

(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2019-33822
(P2019-33822A)

(43) 公開日 平成31年3月7日(2019.3.7)

(51) Int.Cl.
A61B 8/14 (2006.01)

F I
A61B 8/14

テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2017-155946 (P2017-155946)
(22) 出願日 平成29年8月10日 (2017.8.10)

(71) 出願人 000001270
コニカミノルタ株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
(74) 代理人 110001900
特許業務法人 ナカジマ知的財産総合事務所
(72) 発明者 津島 峰生
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
Fターム(参考) 4C601 BB06 BB21 BB22 EE09 EE22
GB04 HH21 HH25 JB01 JB34

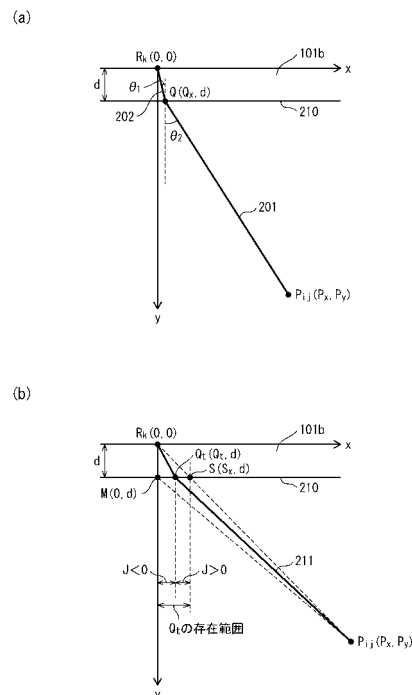
(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波診断装置、および、超音波信号処理方法

(57) 【要約】

【課題】受信ビームフォーミングにおいて、補正值データによらず、精度の高い音響レンズ補正を行うことのできる超音波信号処理装置を提供する。

【解決手段】超音波プローブを用いて送信超音波を被検体内に送信する送信部と、超音波プローブが受信した被検体からの反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成する受信部と、被検体内の複数の観測点について、受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する整相加算部とを備える超音波信号処理装置において、超音波プローブは、振動子と被検体との間に音響レンズを備え、整相加算部は、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、反射超音波が観測点から振動子に到達するまでの受信時間を算出する受信時間算出部を含み、受信時間算出部は、音響レンズと被検体との界面である屈折面上における振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、受信時間を算出する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の振動子と音響レンズとを備えた超音波プローブを被検体に接合することで超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて音響線信号を生成する超音波信号処理装置であって、

前記超音波プローブを用いて送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、

前記超音波プローブが受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成する受信部と、

前記被検体内の複数の観測点について、前記受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する整相加算部とを備え、

前記整相加算部は、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、前記反射超音波が前記観測点から前記振動子に到達するまでの受信時間を算出する受信時間算出部を含み、

前記音響レンズ内における超音波速度は、前記被検体のうち前記音響レンズと接する領域における超音波速度より遅く、

前記受信時間算出部は、前記音響レンズと前記被検体との境界面である屈折面上における前記振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、前記観測点から前記振動子まで超音波が伝搬する前記受信時間を算出する

ことを特徴とする超音波信号処理装置。

【請求項 2】

前記受信時間算出部は、前記屈折面上に、前記最大屈折点を含む複数の経路候補点を設定し、

それぞれの経路候補点について、前記観測点から前記経路候補点を經由して前記振動子に到達する経路における、前記屈折面に対する超音波の入射角と出射角とを算出し、

前記屈折面より前記観測点側と前記屈折面より前記観測点側との間の超音波の伝播速度比から満たされるべき入射角と出射角との関係に近い、前記入射角と前記出射角との関係とに対応する経路観測点を特定し、当該経路観測点を經由する前記観測点から前記振動子までの経路に基づいて、前記受信時間を算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 3】

前記受信時間算出部は、前記最大屈折点を第 1 の経路候補点としたとき、前記最大屈折点から前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線側に所定距離離れた前記屈折面上の点を第 2 の経路候補点とし、

第 n の経路候補点 (n は 2 以上の整数) を經由する経路における前記入射角が過大である場合には第 n の経路候補点から、第 n の経路候補点を經由する経路における前記入射角が過小である場合には第 $(n - 1)$ 番目の経路候補点から、前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線側に、第 n の経路候補点と第 $(n - 1)$ の経路候補点との距離の $1 / 2$ だけ離れた前記屈折面上の点を第 $(n + 1)$ の経路候補点とする

請求項 2 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 4】

前記受信時間算出部は、前記屈折面上に、前記最大屈折点を含む複数の経路候補点を設定し、

それぞれの経路候補点について、前記観測点から前記経路候補点を經由して前記振動子に到達する経路における超音波の伝搬所要時間を算出し、

前記複数の伝搬所要時間のうち、最も小さい値を、前記受信時間として算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 5】

前記受信時間算出部は、前記屈折面と、前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線との交点を経路算出点として特定し、

前記観測点から、前記最大屈折点と前記経路算出点との少なくとも一方までの経路を用いて第 1 時間を算出し、

10

20

30

40

50

最大屈折点と前記経路算出点との少なくとも一方から、前記振動子までの経路を用いて第2時間を算出し、

前記第1時間と前記第2時間とを用いて前記受信時間を算出する

ことを特徴とする請求項1に記載の超音波信号処理装置。

【請求項6】

前記受信時間算出部は、

前記観測点から前記最大屈折点までの経路を超音波が通過する時間と、前記観測点から前記経路算出点の経路を超音波が通過する時間との一次結合により、前記第1時間を算出する

ことを特徴とする請求項5に記載の超音波信号処理装置。

10

【請求項7】

前記受信時間算出部は、

前記最大屈折点から前記振動子までの経路を超音波が通過する時間と、前記経路算出点から前記振動子の経路を超音波が通過する時間との一次結合により、前記第2時間を算出する

ことを特徴とする請求項5または6に記載の超音波信号処理装置。

【請求項8】

音響レンズを備える超音波プローブと、

請求項1から7のいずれか1項に記載の超音波信号処理装置と

を備えることを特徴とする超音波診断装置。

20

【請求項9】

複数の振動子と音響レンズとを備えた超音波プローブを被検体に接合することで超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて音響線信号を生成する超音波信号処理方法であって、

前記超音波プローブを用いて送信超音波を前記被検体内に送信し、

前記超音波プローブが受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成し、

前記被検体内の複数の観測点について、前記受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する

方法であり、

30

前記整相加算において、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、前記反射超音波が前記観測点から前記振動子に到達するまでの受信時間を算出し、

前記音響レンズ内における超音波速度は、前記被検体のうち前記音響レンズと接する領域における超音波速度より遅く、

前記受信時間の算出において、前記音響レンズと前記被検体との境界面である屈折面上における前記振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、前記観測点から前記振動子まで超音波が伝搬するのに必要な時間の最小値である前記受信時間を算出する

ことを特徴とする超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本開示は、超音波信号処理装置、および、それを備えた超音波診断装置に関し、特に、超音波信号処理装置における受信ビームフォーミング処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波診断装置は、超音波プローブ（以後、「プローブ」とする）により被検体内部に超音波を送信し、被検体組織の音響インピーダンスの差異により生じる超音波反射波（エコー）を受信する。さらに、この受信から得た電気信号に基づいて、被検体の内部組織の構造を示す超音波断層画像を生成し、モニタ（以後、「表示部」とする）上に表示するものである。超音波診断装置は、被検体への侵襲が少なく、リアルタイムに体内組織の状態

50

を断層画像などで観察できるため、生体の形態診断に広く用いられている。

【0003】

超音波診断装置では、受信した反射超音波に基づく信号の受信ビームフォーミングとして、一般的に、整相加算法と呼ばれる方法が使用されている（例えば、非特許文献1）。より具体的には、複数の振動子によって反射超音波を受信し、反射超音波の伝搬経路を加味した遅延処理により受信ビームフォーミングを行うというものである。これにより、得られる音響線信号の空間分解能及び信号S/N比の向上を図ることができる。

【0004】

一方、超音波プローブには、各振動子と被検体との間に音響レンズが設けられている。この音響レンズは被検体とは音速が異なるため、音響レンズと被検体との界面で超音波の屈折が生じる。そのため、音響レンズの存在を考慮した上で、反射超音波の伝搬経路を特定して受信ビームフォーミングを行う必要がある。反射超音波の伝搬経路はピタゴラスの定理、スネルの法則を用いることで特定は可能であるが、演算量が大きいため、従来は事前計算による補正値を適用する手法が使用されている（例えば、特許文献1）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2017-547号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】伊東正安、望月剛共著「超音波診断装置」コロナ社出版、2002年8月26日（P42 - P45）

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、音響レンズが存在しない前提の遅延量に、事前計算による補正値を適用する手法では、補正値データの量に受信ビームフォーミングの精度が依存することとなる。これは、音響レンズによる影響の程度は観測点と受信振動子の相対的位置関係によって異なるため、全ての観測点、全ての受信振動子に対して1つの補正値を適用することができないためである。つまり、観測点の密度を向上させたり補正値の精度を向上させたりするためには、より多くの観測点と受信振動子との相対的な位置関係に対応した、より多くの補正値データが必要となる。したがって、補正値データの量が少ない場合には受信ビームフォーミングの精度が向上しない一方で、受信ビームフォーミングの精度を向上させるには多くの補正値データが必要となる。つまり、補正値データの量と受信ビームフォーミングの精度は、互いにトレードオフの関係性を有する。

30

【0008】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、より精度の高い音響レンズ補正を行うことのできる受信ビームフォーミングを行う超音波信号処理装置、及び、それを用いた超音波診断装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【0009】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置は、複数の振動子と音響レンズとを備えた超音波プローブを被検体に接合することで超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて音響線信号を生成する超音波信号処理装置であって、前記超音波プローブを用いて送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、前記超音波プローブが受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成する受信部と、前記被検体内の複数の観測点について、前記受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する整相加算部とを備え、前記整相加算部は、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、前記反射超音波が前記観測点から前記振動子に到達するまでの受信時間を算出する受信時間算出部を含み、前記音響レンズ内における超音波速度は、前記被検体のうち前記音響レンズと接

50

する領域における超音波速度より遅く、前記受信時間算出部は、前記音響レンズと前記被検体との境界面である屈折面上における前記振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、前記観測点から前記振動子まで超音波が伝搬する前記受信時間を算出することを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置、及び、それを用いた超音波診断装置によれば、補正值データに依存することなく各観測点および各振動子について受信時間の算出精度を向上できるため、受信ビームフォーミングにおいて、得られる音響線信号のS/N比および空間解像度を向上させることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1に係る超音波診断装置100の構成を示す機能ブロック図である。

【図2】実施の形態1に係るプローブ101の概略図である。

【図3】(a)は整相加算の処理を示す概略断面図であり、(b)は音響レンズによる影響を示す概略断面図である。

【図4】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】実施の形態1に係る整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。

【図6】実施の形態1に係る反射超音波の伝搬経路を示す模式図である。

20

【図7】実施の形態1に係る屈折点 Q_t を検索する処理を説明する模式図である。

【図8】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部104の音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

【図9】実施の形態1に係る受信時間算出部1045の受信時間算出動作を示すフローチャートである。

【図10】変形例1に係る反射超音波の伝搬経路を示す模式図である。

【図11】実施の形態2に係る屈折点 Q_t を検索する処理を説明する模式図である。

【図12】実施の形態2に係る受信時間算出部の受信時間算出動作を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態3に係る反射超音波の伝搬経路を示す模式図である。

30

【図14】実施例および比較例に係る超音波画像である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

発明を実施するための形態に至った経緯

発明者は、演算量を大きく増加させることなく、受信ビームフォーミングの精度を向上するために各種の検討を行った。

整相加算法では、観測点Pからの反射超音波を複数の受信振動子で受信して受信信号列を生成し、観測点Pからの反射超音波に基づく信号の位相が合うように遅延処理を行って合成を行うことで、S/N比の向上を行う。図3(a)は、整相加算の原理を示す概略断面図である。図3(a)に示すように、観測点Pからの反射超音波は、複数の受信振動子で受信される。そして、遅延部により遅延処理を行ってから加算を行い、音響線信号が生成される。ここで、遅延処理では、観測点と受信振動子との距離に基づく処理が行われる。例えば、観測点Pと受信振動子Cとの距離を d_c 、観測点Pと受信振動子Mとの距離を d_m 、被検体内の超音波速度を v としたとき、観測点Pからの反射波が受信振動子Mに届く時刻は、観測点Pからの反射波が受信振動子Cに届く時刻と比べて $(d_m - d_c) / v$ だけ遅い。したがって、同一の観測点Pからの反射波に対する受信振動子間の到達時刻の差を打ち消すような遅延処理を行うことで、観測点Pからの反射波に基づく音響線信号を生成することができる。

