

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-7952

(P2018-7952A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.
A61B 8/06 (2006.01)

F I
A61B 8/06

テーマコード(参考)
4C601

審査請求有 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-140521 (P2016-140521)
 (22) 出願日 平成28年7月15日(2016.7.15)
 (11) 特許番号 特許第6145202号(P6145202)
 (45) 特許公報発行日 平成29年6月7日(2017.6.7)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110001210
 特許業務法人Y K I 国際特許事務所
 (72) 発明者 久津 将則
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内
 Fターム(参考) 4C601 DE03 HH13 HH25 HH29 JB05

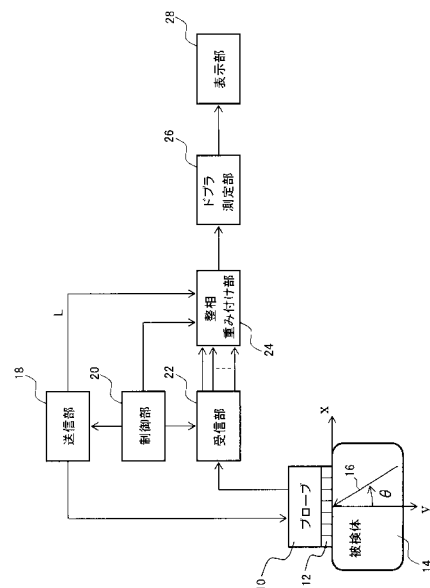
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】基準深度より深い位置にサンプルゲートが設定される場合について、ドプラ測定の精度を向上させることを目的とする。

【解決手段】サンプルゲートの深さから基準深度(1繰り返し周期で超音波パルスが往復する深さ)を引いた深さの位置にはサブゲートと呼ばれる領域が生じる。パルスドプラ装置は、サンプルゲートで反射して生じる観測対象超音波を受信しながらも、サブゲートで反射して生じる不要超音波を減衰させる超音波ビームを形成する。すなわち、整相重み付け部24が実行する処理によって、サンプルゲートに受信ビームの受信焦点が設定され、サブゲートに受信ビームの受信減衰点が設定される。整相重み付け部24は、受信焦点で反射した超音波に基づく検波信号を強め合うように合成し、かつ、受信減衰点で反射した超音波に基づく検波信号を弱め合うように合成した合成信号を出力する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の振動素子を含むプローブから被検体に所定の繰り返し周波数で超音波パルスを送信する送信部と、

前記被検体内で反射した超音波を前記プローブを介して受信する受信部と、

各前記振動素子で受信された超音波に基づく各受信信号に重み付け処理を施す重み付け処理部と、

前記重み付け処理が施された各前記受信信号を合成する合成処理部と、

前記合成処理部で生成された合成信号に基づいて前記被検体に対するドブラ測定を行うドブラ測定部と、を備え、

10

前記重み付け処理部は、

前記プローブを介して受信される超音波の受信ビームに受信減衰点が生じる重み付け処理を、各前記受信信号に対して施すことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波診断装置において、

前記重み付け処理部は、

前記受信ビームに受信焦点が生じる重み付け処理を各前記受信信号に対して施し、

前記受信減衰点の位置を、前記受信焦点の位置および前記繰り返し周波数に基づいて定めることを特徴とする超音波診断装置。

20

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波診断装置において、

前記重み付け処理部は、

各前記受信信号に対して重み付け係数を作用させる係数作用部を備え、

各前記重み付け係数は、

前記受信減衰点で反射した超音波に基づく前記合成信号が所定値未満または最小となるという条件に基づいて定められることを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置において、

前記受信部から前記合成処理部に至る信号経路に設けられ、各前記受信信号を個別に遅延させることで前記受信ビームを形成する遅延部を備えることを特徴とする超音波診断装置。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、超音波診断装置に関し、特に、被検体に対してドブラ測定を行う装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

ドブラ法を用いて被検体の血流速度等を測定する超音波診断装置として、パルスドブラ装置が広く用いられている。パルスドブラ装置は、パルス変調された超音波を所定のパルス繰り返し周波数（PRF：Pulse Repetition Frequency：以下、単に繰り返し周波数という。）で被検体に向けて送信する。測定対象の領域としてサンプルゲートが設定され、パルスドブラ装置は、サンプルゲートに応じたタイミングで受信された超音波のドブラシフト周波数成分に基づいてドブラ波形（速度対時間波形）を表示する。

40

【0003】

パルスドブラ装置では、測定可能なドブラシフト周波数、すなわち、測定可能な速度が超音波パルスの繰り返し周波数に応じて制限される。繰り返し周波数を大きくすると測定可能な速度の上限は大きくなり、繰り返し周波数を小さくすると測定可能な速度の上限は小さくなる。血流速度等の測定対象の速度が測定可能な速度の範囲を超えると、いわゆる

50

折り返し現象が生じ、測定誤差が生じる。したがって、原則として繰り返し周波数で規定される範囲内で血流速度等の測定が行われる。

【0004】

以下の特許文献1および2にはパルスドプラ装置が記載されている。特許文献3には、本発明に関連する処理として、超音波診断装置で送受信される超音波についてのビームフォーミング処理が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平11-169374号公報

10

【特許文献2】特開平02-36852号公報

【特許文献3】特開2015-19862号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

測定可能な速度の上限を大きくするため、繰り返し周波数を高くするHPRF測定法が考えられている。HPRF測定法では、繰り返し周期（繰り返し周波数の逆数）の1周期で超音波パルスが往復する基準深度より深い位置にサンプルゲートが設定される。そのため、先に送信した超音波パルスがサンプルゲートで反射し、この反射による観測対象超音波が受信される前に次の超音波パルスが送信される。

20

【0007】

HPRF測定法では、後発の超音波パルスの一部が基準深度より浅い位置で反射して生じる不要超音波が十分小さい場合や、不要超音波が観測対象超音波と時間帯を重ねて受信されない場合には、十分な測定精度が得られる。しかし、被検体によっては、この条件が必ずしも成立せず、測定精度が低下することがある。

