

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 S 7/527	G 0 1 S 7/66	5 J 0 8 3
G 0 1 S 7/526	G 0 1 S 7/52	J
G 0 1 S 7/536		

審査請求 有 請求項の数15 O L (全18頁)

(21)出願番号 特願2003-110279(P2003-110279)
 (22)出願日 平成15年4月15日(2003.4.15)

(71)出願人 390014306
 防衛庁技術研究本部長
 東京都新宿区市谷本村町5番1号
 (71)出願人 390011095
 ジェイ・アール・シー特機株式会社
 神奈川県横浜市港北区新吉田東三丁目2番1号
 (74)代理人 100075258
 弁理士 吉田 研二
 (74)代理人 100096976
 弁理士 石田 純
 (72)発明者 武捨 貴昭
 神奈川県横浜市金沢区並木3-11-7-601

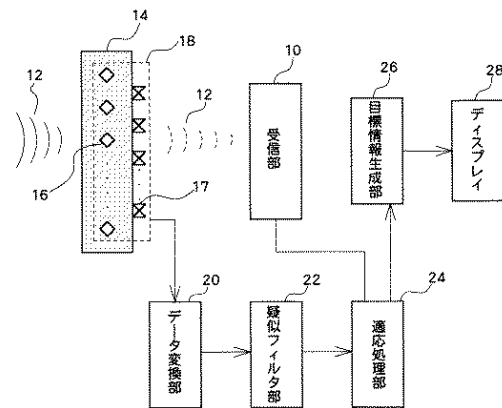
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 雑音低減回路および該雑音低減回路を有する水中探知装置

(57) 【要約】

【課題】 保護部材の近傍に発生する雑音も低減できる雑音低減回路、および、この雑音低減回路を有する水中探知装置を提供する。

【解決手段】 目標からの音波を受波する受波素子はドーム14により保護されている。ドーム14には振動センサ16や音響センサ17が取り付けられ、ドーム14自身あるいはドーム14近傍に発生する雑音を検出する。振動センサ16や音響センサ17は検出結果をデータ変換部20を介して疑似フィルタ部22へ出力する。疑似フィルタ部22はこの検出結果に基づいて参照信号を生成する。適応処理部24はこの参照信号と受信部10が出力する受信信号に基づく主信号との比較から雑音成分を推定して雑音成分を除去して目標信号成分を抽出する。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

目標からの音波を受波する受波素子を保護する保護部材からの雑音を検出する雑音センサと、

前記雑音センサが出力する雑音信号に基づいて、前記受波素子が出力する受波信号に含まれる雑音信号成分を推定し、推定した雑音信号成分を該受波信号から除去して目標信号成分を抽出する目標信号成分抽出手段と、

を有する、雑音低減回路。

【請求項 2】

請求項 1 記載の雑音低減回路であって、

前記目標信号成分抽出手段は、擬似フィルタ部および適応処理部を有し、

前記擬似フィルタ部は、前記雑音信号に対応した参照信号を生成し、

前記適応処理部は、前記受波信号に対応した主信号および前記参照信号に基づいて、適応信号処理により雑音信号成分を推定する、

雑音低減回路。

【請求項 3】

請求項 2 記載の雑音低減回路であって、

前記受波素子および前記雑音センサはそれぞれ任意の複数個であり、

前記擬似フィルタ部は、前記各受波素子および前記各雑音センサの対毎に設けられた複数の擬似フィルタを有し、

前記各擬似フィルタは、対応する雑音センサの雑音信号を入力とし、対になる受波素子への雑音伝搬特性に対応した参照信号を出力する擬似フィルタであって、前記雑音伝搬特性は該雑音センサが検出する雑音の該受波素子への伝搬特性である、

雑音低減回路。

【請求項 4】

請求項 3 記載の雑音低減回路であって、

前記適応処理部は、前記受波素子毎に設けられた複数の適応処理ブロックを有し、

前記各適応処理ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた主信号と、該受波素子と対になる前記雑音センサに対応する前記複数の擬似フィルタが出力する複数の参照信号とに基づいて適応信号処理する、

雑音低減回路。

【請求項 5】

請求項 3 記載の雑音低減回路であって、

前記適応処理部は、前記複数の受波素子の受波信号の整相加算結果に基づいた主信号と、

前記複数の擬似フィルタが出力する複数の参照信号とに基づいて適応信号処理する、雑音低減回路。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 記載の雑音低減回路であって、

前記適応信号処理は、前記主信号と、前記複数の参照信号を重み付け加算した適応フィルタ出力との差分が最小になるように前記重み付けを設定する信号処理である、雑音低減回路。

【請求項 7】

請求項 6 記載の雑音低減回路であって、

前記重み付け加算において、重み付けの値が所定値より大きい対に対応する前記主信号と前記参照信号のみを重み付け加算の対象とする、雑音低減回路。

【請求項 8】

請求項 1 記載の雑音低減回路であって、

前記目標信号成分抽出手段は、擬似フィルタ部、信号調整部および適応処理部を有し、

前記擬似フィルタ部は、前記雑音信号に対応した参照信号を生成し、

前記信号調整部は、前記受波信号に対応した主信号、および、前記参照信号をそれぞれ平

10

20

30

40

50

滑化して、極端に大きい振幅および極端に小さい振幅を除去した平滑主信号および平滑参照信号を生成し、

前記適応処理部は、前記平滑主信号および前記平滑参照信号に基づいて、適応信号処理により雑音信号成分を推定する、

雑音低減回路。

【請求項 9】

請求項 8 記載の雑音低減回路であって、

前記受波素子および前記雑音センサはそれぞれ任意の複数個であり、

前記擬似フィルタ部は、前記各受波素子および前記各雑音センサの対毎に設けられた複数の擬似フィルタを有し、

10

前記各擬似フィルタは、対応する雑音センサの雑音信号を入力とし、対になる受波素子への雑音伝搬特性に対応した参照信号を出力する擬似フィルタであって、前記雑音伝搬特性は該雑音センサが検出する雑音の該受波素子への伝搬特性であり、

前記適応処理部は、前記受波素子毎に設けられた複数の適応処理ブロック、および、振幅計算器を有し、

前記各適応処理ブロックは、計算出力ブロックおよび振幅制御ブロックを有し、

前記各振幅制御ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた前記平滑主信号と、該受波素子と対になる雑音センサに対応する前記複数の平滑参照信号を重み付け加算した出力との差分が、最小になるように該重み付けを設定して、該重み付けにおける重み付け係数を出力し、

20

前記振幅計算器は、前記各振幅制御ブロックが出力する重み付け係数に基づいて前記各計算出力ブロックに対する振幅制御信号を算出し、

前記各計算出力ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた前記平滑主信号と、該受波素子と対になる雑音センサに対応する前記複数の平滑参照信号を重み付け加算した出力との差分に、前記振幅計算器が出力する振幅制御信号を乗じて振幅制御差分を算出し、この振幅制御差分が最小になるように該重み付けを設定する、