40

【0013】

一方、上述したように、音響レンズは被検体とは音速が異なるため、反射超音波の伝搬

50

経路に影響を与える。典型的には、音響レンズは、振動子の並ぶ向きを軸方向とする円柱レンズであり、レンズとして機能するため被検体に対して屈折率が高い（音速が遅い）。この音響レンズは、振動子の並ぶ向きにおいては厚みが一定の板となるため、超音波の伝搬する向きが音響レンズの表面に対して直交しない場合、屈折によって、音響レンズと被検体との界面で超音波の伝搬する向きが変化する。図3(b)は、音響レンズが存在する場合の超音波の伝搬経路を示す概略断面図である。図3(b)に示すように、観測点Pと受信振動子mを結ぶ直線に沿った経路 d_{mf} が音響レンズの表面に対して直交しない場合、実際の超音波の伝搬経路は経路 d_{mt} に沿って進むこととなる。一般に、音響レンズ内の音速は被検体内の音速より遅いため、超音波が被検体における超音波速度で経路 d_{mf} に沿って進むのに必要な時間と比べ、実際に超音波が経路 d_{mt} に沿って進む時間の方が遅い。したがって、音響レンズを考慮せずに整相加算を行った場合、計算上の遅延時間と、実際の受信振動子間の超音波の到達時刻の差とが一致しなくなる。そのため、観測点Pからの反射超音波に基づく複数の信号に遅延処理を行っても受信時刻や信号の位相が十分に揃わず、S/N比が低下していわゆる「フォーカスが甘い」状態を引き起こすこととなる。

10

20

30

40

50

【0014】

一方、音響レンズを考慮した受信時間の算出は、観測点ごと、かつ、振動子ごとに行う必要があるため、演算量が大きという既知の課題がある。そこで、特許文献1では、音響レンズが存在しない前提の遅延量に、事前計算による補正値を適用する手法を用いている。しかしながら、音響レンズによる影響は、観測点と受信振動子との相対的位置関係により異なるため、全ての観測点、かつ、全ての振動子に対して正確な補正値を適用するためには、膨大な補正値のデータベースが必要となる。すなわち、音響レンズ補正の精度とデータベース容量との間にトレードオフの関係が存在することとなる。

【0015】

そこで、発明者は、演算量を大きく増加させることなく、受信ビームフォーミングの精度を向上する方法について模索し、低負荷な演算により観測点ごと、かつ、振動子ごとの受信時間を算出する方法について検討し、本開示の態様に至ったものである。

以下、実施の形態に係る超音波画像処理方法及びそれを用いた超音波診断装置について図面を用いて詳細に説明する。

【0016】

実施の形態1

以下、実施の形態1に係る超音波診断装置100について、図面を参照しながら説明する。

図1は、実施の形態1に係る超音波診断システム1000の機能ブロック図である。図1に示すように、超音波診断システム1000は、被検体に向けて超音波を送信しその反射波の受信する複数の振動子101aを有するプローブ101、プローブ101に超音波の送受信を行わせプローブ101からの出力信号に基づき超音波画像を生成する超音波診断装置100、超音波画像を画面上に表示する表示部106を有する。プローブ101、表示部106は、それぞれ、超音波診断装置100に各々接続可能に構成されている。図1は超音波診断装置100に、プローブ101、表示部106が接続された状態を示している。なお、プローブ101と、表示部106とは、超音波診断装置100の内部にあってもよい。

【0017】

< 超音波診断装置100の構成 >

超音波診断装置100は、プローブ101の複数の振動子101aのうち、送信又は受信の際に用いる振動子を各々に選択し、選択された振動子に対する入出力を確保するマルチプレクサ部102と、超音波の送信を行うためにプローブ101の各振動子101aに対する高電圧印加のタイミングを制御する送信ビームフォーマ部103と、プローブ101で受信した超音波の反射波に基づき、複数の振動子101aで得られた電気信号を増幅し、A/D変換し、受信ビームフォーミングして音響線信号を生成する受信ビームフォーマ部104を有する。また、受信ビームフォーマ部104からの出力信号に基づいて超

音波画像（Bモード画像）を生成する超音波画像生成部105、受信ビームフォーマ部104が出力する音響線信号及び超音波画像生成部105が出力する超音波画像を保存するデータ格納部107と、各構成要素を制御する制御部108を備える。

【0018】

このうち、マルチプレクサ部102、送信ビームフォーマ部103、受信ビームフォーマ部104、超音波画像生成部105は、超音波信号処理装置150を構成する。

超音波診断装置100を構成する各要素、例えば、マルチプレクサ部102、送信ビームフォーマ部103、受信ビームフォーマ部104、超音波画像生成部105、制御部108は、それぞれ、例えば、FPGA（Field Programmable Gate Array）、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）などのハードウェア回路により実現される。あるいは、プロセッサなどのプログラマブルデバイスとソフトウェアにより実現される構成であってもよい。プロセッサとしてはCPU（Central Processing Unit）やGPUを用いることができ、GPUを用いる構成はGPU（General Purpose computing on Graphics Processing Unit）と呼ばれる。これらの構成要素は一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。また、複数の構成要素を組合せて一個の回路部品とすることができるし、複数の回路部品の集合体にすることもできる。

10

【0019】

データ格納部107は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であり、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、MO、DVD、DVD-RAM、BD、半導体メモリ等を用いることができる。また、データ格納部107は、超音波診断装置100に外部から接続された記憶装置であってもよい。

20

なお、本実施の形態に係る超音波診断装置100は、図1で示した構成の超音波診断装置に限定されない。例えば、マルチプレクサ部102がなく、送信ビームフォーマ部103と受信ビームフォーマ部104とが直接、プローブ101の各振動子101aに接続されていてもよい。また、プローブ101に送信ビームフォーマ部103や受信ビームフォーマ部104、またその一部などが内蔵される構成であってもよい。これは、本実施の形態に係る超音波診断装置100に限られず、後に説明する他の実施の形態や変形例に係る超音波診断装置でも同様である。

30

【0020】

<プローブ101の構成>

図2(a)は、プローブ101の外観図である。プローブ101は、1次元方向（図中のx方向）に配列された複数の振動子101aと、音響レンズ101bとを備える。つまり、プローブ101は、複数の振動子101aが直線状に配されたりニアプローブである。

【0021】

振動子101aのそれぞれは、送信ビームフォーマ部103からマルチプレクサ部102を介して供給される駆動信号を超音波に変換し、また、受信した超音波を電気信号に変換しマルチプレクサ部102を介して受信ビームフォーマ部104に出力する機能を有する圧電素子である。

40

音響レンズ101bは、振動子101aの並ぶ向きと直交する向き（図中のz方向）の送受信ビームフォーミングを行うためのレンズである。具体的には、被検体表面より音速の小さい素材（すなわち、被検体表面に対する比屈折率の高い素材）からなり、x軸を軸方向とする円柱レンズである。これにより、図2(b)に示すように、振動子101aから送出された超音波は、yz平面において、拡散せずある程度集束したビームとなる。なお、図2(b)には示していないが、受信ビームフォーミングにおいても、yz平面において、超音波の照射領域内の観測点からの反射超音波を受信することができる。

【0022】

<超音波診断装置100の主要部の構成>

50

実施の形態1に係る超音波診断装置100は、プローブ101の各振動子101aから超音波送信を行わせる送信ビームフォーマ部103と、プローブ101での超音波反射波の受信から得た電気信号を演算して超音波画像を生成するための音響線信号を生成する受信ビームフォーマ部104に特徴を有する。そのため、本明細書では、主に、送信ビームフォーマ部103及び受信ビームフォーマ部104について、その構成及び機能を説明する。なお、送信ビームフォーマ部103及び受信ビームフォーマ部104以外の構成については、公知の超音波診断装置に使われるものと同じ構成を適用可能であり、公知の超音波診断装置のビームフォーマ部に本実施の形態に係るビームフォーマ部を置き換えて使用することが可能である。

【0023】

以下、送信ビームフォーマ部103と、受信ビームフォーマ部104の構成について説明する。

1. 送信ビームフォーマ部103

送信ビームフォーマ部103は、マルチプレクサ部102を介してプローブ101と接続され、プローブ101から超音波の送信を行うためにプローブ101に存する複数の振動子101aの全てもしくは一部に当たる送信振動子列からなる送信開口Txに含まれる複数の振動子の各々に対する高電圧印加のタイミングを制御する。送信ビームフォーマ部103は送信部1031から構成される。

【0024】

送信部1031は、制御部108からの送信制御信号に基づき、プローブ101に存する複数の振動子101a中、送信開口Txに含まれる各振動子に超音波ビームを送信させるためのパルス状の送信信号を供給する送信処理を行う。具体的には、送信部1031は、例えば、クロック発生回路、パルス発生回路、遅延回路を備えている。クロック発生回路は、超音波ビームの送信タイミングを決定するクロック信号を発生させる回路である。パルス発生回路は、各振動子を駆動するパルス信号を発生させるための回路である。遅延回路は、超音波ビームの送信タイミングを振動子毎に遅延時間を設定し、遅延時間だけ超音波ビームの送信を遅延させることで所望の形状の波面を形成することにより超音波ビームの送信ビームフォーミングを行うための回路である。送信開口Txを構成する振動子の数としては、例えば、プローブ101に存する振動子101a全数を192としたとき、20~100を選択することができる。

【0025】

送信ビームフォーマ部103において、送信開口Txの中心に位置する振動子ほど送信タイミングを遅らせるように各振動子の送信タイミングを制御する。これにより、送信開口Tx内の振動子列から送信された超音波送信波は、被検体のある深度(Focal depth)において、波面がある一点、すなわち送信フォーカス点F(Focal point)で、フォーカスがあう(集束する)状態となる。送信フォーカス点Fの深さ(Focal depth)は、任意に設定することができる。送信フォーカス点Fで合焦した波面は、再び拡散し、送信開口Txを底とし送信フォーカス点Fを節とする交差する2つの直線で区切られた砂時計型の空間内を超音波送信波が伝搬する。すなわち、送信開口Txで放射された超音波は、次第にその空間上での幅(x方向)を小さくし、送信フォーカス点Fでその幅を最小化し、それよりも深部(y方向)に進行するにしたがって、再び、その幅を大きくしながら拡散し、伝搬することとなる。この砂時計型の領域が超音波主照射領域である。

【0026】

または、例えば、送信ビームフォーマ部103において、送信開口Tx内の全ての振動子の送信タイミングを一致させるように各振動子の送信タイミングを制御してもよい。または、例えば、送信ビームフォーマ部103において、隣接する振動子の送信タイミングの差が一定となるように各振動子の送信タイミングを制御してもよい。これにより、送信開口Tx内の振動子から送信された超音波送信波は、波面がx方向に対して一定の傾斜角(0であってもよい)を持つ直線である平面波となる。そのため、超音波主照射領域は、

10

20

30

40

50

送信開口Txを一つの辺とする長方形または平行四辺形の領域となる

2. 受信ビームフォーマ部104の構成

受信ビームフォーマ部104は、プローブ101で受信した超音波の反射波に基づき、複数の振動子101aで得られた電気信号から音響線信号を生成する。なお、「音響線信号」とは、ある観測点に対する、整相加算処理がされた後の信号である。整相加算処理については後述する。図4は、受信ビームフォーマ部104の構成を示す機能ブロック図である。図4に示すように、受信ビームフォーマ部104は、受信部1040と整相加算部1041とを備える。

【0027】

以下、受信ビームフォーマ部104を構成する各部の構成について説明する。

10

(1) 受信部1040

受信部1040は、マルチプレクサ部102を介してプローブ101と接続され、送信イベントに同期してプローブ101での超音波反射波の受信から得た電気信号を増幅した後AD変換した受信信号(RF信号)を生成する回路である。送信イベントの順に時系列に受信信号を生成しデータ格納部107に出力し、データ格納部107に受信信号を保存する。

【0028】

ここで、受信信号(RF信号)とは、各振動子にて受信された反射超音波から変換された電気信号をA/D変換したデジタル信号であり、各振動子にて受信された超音波の送信方向(被検体の深さ方向)に連なった信号の列を形成している。

20

上述のとおり、送信部1031は、プローブ101に存する複数の振動子101a中、送信開口Txに含まれる複数の振動子の各々に超音波ビームを送信させる。これに対し、受信部1040は、超音波ビームの送信に同期してプローブ101に存する複数の振動子101aの一部又は全部にあたる振動子の各々が得た反射超音波に基づいて、各振動子に対する受信信号の列を生成する。ここで、反射超音波を受波する振動子を「受波振動子」と称呼する。受波振動子の数は、送信開口Txに含まれる振動子の数よりも多いことが好ましい。また、受波振動子の数はプローブ101に存する振動子101aの全数としてもよい。

【0029】

(2) 整相加算部1041

30

整相加算部1041は、超音波ビームの送信に同期して、被検体内においてサブフレーム音響線信号の生成を行う複数の観測点 P_{ij} を設定する。次に、観測点 P_{ij} のそれぞれについて、観測点から各受信振動子 R_k が受信した受信信号列を整相加算する。そして、各観測点における音響線信号を生成する回路である。図5は、整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。図5に示すように、整相加算部1041は、観測点設定部1042、受信開口設定部1043、送信時間算出部1044、受信時間算出部1045、遅延量算出部1046、遅延処理部1047、重み算出部1048、及び加算部1049を備える。

【0030】

以下、整相加算部1041を構成する各部の構成について説明する。

40

i) 観測点設定部1042

観測点設定部1042は、被検体内において音響線信号の生成を行う対象である複数の観測点 P_{ij} を設定する。観測点 P_{ij} は、音響線信号の生成が行われる観測対象点として、超音波ビームの送信に同期して計算の便宜上設定される。

【0031】

ここで、「音響線信号群」とは、超音波ビームの送信に同期して設定される全ての観測点 P_{ij} に対する音響線信号の集合である。すなわち、音響線信号群は、1回の超音波ビームの送信とそれに伴う受信処理により得られる、観測点 P_{ij} に対応するまとまった信号を形成する単位をさす。なお、超音波診断装置100の1フレーム分の音響線信号は、1の音響線信号群からなってもよいし、複数の音響線信号群からなってもよい。