【0008】

本発明は、基準深度より深い位置にサンプルゲートが設定される場合について、ドプラ測定の精度を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、複数の振動素子を含むプローブから被検体に所定の繰り返し周波数で超音波パルスを送信する送信部と、前記被検体内で反射した超音波を前記プローブを介して受信する受信部と、各前記振動素子で受信された超音波に基づく各受信信号に重み付け処理を施す重み付け処理部と、前記重み付け処理が施された各前記受信信号を合成する合成処理部と、前記合成処理部で生成された合成信号に基づいて前記被検体に対するドプラ測定を行うドプラ測定部と、を備え、前記重み付け処理部は、前記プローブを介して受信される超音波の受信ビームに受信減衰点が生じる重み付け処理を、各前記受信信号に対して施すことを特徴とする。

30

【0010】

本発明における重み付け処理によれば、プローブを介して受信される超音波の受信ビームに受信減衰点が生じる。したがって、受信減衰点の位置で反射して生じる不要な超音波に基づく成分が受信信号において低減される。

40

【0011】

望ましくは、前記重み付け処理部は、前記受信ビームに受信焦点が生じる重み付け処理を各前記受信信号に対して施し、前記受信減衰点の位置を、前記受信焦点の位置および前記繰り返し周波数に基づいて定める。

【0012】

本発明によれば、受信焦点の位置および繰り返し周波数に基づいて受信減衰点の位置が定められ、受信焦点の位置および繰り返し周波数に対して適切な位置に受信減衰点を有する受信ビームが形成される。

50

【 0 0 1 3 】

望ましくは、前記重み付け処理部は、各前記受信信号に対して重み付け係数を作用させる係数作用部を備え、各前記重み付け係数は、前記受信減衰点で反射した超音波に基づく前記合成信号が所定値未満または最小となるという条件に基づいて定められる。

【 0 0 1 4 】

本発明においては、受信減衰点で反射した超音波に基づく合成信号が所定値未満または最小となるという条件に基づいて重み付け係数が定められ、この重み付け係数を各受信信号に作用させる。重み付け係数を定める処理には、例えば、M V 法 (Minimum Variance法)、最小ノルム法、線形予測法、M U S I C 法 (Multiple Signal Classification法) 等の数値解析法を用いることができるため、重み付け係数を定めるに際して数値計算による処理が可能となる。

10

【 0 0 1 5 】

望ましくは、前記受信部から前記合成処理部に至る信号経路に設けられ、各前記受信信号を個別に遅延させることで前記受信ビームを形成する遅延部を備える。

【 0 0 1 6 】

本発明においては、受信部から合成処理部に至る信号経路に遅延部が設けられていればよく、設計に自由度がある。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、基準深度より深い位置にサンプルゲートが設定される場合について、ドブラ測定精度を向上させることができる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 パルスドブラ装置の構成を示す図である。

【 図 2 】 受信ビーム、サンプルゲート、サブゲート、受信焦点および受信減衰点を断層画像と共に概念的に示す図である。

【 図 3 】 従来のパルスドブラ装置において測定精度の低下が生じることを説明するタイミングチャートである。

【 図 4 】 整相重み付け部の構成を示す図である。

【 図 5 】 シミュレーション結果を示す図である。

30

【 図 6 】 シミュレーション結果を示す図である。

【 図 7 】 複数ゲート測定法を説明する図である。

【 図 8 】 整相重み付け部の変形例を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 9 】

(1) パルスドブラ装置の構成

図 1 には、本発明の実施形態に係るパルスドブラ装置の構成が示されている。パルスドブラ装置は、送信部 1 8、プローブ 1 0、受信部 2 2、整相重み付け部 2 4、ドブラ測定部 2 6 および表示部 2 8 を備える。パルスドブラ装置は、パルス変調された超音波を所定の繰り返し周波数 (P R F) でプローブ 1 0 から被検体 1 4 に向けて送信し、被検体 1 4 内で反射した超音波を受信する。測定対象の領域としてサンプルゲートがユーザの操作によって設定され、パルスドブラ装置は、サンプルゲートに応じたタイミングで受信された超音波のドブラシフト周波数成分に基づいてドブラ波形画像を生成し、表示部 2 8 に表示する。

40

【 0 0 2 0 】

パルスドブラ装置の具体的な構成について説明する。被検体 1 4 を診断するに際してプローブ 1 0 は被検体 1 4 の表面に接触した状態とされる。プローブ 1 0 は複数の振動素子 1 2 を備える。送信部 1 8 は、制御部 2 0 による制御に基づいてプローブ 1 0 の各振動素子 1 2 に送信信号を出力する。この送信信号は、例えば、矩形の時間波形を有するパルス信号に応じてオンオフされた正弦波信号、すなわち、パルス変調された電気信号である。

50

各振動素子 1 2 が送信信号に応じて超音波を発生することで、プローブ 1 0 から超音波が送信される。

【 0 0 2 1 】

超音波の送信に際して送信部 1 8 は、各振動素子 1 2 に出力する送信信号の遅延時間またはレベルを制御部 2 0 による制御に従って調整し、プローブ 1 0 から送信される超音波による送信ビームを形成する。すなわち、制御部 2 0 は送信部 1 8 に対する制御によって、プローブ 1 0 において送信ビームを形成する。

【 0 0 2 2 】

なお、送信部 1 8 は、各振動素子 1 2 に出力する送信信号の遅延時間またはレベルを制御部 2 0 による制御に従って調整し、送信ビームの方向または放射位置を調整してもよい。すなわち、制御部 2 0 は送信部 1 8 に対する制御によって、プローブ 1 0 において形成した送信ビームの方向または放射位置を調整してもよい。