雑音低減回路。

【請求項 10】

請求項 9 記載の雑音低減回路であって、

前記各振幅制御ブロックおよび前記各計算出力ブロックは、平滑参照信号を重み付け加算する際、前記各受波素子および前記各雑音センサの対の中で重み付けの値が所定値より大きい対に対応する平滑参照信号のみを重み付け加算の対象とする、

30

雑音低減回路。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 いずれか 1 項記載の雑音低減回路であって、

前記雑音信号から不要な周波数成分を除去する雑音帯域フィルタをさらに有し、

前記雑音帯域フィルタは、前記受波信号から不要な周波数成分を除去する受波帯域フィルタと同じ周波数特性である、

雑音低減回路。

【請求項 12】

40

請求項 1 から 11 いずれか 1 項記載の雑音低減回路であって、

前記雑音センサは、前記保護部材の振動を検出する振動センサを含む、雑音低減回路。

【請求項 13】

請求項 12 記載の雑音低減回路であって、

前記振動センサは、前記保護部材の外側に配置される外側振動センサと、前記保護部材の内側に配置される内側振動センサとの対からなり、前記外側振動センサと前記内側振動センサとの差分信号を出力とすることで、前記保護部材の表面に発生する縦波成分を相殺して曲げ波成分を検出する、雑音低減回路。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 いずれか 1 項記載の雑音低減回路であって、

50

前記雑音センサは、前記保護部材の近傍に発生する雑音を検出する音響センサを含む、雑音低減回路。

【請求項 15】

請求項 1 から 14 いずれか 1 項記載の雑音低減回路を有する水中探知装置であって、目標からの音波を受波する受波素子と、前記受波素子を保護する保護部材と、前記雑音低減回路が抽出する前記目標信号成分に基づいて目標情報を生成して出力する目標情報出力手段と、を有する、水中探知装置。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、雑音低減回路に関し、特に雑音成分を推定して雑音成分を除去する雑音低減回路に関する。さらに本発明は、このような雑音低減回路を有する水中探知装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

海中あるいは海水面に存在する他船舶等の位置情報等を探知する水中探知装置が知られている。水中探知装置は船舶等に搭載され、水中に設置された受波素子が、目標である他船舶等からの反射音や放射音といった音波を受波することで、目標の位置情報等を取得している。受波素子が受波する音波には目標からの音波以外に雑音も多く含まれている。受波素子が受波する雑音として、目標とは異なる船舶からの反射音や放射音、生物が発する生物音、自船が放射するプロペラ雑音等が存在する。目標からの微弱な信号を抽出するためには、これら雑音を低減する必要がある。従来、受波素子の出力に対してシェーディング係数と呼ばれる固定の数値を乗じ、これらを加算することによって雑音を低減する手法や、受波素子の出力に対して相関処理、周波数分析、適応処理等を施し、目標からの信号を抽出することで雑音を低減する手法により、雑音の低減が図られていた。

20

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

水中探知装置の受波素子は水中に設置されることが一般的であり、このため受波素子を保護する目的で、これら受波素子の近傍に、受波素子を覆い隠すようにFRP製、ゴム製等のドームが設けられている。雑音はこのドームからも発生する。つまり、受波素子の近傍に設けられたドームが、自船の進行により海水と接触することで振動し、これに伴って発生する音波が受波素子に伝搬して雑音となる場合である。しかしながら、上述した従来の雑音低減手法では、ドーム近傍で発生する雑音、特に目標が存在する方向と同方向からの雑音と目標から伝搬する音波との区別が困難であり、このような雑音の低減に対して有効な手法ではなかった。

30

【0004】

そこで本発明は、保護部材の近傍に発生する雑音も低減できる雑音低減回路、および、この雑音低減回路を有する水中探知装置を提供することを目的とする。

【0005】

40

【課題を解決するための手段】

(1) 上記目的を達成するために、本発明に係る雑音低減回路は、目標からの音波を受波する受波素子を保護する保護部材からの雑音を検出する雑音センサと、前記雑音センサが出力する雑音信号に基づいて、前記受波素子が出力する受波信号に含まれる雑音信号成分を推定し、推定した雑音信号成分を該受波信号から除去して目標信号成分を抽出する目標信号成分抽出手段と、を有するものとする。

【0006】

上記構成によれば、保護部材、例えばFRP製、ゴム製等のドームの近傍で発生する、あるいは保護部材自身が発生する雑音を雑音センサにより検出し、検出結果に基づいて雑音信号成分を推定しているため、雑音の発生方向に関係なく雑音信号成分を推定して除去で

50

きる。よって、受波素子近傍すなわち保護部材の近傍で発生する雑音、例えば目標と同じ方向からの雑音に対しても雑音の低減が可能である。

【 0 0 0 7 】

望ましくは、前記目標信号成分抽出手段は、擬似フィルタ部および適応処理部を有し、前記擬似フィルタ部は、前記雑音信号に対応した参照信号を生成し、前記適応処理部は、前記受波信号に対応した主信号および前記参照信号に基づいて、適応信号処理により雑音信号成分を推定するものとする。

【 0 0 0 8 】

望ましくは、前記受波素子および前記雑音センサはそれぞれ任意の複数個であり、前記擬似フィルタ部は、前記各受波素子および前記各雑音センサの対毎に設けられた複数の擬似フィルタを有し、前記各擬似フィルタは、対応する雑音センサの雑音信号を入力とし、対になる受波素子への雑音伝搬特性に対応した参照信号を出力する擬似フィルタであって、前記雑音伝搬特性は該雑音センサが検出する雑音の該受波素子への伝搬特性であるものとする。

10

【 0 0 0 9 】

上記構成によれば、擬似フィルタが受波素子と雑音センサの対毎に設けられているため、対を成している雑音センサから受波素子への雑音伝搬特性のみを考慮すればよい。よって、例えば擬似フィルタの設計を各々独立して行うことが可能であり、各擬似フィルタの設計が容易になる。そして、各擬似フィルタにおける演算も各々独立して行うことが可能である。また、雑音センサとして振動センサが含まれる場合、振動センサから受波素子への雑音伝搬特性には、振動から音波への変換特性も含まれる。

20

【 0 0 1 0 】

望ましくは、前記適応処理部は、前記受波素子毎に設けられた複数の適応処理ブロックを有し、前記各適応処理ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた主信号と、該受波素子と対になる前記雑音センサに対応する前記複数の擬似フィルタが出力する複数の参照信号とに基づいて適応信号処理するものとする。

【 0 0 1 1 】

上記構成によれば、適応処理ブロックが受波素子毎に設けられているため、対応する受波素子の出力のみを考慮すればよい。よって、例えば適応ブロックの設計を各々独立して行うことが可能であり、各適応ブロックの設計が容易になる。また、各適応ブロックにおける演算も各々独立して行うことが可能である。

30

【 0 0 1 2 】

望ましくは、前記適応処理部は、前記複数の受波素子の受波信号の整相加算結果に基づいた主信号と、前記複数の擬似フィルタが出力する複数の参照信号とに基づいて適応信号処理するものとする。