50

【 0 0 3 2 】

観測点設定部 1 0 4 2 は、超音波ビームの送信に同期して、送信ビームフォーマ部 1 0 3 から取得する送信開口 T_x の位置を示す情報に基づき複数の観測点 P_{ij} を設定する。より具体的には、観測点設定部 1 0 4 2 は、送信開口 T_x の位置から特定される超音波主照射領域内に、複数の観測点 P_{ij} を設定する。

設定された観測点 P_{ij} は送信時間算出部 1 0 4 4、受信時間算出部 1 0 4 5、遅延処理部 1 0 4 7 に出力される。

【 0 0 3 3 】

i i) 受信開口設定部 1 0 4 3

受信開口設定部 1 0 4 3 は、制御部 1 0 8 からの制御信号と、送信ビームフォーマ部 1 0 3 からの送信開口 T_x の位置を示す情報とに基づき、プローブ 1 0 1 に存する複数の振動子の一部または全部の振動子列（受信振動子列）を受信振動子として設定して受信開口 R_x を設定する回路である。

【 0 0 3 4 】

受信開口 R_x は、例えば、列中心が観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子と合致するように選択することができる（観測点同期型）。この場合、観測点 P_{ij} ごとに受信開口 R_x が設定される。または、例えば、送信開口 T_x の列中心と受信開口 R_x の列中心とが一致するように受信開口 R_x を設定してもよい（送信開口同期型）。この場合、超音波ビームの送信に同期して、受信開口 R_x が設定される。

【 0 0 3 5 】

いずれの場合においても、超音波主照射領域全体からの反射波を受信するために、受信開口 R_x に含まれる振動子の数は、対応する送信イベントにおける送信開口 T_x に含まれる振動子の数以上に設定することが好ましい。受信開口 R_x を構成する振動子列の数は、例えば 3 2、6 4、9 6、1 2 8、1 9 2 等としてもよい。

選択された受信開口 R_x の位置を示す情報は制御部 1 0 8 を介してデータ格納部 1 0 7 に出力される。

【 0 0 3 6 】

データ格納部 1 0 7 は、受信開口 R_x の位置を示す情報と受信振動子に対応する受信信号とを、送信時間算出部 1 0 4 4、受信時間算出部 1 0 4 5、遅延処理部 1 0 4 7、重み算出部 1 0 4 8 に出力する。

i i i) 送信時間算出部 1 0 4 4

送信時間算出部 1 0 4 4 は、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} のそれぞれに到達する送信時間を算出する回路である。送信時間算出部 1 0 4 4 は、データ格納部 1 0 7 から取得した送信開口 T_x に含まれる振動子の位置を示す情報と、観測点設定部 1 0 4 2 から取得した観測点 P_{ij} の位置を示す情報とに基づき、各観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} に到達する送信時間を算出する。送信時間算出部 1 0 4 4 は、例えば、幾何学的に算出される送信開口 T_x と観測点 P_{ij} との距離に基づき、送信時間を算出する。

【 0 0 3 7 】

送信時間算出部 1 0 4 4 は、超音波ビームの送信に同期して、全ての観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} に到達する送信時間を算出して遅延量算出部 1 0 4 6 に出力する。

i v) 受信時間算出部 1 0 4 5

受信時間算出部 1 0 4 5 は、観測点 P_{ij} からの反射波が、受信開口 R_x に含まれる受信振動子 R_k の各々に到達する受信時間を算出する回路である。受信時間算出部 1 0 4 5 は、超音波ビームの送信に同期して、データ格納部 1 0 7 から取得した受信振動子 R_k の位置を示す情報と、観測点設定部 1 0 4 2 から取得した観測点 P_{ij} の位置を示す情報に基づき、送信された超音波が被検体中の観測点 P_{ij} で反射され受信開口 R_x の各受信振動子 R_k に到達する受信時間を算出する。詳細は後述する。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

受信時間算出部 1045 は、超音波ビームの送信に同期して、全ての観測点 P_{ij} について、送信された超音波が観測点 P_{ij} で反射して各受信振動子 R_k に到達する受信時間を算出して遅延量算出部 1046 に出力する。

v) 遅延量算出部 1046

遅延量算出部 1046 は、送信時間と受信時間とから受信開口 R_x 内の各受信振動子 R_i への総伝播時間を算出し、当該総伝播時間に基づいて、各受信振動子 R_k に対する受信信号の列に適用する遅延量を算出する回路である。遅延量算出部 1046 は、送信時間算出部 1044 から送信された超音波が観測点 P_{ij} に到達する送信時間と、観測点 P_{ij} で反射して各受信振動子 R_k に到達する受信時間を取得する。そして、送信された超音波が各受信振動子 R_k へ到達するまでの総伝播時間を算出し、各受信振動子 R_k に対する総伝播時間の差異により、各受信振動子 R_k に対する遅延量を算出する。遅延量算出部 1046 は、全ての観測点 P_{ij} について、各受信振動子 R_k に対する受信信号の列に適用する遅延量を算出して遅延処理部 1047 に出力する。

10

【0039】

vi) 遅延処理部 1047

遅延処理部 1047 は、受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k に対する受信信号の列から、各受信振動子 R_k に対する遅延量に相当する受信信号を、観測点 P_{ij} からの反射超音波に基づく各受信振動子 R_k に対応する受信信号として同定する回路である。

遅延処理部 1047 は、超音波ビームの送信に同期して、受信開口設定部 1043 から受信振動子 R_k の位置を示す情報、データ格納部 107 から受信振動子 R_k に対応する受信信号、観測点設定部 1042 から取得した観測点 P_{ij} の位置を示す情報、遅延量算出部 1046 から各受信振動子 R_k に対する受信信号の列に適用する遅延量を入力として取得する。そして、各受信振動子 R_k に対応する受信信号の列から、各受信振動子 R_k に対する遅延量を差引いた時間に対応する受信信号を観測点 P_{ij} からの反射波に基づく受信信号として同定し、加算部 1049 に出力する。

20

【0040】

vii) 重み算出部 1048

重み算出部 1048 は、受信開口 R_x の列方向の中心に位置する振動子に対する重みが最大となるよう各受信振動子 R_k に対する重み数列（受信アポダイゼーション）を算出する回路である。重み数列は受信開口 R_x 内の各振動子に対応する受信信号に適用される重み係数の数列である。重み数列は、送信フォーカス点 F を中心として対称な分布をなす。重み数列の分布の形状は、ハミング窓、ハニング窓、矩形窓などを用いることができ、分布の形状は特に限定されない。重み数列は、受信開口 R_x の列方向の中心に位置する振動子に対する重みが最大となるように設定され、重みの分布の中心軸は、受信開口中心軸 R_{x0} と一致する。重み算出部 1048 は、受信開口設定部 1043 から出力される受信振動子 R_k の位置を示す情報を入力として、各受信振動子 R_k に対する重み数列を算出し加算部 1049 に出力する。

30

【0041】

viii) 加算部 1049

加算部 1049 は、遅延処理部 1047 から出力される各受信振動子 R_k に対応して同定された受信信号を入力として、それらを加算して、観測点 P_{ij} に対する整相加算された音響線信号を生成する回路である。あるいは、さらに、重み算出部 1048 から出力される各受信振動子 R_k に対する重み数列を入力として、各受信振動子 R_k に対応して同定された受信信号に、各受信振動子 R_k に対する重みを乗じて加算して、観測点 P_{ij} に対する音響線信号を生成する構成としてもよい。遅延処理部 1047 において受信開口 R_x 内に位置する各受信振動子 R_k が検出した受信信号の位相を整えて加算部 1049 にて加算処理をすることにより、観測点 P_{ij} からの反射波に基づいて各受信振動子 R_k で受信した受信信号を重ね合わせてその信号 S/N 比を増加し、観測点 P_{ij} からの受信信号を抽出することができる。

40

【0042】

50

1回の超音波ビームの送信とそれに伴う処理から、全ての観測点 P_{ij} について音響線信号を生成することができる。

< 受信時間の算出 >

以下、受信時間算出部 1045 における、受信時間の算出処理について、より詳細に説明する。

【0043】

図6(a)は、観測点 P_{ij} からの反射波が、受信振動子 R_k に到達する経路を示す模式図である。ここで、被検体と音響レンズ 101b との境界面である屈折面 210 と、反射超音波の伝搬経路との交点を經由点 Q とする。このとき、観測点 P_{ij} から經由点 Q に至る被検体内の超音波経路 201 の屈折面 210 に対する入射角を θ_2 、經由点 Q から受信振動子 R_k に至る音響レンズ 101b 内の超音波経路 202 に対する出射角を θ_1 としたとき、スネルの法則から以下の式(1)が成立する。

10

【0044】

【数1】

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

ここで、 v_1 は音響レンズ内の音速、 v_2 は被検体内の音速、 n_{21} は音響レンズに対する被

20

検体の比屈折率である。

上記式(1)から、当然に以下の式(2)が成立する。

【0045】

【数2】

$$\sin^2 \theta_1 - n_{21}^2 \sin^2 \theta_2 = 0$$

ここで、音響レンズ 101b の厚さを d とし、 x 軸(素子列方向)、 y 軸(深さ方向)について、 R_k を原点 $(0, 0)$ 、 P_{ij} を (P_x, P_y) 、 Q を (Q_x, d) とする(ここで、 $P_x > 0$ 、 $P_y > 0$ である)。このとき、 $\sin \theta_1$ 、 $\sin \theta_2$ は、それぞれ、以下の式(3)、(4)を満たす。

30

【0046】

【数3】

$$\sin \theta_1 = \frac{Q_x}{\sqrt{d^2 + Q_x^2}}$$

【0047】

【数4】

$$\sin \theta_2 = \frac{P_x - Q_x}{\sqrt{(P_y - d)^2 + (P_x - Q_x)^2}}$$

40

上述の式(3)、(4)を式(2)に代入し、分母を整理すると以下の式(5)となる。

【0048】

【数5】

$$Q_x^2 \{(P_y - d)^2 + (P_x - Q_x)^2\} - n_{21}^2 (P_x - Q_x)^2 (d^2 + Q_x^2) = 0$$

ここで、下記の式(6)のように評価関数 $J(Q_x)$ を定義する。

【0049】

【数6】

$$J(Q_x) = Q_x^2 \{(P_y - d)^2 + (P_x - Q_x)^2\} - n_{21}^2 (P_x - Q_x)^2 (d^2 + Q_x^2)$$

10

$J(Q_x)$ は式(5)の左辺であるから、経路点 $Q(Q_x, d)$ がスネルの法則を満たす屈折点 $Q_t(Q_t, d)$ である場合には、 $J(Q_x) = 0$ となる。一方で、 $J(Q_x) > 0$ であるということは、式(2)から、 θ_1 がスネルの法則により定まる値より大きい (θ_2 がスネルの法則により定まる値より小さい) ことを示すから、 $Q_x > Q_t$ であることを示す。逆に、一方で、 $J(Q_x) < 0$ であるということは、式(2)から、 θ_1 がスネルの法則により定まる値より小さい (θ_2 がスネルの法則により定まる値より大きい) ことを示すから、 $Q_x < Q_t$ であることを示す。

【0050】

20

図6(b)は、以上の関係を模式的に示した図である。スネルの法則を満たす屈折点 $Q_t(Q_t, d)$ に対して x 座標が大きい経路点 Q では $J > 0$ となり、屈折点 $Q_t(Q_t, d)$ に対して x 座標が小さい経路点 Q では $J < 0$ となる。さらに、式(1)より、入射角 θ_2 と出射角 θ_1 の符号は同一であるから、屈折点 Q_t は、受信振動子 R_k に最近接する屈折面 210 上の点である最大屈折点 $M(0, d)$ より x 座標が大きい。これは、最大屈折点 M では $\theta_1 = 0$ となり、最大屈折点 M より左側 (x 座標が小さい) では入射角 θ_2 と出射角 θ_1 の符号が異なることとなるからである。また、音響レンズ $101b$ の音速は被検体内の音速よりも小さい (比屈折率 $n_{21} < 1$ である) から、式(1)より、 $\theta_2 > \theta_1$ である。したがって、観測点 P_{ij} と受信振動子 R_k とを結ぶ直線と、屈折面 210 との交点である無屈折点 $S(S_x, d)$ より屈折点 Q_t は左側にある (x 座標が小さい) こととなる。