【 0 0 2 3 】

被検体 1 4 内で反射した超音波がプローブ 1 0 の各振動素子 1 2 で受信されると、各振動素子 1 2 は、受信された超音波に応じた電気信号を受信部 2 2 に出力する。受信部 2 2 は、制御部 2 0 による制御に従い、各振動素子 1 2 から出力された受信信号を増幅し、複数の振動素子 1 2 に対応する複数チャンネルの受信信号を整相重み付け部 2 4 に出力する。

【 0 0 2 4 】

送信部 1 8 は、送信信号と同一の周波数を有するローカル信号 L を整相重み付け部 2 4 に出力する。さらに、制御部 2 0 は、各受信信号に対する処理を実行するための各種情報を整相重み付け部 2 4 に出力する。

【 0 0 2 5 】

整相重み付け部 2 4 は、後述するように、複数チャンネルの受信信号のそれぞれを適切な遅延時間だけ遅延させ、さらに、重み付け係数を作用させることで合成信号を生成しドプラ測定部 2 6 に出力する。合成信号は、受信ビーム 1 6 上に設定された受信焦点で反射した超音波に基づく受信信号が強め合うように合成され、かつ、受信ビーム 1 6 上に設定された受信減衰点で反射した超音波に基づく受信信号が弱め合うように合成されることで得られる信号である。

【 0 0 2 6 】

ドプラ測定部 2 6 は、合成信号に対して周波数解析処理を施し、ドプラ波形を表す画像データを生成する。ドプラ波形は、横軸に時間を取り、縦軸に速度、ドプラシフト周波数、またはこれらに相当する値を取った時間波形である。ドプラ測定部 2 6 は、ドプラ波形画像データを表示部 2 8 に出力する。表示部 2 8 は、ドプラ波形画像データに基づいてドプラ波形を表示する。なお、ドプラ測定部 2 6 は、ドプラ波形を数値によって表すデータを生成してもよい。この数値データは、例えば、時間に対して速度、ドプラシフト周波数、またはこれらに相当する値を対応づけたデータである。ドプラ測定部 2 6 は、ドプラ波形を数値によって表示する画像データを生成し表示部 2 8 に出力する。表示部 2 8 は、この画像データに基づいてドプラ波形を数値によって表示する。

【 0 0 2 7 】

(2) 整相重み付け部が実行する処理

整相重み付け部 2 4 が実行する処理の技術的意義について説明する。図 2 には、受信ビーム 3 0、サンプルゲート 3 2、サブゲート 3 4、受信焦点 3 6 および受信減衰点 3 8 が断層画像 4 0 と共に概念的に示されている。サンプルゲート 3 2 は、基準深度 D_0 よりも深い位置にある循環器 4 2 上に設定されている。基準深度 D_0 は、1 繰り返し周期 $T (= 1 / PRF)$ で超音波が往復する距離である。

【 0 0 2 8 】

このように、基準深度 D_0 よりも深い位置にサンプルゲート 3 2 が設定され、血液等の運動物がサンプルゲート 3 2 にある場合、先に送信した超音波パルスがサンプルゲート 3 2 で反射し、この反射による超音波がプローブで受信される前に次の超音波パルスが送信される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

プローブから送信された超音波が反射しプローブに戻るまでの時間が、サンプルゲート深度時間（プローブとサンプルゲートとの間を超音波が往復する時間）から繰り返し周期 T を減算した時間と一致するような位置には、サブゲートと呼ばれる領域が生じる。別の表現では、プローブからの深さが、基準深度 D_0 からサンプルゲート 3 2 までの距離に相当する深さである位置には、サブゲートと呼ばれる領域が生じる。

【 0 0 3 0 】

サブゲート 3 4 に超音波を反射する組織があった場合には、従来のパルスドブラ装置では次のような問題が生じていた。すなわち、後発の超音波パルスの一部がサブゲート 3 4 で反射して生じる不要超音波が、観測対象の超音波と時間帯を重ねて受信され、この不要超音波が観測対象超音波に干渉して測定精度が低下するという問題が生じていた。

10

【 0 0 3 1 】

図 3 には、従来のパルスドブラ装置において測定精度の低下が生じることを説明するタイミングチャートが示されている。図 3 (a) には、パルスドブラ装置が送信する超音波パルスが示されている。パルスドブラ装置は、繰り返し周期 T で超音波パルスを繰り返し送信する。サンプルゲートは基準深度よりも深い位置に設定されている。サンプルゲートの位置に対応するサンプルゲート時間帯 S_0 、 S_1 、 S_2 、 \dots は、送信パルスが送信されてからサンプルゲート深度時間 DPT だけ遅れた時間に設定されている。すなわち、送信パルス P_1 が送信されてからサンプルゲート深度時間 DPT が経過した時間にサンプルゲート時間帯 S_1 が設定されている。また、送信パルス P_2 が送信されてからサンプルゲート深度時間 DPT が経過した時間にサンプルゲート時間帯 S_2 が設定され、送信パルス P_3 が送信されてからサンプルゲート深度時間 DPT が経過した時間にサンプルゲート時間帯 S_3 が設定されている。

20

【 0 0 3 2 】

図 3 (b) には、従来のパルスドブラ装置で受信される超音波が示されている。この図には、後発の超音波パルスの一部がサブゲートで反射して不要超音波が生じ、観測対象の超音波と時間帯を重ねて受信された場合が示されている。図 3 (c) は、観測対象の超音波と不要超音波とを区別して示したものである。観測対象の超音波が実線で示され、不要超音波が破線で示されている。この図は、説明の便宜上、観測対象の超音波と不要超音波とを区別して描いた概念図であり、実際にはこれらの超音波を区別することは困難である。