【 0 0 1 3 】

上記構成によれば、主信号が一つにまとめられているため、適応処理部における演算量の削減が見込まれる。

【 0 0 1 4 】

望ましくは、前記適応信号処理は、前記主信号と、前記複数の参照信号を重み付け加算した適応フィルタ出力との差分が最小になるように前記重み付けを設定する信号処理であるものとする。

40

【 0 0 1 5 】

望ましくは、前記重み付け加算において、重み付けの値が所定値より大きい対に対応する前記主信号と前記参照信号のみを重み付け加算の対象とするものとする。

【 0 0 1 6 】

望ましくは、前記目標信号成分抽出手段は、擬似フィルタ部、信号調整部および適応処理部を有し、前記擬似フィルタ部は、前記雑音信号に対応した参照信号を生成し、前記信号調整部は、前記受波信号に対応した主信号、および、前記参照信号をそれぞれ平滑化して、極端に大きい振幅および極端に小さい振幅を除去した平滑主信号および平滑参照信号を

50

生成し、前記適応処理部は、前記平滑主信号および前記平滑参照信号に基づいて、適応信号処理により雑音信号成分を推定するものとする。

【 0 0 1 7 】

望ましくは、前記受波素子および前記雑音センサはそれぞれ任意の複数個であり、前記擬似フィルタ部は、前記各受波素子および前記各雑音センサの対毎に設けられた複数の擬似フィルタを有し、前記各擬似フィルタは、対応する雑音センサの雑音信号を入力とし、対になる受波素子への雑音伝搬特性に対応した参照信号を出力する擬似フィルタであって、前記雑音伝搬特性は該雑音センサが検出する雑音の該受波素子への伝搬特性であり、前記適応処理部は、前記受波素子毎に設けられた複数の適応処理ブロック、および、振幅計算器を有し、前記各適応処理ブロックは、計算出力ブロックおよび振幅制御ブロックを有し、前記各振幅制御ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた前記平滑主信号と、該受波素子と対になる雑音センサに対応する前記複数の平滑参照信号を重み付け加算した出力との差分が、最小になるように該重み付けを設定して、該重み付けにおける重み付け係数を出力し、前記振幅計算器は、前記各振幅制御ブロックが出力する重み付け係数に基づいて前記各計算出力ブロックに対する振幅制御信号を算出し、前記各計算出力ブロックは、対応する受波素子の受波信号に基づいた前記平滑主信号と、該受波素子と対になる前記雑音センサに対応する前記複数の平滑参照信号を重み付け加算した出力との差分に、前記振幅計算器が出力する振幅制御信号を乗じて振幅制御差分を算出し、この振幅制御差分が最小になるように該重み付けを設定するものとする。

10

【 0 0 1 8 】

望ましくは、前記各振幅制御ブロックおよび前記各計算出力ブロックは、平滑参照信号を重み付け加算する際、前記各受波素子および前記各雑音センサの対の中で重み付けの値が所定値より大きい対に対応する平滑参照信号のみを重み付け加算の対象とするものとする。

20

【 0 0 1 9 】

望ましくは、前記雑音信号から不要な周波数成分を除去する雑音帯域フィルタをさらに有し、前記雑音帯域フィルタは、前記受波信号から不要な周波数成分を除去する受波帯域フィルタと同じ周波数特性であるものとする。

【 0 0 2 0 】

望ましくは、前記雑音センサは、前記保護部材の振動を検出する振動センサを含むものとする。

30

【 0 0 2 1 】

上記構成によれば、振動センサとして例えば変位センサを保護部材に取り付けるという容易な手法により保護部材の振動検出が可能になる。

【 0 0 2 2 】

望ましくは、前記振動センサは、前記保護部材の外側に配置される外側振動センサと、前記保護部材の内側に配置される内側振動センサとの対からなり、前記外側振動センサと前記内側振動センサとの差分信号を出力とすることで、前記保護部材の表面に発生する縦波成分を相殺して曲げ波成分を検出するものとする。

【 0 0 2 3 】

望ましくは、前記雑音センサは、前記保護部材の近傍に発生する雑音を検出する音響センサを含むものとする。

40

【 0 0 2 4 】

上記構成によれば、保護部材の振動に基づき発生した雑音以外の雑音においても、雑音である音波のみを効率よく検出できる。また、保護部材の振動以外によって発生する保護部材近傍における雑音も検出できる。

【 0 0 2 5 】

(2) 上記目的を達成するために、本発明に係る水中探知装置は、上記(1)の雑音低減回路を有する水中探知装置であって、目標からの音波を受波する受波素子と、前記受波素子を保護する保護部材と、前記雑音低減回路が抽出する前記目標信号成分に基づいて目標

50

情報を生成して出力する目標情報出力手段と、を有するものとする。

【 0 0 2 6 】

上記構成によれば、上記(1)における雑音低減回路の効果と同様な効果を有する水中探知装置が提供できる。

【 0 0 2 7 】

【 発明の実施の形態 】

以下、本発明の好適な実施の形態を図面に基づいて説明する。

【 0 0 2 8 】

図 1 には本発明に係る雑音低減回路の好適な実施形態が示されており、図 1 はこの雑音低減回路が搭載された水中探知装置の全体構成を示すブロック図である。水中探知装置は、例えば船舶に搭載され、海中あるいは海水面に存在する他船舶等の位置情報を探知する。

【 0 0 2 9 】

雑音低減回路は、センサ部 1 8、データ変換部 2 0、擬似フィルタ部 2 2 および適応処理部 2 4 で構成される。受信部 1 0 は複数の受波素子を有しており、これら受波素子は、目標である他船舶等が発する音波 1 2 あるいは他船舶等から反射される音波 1 2 を受波して受波信号を出力する。これら複数の受波素子は保護部材であるドーム 1 4 により保護されている。つまり、受波素子を覆い隠すようにドーム 1 4 が設けられている。このドーム 1 4 の内部、表面又は近傍には、複数の雑音センサである振動センサ 1 6 や音響センサ 1 7 が設けられ、これら複数の雑音センサによりセンサ部 1 8 が構成されている。センサ部 1 8 の出力はデータ変換部 2 0 でアナログデジタル変換された後、擬似フィルタ部 2 2 に出力される。擬似フィルタ部 2 2 および適応処理部 2 4 は目標信号抽出手段として機能しており、データ変換部 2 0 の出力に基づいて、受波素子が出力する受波信号に含まれる雑音信号成分を推定し、推定した雑音信号成分を受波信号から除去して目標信号成分を抽出している。目標情報生成部 2 6 は、適応処理部 2 4 が抽出する目標信号成分に基づいて目標の位置情報等の目標情報を生成してディスプレイ 2 8 に出力する。つまり、目標情報生成部 2 6 およびディスプレイ 2 8 が目標情報出力手段として機能している。以下、各部の詳細について説明する。