30

【0051】

以上のことを鑑みて、屈折点 Q_t を検索する方法について説明する。

図7は、実施の形態1に係る屈折点 Q_t の検出方法を説明する模式図である。最初に、図7(a)に示すように、最大屈折点 M を経路候補点 Q_0 とし、評価関数 J の値を算出し、0であるか否かを検出する。具体的には、 J の絶対値 $|J|$ が所定の閾値 θ を下回るか否かを検出する。 J の絶対値 $|J|$ が所定の閾値 θ を下回った場合は、経路候補点 Q_0 を屈折点 Q_t として検出する。一方で、 J の絶対値 $|J|$ が所定の閾値 θ より大きい場合、 J の符号を評価する。最大屈折点 M では必ず $J = 0$ であるので、 J の符号は負である。したがって、屈折点 Q_t の x 座標は、経路候補点 Q_0 の x 座標より大きい。したがって、次の経路候補点 Q_1 を、 x 軸の正の方向に S_0 だけ離れた $Q_1(S_0, t)$ とする。次に、同様に、経路候補点 Q_1 の評価関数 J の値を算出し、0であるか否かを検出する。 J の絶対値 $|J|$ が所定の閾値 θ を下回った場合は、経路候補点 Q_1 を屈折点 Q_t として検出する。一方で、 J の絶対値 $|J|$ が所定の閾値 θ より大きい場合、 J の符号を評価する。 J の符号が負である場合、屈折点 Q_t の x 座標は、経路候補点 Q_1 の x 座標より大きい。したがって、図7(b)に示すように、次の経路候補点 Q_2 を、 x 軸の正の方向に S_1 だけ離れた $Q_2(S_0 + S_1, t)$ とする。ここで、 $S_1 = S_0 / 2$ である。一方で、 J の符号が正である場合、屈折点 Q_t の x 座標は、経路候補点 Q_1 の x 座標より小さい。したがって、図7(c)に示すように、次の経路候補点 Q_2 を、経路候補点 Q_0 から x 軸の正の方向に S_1 だけ離れた $Q_2(S_1, t)$ とする。以下、同様の処理を繰り返す。つまり、図7(d)に示

40

50

すように、経路候補点 Q_m (m は 1 以上の整数) について評価関数 J の値を算出し、 $J = 0$ とみなせる場合は経路候補点 Q_m を屈折点 Q_t として検出する。一方、 $J < 0$ である場合は経路候補点 Q_m から x 軸の正の方向に S_m ($S_m = S_{m-1} / 2$) だけ離れた Q_{m+1} とし、 $J > 0$ である場合は経路候補点 Q_{m-1} から x 軸の正の方向に S_m だけ離れた Q_{m+1} とする。この処理を繰り返し行うことで、試行回数 m を過大とせず屈折点 Q_t を特定することができる。

【0052】

なお、線分 MS の長さを D としたとき、 $S_0 = D / 2$ であり、 $S_0 = D / 2$ であることがより好ましい。また、 $S_m = S_{m-1} / 2$ (m は 1 以上の整数) に限らず、 $S_{m-1} > S_m > S_{m-1} / 2$ であってもよい。

< 動作 >

以上の構成からなる超音波診断装置 100 の動作について説明する。

【0053】

図 8 は、受信ビームフォーマ部 104 のビームフォーミング処理動作を示すフローチャートである。

まず、ステップ S_1 において、観測点設定部 1042 は、送信部 1031 から送信開口 T_x の位置を示す情報を取得し、複数の観測点 P_{ij} を設定する。

次に、ステップ S_2 において、送信部 1031 は、プローブ 101 に存する複数の振動子 $101a$ 中送信開口 T_x に含まれる各振動子に超音波ビームを送信させるための送信信号を供給し、被検体内に超音波ビームを送信させる。

【0054】

次に、ステップ S_3 において、受信部 1040 は、プローブ 101 での超音波反射波の受信から得た電気信号に基づき受信信号を生成してデータ格納部 107 に出力し、データ格納部 107 に受信信号を保存する。

次に、ステップ S_4 において、受信開口設定部 1043 は、受信開口 R_x を設定する。ここでは、受信開口 R_x は、送信開口 T_x の列中心と受信開口 R_x の列中心が一致するように選択される。

【0055】

次に、観測点 P_{ij} について音響線信号を生成する。まず、ステップ S_5 、 S_6 において変数 i 、 j を初期化する。

次に、ステップ S_7 において、送信時間算出部 1044 は、観測点 P_{ij} について、送信された超音波が被検体内の観測点 P_{ij} に到達する時間を算出する。送信時間は、送信開口 T_x から観測点 P_{ij} までの経路長を超音波の音速で除することにより算出される。ここでは、経路長は、送信開口 T_x から観測点 P_{ij} までの直線距離であるとする。なお、送信開口 T_x から観測点 P_{ij} までの直線距離は経路長の例示の 1 つであり、経路長をこれに限定するものではなく、送信ビームフォーミング方法および受信ビームフォーミング方法に適した経路を選択してよい。

【0056】

次に、ステップ S_8 において、受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k の位置を示す座標 k を受信開口 R_x 内の最小値に初期化し、ステップ S_9 において、超音波が観測点 P_{ij} で反射され受信開口 R_x の受信振動子 R_k に到達する受信時間を算出する。

ここで、ステップ S_9 における、受信時間を算出する動作についてより詳細に説明する。図 9 は、受信時間算出部 1045 における、受信時間を算出する動作を示すフローチャートである。

【0057】

まず、ステップ S_{101} において、変数 m を最小値 0 に初期化する。次に、ステップ S_{102} において、屈折面 210 上において振動子 R_k に最近接する点を経路候補点 Q_m とする。これにより、経路候補点 Q_0 として、屈折面 210 上において振動子 R_k に最近接する最大屈折点 M が設定される。

次に、ステップ S_{103} において、経路候補点 Q_m について評価関数 J の値を算出する

10

20

30

40

50

。これにより、最大屈折点 M に対応する評価関数 $J(M)$ が算出される。

【0058】

次に、ステップ $S104$ において、評価関数 J の値が 0 とみなせるか否かを判定する。具体的には、評価関数 J の絶対値 $|J|$ が、所定の閾値を下回るか否かを判定する。評価関数 J の絶対値 $|J|$ が閾値を下回った場合には、ステップ $S109$ に進む。一方、評価関数 J の絶対値 $|J|$ が閾値以上である場合には、ステップ $S105$ において、評価関数 J の符号を判定する。評価関数 J の符号が負である場合は、屈折点 Q_t の x 座標は経路候補点 Q_m の x 座標より大きいので、ステップ $S106$ において、経路候補点 Q_m より x 方向に S_m だけ移動した点を、次の経路候補点 Q_{m+1} とし、ステップ $S108$ で m をインクリメントして、ステップ $S103$ を再試行する。経路候補点 Q_0 については、評価関数 J は必ず $J = 0$ となるので、ステップ $S109$ に進まない場合は必ずステップ $S106$ に進むこととなる。

10

【0059】

次に、再試行のステップ $S103$ において、経路候補点 Q_m について評価関数 J の値を算出する。これにより、経路候補点 Q_1 に対応する評価関数 J が算出される。そして、ステップ $S104$ において、評価関数 J の絶対値 $|J|$ が閾値を下回った場合には、ステップ $S109$ に進む。一方、評価関数の絶対値 $|J|$ が閾値以上である場合には、ステップ $S105$ において、評価関数 J の符号を判定する。評価関数 J の符号が負である場合は、屈折点 Q_t の x 座標は経路候補点 Q_m の x 座標より大きいので、ステップ $S106$ において、経路候補点 Q_m より x 方向に S_m だけ移動した点を、次の経路候補点 Q_{m+1} とし、ステップ $S108$ で m をインクリメントして、ステップ $S103$ を再試行する。一方、評価関数 J の符号が正である場合は、屈折点 Q_t の x 座標は経路候補点 Q_m の x 座標より小さいので、ステップ $S107$ において、ひとつ前の経路候補点 Q_{m-1} より x 方向に S_m だけ移動した点を、次の経路候補点 Q_{m+1} とし、ステップ $S108$ で m をインクリメントして、ステップ $S103$ を再試行する。これにより、評価関数 J の絶対値 $|J|$ が閾値を下回る経路候補点 Q_m が特定される。

20

【0060】

ステップ $S109$ では、評価関数 J の絶対値 $|J|$ が閾値を下回る経路候補点 Q_m を屈折点 Q_t として特定する。次に、ステップ $S110$ において、超音波が被検体内を観測点 P_{ij} から屈折点 Q_t に至るまでの時間 t_1 を算出する。時間 t_1 は、観測点 P_{ij} から屈折点 Q_t に至るまでの幾何学的な直線距離を被検体内の音速で除することにより算出できる。さらに、ステップ $S111$ において、超音波が音響レンズ内を屈折点 Q_t から受信振動子 R_k に至るまでの時間 t_2 を算出する。時間 t_2 は、屈折点 Q_t から受信振動子 R_k に至るまでの幾何学的な直線距離を音響レンズ内の音速で除することにより算出できる。そして、ステップ $S112$ において、時間 t_1 と時間 t_2 との和を、受信時間として算出する。

30

【0061】

図8に戻って説明を続ける。ステップ $S10$ において、受信開口 R_x 内に存在する全ての受信振動子 R_k について受信時間を算出したか否かを判定し、完了していない場合はステップ $S11$ で k をインクリメントしてステップ $S9$ をさらに行い、完了している場合はステップ $S11$ に進む。これにより、受信開口 R_x 内に存在する全ての受信振動子 R_k について受信時間が算出されている。

40

【0062】

次に、ステップ $S12$ において、送信時間と受信時間の和を用いて、観測点 P_{ij} からの反射超音波に基づく受信信号を同定する。まず、遅延量算出部 1046 が、ステップ $S7$ で算出した送信時間と、ステップ $S8 \sim S11$ で算出した受信振動子 R_k ごとの受信時間とを用いて、受信振動子 R_k ごとの総伝搬時間を算出し、受信開口 R_x 内の各受信振動子 R_k に対する総伝播時間の差異により、各受信振動子 R_k に対する遅延量を算出する。次に、遅延処理部 1047 は、受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k に対応する受信信号の列から、各受信振動子 R_k に対する遅延量を差引いた時間に対応する受信信号を観測点 P_{ij}

50

j からの反射波に基づく受信信号として同定する。

【0063】

次に、ステップ S 1 3 において、同定した受信信号を加算して P i j の音響線信号を生成する。まず、重み算出部 1 0 4 8 は、受信開口 R x の列方向の中心に位置する振動子に対する重みが最大となるよう各受信振動子 R k に対する重み数列を算出する。加算部 1 0 4 9 は、各受信振動子 R k に対応して同定された受信信号に、各受信振動子 R k に対する重みを乗じて加算して、観測点 P i j に対する音響線信号を生成する。生成された観測点 P i j の音響線信号はデータ格納部 1 0 7 に出力され保存される。

【0064】

次に、座標 i j をインクリメントして S 7 ~ S 1 3 を繰り返すことにより、全ての観測点 P i j について音響線信号が生成される。全ての観測点 P i j について音響線信号の生成を完了したか否かを判定し（ステップ S 1 4、S 1 6）、完了していない場合は座標 i j をインクリメントして（ステップ S 1 5、S 1 7）、観測点 P i j について音響線信号を生成する。全ての観測点 P i j について音響線信号が生成されることで、ステップ S 2 の超音波ビームの送信に対応した音響線信号群の生成が終了する。

10

【0065】

<まとめ>

以上、説明したように本実施の形態に係る超音波診断装置 1 0 0 によれば、音響レンズによる影響を考慮した高精度な受信時間に基づき、観測点 P i j についての音響線信号を生成する。これにより、全ての観測点 P i j について、受信ビームフォーミングの精度を向上し、空間分解能と信号 S / N 比を向上することができる。

20

【0066】

また、超音波診断装置 1 0 0 では、屈折点 Q t を検索する際、屈折面上において最も受信振動子に近接する点である最大屈折点 M を開始点とし、評価関数 J を用いた二分法（または類似する方法）を用いる。これにより、屈折点 Q t の検索試行数を削減することができる。そのため、受信時間の算出に要する演算量が大きくない。したがって、従来の整相加算法と比較して、整相加算の演算量を大きく増加させずに受信ビームフォーミングの精度を向上させることができる。

【0067】

また、超音波診断装置 1 0 0 では、観測点 P i j と受信振動子 R k の全ての組み合わせについて、音響レンズによる影響を考慮した高精度な受信時間の算出を行う。そのため、事前計算の結果を大容量のメモリに保持せずとも、いずれの観測点 P i j についても受信ビームフォーミングの精度を向上させることができる。したがって、事前に算出した補正値をメモリに保持する方法と比較して、大容量の補正値データなしに、全ての観測点 P i j について受信ビームフォーミングの精度を向上させることが可能となる。

30

【0068】

変形例 1

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 では、プローブ 1 0 1 は、複数の振動子 1 0 1 a が直線状に配置されたりニアプローブであるとした。しかしながら、超音波プローブの形態は、上述の配置に限られず、他の形状であってもよい。

40

変形例 1 では、超音波プローブは、複数の振動子が同心円状に配置されたコンベックスプローブである点で実施の形態 1 と相違する。超音波プローブ以外の構成については、実施の形態 1 に示した各要素と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

【0069】

図 1 0 (a) は、観測点 P i j からの反射波が、受信振動子 R k に到達する経路を示す模式図である。ここで、振動子は点 O を中心とする半径 r_0 の円弧上に存在しており、屈折面（音響レンズの外周）は、点 O を中心とする半径 $r_0 + d$ の円弧であるとする。すなわち、音響レンズの厚みは d である。このとき、観測点 P i j から経路点 Q に至る被検体内の超音波経路の屈折面に対する入射角を θ_2 、経路点 Q から受信振動子 R k に至る音響レンズ内の超音波経路に対する出射角を θ_1 としたとき、スネルの法則から、上述の式（

50

1) および (2) が成立する。

【0070】

ここで、受信振動子 R k、経路点 Q、観測点 P i j について、点 O を基準とした円座標 r で位置を示す。については、受信振動子 R k の位置を = 0 とし、P i j 側を正の値とする。r 座標における受信振動子 R k の座標を (r_d, 0)、経路点 Q の座標を (r_d + d,)、観測点 P i j の座標を (P_r, P) とする。このとき、受信振動子 R k、経路点 Q、観測点 P i j の座標を x y 座標に変換すると、それぞれ、R k (0, r_d)、Q ((r_d + d) sin , (r_d + d) cos)、P i j (P_r sin P , P_r cos P) となる。したがって、sin₁、sin₂ は、それぞれ、以下の式 (7)、(8) を満たす。