30

【 0 0 3 3 】

図 3 (c) に示されている観測対象超音波 A_0 は、送信パルス P_1 より 1 つ前に送信された送信パルスがサンプルゲートで反射して受信されたものであり、不要超音波 B_1 は、送信パルス P_1 がサブゲートで反射して受信されたものである。観測対象超音波 A_1 は、送信パルス P_1 がサンプルゲートで反射して受信されたものであり、不要超音波 B_2 は、送信パルス P_2 がサブゲートで反射して受信されたものである。観測対象超音波 A_2 は、送信パルス P_2 がサンプルゲートで反射して受信されたものであり、不要超音波 B_3 は、送信パルス P_3 がサブゲートで反射して受信されたものである。観測対象超音波 A_3 は、送信パルス P_3 がサンプルゲートで反射して受信されたものであり、不要超音波 B_4 は、送信パルス P_4 がサブゲートで反射して受信されたものである。

40

【 0 0 3 4 】

図 3 (b) に示されている受信超音波 R_0 は、観測対象超音波 A_0 および不要超音波 B_1 が重畳されたものである。受信超音波 R_1 は、観測対象超音波 A_1 および不要超音波 B_2 が重畳されたものである。受信超音波 R_2 は、観測対象超音波 A_2 および不要超音波 B_3 が重畳されたものである。受信超音波 R_3 は、観測対象超音波 A_3 および不要超音波 B_4 が重畳されたものである。

【 0 0 3 5 】

このように、従来のパルスドブラ装置では、サンプルゲート時間帯に観測対象超音波に加えて不要超音波が受信され、不要超音波の影響によって測定精度が低下するという問題

50

が生じていた。

【0036】

そこで、本実施形態に係るパルスドブラ装置では、サンプルゲートで反射して生じる観測対象超音波を受信しながらも、サブゲートで反射して生じる不要超音波を減衰させる超音波ビームを形成する。すなわち、図3(c)に示されている不要超音波B1、B2、B3、・・・に基づく受信信号成分を減衰させるような超音波ビームを形成する。

【0037】

すなわち、図1の整相重み付け部24が実行する処理によって、サンプルゲートに受信ビームの受信焦点が設定され、サブゲートに受信ビームの受信減衰点が設定される。

【0038】

整相重み付け部24は、各受信信号を個別に遅延させた上で直交検波し、直交検波によって得られた検波信号に対して重み付け係数を作用させて加算合計することで、合成信号を出力する。合成信号は、受信ビーム上に設定された受信焦点で反射した超音波に基づく検波信号が強め合うように合成され、かつ、受信ビーム上に設定された受信減衰点で反射した超音波に基づく検波信号が弱め合うように合成された信号である。図3(c)に示されている不要超音波B1、B2、B3、・・・に基づく成分は、合成信号によって抑制される。受信ビームおよび受信焦点は各受信信号に対する遅延処理によって形成される。また、受信ビーム上の受信減衰点は、各受信信号に対する重み付け処理(各検波信号に対する重み付け係数の複素共役値の乗算)によって形成される。

【0039】

(3) 整相重み付け部の構成

図4には、整相重み付け部24の構成が示されている。整相重み付け部24は、遅延部44-1~44-n、直交検波部46-1~46-n、重み付け係数決定部48、複素乗算部50-1~50-n、および合成処理部52を備える。直交検波部46-1~46-nのうちデジタル信号処理を行う部分、重み付け係数決定部48、複素乗算部50-1~50-n、および合成処理部52は、例えば、プロセッサによって構成される。これらの構成要素は、プロセッサが実行するプログラムによって構成してもよいし、ハードウェアである電子回路によって個別に構成してもよい。

【0040】

遅延部44-1~44-nには、nチャンネルの受信信号 $r_1 \sim r_n$ が入力される。遅延部44-p(p=1~n)は、制御部から与えられた遅延時間 τ_p だけ受信信号 r_p を遅延させ、直交検波部46-pに出力する。

【0041】

直交検波部46-pは、送信超音波と同一の周波数を有するローカル信号Lによって受信信号 r_p に対して直交検波を施すと共に、サンプルゲート時間帯外の時間帯でのレベルを強制的に0とした同相成分信号 I_p および直交成分信号 Q_p を生成する。そして、複素数の検波信号 $v_p = I_p + j \cdot Q_p$ を複素乗算部50-pに出力する。同相成分信号 I_p は、ローカル信号Lと同位相の成分を示し、直交成分信号 Q_p は、ローカル信号Lとの位相差が90°である成分を示す。jは虚数単位であり、同相成分信号 I_p および直交成分信号 Q_p は、プローブで受信された超音波のドブラシフト周波数成分である。すなわち、同相成分信号 I_p および直交成分信号 Q_p の周波数は、プローブで受信された超音波のドブラシフト周波数に一致する。

【0042】

重み付け係数決定部48および複素乗算部50-1~50-nは、各受信信号に重み付け処理を施す重み付け処理部としての機能を有する。

【0043】

重み付け係数決定部48は後述の係数決定処理によって重み付け係数 $W_1 \sim W_n$ を決定し、それぞれ、複素乗算部50-1~50-nに出力する。

【0044】

複素乗算部50-1~50-nは、各検波信号(各受信信号)に対して重み付け係数を

10

20

30

40

50

作用させる係数作用部として機能する。ここで、重み付け係数を作用させるとは、重み付け係数に基づいて処理対象の信号の値を変化させることをいい、本実施形態では、重み付け係数の共役複素数を検波信号に乗じることをいう。

【 0 0 4 5 】

複素乗算部 5 0 - p (p = 1 ~ n) は、検波信号 v_p に重み付け係数 W_p の共役複素数である共役重み付け係数 W_p^* を乗じて合成処理部 5 2 に出力する。合成処理部 5 2 は、 $W_1^* \cdot v_1 \sim W_n^* \cdot v_n$ を加算合計して合成信号を生成し、図 1 のドプラ測定部 2 6 に出力する。この合成信号は、サンプルゲートに受信焦点が設定され、サブゲートに受信減衰点が設定された受信ビームに従って受信された超音波に基づく信号である。合成信号では、受信減衰点において反射した不要超音波が抑制されるため、合成信号によって生成されるドプラ波形に含まれる測定誤差が減少する。