【 0 0 3 0 】

図 2 は、センサ部 1 8、データ変換部 2 0 および擬似フィルタ部 2 2 の内部構成を示すブロック図である。

【 0 0 3 1 】

センサ部 1 8 は、ドーム 1 4 の内部、表面又は近傍に設置した J_v 個の振動センサ 1 6、及び J_s 個の音響センサ 1 7 で構成されている。各センサは、ドーム 1 4 近傍で発生して受波素子に伝搬する雑音を推定するために必要な、ドーム 1 4 内部、表面及び近傍で発生する振動データおよび音響データを測定する。つまり、振動センサ 1 6 はドーム 1 4 の振動そのものを計測し、音響センサ 1 7 はドーム 1 4 の近傍で発生する音波を計測している。振動センサ 1 6 としては例えば変位センサが利用され、音響センサ 1 7 としては例えばハイドロホンが利用される。

【 0 0 3 2 】

データ変換部 2 0 は、 $J (= J_v + J_s)$ 個の雑音センサの各々に対応して設けられた J 個の帯域フィルタ 3 0、 J 個の増幅器 3 2 および J 個のアナログデジタル変換器 (A D 変換器) 3 4 で構成される。 J 個の帯域フィルタ 3 0 の周波数特性は、受信部の帯域フィルタ (後述) の周波数特性と同じ周波数特性とする。つまり、雑音センサの出力に基づく参照信号と、受波素子の出力に基づく主信号とのインパルス応答を一致させるため、両フィルタの周波数特性が同じ特性に設定される。帯域フィルタ 3 0 の後段に設けられた J 個の増幅器 3 2 は、各帯域フィルタ 3 0 の出力を所定のレベルに増幅し、後段に設けられた J 個の A D 変換器 3 4 に出力する。A D 変換器 3 4 で A D 変換された信号は擬似フィルタ部 2 2 へ出力される。

【 0 0 3 3 】

擬似フィルタ部 2 2 は $J \times I$ 個の擬似フィルタ 4 0 で構成されている。つまり、 J 個の雑

10

20

30

40

50

音センサにおける j センサと、 I 個の受波素子における i 受波素子の対に対して一つの擬似フィルタ 40 が対応している。この擬似フィルタ 40 のインパルス応答は j センサ近傍のドーム 14 の振動によって音波が発生し i 受波素子方向に伝搬する雑音、又は、 j センサ近傍の雑音で i 受波素子方向に進む雑音のインパルス応答とし、予め実験等により測定又は推定しておく。

【 0 0 3 4 】

j v 振動センサ 16 と i 受波素子の対に対応する擬似フィルタ 40 のインパルス応答を $f_{i,jv,l}$ ($l = 0 \sim Lv - 1$)、 j v 振動センサ 16 の出力を $V_{jv,t}$ ($jv = 1 \sim Jv$) とすると、 j v 振動センサ 16 近傍の雑音で i 受波素子方向に進む雑音 $x_{i,jv,t}$ ($jv = 1 \sim Jv$) は次式により算出される。

10

【 数 1 】

$$x_{i,jv,t} = \sum_{l=0}^{Lv-1} f_{i,jv,l} V_{jv,t-l}$$

同様に、 j s 音響センサ 17 と i 受波素子の対に対応する擬似フィルタ 40 のインパルス応答を $g_{i,js,l}$ ($l = 0 \sim Ls - 1$)、 j s 音響センサ 17 の出力を $Z_{js,t}$ ($js = 1 \sim Js$) とすると、 j s 音響センサ 17 近傍の雑音で i 受波素子方向に進む雑音 $x_{i,js,t}$ ($js = 1 \sim Js$) は次式により算出される。

【 数 2 】

20

$$x_{i,js,t} = \sum_{l=0}^{Ls-1} g_{i,js,l} Z_{js,t-l}$$

振動センサ 16 および音響センサ 17 で得られるデータをまとめて、つまり各擬似フィルタ 40 の出力を $x_{i,j,t}$ ($j = 1 \sim J$; $J = Jv + Js$) と表現する。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、受信部 10、擬似フィルタ部 22、適応処理部 24 および目標情報生成部 26 の内部構成を示すブロック図である。

【 0 0 3 6 】

30

受信部 10 は、 I 個の受波素子 42、受波素子 42 の出力から不要な周波数成分を取り除く I 個の受波帯域フィルタ 44 および I 個の増幅器 46 で構成される。適応処理部 24 は、 I 個の適応処理ブロック 50 で構成され、これらは受信部 10 における I 個の増幅器 46 の出力をそれぞれ主信号としている。また各適応処理ブロック 50 は、 J 個の雑音センサにそれぞれ対応する J 個の擬似フィルタ 40 の主力を参照信号としている。受信部 10 における増幅器 46 からの出力がアナログ信号の場合は、受信部 10 と適応処理部 24 の間に A/D 変換器を挿入するものとする。各適応処理ブロック 50 は J 個の乗算器 52、一つの加算器 54、および一つの減算器 56 で構成される。乗算器 52 は J 個の適応処理フィルタ係数を持ち、 J 個の擬似フィルタ 40 の出力にそれぞれ適応処理フィルタ係数を乗じて出力する。加算器 54 は J 個の乗算器 52 の出力の加算を行う。減算器 56 は対応する増幅器 46 からの出力つまり主信号から、加算器 54 の出力つまり適応フィルタ出力を減算して誤差信号を算出し、目標情報生成部 26 に出力する。

40

【 0 0 3 7 】

以下に適応処理部 24 の内部動作を説明する。 j 擬似フィルタ 40 の出力つまり $x_{i,j,t}$ ($j = 1 \sim J$) を参照信号とし、 j 擬似フィルタ 40 の出力に対する適応処理フィルタ係数を $w_{i,j,n}$ ($j = 1 \sim J$) とすると、 i 受波素子 42 に対応する適応処理フィルタ出力 $y_{i,j,t}$ は次式により表現できる。

【 数 3 】

$$y_{i,j,t} = \sum_{n=0}^{p-1} w_{i,j,n} x_{i,j,t-n}$$

さらに、 J 個の擬似フィルタ 40 の出力の全てによる i 受波素子 42 に対応する適応処理フィルタ出力 $y_{i,j,t}$ は次式により表現できる。

【数 4】

$$y_{i,t} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} w_{i,j,n} x_{i,j,t-n}$$

10

ここで、 j 雑音センサ近傍から i 受波素子 42 方向に進んだ雑音を i 受波素子 42 で受波する場合のインパルス応答の理論値を $h_{i,j,n}$ とすると、 i 受波素子 42 の出力 $n_{i,j,t}$ は次式で表現できる。

【数 5】

$$n_{i,j,t} = \sum_{n=0}^{p-1} h_{i,j,n} x_{i,j,t-n}$$

また、 J 個の雑音センサ近傍から i 受波素子 42 方向に進んだ全ての雑音を i 受波素子 42 で受波する場合の i 受波素子 42 の出力 $n_{i,t}$ は次式で表現できる。

【数 6】

$$n_{i,t} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} h_{i,j,n} x_{i,j,t-n}$$