10

【0071】

【数7】

$$\sin \theta_1 = \frac{r_d \sin \theta}{\sqrt{(r_d + d)^2 \sin^2 \theta + \{(r_d + d) \cos \theta - r_d\}^2}}$$

【0072】

【数8】

$$\sin \theta_2 = \frac{P_r \sin(P_\theta - \theta)}{\sqrt{\{(r_d + d) \sin \theta - P_r \sin P_\theta\}^2 + \{P_r \cos P_\theta - (r_d + d) \cos \theta\}^2}}$$

20

ここで、上述の式 (7)、(8) の分母をそれぞれ整理すると、以下の式 (9)、(10) となる。

【0073】

【数9】

$$\sin \theta_1 = \frac{r_d \sin \theta}{\sqrt{(r_d + d)^2 + r_d^2 - 2r_d(r_d + d) \cos \theta}}$$

30

【0074】

【数10】

$$\sin \theta_2 = \frac{P_r \sin(P_\theta - \theta)}{\sqrt{P_r^2 + (r_d + d)^2 - 2P_r(r_d + d) \cos(P_\theta - \theta)}}$$

40

したがって、実施の形態 1 と同様に評価関数 J を定義すると、以下の式 (11) により評価関数を定義することができる。

【0075】

【数11】

$$J(\theta) = r_d^2 \sin^2 \theta \{P_r^2 + (r_d + d)^2 - 2P_r(r_d + d) \cos(P_\theta - \theta)\} \\ - n_{21}^2 P_r^2 \sin^2(P_\theta - \theta) \{(r_d + d)^2 + r_d^2 - 2r_d(r_d + d) \cos \theta\}$$

受信時間算出部は、実施の形態 1 と同様、屈折面上において最も受信振動子に近接する

50

点である最大屈折点Mを開始点とし、評価関数Jを用いた二分法（または類似する方法）により屈折点 Q_t を検索する。このとき、経路候補点 $Q_m(r_d + d, \theta_m)$ について評価関数Jの値が0とみなせない場合に、経路候補点 Q_{m+1} は以下のように決定を行う。すなわち、図10(b)に示すように、 $J < 0$ である場合には、屈折点 $Q_t(r_d + d, \theta_t)$ に対して、 $\theta_m < \theta_t$ であるから、 θ 方向に S_m だけ移動した経路候補点 $Q_{m+1}(r_d + d, \theta_m + S_m)$ を設ける。これに対し、 $J > 0$ である場合は、 $\theta_m > \theta_t$ であるから、経路候補点 Q_{m-1} から θ 方向に S_t だけ移動した経路候補点 $Q_{m+1}(r_d + d, \theta_{m-1} + S_m)$ を設ける。その他の処理は実施の形態1と同様であるので省略する。

【0076】

<まとめ>

以上、説明したように変形例1に係る超音波診断装置によれば、複数の振動子が同心円状に配置され、音響レンズを有するコンベックスプローブを用いた場合に、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

実施の形態2

実施の形態1では、反射超音波が観測点 P_{ij} から受信振動子 R_k に至るまでの受信時間について、反射超音波の伝搬経路が被検体と音響レンズとの界面を通過するときの点である屈折点 Q_t の位置を特定することで算出する場合について説明した。しかしながら、受信時間が直接算出できる方法があれば、屈折点 Q_t を特定する必要はない。

【0077】

実施の形態2では、受信時間算出部が直接的に受信時間を算出する点で実施の形態1と相違する。受信時間算出部以外の構成については、実施の形態1に示した各要素と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

<計算原理>

反射超音波が、図6(a)に示す観測点 P_{ij} から経路点 Q を経由し、受信振動子 R_k に至るまでの受信時間 t は、経路点 Q の座標 (Q_x, d) と、音響レンズ内の音速 v_1 と、被検体内の音速 v_2 とを用いて、次の式(12)のように示すことができる。

【0078】

【数12】

$$t(Q_x) = \frac{\sqrt{Q_x^2 + d^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(P_x - Q_x)^2 + (P_y - d)^2}}{v_2}$$

ここで、受信時間 t を経路点 Q の x 座標 Q_x で微分すると、以下の式(13)となる。

【0079】

【数13】

$$\frac{dt(Q_x)}{dQ_x} = \frac{Q_x}{v_1 \sqrt{Q_x^2 + d^2}} + \frac{Q_x - P_x}{v_2 \sqrt{(P_x - Q_x)^2 + (P_y - d)^2}}$$

上記式(13)を式(2)、(3)、(4)を用いて整理すると、以下の式(14)となる。

【0080】

10

20

30

40

【数 1 4】

$$\frac{dt(Q_x)}{dQ_x} = \frac{1}{v_1} (\sin \theta_1 - n_{21} \sin \theta_2)$$

ここで、スネルの法則である式(1)から、屈折点 $Q_t (Q_t, d)$ に対して $Q_x = Q_t$ であるとき、 $dt/dQ_x = 0$ であることが分かる。また、 $Q_x < Q_t$ であるとき $dt/dQ_x < 0$ であり、 $Q_x > Q_t$ であるとき、 $dt/dQ_x > 0$ である。

【0081】

10

したがって、受信時間 $t(Q_x)$ は、 $Q_x = Q_t$ であるときに極小値を取る。言い換えれば、図6(b)で示す線分 MS 上に $Q(Q_x, d)$ を設定した場合、受信時間 $t(Q_x)$ が最小となる $Q(Q_x, d)$ が屈折点 $Q_t(Q_t, d)$ である。

以上の観点から、図11に示すように、線分 MS 上に点 M と点 S を含む経路候補点 $Q_m (Q_m, d)$ を複数設け、経路候補点 Q_m のそれぞれについて受信時間 $t(Q_m)$ を算出し、その最小値をそのまま受信時間として用いる。

【0082】

<動作>

実施の形態2に係る受信時間算出部における受信時間の算出方法について説明する。図12は、実施の形態2に係る受信時間の算出方法を示すフローチャートである。

20

まず、ステップ $S201$ において、受信時間算出部は、屈折面上において受信振動子 R_k に最近接する点を最大屈折点 M として特定する。

【0083】

次に、ステップ $S202$ において、受信時間算出部は、受信振動子 R_k と観測点 P_{ij} とを結ぶ直線と、屈折面との交点を無屈折点 S として特定する。

次に、ステップ $S203$ において、受信時間算出部は、線分 MS 上に、点 M と点 S を含む経路候補点 $Q_m (Q_m, d)$ を n 個 (n は3以上の整数) 設ける。経路候補点 Q_m は、例えば、図11に示すように、最大屈折点 M を経路候補点 Q_1 、無屈折点 S を経路候補点 Q_n とする。 $Q_2 \sim Q_{n-1}$ については、例えば、 $Q_1 \sim Q_n$ が等間隔となるように設定することができる。

30

【0084】

次に、ステップ $S101$ において変数 m を初期化し、ステップ $S204$ において、超音波が被検体内を観測点 P_{ij} から経路候補点 Q_m に至るまでの時間 t_1 を算出する。時間 t_1 は、観測点 P_{ij} から経路候補点 Q_m に至るまでの幾何学的な直線距離を被検体内の音速で除することにより算出できる。さらに、ステップ $S205$ において、超音波が音響レンズ内を経路候補点 Q_m から受信振動子 R_k に至るまでの時間 t_2 を算出する。時間 t_2 は、経路候補点 Q_m から受信振動子 R_k に至るまでの幾何学的な直線距離を音響レンズ内の音速で除することにより算出できる。そして、ステップ $S206$ において、時間 t_1 と時間 t_2 との和を、受信時間候補 $t(m)$ として算出する。

【0085】

40

ステップ $S207$ において、全ての経路候補点 Q_m に対する受信時間候補 $t(m)$ を算出したか否かを判定し、完了していない場合はステップ $S108$ で m をインクリメントしてステップ $S204 \sim 206$ をさらに行い、完了している場合はステップ $S208$ に進む。これにより、全ての経路候補点 Q_m について受信時間候補 $t(m)$ が算出されている。なお、ここでは、経路候補点 Q_m ごとの受信時間候補 $t(m)$ の算出を逐次的に行うとしたが、受信時間候補 $t(m)$ の算出処理は m ごとに独立しているため、算出処理を、 m ごとに、または、複数の m の集合ごとに、並列処理で行ってもよい。このようにすることで、算出時間を短縮することができる。

【0086】

次に、ステップ $S208$ において、受信時間候補 $t(m)$ のうち、最小の値を受信時間

50

として出力し、処理を終了する。

<まとめ>

以上、説明したように実施の形態2に係る超音波診断装置では、実施の形態1において示した効果のうち、屈折点 Q_t の特定に関する部分を除いた効果に替えて、以下の効果を有する。すなわち、実施の形態2に係る超音波診断装置では、複数の反射超音波経路候補に基づく受信時間を算出し、その最小値を採用する。これにより、屈折点 Q_t を特定することなく、直接的に受信時間を算出することができる。したがって、受信時間の算出処理を簡略化することができる。さらに、受信時間の算出処理は並列処理で行うことも可能であり、このような手法をとった場合、受信時間の算出に要する時間を増加させることなく、受信ビームフォーミングの精度を向上し、空間分解能と信号 S/N 比を向上することができる。

10

【0087】

変形例2

実施の形態2に係る超音波診断装置100では、プローブ101は、複数の振動子101aが直線状に配置されたりニアプローブであるとした。しかしながら、超音波プローブの形態は、上述の配置に限られず、他の形状であってもよい。

変形例2では、超音波プローブは、複数の振動子が同心円状に配置されたコンベックスプローブである点で実施の形態2と相違する。超音波プローブ以外の構成については、実施の形態2に示した各要素と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

20

【0088】

<計算原理>

反射超音波が、図10(a)に示す観測点 P_{ij} から経路点 Q を経由し、受信振動子 R_k に至るまでの受信時間 t は、経路点 Q の座標 $(r_d + d, \theta)$ と、音響レンズ内の音速 v_1 と、被検体内の音速 v_2 とを用いて、次の式(15)のように示すことができる。

【0089】

【数15】

$$t(\theta) = \frac{\sqrt{(r_d + d)^2 \sin^2 \theta + \{(r_d + d) \cos \theta - r_d\}^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{\{(r_d + d) \sin \theta - P_r \sin P_\theta\}^2 + \{P_r \cos P_\theta - (r_d + d) \cos \theta\}^2}}{v_2}$$

30

ここで、受信時間 t を経路点 Q の座標 $(r_d + d, \theta)$ で微分すると、以下の式(16)となる。

【0090】

【数16】

$$\frac{dt(\theta)}{d\theta} = \frac{r_d(r_d + d) \sin \theta}{v_1 \sqrt{(r_d + d)^2 \sin^2 \theta + \{(r_d + d) \cos \theta - r_d\}^2}} - \frac{P_r(r_d + d) \sin(P_\theta - \theta)}{v_2 \sqrt{\{(r_d + d) \sin \theta - P_r \sin P_\theta\}^2 + \{P_r \cos P_\theta - (r_d + d) \cos \theta\}^2}}$$

40

上記式(16)を式(2)、(7)、(8)を用いて整理すると、以下の式(17)となる。

【0091】

【数 17】

$$\frac{dt(\theta)}{d\theta} = \frac{r_d + d}{v_1} (\sin \theta_1 - n_{21} \sin \theta_2)$$

ここで、スネルの法則である式(1)から、屈折点 $Q_t(r_d + d, \theta_t)$ に対して $\theta = \theta_t$ であるとき、 $dt/d\theta = 0$ であることが分かる。また、 $\theta < \theta_t$ であるとき $dt/d\theta < 0$ であり、 $\theta > \theta_t$ であるとき、 $dt/d\theta > 0$ である。

【0092】

したがって、受信時間 $t(\theta)$ は、 $\theta = \theta_t$ であるときに極小値を取る。

以上の観点から、実施の形態2と同様、円弧 MS 上に点 M と点 S を含む経路候補点 $Q_m(r_d + d, \theta_m)$ を複数設け、経路候補点 Q_m のそれぞれについて受信時間 $t(Q_m)$ を算出し、その最小値をそのまま受信時間として用いる。

<まとめ>

以上、説明したように変形例2に係る超音波診断装置によれば、複数の振動子が同心円状に配置され、音響レンズを有するコンベックスプローブを用いた場合に、実施の形態2と同様の効果を得ることができる。

【0093】

実施の形態3

実施の形態1および実施の形態2では、反射超音波が観測点 P_{ij} から受信振動子 R_k に至るまでの受信時間について、屈折点 Q_t を経由する経路による値を算出する場合について説明した。

これに対し、実施の形態3では、簡易的に受信時間を算出する点で実施の形態1および2と相違する。受信時間算出部以外の構成については、実施の形態1および2に示した各要素と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