10

【 0 0 4 6 】

(4) 係数決定処理

重み付け係数決定部 4 8 が実行する係数決定処理について説明する。本実施形態に係る係数決定処理は、M V 法 (Minimum Variance 法) に基づく処理である。演算対象の重み付け係数は、(数 1) のような列ベクトル W で表される。上付きの T はベクトルの転置を表す。

【 0 0 4 7 】

【 数 1 】

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$$

20

【 0 0 4 8 】

サンプルゲートに受信焦点を設定し、サブゲートに受信減衰点を設定するようなフィルタ重み付けベクトル W は、(数 2) および (数 3) が成立するという条件の下で、(数 4) で表される評価値 $P (W)$ を所定値未満または最小値とする列ベクトル W を探索することで求められる。上付きの H は共役転置行列であることを示す。

【 0 0 4 9 】

【 数 2 】

$$W^H a = 1$$

30

【 0 0 5 0 】

【 数 3 】

$$a = [1, 1, \dots, 1]^T$$

【 0 0 5 1 】

【 数 4 】

$$P(W) = W^H R W$$

40

【 0 0 5 2 】

(数 2) に含まれる列ベクトル a は (数 3) によって表される基準ベクトルである。基準ベクトル a は、各遅延部によって受信焦点からの伝搬時間が揃えられた検波信号 $v_1 \sim v_n$ を成分とする列ベクトルに対応する。(数 2) は、重み付け係数ベクトル W が、受信焦点から到来した検波信号に対して合成信号の値を維持するという意義を有する。

【 0 0 5 3 】

(数 4) に含まれる行列 R は、(数 5) および (数 6) によって得られる。

【 0 0 5 4 】

50

【数 5】

$$R = \begin{bmatrix} u_1 u_1^* & \cdots & u_1 u_n^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_n u_1^* & \cdots & u_n u_n^* \end{bmatrix}$$

【0055】

【数 6】

$$u_p = \exp[j2\pi f\{t - (t_p^{att} + \Delta t - t_p^f)\}] \quad 10$$

【0056】

ここで、 u_p はサブゲートに設定された受信減衰点で反射し、 p 番目の振動素子で受信される超音波に対応する。(数 6) に含まれる t は時間を表し f は超音波の周波数を表す。 t_p^{att} は、受信減衰点から第 p 番目の振動素子に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間である。 t_p^f は、受信焦点から第 p 番目の振動素子に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間である。 t は受信減衰点と受信焦点との間の距離を超音波が伝搬する時間である。

【0057】

先に送信された超音波パルスのうち受信焦点で反射してプローブに戻る超音波と、次に送信された超音波パルスのうち受信減衰点で反射してプローブに戻る超音波とが、プローブで同時に受信されるという条件では、受信焦点で反射した超音波は(数 7) のように表される。 20

【0058】

【数 7】

$$u_{p0} = \exp[j2\pi ft]$$

【0059】

すなわち、(数 6) は、受信焦点で反射した超音波が p 番目の振動素子で受信されると同時に、受信減衰点で反射した超音波が p 番目の振動素子で受信される場合において、受信減衰点で反射した超音波が、受信焦点で反射した超音波に対して位相が $2\pi f(t_p^{att} + t - t_p^f)$ だけ遅れていることを示している。 30

【0060】

ここでは、図 1 に示されているように複数の振動素子の配列方向を x 軸方向とし、被検体 14 の深さ方向を y 軸正方向とする。また、受信ビーム 16 の終点の x 座標を 0 とする。被検体 14 の深さ方向を示す y 軸正方向と受信ビーム 16 とのなす角度 θ 、 p 番目の振動素子の x 座標 x_p 、受信ビーム方向における受信焦点の位置 r_f (サンプルゲートに設定される受信焦点の位置)、および、受信ビーム方向における受信減衰点の位置 r_{att} (サブゲートに設定される受信減衰点の位置) を与えることで、 t_p^{att} および t_p^f は、それぞれ、(数 8) および (数 9) のように求められる。ここで、 c は超音波の伝搬速度である。 40

【0061】

【数 8】

$$t_p^{att} = \sqrt{(x_p - r_{att} \sin\theta)^2 + (r_{att} \cos\theta)^2} / c$$

【0062】

【数 9】

$$t_p^f = \sqrt{(x_p - r_f \sin\theta)^2 + (r_f \cos\theta)^2} / c$$

【0063】

受信減衰点から受信焦点に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間 t は、(数10)で表される。

【0064】

【数10】

$$\Delta t = (r_f - r_{att}) / c$$

【0065】

また、受信減衰点はサブゲートに設定されたため、受信減衰点の位置は(数11)で表される。なお、(数11)に含まれる $c / (2PRF)$ は基準深度 D_0 に等しい。

【0066】

【数11】

$$r_{att} = r_f - \frac{c}{2PRF}$$

【0067】

したがって、初めに、既知である受信焦点の位置 r_f 、超音波の伝搬速度 c 、および繰り返し周波数 PRF を(数11)に与えることで、サブゲートに設定される受信減衰点の位置 r_{att} が求められる。次に、受信焦点の位置 r_f 、(数11)によって既知となった受信減衰点の位置 r_{att} および超音波の伝搬速度 c を(数10)に与えることで受信減衰点から受信焦点に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間 t が求められる。そして、受信減衰点の位置 r_{att} 、 p 番目の振動素子の x 座標 x_p 、深さ方向と受信ビームとのなす角度、および超音波の伝搬速度 c を(数8)に与えることで、受信減衰点から第 p 番目の振動素子に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間 t_p^{att} が求められる。さらに、受信焦点の位置 r_f 、 p 番目の振動素子の x 座標 x_p 、深さ方向と受信ビームとのなす角度、および超音波の伝搬速度 c を(数9)に与えることで、受信焦点から第 p 番目の振動素子に至るまでの距離を超音波が伝搬する時間 t_p^f が求められる。