$s_{i,t}$ を目標から i 受波素子 42 に伝搬する信号とすると、 i 受波素子 42 に対応する増幅器 46 からの出力 $d_{i,t}$ は、 i 受波素子 42 に伝搬する目標からの信号とドーム近傍で発生し i 受波素子 42 に伝搬する雑音の和として次式で表現される。

【数 7】

$$d_{i,t} = s_{i,t} + n_{i,t} = s_{i,t} + \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} h_{i,j,n} x_{i,j,t-n}$$

30

したがって、 i 受波素子 42 に対応する増幅器 46 からの出力 $d_{i,t}$ と、 i 受波素子 42 に対応する適応処理フィルタ出力 $y_{i,t}$ との差分信号を $e_{i,t}$ とすると次式が成立する。

【数 8】

$$e_{i,t} = d_{i,t} - y_{i,t} = s_{i,t} + \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} (h_{i,j,n} - w_{i,j,n}) x_{i,j,t-n}$$

40

$s_{i,t}$ と $x_{i,j,t-n}$ が無相関とすれば、 $e_{i,t}^2$ の期待値 $E[e_{i,t}^2]$ は次式となる。

【数 9】

$$E[e_{i,t}^2] = E[s_{i,t}^2] + \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} (h_{i,j,n} - w_{i,j,n}) \sum_{jj=1}^J \sum_{nn=0}^{p-1} (h_{i,jj,nn} - w_{i,jj,nn}) E[x_{i,j,t-n} x_{i,jj,t-nn}]$$

$E[e_{i,t}^2]$ は $h_{i,j,n} = w_{i,j,n}$ のとき最小値となる。ここで、 $E[e_{i,t}^2]$ は

50

e_t^2] を $w_{i,j,n}$ で変微分すると次式が得られる。

【数 1 0】

$$\frac{\partial E[e_{i,t}^2]}{\partial w_{i,j,n}} = -2E \left[d_{i,t} \cdot x_{i,j,t-n} - x_{i,j,t-n} \sum_{jj=1}^J \sum_{nn=0}^{p-1} w_{i,jj,nn} x_{i,jj,t-nn} \right] = 0$$

すなわち、数式 10 を満足するような適応処理フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ を算出することにより、理論値 $h_{i,j,n}$ の近似解が求められる。

【0038】

10

また、例えば雑音が非定常である場合には、LMS (Least Mean Square) アルゴリズムを用いて、次式から $w_{i,j,n}$ を求めることが可能である。

【数 1 1】

$$W_{i,t+1} = W_{i,t} + \{2\mu(d_{i,t} - y_{i,t}) / \rho_{i,t}\} X_{i,t}$$

$$W_{i,t} \equiv [w_{i,1,0}, w_{i,1,1}, \dots, w_{i,1,p-1}, w_{i,2,0}, w_{i,2,1}, \dots, w_{i,2,p-1}, \dots, w_{i,J,1}, w_{i,J,2}, \dots, w_{i,J,p-1}]^T$$

$$X_{i,t} \equiv [x_{i,1,0}, x_{i,1,1}, \dots, x_{i,1,p-1}, x_{i,2,0}, x_{i,2,1}, \dots, x_{i,2,p-1}, \dots, x_{i,J,1}, x_{i,J,2}, \dots, x_{i,J,p-1}]^T$$

20

$$\rho_{i,t} = \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} x_{i,j,t-n} x_{i,j,t-n}$$

ここで、 μ はステップサイズである。以上のように算出された差分信号の最小値が、目標情報生成部 26 に出力される。

【0039】

目標情報生成部 26 は、入力される各差分信号を遅延する遅延器 60、遅延器 60 の出力を加算する加算器 62 を有しており、遅延器 60 および加算器 62 が整相加算処理を実行する。整相加算処理された信号は、信号処理部 64 において所定の信号処理が施され、目標情報、例えば目標の位置や目標の形状等の情報が生成される。目標情報はディスプレイに出力され画像表示される。

30

【0040】

図 4 は、受信部 10、擬似フィルタ部 22、適応処理部 24 および目標情報生成部 26 の他の内部構成を示すブロック図であり、受信部 10 において整相加算が行われた後の出力を主信号とする例の構成図である。

【0041】

適応処理部 24 は $I \times J$ 個の乗算器 52、一つの加算器 54、および一つの減算器 56 で構成される。各乗算器 52 はそれぞれ適応処理フィルタ係数を持ち、対応する擬似フィルタ 40 の出力にそれぞれ適応処理フィルタ係数を乗じて出力する。加算器 54 は $I \times J$ 個の乗算器 52 の出力の加算を行う。減算器 56 は受信部 10 における整相加算後の出力つまり主信号から、加算器 54 の出力つまり適応フィルタ出力を減算して差分信号を算出する。

40

【0042】

以下に適応処理部 24 の内部動作を説明する。I 個の受波素子 42 の整相加算出力に対して適応処理を行うためには、次式の差分信号 e_t を算出する。

【数 1 2】

$$e_t = d_t - y_t = \sum_{i=1}^I [d_{i,t} - y_{i,t}] = \sum_{i=1}^I \left[s_{i,t} + \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} (h_{i,j,n} - w_{i,j,n}) x_{i,j,t-n} \right]$$

ここで、 $y_{i,t}$ は数式 4、 $d_{i,t}$ は数式 7 にそれぞれ基づいている。また、 e_t^2 の期待値 $E[e_t^2]$ は次式となる。

【数 1 3】

$$E[e_t^2] = E \left[\sum_{i=1}^I s_{i,t}^2 \right] + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} (h_{i,j,n} - w_{i,j,n}) \sum_{ii=1}^I \sum_{jj=1}^J \sum_{nn=0}^{p-1} (h_{ii,jj,nn} - w_{ii,jj,nn}) E[x_{i,j,t-n} x_{ii,jj,t-nn}] \quad 10$$

したがって、 $E[e_t^2]$ は $h_{i,j,n} = w_{i,j,n}$ のとき最小値となる。ここで、 $E[e_t^2]$ を $w_{i,j,n}$ で変微分すると次式が得られる。

【数 1 4】

$$\frac{\partial E[e_t^2]}{\partial w_{i,j,n}} = -2E \left[\sum_{ii=1}^I d_{ii,t} x_{i,j,t-n} - x_{i,j,t-n} \sum_{ii=1}^I \sum_{jj=1}^J \sum_{nn=0}^{p-1} w_{ii,jj,nn} x_{ii,jj,t-nn} \right] = 0 \quad 20$$

すなわち、数式 1 4 を満足するような適応処理フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ を算出することにより、理論値 $h_{i,j,n}$ の近似解が求められる。