【0094】

<計算方法>

図13(a)は、観測点 P_{ij} からの反射波が、受信振動子 R_k に到達する経路を示す模式図である。ここで、受信振動子 R_k と屈折点 Q_t との距離を l_q 、屈折点 Q_t と観測点 P_{ij} との距離を r_q としたとき、受信時間 t_t は次の式(18)で示すことができる。

$$t_t = \frac{r_q}{v_2} + \frac{l_q}{v_1}$$

【0095】

【数18】

ここで、音響レンズの厚さを d 、無屈折点 S と観測点 P_{ij} との距離を r_s としたとき、反射波が、被検体内では観測点 P_{ij} から無屈折点 S に到達し、音響レンズ内では最大屈折点 M から受信振動子に到達したと仮定した場合の受信時間 t_t は次の式(19)で示すことができる。

【0096】

10

20

30

40

【数 19】

$$t_1 = \frac{r_s}{v_2} + \frac{d}{v_1}$$

10

ここで仮定した受信時間 t_1 は、音響レンズ内、被検体内ともに最短ルートを経由し、かつ、不連続なルートであるので、短すぎて実際にはあり得ない。すなわち、 $t_1 < t_t$ である。

【0097】

また、受信振動子 R k と無屈折点 S との距離を l_s としたとき、音響レンズを考量しない場合の受信時間 t_2 は次の式 (20) で示すことができる。

【0098】

【数 20】

$$t_2 = \frac{r_s}{v_2} + \frac{l_s}{v_2}$$

20

ここで仮定した受信時間 t_2 は、音響レンズ内における音速を被検体内の音速と同等であると仮定した値であるので、実際の受信時間より短くなる。すなわち、 $t_2 < t_t$ である。

30

【0099】

一方、最大屈折点 M と受信振動子 P i j との距離を r_m としたとき、反射波が、被検体内では観測点 P i j から最大屈折点 M に到達し、音響レンズ内では最大屈折点 M から受信振動子に到達したと仮定した場合の受信時間 t_3 は、次の式 (21) で示すことができる。

【0100】

【数 21】

$$t_3 = \frac{r_m}{v_2} + \frac{d}{v_1}$$

40

ここで仮定した受信時間 t_3 は、所要時間が最短となる屈折点 Q t を経由するルートより長くなるので、 $t_t < t_3$ である。

また、反射波が、被検体内では観測点 P i j から最大屈折点 M に到達し、音響レンズ内では無屈折点 S から受信振動子に到達したと仮定した場合の受信時間 t_4 は次の式 (22)

50

)で示すことができる。

【0101】

【数22】

$$t_4 = \frac{r_m}{v_2} + \frac{l_s}{v_1}$$

10

ここで仮定した受信時間 t_4 は、音響レンズ内、被検体内ともに屈折点 Q_t を経由するルートより長いルートを経由しており、明らかに所要時間が最短となる屈折点 Q_t を経由するルートより長い。すなわち、 $t_t < t_4$ である。

【0102】

図13(b)のグラフにも示すように、上述した t_1 、 t_2 は、算出すべき t_t より短く、 t_3 、 t_4 は、算出すべき t_t より長い。言い換えれば、 t_t は、 t_1 と t_2 の代表値と、 t_3 と t_4 の代表値との間の値であると言える。したがって、 t_t は、 t_1 と t_2 のうち少なくとも一方と、 t_3 と t_4 のうち少なくとも一方の相加平均や重みづけ平均で近似することができる。

20

【0103】

そこで、例えば、次の式(23)に示すような重みづけ平均により、 t_t を算出する。

【0104】

【数23】

$$t_t = \alpha \{ \beta t_1 + (1 - \beta) t_2 \} + (1 - \alpha) \{ \gamma t_3 + (1 - \gamma) t_4 \}$$

ここで、 α は重みづけ係数であり、 $0 < \alpha < 1$ である。また、 β 、 γ も重みづけ係数ではあるが、上述したように、 t_t の算出には、 t_1 と t_2 のうち少なくとも一方と、 t_3 と t_4 のうち少なくとも一方を用いればよいので、 $0 < \beta < 1$ であり、また、 $0 < \gamma < 1$ である。 α 、 β 、 γ の値は、あらゆる観測点 P_{ij} および受信振動子 R_k に対して一定であるとしてもよいし、観測点 P_{ij} と受信振動子 R_k との相対的な位置関係により変動するとしてもよい。

30

【0105】

または、例えば、同様の考え方により、音響レンズ内、被検体内でそれぞれ重みづけ平均を行ってもよい。

まず、音響レンズ内について着目する。音響レンズ内における真の到達時間である、屈折点 Q_t から受信振動子 R_k に至る時間 l_q / v_1 は、最大屈折点 M から受信振動子 R_k に至る時間 d / v_1 や無屈折点 S から受信振動子 R_k に被検体内速度で至る時間 l_s / v_2 より長い。一方で、時間 l_q / v_1 は、無屈折点 S から受信振動子 R_k に至る時間 l_s / v_1 より短い。したがって、時間 l_q / v_1 は、時間 d / v_1 と時間 l_s / v_2 とのうち少なくとも一方と、時間 l_s / v_1 との相加平均または重みづけ平均で近似することができる。

40

【0106】

同様に、被検体内について着目する。被検体内における真の到達時間である、観測点 P_{ij} から屈折点 Q_t に至る時間 r_q / v_2 は、観測点 P_{ij} から無屈折点 S に至る時間 r_s / v_2 より長く、観測点 P_{ij} から最大屈折点 M に至る時間 r_m / v_2 より短い。したがって、時間 r_q / v_2 は、時間 r_s / v_2 と、時間 r_m / v_2 との相加平均または重みづけ平均で近似することができる。

【0107】

50

そこで、例えば、次の式(24)に示すような重みづけ平均により、 t_t を算出する。

【0108】

【数24】

$$t_t = \frac{\alpha r_m + (1-\alpha)r_s}{v_2} + \frac{\beta\{\gamma d + (1-\gamma)n_2 l_s\} + (1-\beta)l_s}{v_1}$$

ここで、 α 、 β は重みづけ係数であり、 $0 < \alpha < 1$ 、 $0 < \beta < 1$ である。また、 γ も重みづけ係数ではあるが、上述したように、 t_t の算出には、時間 d/v_1 と時間 l_s/v_2 のうち少なくとも一方を用いればよいので、 $0 \leq \gamma \leq 1$ である。 α 、 β 、 γ の値は、あらゆる観測点 P_{ij} および受信振動子 R_k に対して一定であるとしてもよいし、観測点 P_{ij} と受信振動子 R_k との相対的な位置関係により変動するとしてもよい。例えば、 $\gamma = 0$ として、以下の式(25)のような重みづけ平均により、 t_t を算出するとしてもよい。

【0109】

【数25】

$$t_t = \frac{\alpha r_m + (1-\alpha)r_s}{v_2} + \frac{\beta d + (1-\beta)l_s}{v_1}$$

なお、上述の式(24)および(25)では、 $0 < \gamma < 1$ であるとした。しかしながら、観測点 P_{ij} の深さが音響レンズの厚さ d に対して十分大きい場合、観測点 P_{ij} から無屈折点 S までの距離 r_s と、観測点 P_{ij} から最大屈折点 M までの距離 r_m の差は無視できる程度に小さく、 $r_m - r_s \ll d$ となる。したがって、このような観測点 P_{ij} に対しては、 t_t の値に対して γ が及ぼす影響が極めて小さいため、 $\gamma = 0$ または $\gamma = 1$ としてもよい。

【0110】

なお、ここではプローブがリニアプローブである場合について説明したが、プローブがコンベックスプローブであっても、同様の処理を行うことができる。

<まとめ>

以上、説明したように実施の形態3に係る超音波診断装置では、実施の形態1において示した効果のうち、屈折点 Q_t の特定に関する部分を除いた効果に替えて、以下の効果を有する。すなわち、実施の形態3に係る超音波診断装置では、最大屈折点 M を経由する経路における到達時間と、無屈折点 S を経由する経路における到達時間との間で重みづけ加算を行って受信時間を近似的に算出する。したがって、受信時間の算出処理を簡略化するとともに、その演算時間を大きく削減することができる。したがって、演算量を増加させることなく、受信ビームフォーミングの精度を向上し、空間分解能と信号 S/N 比を向上することができる。

【0111】

音響レンズ補正による効果

以下、実施の形態1に係る受信ビームフォーミングと、比較例となる音響レンズ補正を行わない受信ビームフォーミングとの間で超音波画像の品質を比較し、実施の形態に係る効果を説明する。

図14に、実施例および比較例1~3の受信ビームフォーミングにより、同一の擬似被検体(ファントム)を撮像した超音波画像(Bモード断層画像)を示す。図14(a)は実施の形態1に係る実施例であり、図14(b)は比較例に対応する。実施例では、上述した実施の形態1に係る受信ビームフォーミングを行っている。これに対し、比較例では、受信ビームフォーミングにおいて、観測点 P_{ij} と受信振動子 R_k との幾何学的な直線距離を被検体内の音速で除する、音響レンズを考慮しない受信時間を用いている(すなわち、実施の形態3における t_2 を受信時間として用いている)。

10

20

30

40

50

【0112】

図14(b)に示すように、比較例では、特に、浅部(Y座標の小さい領域、紙面上側)において、円形となるべき輝点が振動子の並ぶ方向に滲みが発生している。これに対し、図14(a)に示すように、実施例では、浅部における滲みの程度が低い。これは、受信開口Rxの両端に位置する受信振動子Rkと観測点Pijとの間の経路を考えた場合、観測点Pijが浅いほど屈折面(音響レンズ表面)に対する出射角 θ_1 、入射角 θ_2 が大きくなるため、音響レンズを考慮しないことによる受信時間のずれが大きくなることが考えられる。すなわち、観測点Pijが浅く、かつ、受信開口Rxが広いほど、音響レンズを考慮しないと受信フォーカスが甘くなるため、解像度およびS/N比への影響が大きい。これに対し、実施例では、このような音響レンズによる悪影響を排除することが可能である。

10

【0113】

実施の形態に係るその他の変形例

(1)実施の形態1および2では、経路候補点 Q_m の検索範囲として、最大屈折点Mと無屈折点Sとを基準に線分MS上、変形例1、2では、円弧MS上を設定した。しかしながら、経路候補点 Q_m の検索範囲は、少なくとも最大屈折点Mを基準としていればよく、例えば、実施の形態1または2において、線分MSを含む任意の線分MT(点Tは半直線MS上の点)を経路候補点 Q_m の検索範囲としてもよい。このようにすることで、無屈折点Sを特定する必要がなくなる。

20

【0114】

また、実施の形態1および変形例1では、評価関数Jの符号が正の場合において、経路候補点 Q_{m-1} から S_m だけ無屈折点S側(xまたはyが正の方向)に離れた点を経路候補点 Q_{m+1} としたが、経路候補点 Q_m から S_m だけ最大屈折点M側(xまたはyが負の方向)に離れた点を経路候補点 Q_{m+1} としてもよい。

(2)実施の形態1および変形例1では、評価関数Jの絶対値|J|が所定の閾値を下回る屈折点Qtを特定するまで経路候補点 Q_m の検索を繰り返すとしたが、例えば、屈折点Qtの検索回数mにあらかじめ上限を定め、評価関数Jの絶対値|J|が所定の閾値を下回らない場合には評価関数Jの絶対値|J|が最小となる点を屈折点Qtとしてもよい。例えば、最大屈折点Mと無屈折点Sとを基準として経路候補点 Q_m を検索する場合、mの上限を5とすれば、線分MS(または円弧MS)の長さの1/32の精度において屈折点Qtとみなせる点を特定することができる。

30

【0115】

(3)各実施の形態および各変形例では、受信ビームフォーミングについて音響レンズを考慮した受信時間を算出するとしたが、同様の演算により、送信ビームフォーミングにおいて音響レンズを考慮した送信時間を算出してもよいし、また、算出した送信時間に基づいて送信ビームフォーミングを行ってもよい。

(4)各実施の形態および各変形例では、受信ビームフォーミング処理を超音波の送信に同期させて行うとしたが、本発明はこの場合に限られない。例えば、合成開口法において本発明を適用し、1フレーム分の複数回の超音波送受信が完了してから整相加算を行うとしてもよい。また、受信時間の算出以外の各動作についても、上述の場合に限らず任意の制御を行ってもよい。また、各実施の形態および各変形例では、超音波画像生成部105が音響線信号からBモード画像を生成するとしたが、例えば、超音波画像生成部105は、カラーフローマッピングまたはせん断波解析を行ってもよい。

40

【0116】

(5)各実施の形態および各変形例では、超音波プローブはリニアプローブまたは振動子が同心円状に配置されたコンベックスプローブであるとしたが、振動子の配置形態に応じた適宜の変更を行うことにより、任意の形状の超音波プローブについて本開示の内容を適用してもよい。

(6)なお、本発明を上記実施の形態に基づいて説明してきたが、本発明は、上記の実施の形態に限定されず、以下のような場合も本発明に含まれる。

50

【0117】

例えば、本発明は、マイクロプロセッサとメモリを備えたコンピュータシステムであって、上記メモリは、上記コンピュータプログラムを記憶しており、上記マイクロプロセッサは、上記コンピュータプログラムにしたがって動作するとしてもよい。例えば、本発明の超音波信号処理方法のコンピュータプログラムを有しており、このプログラムに従って動作する（又は接続された各部位に動作を指示する）コンピュータシステムであってもよい。

【0118】

また、上記超音波診断装置の全部、もしくは一部、また超音波信号処理装置の全部又は一部を、マイクロプロセッサ、ROM、RAM等の記録媒体、ハードディスクユニットなどから構成されるコンピュータシステムで構成した場合も本発明に含まれる。上記RAM又はハードディスクユニットには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各装置はその機能を達成する。