【0068】

このように、受信焦点の位置 r_f 、繰り返し周波数 PRF 、1番目～ n 番目の各振動素子の x 座標 $x_1 \sim x_n$ 、深さ方向と受信ビームとのなす角度、および超音波の伝搬速度 c が既知であれば、これら既知の値に基づいて不要超音波の遅延時間 $(t_p^{att} + t - t_p^f)$ が得られ、さらには(数6)で示される u_p が求められる。 $p = 1 \sim n$ のそれぞれについて u_p を求めることで、(数5)および(数4)に基づいて、ある重み付け列ベクトル W について評価値 $P(W)$ が求められる。フィルタ重み付けベクトル W は、重み付け列ベクトル W の各成分を変化させて、各評価値 $P(W)$ が所定値未満または最小値となるような重み付け列ベクトル W を探索することで求められる。

【0069】

(5) 重み付け係数決定部が実行する係数決定処理

重み付け係数決定部48が実行する処理という観点から係数決定処理について説明する。重み付け係数決定部48には、ユーザの操作に基づいて受信焦点の位置 r_f 、繰り返し周波数 PRF 、1番目～ n 番目の各振動素子の x 座標 $x_1 \sim x_n$ 、深さ方向と受信ビームとのなす角度、および超音波の伝搬速度 c が入力される。

10

20

30

40

50

【0070】

重み付け係数決定部48は、(数6)および(数8)~(数11)に基づいて、 $p = 1 \sim n$ のそれぞれについて超音波 u_p を求め、さらには、(数5)で表される相関行列 R を求める。重み付け係数決定部48は、(数2)および(数3)が成立するという条件の下で、(数4)で表される評価値 $P(W)$ を所定値未満または最小値とする列ベクトル W を探索することで、フィルタ重み付けベクトル W を求める。

【0071】

係数決定処理では、検波信号 $v_1 \sim v_n$ を用いた適応的な処理を実行する必要がないため、迅速にフィルタ重み付けベクトル W が求められる。

【0072】

(6) シミュレーション結果

図5には本実施形態に係るパルスドブラ装置についてのシミュレーション結果が示されている。このシミュレーション結果は、受信焦点を深さ80mmの位置に設定し、受信減衰点を深さ40mmの位置に設定したものである。図5(a)には、受信ビームの深さ方向について求められた受信レベルが示されている。横軸は、方位角 $= 0^\circ$ の方向についての深さを示し、縦軸は、各深さの位置に点波源を配置した場合における合成信号の大きさを示す。図5(b)には、受信ビームの方位角方向について求められた受信レベルが示されている。横軸は、深さ $y = 80$ mmについての方位角を示し、縦軸は、深さ80mmの各方位に点波源を配置した場合における合成信号の大きさを示す。

【0073】

図6には従来技術におけるパルスドブラ装置についてのシミュレーション結果が示されている。このシミュレーション結果は、本実施形態に係るパルスドブラ装置において、フィルタ重み付けベクトル W をハミング窓とした場合に相当する。図6(a)には、受信ビームの深さ方向について求められた受信レベルが示されている。横軸は、方位角 $= 0^\circ$ の方向についての深さを示し、縦軸は、各深さの位置に点波源を配置した場合における合成信号の大きさを示す。図6(b)には、受信ビームの方位角方向について求められた受信レベルが示されている。横軸は、深さ $y = 80$ mmについての方位角を示し、縦軸は、深さ80mmの各方位に点波源を配置した場合における合成信号の大きさを示す。

【0074】

図5および図6から明らかのように、本実施形態に係るパルスドブラ装置では、受信焦点で反射した超音波の受信レベルに比べて、受信減衰点で反射した超音波の受信レベルは小さい。したがって、サンプルゲートに受信焦点を設定し、サブゲートに受信減衰点を設定することで、サブゲートで反射する超音波の影響が抑制され、測定精度が向上する。

【0075】

(7) 複数ゲート測定法

本発明の実施形態に係るパルスドブラ装置は、時分割で複数の方向のそれぞれに送信ビームおよび受信ビームを向けて、各送受信ビームに対応するサンプルゲートについて血液等の運動物を測定する複数ゲート測定法を行ってもよい。複数ゲート測定法は、例えば、特許文献2に記載されている。この方法では、時分割で複数のサンプルゲートに対して運動物の速度を測定するため、複数の箇所における運動物の速度が迅速に測定される。

【0076】

図7には、送信ビームの方向を切り換え時間 T_a ごとに方位角 θ_1 の方向と、方位角 θ_2 の方向に切り換える場合の送信ビーム54-1および54-2が示されている。パルスドブラ装置は、送信ビーム54-1に対して超音波パルスを送信してから切り換え時間 T_a が経過した時に送信ビーム54-2に対して超音波パルスを送信し、さらに、切り換え時間 T_a が経過した時に送信ビーム54-1に対して超音波パルスを送信し、切り換え時間 T_a が経過した時に送信ビーム54-2に対して超音波パルスを送信するという処理を繰り返す。

【0077】

この場合、基準深度 D_a は、切り換え時間 T_a の間に超音波パルスが往復する距離 D_a

10

20

30

40

50

= $c \cdot T_a / 2$ となる。送信ビーム54 - 1に対するサンプルゲート56 - 1、および、送信ビーム54 - 2に対応するサンプルゲート56 - 2が基準深度 D_a よりも深い位置にある場合、各送受信ビームについてサブゲートが生じる。

【0078】

一般に、送信ビームおよび受信ビームの指向性には広がりがあるため、送信ビームおよび受信ビームの指向性が最大でない方向についても超音波が送受信される。そのため、各受信ビームのサブゲートで超音波が反射する場合には不要超音波が受信されることがある。

【0079】

そこで、各受信ビームについてサブゲートに受信減衰点を設け、パルスドブラ装置で受信される不要超音波を抑制することで、測定誤差が低減される。図7には、送信ビーム54 - 1に対応するサンプルゲート56 - 1およびサブゲート58 - 1に、それぞれ、受信焦点および受信減衰点が設けられ、送信ビームに対応するサンプルゲート56 - 2およびサブゲート58 - 2に、それぞれ、受信焦点および受信減衰点が設けられた例が示されている。受信焦点および受信減衰点の位置は送受信ビームごとに異なるため、送受信ビームごとに異なるフィルタ重み付けベクトル W が用いられる。