【0 0 4 3】

また、例えば雑音が非定常である場合には、LMS アルゴリズムを用いて、次式から $w_{i,j,n}$ を求めることが可能である。

【数 1 5】

$$W_{t+1} = W_t + \{2\mu(d_t - y_t) / \rho_t\} X_t$$

$$W_t \equiv [w_{1,1,0}, w_{1,1,1}, \dots, w_{1,1,p-1}, w_{1,2,0}, w_{1,2,1}, \dots, w_{1,2,p-1}, \dots, w_{1,J,0}, w_{1,J,1}, \dots, w_{1,J,p-1}, \\ w_{2,1,0}, w_{2,1,1}, \dots, w_{2,1,p-1}, w_{2,2,0}, w_{2,2,1}, \dots, w_{2,2,p-1}, \dots, w_{2,J,0}, w_{2,J,1}, \dots, w_{2,J,p-1}, \\ \dots, \\ w_{I,1,0}, w_{I,1,1}, \dots, w_{I,1,p-1}, w_{I,2,0}, w_{I,2,1}, \dots, w_{I,2,p-1}, \dots, w_{I,J,0}, w_{I,J,1}, \dots, w_{I,J,p-1}]^T \quad 30$$

$$X_t \equiv [x_{1,1,0}, x_{1,1,1}, \dots, x_{1,1,p-1}, x_{1,2,0}, x_{1,2,1}, \dots, x_{1,2,p-1}, \dots, x_{1,J,0}, x_{1,J,1}, \dots, x_{1,J,p-1}, \\ x_{2,1,0}, x_{2,1,1}, \dots, x_{2,1,p-1}, x_{2,2,0}, x_{2,2,1}, \dots, x_{2,2,p-1}, \dots, x_{2,J,0}, x_{2,J,1}, \dots, x_{2,J,p-1}, \\ \dots, \\ x_{I,1,0}, x_{I,1,1}, \dots, x_{I,1,p-1}, x_{I,2,0}, x_{I,2,1}, \dots, x_{I,2,p-1}, \dots, x_{I,J,0}, x_{I,J,1}, \dots, x_{I,J,p-1}]^T \quad 40$$

$$\rho_t = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{p-1} x_{i,j,t-n} x_{i,j,t-n}$$

ここで、 μ はステップサイズである。以上のように算出された差分信号の最小値が、目標情報生成部 2 6 に出力される。

【0 0 4 4】

目標情報生成部 26 内の信号処理部 64 は、入力される差分信号に所定の信号処理を実行して、目標情報、例えば目標の位置や目標の形状等の情報が生成される。目標情報はディスプレイに出力され画像表示される。

【 0 0 4 5 】

図 5 は、目標情報生成部（図 3 の符号 26）の他の実施形態を示す図である。つまり、加算器（図 3 の符号 62）に換えて、乗算器 68 および加算器 70 を有する目標情報生成部 26 である。乗算器 68 は、受波素子（図 3 の符号 42）の各々に対応して複数設けられる。各乗算器 68 は、対応する遅延器 60 の出力に適応処理フィルタ係数を乗じて出力する。加算器 70 は、各乗算器 68 の出力に基づいて適応処理出力を算出し、信号処理部 64 に出力する。すなわち、各遅延器 60 の出力を $e_{i,t}$ （「数式 8」の差分信号を遅延器 60 で遅延し目標存在方向に整相した信号）とし、各乗算器 68 における適応処理フィルタ係数を $w_{i,t}$ （前述の適応フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ とは無関係とする）とすると、加算器 70 は次式で表現される誤差信号 y_t （前述の適応処理フィルタ出力 $y_{i,t}$ とは無関係とする）を算出する。

【数 1 6】

$$y_t = \sum_{i=1}^I w_{i,t} e_{i,t}$$

さらに、加算器 70 は、数式 17、数式 18 及び数式 19 を用いて、適応処理演算を実施する。

【数 1 7】

$$\rho_t = \sum_{i=1}^I e_{i,t} e_{i,t}$$

【数 1 8】

$$w_{t+1} = |w_t + \{2\mu y_t / \rho_t\} X_t|$$

【数 1 9】

$$w_{t+1}' = w_{t+1} / \sum_{i=1}^I w_{i,t+1}$$

$$w_{t+1} = w_{t+1}'$$

ここで、 e_t 及び w_t はそれぞれ数式 20 及び数式 21 で定義される。

【数 2 0】

$$e_t \equiv [e_{1,t}, e_{2,t}, \dots, e_{I,t}]^T$$

【数 2 1】

$$w_t \equiv [w_{1,t}, w_{2,t}, \dots, w_{I,t}]^T$$

図 6 は、適応処理部 24（図 3 の符号 24）周辺の他の実施形態を示す図であり、受信部 10、擬似フィルタ部 22、信号調整部 28、適応処理部 24 及び目標情報生成部 26 の内部構成を示すブロック図である。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

信号調整部 28 は、擬似フィルタ部 22 の出力が極端に大きかったり、あるいは、小さかったりする場合にも安定して適応処理計算を行うためのものであり、各振幅安定器 70 は、数式 22 の計算を実施して平滑参照信号を出力する。

【数 22】

$$x_{i,j,t}' = |x_{i,j,t}| \times \alpha + |x_{i,j,t-1}| \times (1 - \alpha)$$

$$x_{i,j,t}'' = x_{i,j,t}' / |x_{i,j,t}'|$$

ここで、 $x_{i,j,t}$ は擬似フィルタ 40 の出力であり、受波波形の歪みを起こさないようにするためには α は 1 より十分小さい値を選択する。各振幅安定器 70 の出力は、直流成分を除去するためにハイパスフィルタ 72 を通り適応処理部 24 に出力される。ハイパスフィルタ 72 の出力を新たに $x_{i,j,t}$ とする。

【0047】

同様に、受信部 10 の出力が極端に大きかったり、あるいは、小さかったりする場合にも安定して適応処理計算を行うため、各振幅安定器 74 は、数式 23 の計算を実施して平滑主信号を出力する。

【数 23】

$$d_{i,t}' = |d_{i,t}| \times \alpha + |d_{i,t-1}| \times (1 - \alpha)$$

$$d_{i,t}'' = d_{i,t}' / |d_{i,t}'|$$

ここで、 $d_{i,t}$ は増幅器 46 の出力であり、受波波形の歪みを起こさないようにするためには α は 1 より十分小さい値を選択する。各振幅安定器 74 の出力は、直流成分を除去するためにハイパスフィルタ 75 を通り適応処理部 24 に出力される。ハイパスフィルタ 75 の出力を新たに $d_{i,t}$ とする。

【0048】

適応処理部 24 は、一つの振幅計算器 90 及び各受波素子 42 に対応して設けられる I 個の適応処理ブロック 32 を有する。各適応処理ブロック 32 は計算出力ブロック 34 及び振幅制御ブロック 36 を有する。各計算出力ブロック 34 は各雑音センサにそれぞれ対応する J 個の第一乗算器 76、一つの加算器 78、一つの減算器 80 及び一つの第二乗算器 82 で構成される。各振幅制御ブロック 36 は J 個の乗算器 84、一つの加算器 86、及び、一つの減算器 88 で構成される。