10

【0119】

また、上記の各装置を構成する構成要素の一部又は全部は、1つのシステムLSI（Large Scale Integration（大規模集積回路））から構成されているとしてもよい。システムLSIは、複数の構成部を1つのチップ上に集積して製造された超多機能LSIであり、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAMなどを含んで構成されるコンピュータシステムである。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部又は全てを含むように1チップ化されてもよい。なお、LSIは、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと称されることもある。上記RAMには、上記各装置と同様の動作を達成するコンピュータプログラムが記憶されている。上記マイクロプロセッサが、上記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、システムLSIは、その機能を達成する。例えば、本発明のビームフォーミング方法がLSIのプログラムとして格納されており、このLSIがコンピュータ内に挿入され、所定のプログラム（ビームフォーミング方法）を実施する場合も本発明に含まれる。

20

【0120】

なお、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路または汎用プロセッサで実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA（Field Programmable Gate Array）や、LSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なリプログラマブル・プロセッサ（Reconfigurable Processor）を利用してもよい。

30

【0121】

さらには、半導体技術の進歩または派生する別技術によりLSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。

また、各実施の形態に係る、超音波診断装置の機能の一部又は全てを、CPU等のプロセッサがプログラムを実行することにより実現してもよい。上記超音波診断装置の診断方法や、ビームフォーミング方法を実施させるプログラムが記録された非一時的なコンピュータ読み取り可能な記録媒体であってもよい。プログラムや信号を記録媒体に記録して移送することにより、プログラムを独立した他のコンピュータシステムにより実施するとしてもよい、また、上記プログラムは、インターネット等の伝送媒体を介して流通させることができるのは言うまでもない。

40

【0122】

上記実施形態に係る超音波診断装置では、記憶装置であるデータ格納部を超音波診断装置内に含む構成としたが、記憶装置はこれに限定されず、半導体メモリ、ハードディスクドライブ、光ディスクドライブ、磁気記憶装置、等が、超音波診断装置に外部から接続される構成であってもよい。

また、ブロック図における機能ブロックの分割は一例であり、複数の機能ブロックを一

50

つの機能ブロックとして実現したり、一つの機能ブロックを複数に分割したり、一部の機能を他の機能ブロックに移してもよい。また、類似する機能を有する複数の機能ブロックの機能を単一のハードウェア又はソフトウェアが並列又は時分割に処理してもよい。

【0123】

また、上記のステップが実行される順序は、本発明を具体的に説明するために例示するためのものであり、上記以外の順序であってもよい。また、上記ステップの一部が、他のステップと同時（並列）に実行されてもよい。

また、超音波診断装置には、プローブ及び表示部が外部から接続される構成としたが、これらは、超音波診断装置内に一体的に具備されている構成としてもよい。

【0124】

また、上記実施の形態においては、プローブは、複数の圧電素子が一次元方向に配列されたプローブ構成を示した。しかしながら、プローブの構成は、これに限定されるものではなく、例えば、複数の圧電変換素子を二次元方向に配列した二次元配列振動子や、一次元方向に配列された複数の振動子を機械的に揺動させて三次元の断層画像を取得する揺動型プローブを用いてもよく、測定に応じて適宜使い分けすることができる。例えば、二次元に配列されたプローブを用いた場合、圧電変換素子に電圧を与えるタイミングや電圧の値を個々に変化させることによって、送信する超音波ビームの照射位置や方向を制御することができる。

【0125】

また、プローブは、送受信部の一部の機能をプローブに含んでいてもよい。例えば、送受信部から出力された送信電気信号を生成するための制御信号に基づき、プローブ内で送信電気信号を生成し、この送信電気信号を超音波に変換する。併せて、受信した反射超音波を受信電気信号に変換し、プローブ内で受信電気信号に基づき受信信号を生成する構成を採ることができる。

【0126】

また、各実施の形態に係る超音波診断装置、及びその変形例の機能のうち少なくとも一部を組み合わせてもよい。更に上記で用いた数字は、全て本発明を具体的に説明するために例示するものであり、本発明は例示された数字に制限されない。

さらに、本実施の形態に対して当業者が思いつく範囲内の変更を施した各種変形例も本発明に含まれる。

【0127】

まとめ

(1) 実施の形態に係る超音波信号処理装置は、複数の振動子と音響レンズとを備えた超音波プローブを被検体に接合することで超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて音響線信号を生成する超音波信号処理装置であって、前記超音波プローブを用いて送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、前記超音波プローブが受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成する受信部と、前記被検体内の複数の観測点について、前記受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する整相加算部とを備え、前記整相加算部は、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、前記反射超音波が前記観測点から前記振動子に到達するまでの受信時間を算出する受信時間算出部を含み、前記音響レンズ内における超音波速度は、前記被検体のうち前記音響レンズと接する領域における超音波速度より遅く、前記受信時間算出部は、前記音響レンズと前記被検体との境界面である屈折面上における前記振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、前記観測点から前記振動子まで超音波が伝搬する前記受信時間を算出することを特徴とする。

【0128】

また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は複数の振動子と音響レンズとを備えた超音波プローブを被検体に接合することで超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて音響線信号を生成する超音波信号処理方法であって、前記超音波プローブを用いて送信超音波を前記被検体内に送信し、前記超音波プローブが受信した前記被検体からの

10

20

30

40

50

反射超音波に基づいて、各振動子に対応する受信信号列を生成し、前記被検体内の複数の観測点について、前記受信信号列を整相加算し音響線信号を生成する方法であり、前記整相加算において、観測点ごと、かつ、振動子ごとに、前記反射超音波が前記観測点から前記振動子に到達するまでの受信時間を算出し、前記音響レンズ内における超音波速度は、前記被検体のうち前記音響レンズと接する領域における超音波速度より遅く、前記受信時間の算出において、前記音響レンズと前記被検体との境界面である屈折面上における前記振動子から最も近接した最大屈折点を用いて、前記観測点から前記振動子まで超音波が伝搬するのに必要な時間の最小値である前記受信時間を算出することを特徴とする。

【0129】

本発明の一態様に係る超音波信号処理装置、及び、それを用いた超音波診断装置によれば、補正值データに依存することなく各観測点および各振動子について受信時間の算出精度を向上できるため、受信ビームフォーミングにおいて、得られる音響線信号のS/N比および空間解像度を向上させることができる。

(2)また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記屈折面上に、前記最大屈折点を含む複数の経路候補点を設定し、それぞれの経路候補点について、前記観測点から前記経路候補点を経由して前記振動子に到達する経路における、前記屈折面に対する超音波の入射角と出射角とを算出し、前記屈折面より前記観測点側と前記屈折面より前記観測点側との間の超音波の伝播速度比から満たされるべき入射角と出射角との関係に近い、前記入射角と前記出射角との関係とに対応する経路観測点を特定し、当該経路観測点を経由する前記観測点から前記振動子までの経路に基づいて、前記受信時間を算出する、としてもよい。

【0130】

上記構成により、スネルの法則を満たす経路に基づく受信時間を高精度に算出することができる。

(3)また、上記(2)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記最大屈折点を第1の経路候補点としたとき、前記最大屈折点から前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線側に所定距離離れた前記屈折面上の点を第2の経路候補点とし、第nの経路候補点(nは2以上の整数)を経由する経路における前記入射角が過大である場合には第nの経路候補点から、第nの経路候補点を経由する経路における前記入射角が過小である場合には第(n-1)番目の経路候補点から、前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線側に、第nの経路候補点と第(n-1)の経路候補点との距離の1/2だけ離れた前記屈折面上の点を第(n+1)の経路候補点とする、としてもよい。

【0131】

上記構成により、観測点から振動子までの反射超音波の伝搬経路を少ない試行回数で特定することができるため、小規模な演算で高精度に受信時間を算出することができる。

(4)また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記屈折面上に、前記最大屈折点を含む複数の経路候補点を設定し、それぞれの経路候補点について、前記観測点から前記経路候補点を経由して前記振動子に到達する経路における超音波の伝搬所要時間を算出し、前記複数の伝搬所要時間のうち、最も小さい値を、前記受信時間として算出する、としてもよい。

【0132】

上記構成により、観測点から振動子までの反射超音波の伝搬経路を特定することなく受信時間を直接算出することができる。

(5)また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記屈折面と、前記観測点と前記振動子とを結ぶ直線との交点を経路算出点として特定し、前記観測点から、前記最大屈折点と前記経路算出点との少なくとも一方までの経路を用いて第1時間を算出し、最大屈折点と前記経路算出点との少なくとも一方から、前記振動子までの経路を用いて第2時間を算出し、前記第1時間と前記第2時間とを用いて前記受信時間を算出する、としてもよい。

【0133】

上記構成により、観測点から振動子までの反射超音波の伝搬経路を特定することなく、演算量の小さい近似計算により受信時間を算出することができる。

(6) また、上記(5)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記観測点から前記最大屈折点までの経路を超音波が通過する時間と、前記観測点から前記経路算出点の経路を超音波が通過する時間との一次結合により、前記第1時間を算出する、としてもよい。

【0134】

(7) また、上記(5)または(6)の超音波信号処理装置は、前記受信時間算出部は、前記最大屈折点から前記振動子までの経路を超音波が通過する時間と、前記経路算出点から前記振動子の経路を超音波が通過する時間との一次結合により、前記第2時間を算出する、としてもよい。

これら上記構成により、被検体内と音響レンズ内のそれぞれについて近似計算を行うことで、より近似の精度を向上させることができる。

【産業上の利用可能性】

【0135】

本開示にかかる超音波信号処理装置、超音波診断装置、超音波信号処理方法、プログラム、及びコンピュータ読み取り可能な非一時的な記録媒体は、音響レンズを備える超音波プローブを用いる場合における性能向上、特に、解像度およびS/N比の向上に有用である。

【符号の説明】

【0136】

- 100 超音波診断装置
- 101 プローブ
- 101a 振動子
- 101b 音響レンズ
- 102 マルチプレクサ部
- 103 送信ビームフォーマ部
- 1031 送信部
- 104 受信ビームフォーマ部
- 1040 受信部
- 1041 整相加算部
- 1042 観測点設定部
- 1043 受信開口設定部
- 1044 送信時間算出部
- 1045 受信時間算出部
- 1046 遅延量算出部
- 1047 遅延処理部
- 1048 重み算出部
- 1049 加算部
- 105 超音波画像生成部
- 106 表示部
- 107 データ格納部
- 108 制御部
- 150 超音波信号処理装置
- 1000 超音波診断システム