10

【0080】

(8) 変形例

(8 - 1) サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲート

上記では、サンプルゲートよりも浅い位置に生じるサブゲートに受信減衰点を設定する例について説明した。サブゲートは、サンプルゲートよりも深い位置にも生じる。すなわち、サンプルゲートを中心にして、サンプルゲートよりも浅い位置にあるサブゲートと対称である位置にもサブゲートが生じる。サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに超音波を反射する組織があると、先発の超音波パルスがサブゲートで反射して生じる不要超音波が、後発の超音波パルスがサンプルゲートで反射して生じる観測対象超音波と時間帯を重ねて受信される。そこで、サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに受信減衰点を設けてもよい。サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに設定する受信減衰点の位置は、(数12)によって求められる。

20

【0081】

【数12】

30

$$r_{att2} = r_f + \frac{c}{2PRF}$$

【0082】

サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに受信減衰点を設ける場合、サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに設定される受信減衰点につき(数6)に従って求められる u_p を(数5)に代入して、評価値 $P(W)$ を求めればよい。

【0083】

また、サンプルゲートよりも浅い位置および深い位置の両方のサブゲートに受信減衰点を設ける場合、サンプルゲートよりも浅い位置にあるサブゲートに設定される受信減衰点につき(数6)に従って求められる u_{p_s} と、サンプルゲートよりも深い位置にあるサブゲートに設定される受信減衰点につき(数6)に従って求められる u_{p_d} とを加算した $u_p = u_{p_s} + u_{p_d}$ を(数5)に代入して、評価値 $P(W)$ を求めればよい。

40

【0084】

(8 - 2) フィルタ重み付けベクトル W を求めるその他の方法

上記では、MV法に基づく係数決定処理について説明した。受信ビーム上に受信焦点および受信減衰点が設けられるような重み付け係数を求める方法には、最小ノルム法、線形予測法、MUSIC法(Multiple Signal Classification法)等、様々なものがある。

【0085】

50

(8 - 3) 整相重み付け部の変形例

遅延部 44 - 1 ~ 44 - n は、受信部 22 から合成処理部 52 に至る信号経路のいずれかの位置に設けられることで、受信ビームおよび受信焦点を形成し得る。図 8 には、図 4 に示される整相重み付け部 24 に対し、各遅延部の位置を変更した変形例が示されている。図 4 に示されている整相重み付け部 24 では、各直交検波部の前段に遅延部が設けられているのに対し、図 8 に示されている整相重み付け部 60 では、各複素乗算部の後段に遅延部が設けられている。

【 0 0 8 6 】

整相重み付け部 60 では、重み付け係数決定部 48 は、(数 2) および (数 3) で表される基準ベクトル a に代えて、(数 13) で表される基準ベクトル b が用いられる。

10

【 0 0 8 7 】

【 数 1 3 】

$$b = [e^{j2\pi f\tau_1}, e^{j2\pi f\tau_2}, \dots, e^{j2\pi f\tau_n}]^T$$

【 0 0 8 8 】

この基準ベクトル b は、各遅延部で遅延処理が施されていないことに基づき、基準ベクトル a の各成分に対して、各成分の位相が進んでいるベクトルを基準とすることを意味する。基準ベクトル b を用いることで、受信焦点から到来した検波信号に対して合成信号の値が維持される。また、 t_p^f は、(数 9) によらず、一定値 0 として係数決定処理が実行される。

20

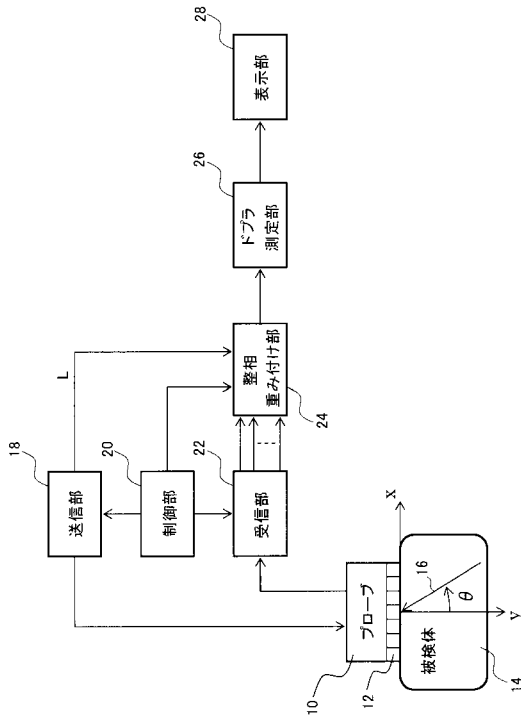
【 符号の説明 】

【 0 0 8 9 】

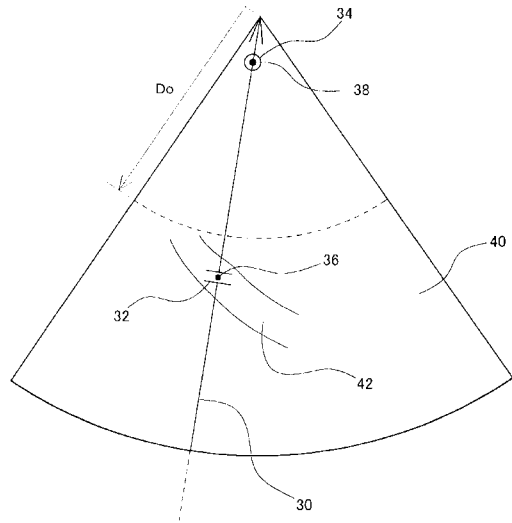
10 プロープ、12 振動素子、14 被検体、16, 30 受信ビーム、18 送信部、20 制御部、22 受信部、24, 60 整相重み付け部、26 ドブラ測定部、28 表示部、32, 56 - 1, 56 - 2 サンプルゲート、34, 58 - 1, 58 - 2 サブゲート、36 受信焦点、38 受信減衰点、40 断層画像、42 循環器、44 - 1 ~ 44 - n 遅延部、46 - 1 ~ 46 - n 直交検波部、48 重み付け係数決定部、50 - 1 ~ 50 - n 複素乗算部、52 合成処理部、54 - 1, 54 - 2 送信ビーム。