【0049】

振幅制御ブロック 36 の各乗算器 84 は適応フィルタ係数を持ち、対応するハイパスフィルタ 72 の出力つまり平滑参照信号にそれぞれ適応フィルタ係数を乗じて出力する。加算器 86 は J 個の乗算器 84 の出力の加算を行う。減算器 88 は対応するハイパスフィルタ 75 からの出力つまり平滑主信号から、加算器 86 の出力を減算して誤差信号を算出する。振幅計算器 90 は、各振幅制御ブロック 36 で算出される $I \times J$ 個の適応フィルタ係数を用いて数式 24 の計算を実行して振幅制御信号 $q_{i,j,t}$ を算出し、各計算出力ブロック 34 に出力する。

【数 24】

10

20

30

40

$$q_{i,j,t} = \left(\sum_{n=0}^{p-1} |w_{i,j,n}| \right)^\beta$$

$$q_{i,j,t}' = q_{i,j,t} \times \alpha + q_{i,j,t-1} \times (1 - \alpha)$$

$$q_{i,j,t}'' = \frac{q_{i,j,t}'}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q_{i,j,t}'}$$

$$q_{i,t} = I \times \sum_{j=1}^J q_{i,j,t}''$$

10

数式 2 4 において、 α は調整係数であり、適応フィルタ係数を α 乗することによって、主信号と参照信号との相関がない場合、目標情報生成部への出力の低減率を調整するものである。また、受波波形の歪みを起こさないようにするため、 α は 1 より十分小さい値を選択する。

【 0 0 5 0 】

20

計算出力ブロック 3 4 の各第一乗算器 7 6 は適応フィルタ係数を持ち、対応するハイパスフィルタ 7 2 の出力にそれぞれ適応フィルタ係数を乗じて出力する。加算器 7 8 は J 個の第一乗算器 7 6 の出力の加算を行う。減算器 8 0 は対応するハイパスフィルタ 7 5 からの出力つまり平滑主信号から、加算器 7 8 の出力を減算して誤差信号を算出し、第二乗算器 8 2 に出力する。第二乗算器 8 2 は誤差信号に振幅計算器 9 0 で算出される振幅制御信号 $q_{i,t}$ を乗じ、受波素子の受信雑音（即ち主信号）と雑音センサの雑音（即ち参照信号）との相関性がない雑音、例えば電気的な雑音等が発生した場合の影響を低減して、目標情報生成部 2 6 に出力する。計算出力ブロック 3 6 における適応処理計算は数式 2 5 により行う。

【 数 2 5 】

30

$$W_{i,t+1} = W_{i,t} + \left\{ 2\mu(d_{i,t} - y_{i,t}) \times q_{i,t} / \rho_{i,j} \right\} X_{i,t}$$

なお、前述の数式 2 4 で使用した $w_{i,j,n}$ の代わりに j ハイパスフィルタ 7 2 の出力と i ハイパスフィルタ 7 5 の出力との相関係数を用いて同様な計算を行ってもよい。

【 0 0 5 1 】

数式 1 0、数式 1 1、数式 1 4、数式 1 5 及び数式 2 5 の計算において、i 番目の受波素子と j 番目の雑音センサとの位置が離れていたり、両者の間に障害物等がある場合には、適応フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ の値は他に比べて小さくなり、雑音信号の受波信号への寄与が少なくなることから、予め適応フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ を測定あるいは推定し、適応フィルタ係数 $w_{i,j,n}$ が一定以上の値を持つ受波素子と雑音センサの組についてのみ計算を行うものとして、計算量を削減することも可能である。

40

【 0 0 5 2 】

図 7 は、雑音センサの好適な実施形態を示す図であり、雑音センサとしてひずみゲージ等の振動センサを利用する例を示す図である。ドーム 9 2 の外側の振動センサ 9 4 と、内側の振動センサ 9 6 を対に配置し、外側の振動センサ 9 4 の出力と内側の振動センサ 9 6 の出力に基づいて、減算器 9 8 において数式 2 6 の計算を実行する。

【 数 2 6 】

$$V_{j,t} = \frac{(V_{1,j,t} - V_{2,j,t})}{2}$$

この振動センサは、図7の(a)に示すように音波100等によりドーム表面に縦波による伸縮が発生する場合は、ドームの厚さは入射波の波長に比べて十分小さいので、振動センサ94と振動センサ96が同時に伸縮し、振動センサの出力は相殺される。一方、流体等の外力によりドーム表面に曲げ波が発生する場合は、外側振動センサ94が伸び(縮み)、内側センサ96が縮み(伸び)するため、図7の(b)や(c)に示すように振動センサ94の出力と振動センサ96の出力に差が発生することによって曲げ波を検出する。10
このように、本来取得したい曲げ波のみを検出することができる。

【0053】

本実施の形態において、雑音センサは例えば実験結果などに基づいて、雑音の取得に適した配置に設けられることが望ましい。雑音センサの配置を適切に行うことにより、雑音センサの数を減らす、つまり適応信号処理演算の演算量を減らすことも可能になる。もちろん既に配置されている雑音センサの中から、任意のセンサを選択的に利用しても演算量の削減が可能であり、必要に応じて受波素子出力を選択的に利用してもよい。

【0054】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、受波素子の近傍に発生する雑音も低減できる雑音低減回路、および、この回路を有する水中探知装置を提供することが可能となる。20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る雑音低減回路が搭載された水中探知装置の全体構成を示すブロック図である。

【図2】本発明に係る水中探知装置のセンサ部、データ変換部および擬似フィルタ部の内部構成を示すブロック図である。

【図3】本発明に係る水中探知装置の受信部、擬似フィルタ部、適応処理部および目標情報生成部の内部構成を示すブロック図である。

【図4】本発明に係る水中探知装置の受信部、擬似フィルタ部、適応処理部および目標情報生成部の他の内部構成を示すブロック図である。30

【図5】目標情報生成部の他の実施形態を示す図である。

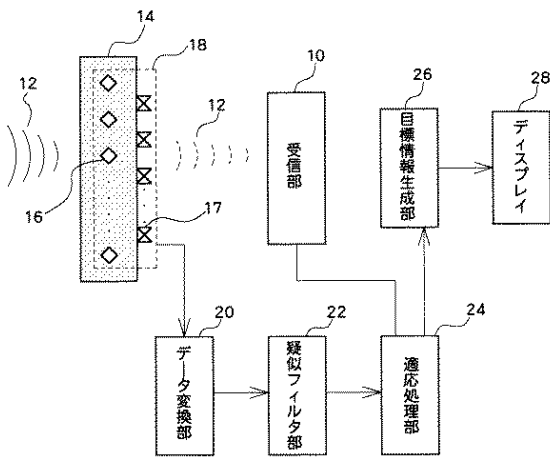
【図6】適応処理部周辺の他の実施形態を示す図である。

【図7】雑音センサの最適な実施形態を示す図である。

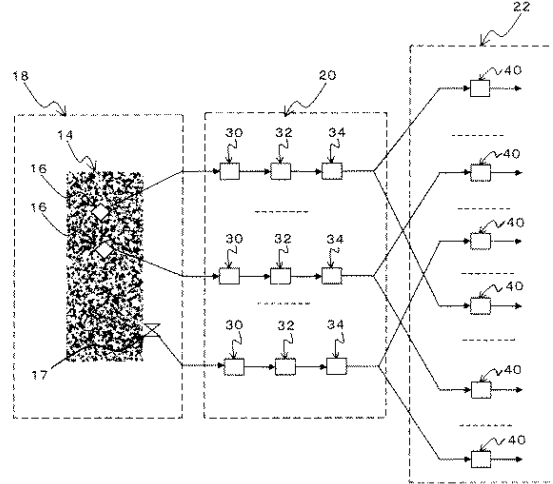
【符号の説明】

16 振動センサ、17 音響センサ、22 擬似フィルタ部、24 適応処理部、28 信号調整部、34 計算出力ブロック、36 振幅制御ブロック、40 擬似フィルタ、50 適応処理ブロック、90 振幅計算器。

