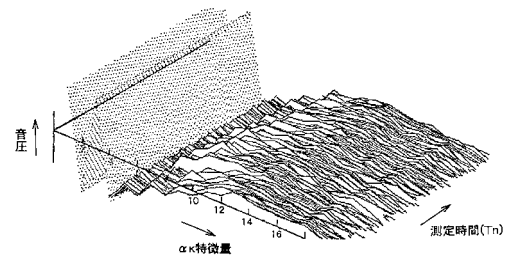
【図 1】



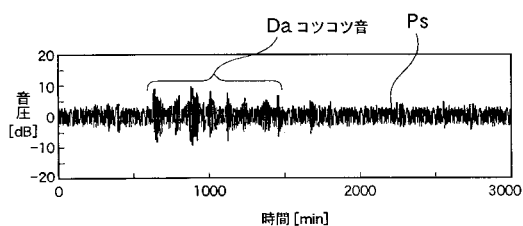
【図 3】



【図 4】



【図 2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭60-86429 (JP, A)
特開平9-210765 (JP, A)
特開2000-9048 (JP, A)
田辺恵一, 「音響法による設備診断 線形予測法を応用した異常検出」, 新菱冷熱中央研究所報, 日本, 1997年, Vol. 4, p. 1-9
玉乃井愛仁, 「音響信号による回転機械の設備診断技術」, アロマティックス, 日本, 1998年, 第50巻第1・2号, p. 7-15
CONDE, T. et al, "Automatic Neural Detection of Anomalies in Electrocardiogram Signals", INTELLIGENT ENGINEERING SYSTEMS THROUGH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, 1994年, Vol. 4, p. 701-706

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01N 29/00 - 29/28
G01H 1/00 - 17/00
A61B 5/00 - 5/0496