30

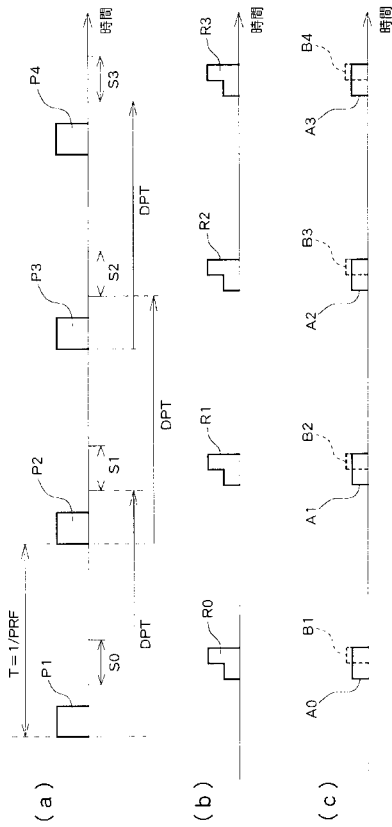
【 図 1 】



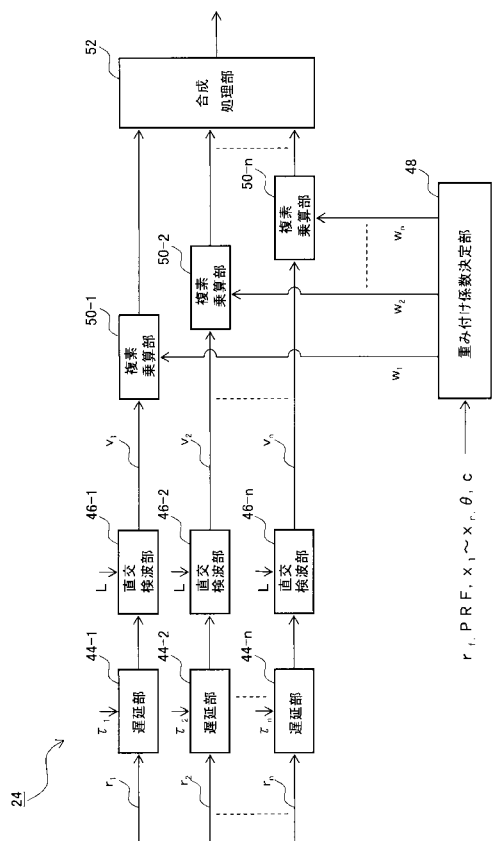
【 図 2 】



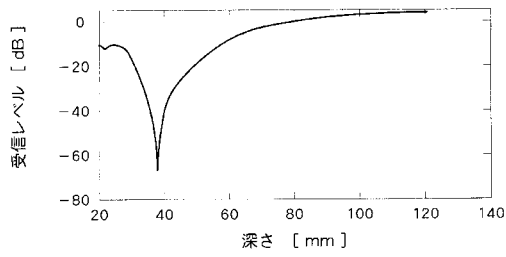
【 図 3 】



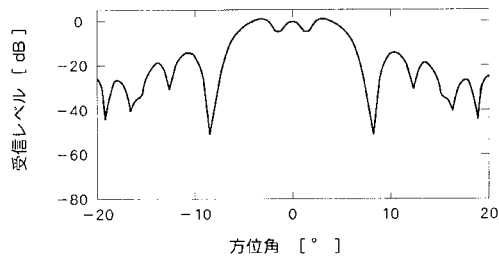
【 図 4 】



【図 5】

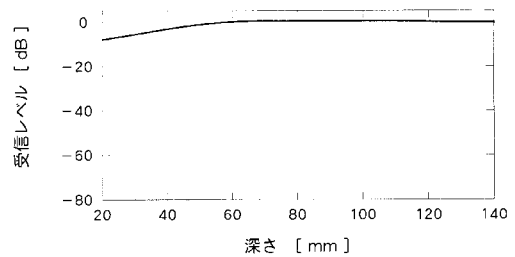


(a)

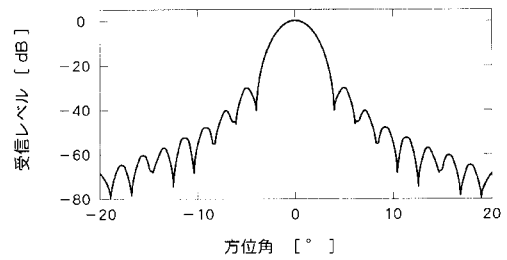


(b)

【図 6】

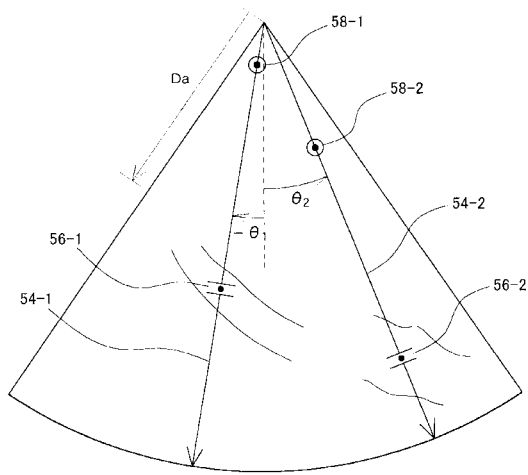


(a)



(b)

【図 7】



【図 8】