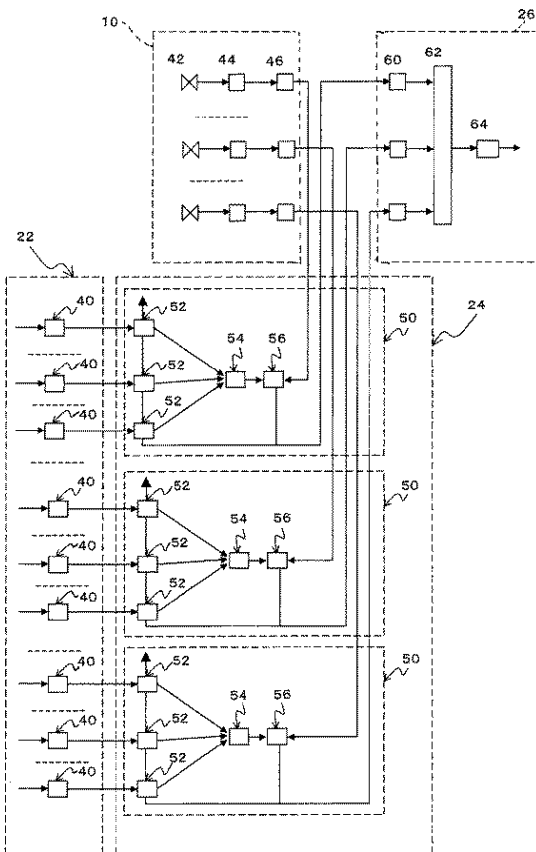
【 図 1 】



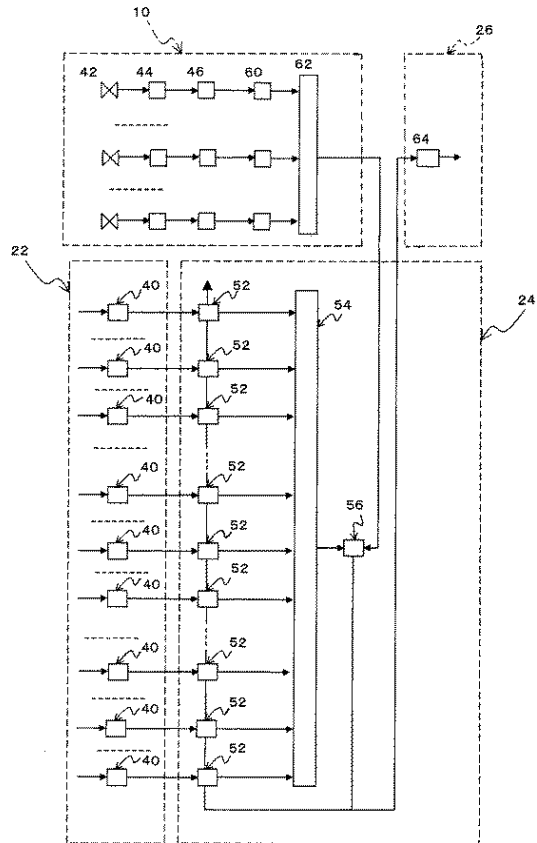
【 図 2 】



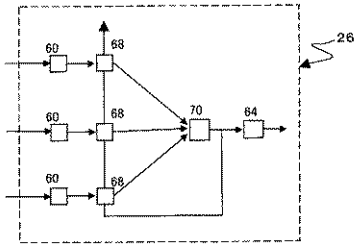
【 図 3 】



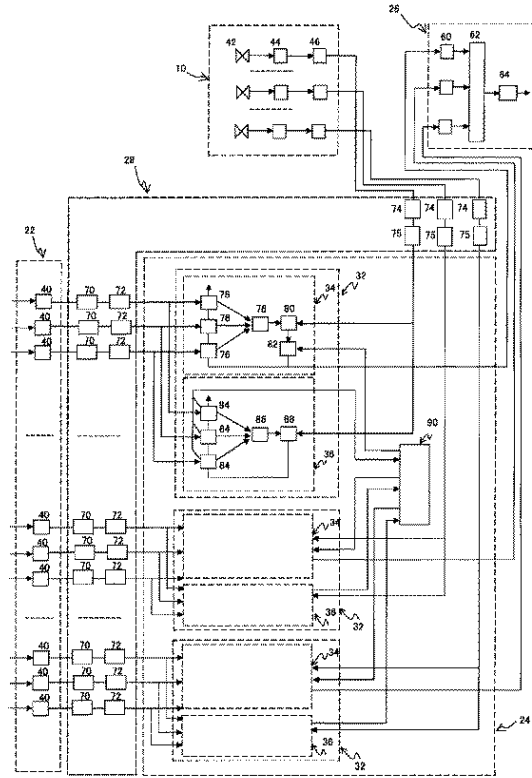
【 図 4 】



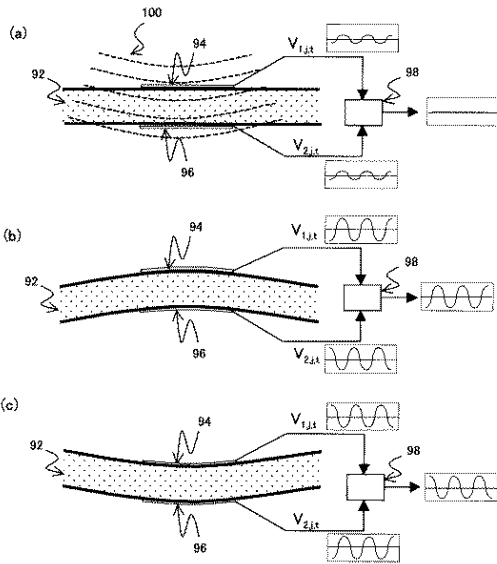
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 永田 安彦

神奈川県横須賀市長瀬 3 - 1 2 - 2 - 7 1 0 5

(72)発明者 菊池 達夫

神奈川県横浜市港北区新吉田町 7 8 1 番地 ジェイ・アール・シー特機株式会社内

Fターム(参考) 5J083 AA05 AB12 AC18 AG20 BC02 BE21 BE47 BE53 BE54 BE58

CA07 CA37 EA06