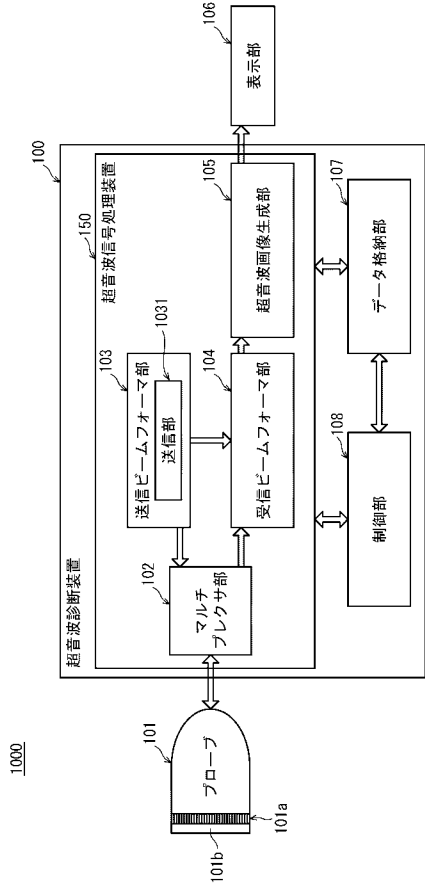
10

20

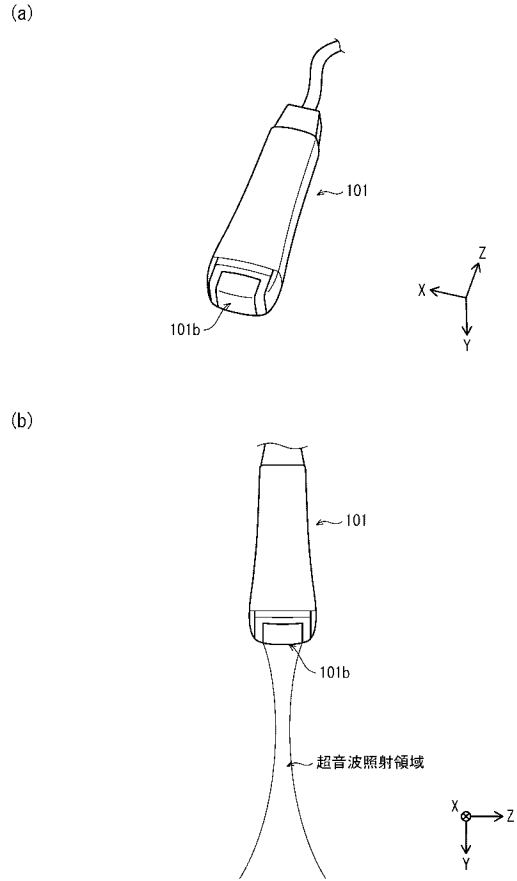
30

40

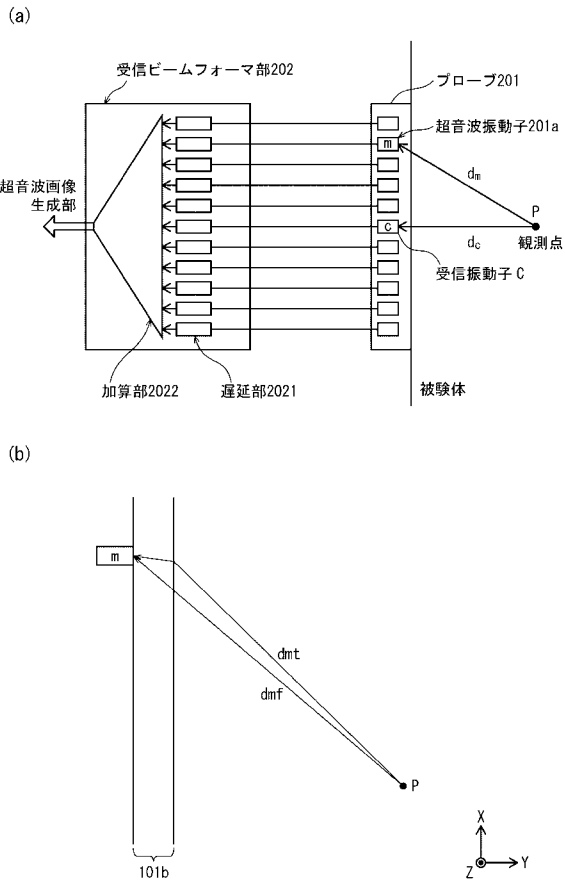
【 図 1 】



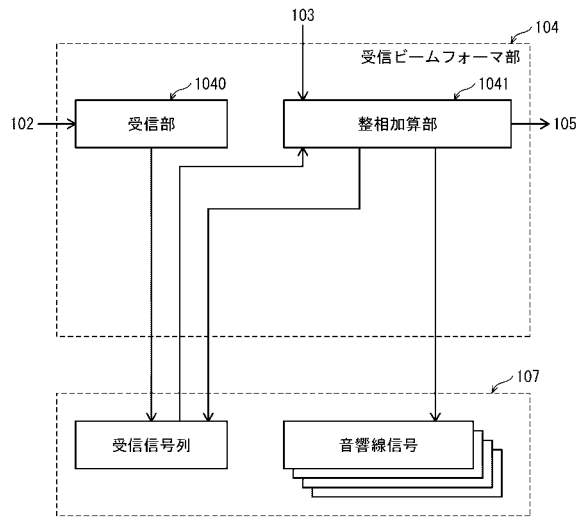
【 図 2 】



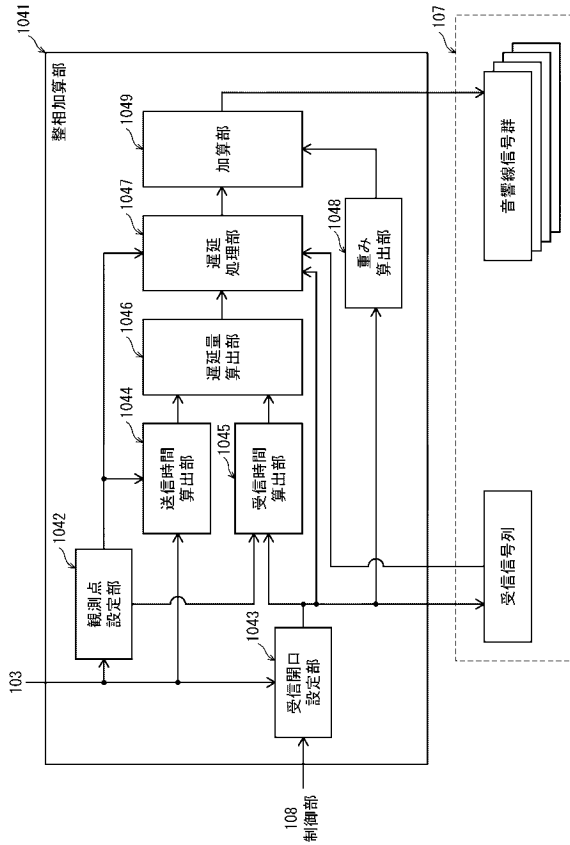
【 図 3 】



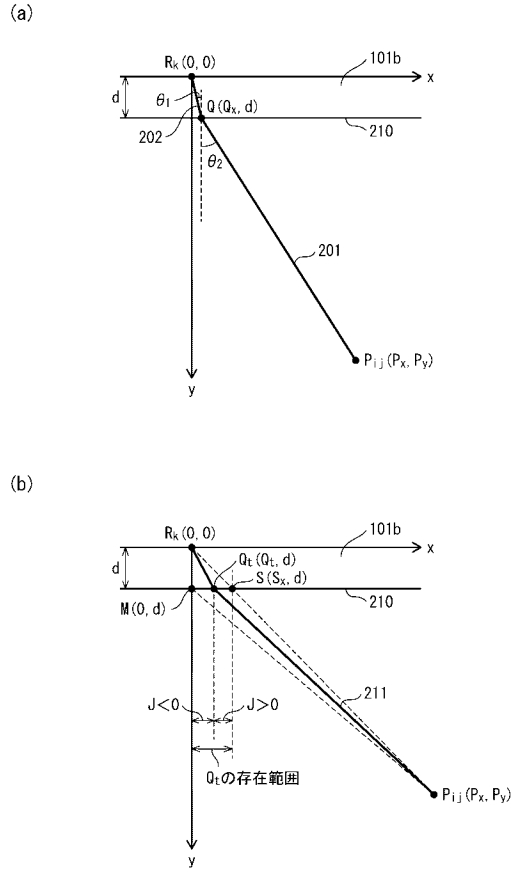
【 図 4 】



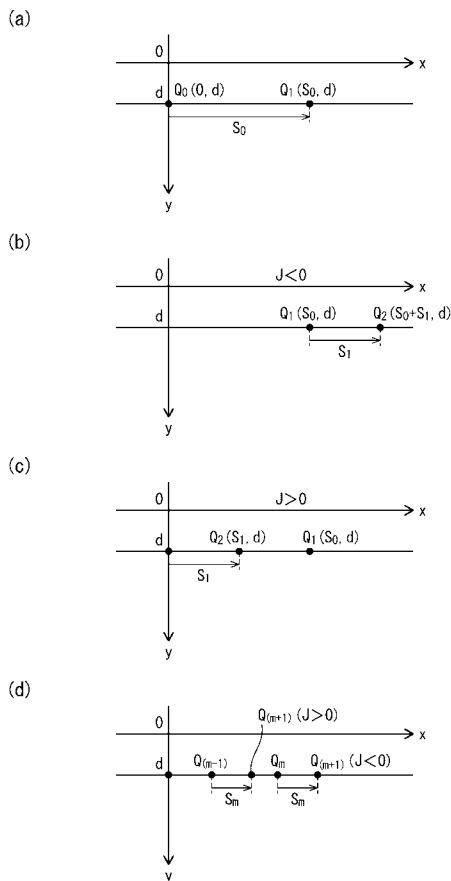
【図5】



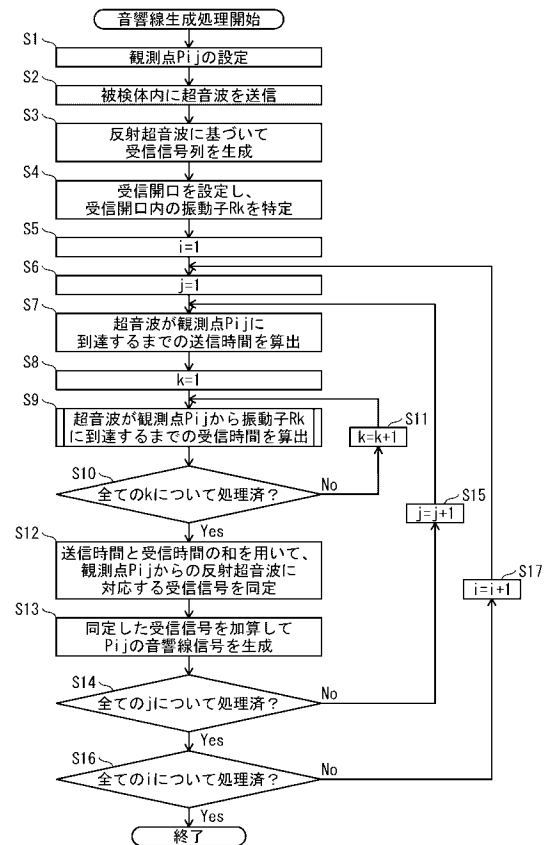
【図6】



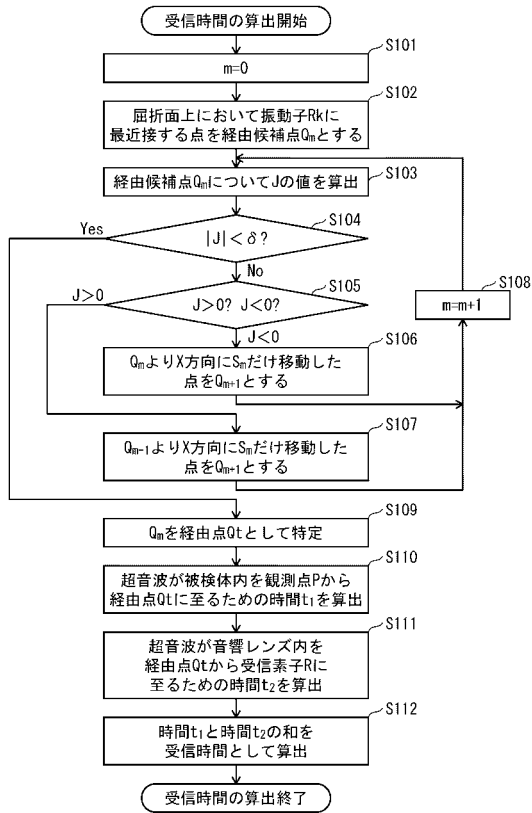
【図7】



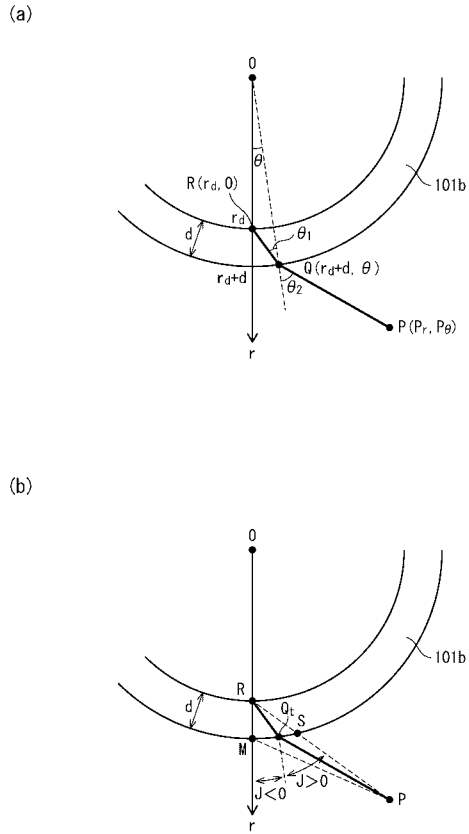
【図8】



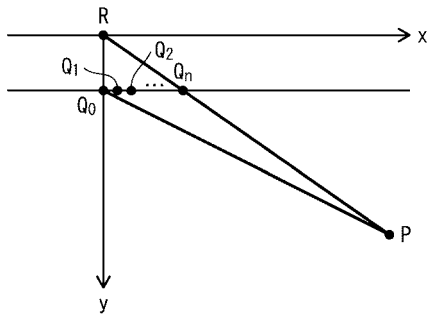
【 図 9 】



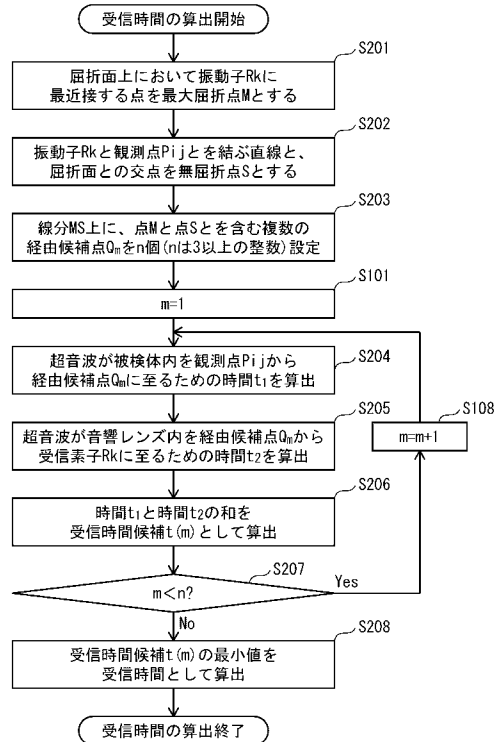
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

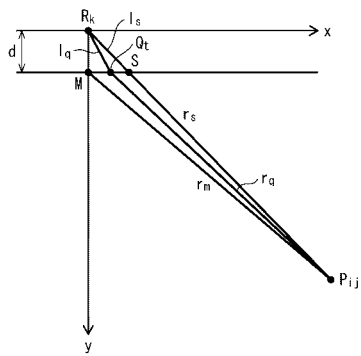


【 図 1 2 】

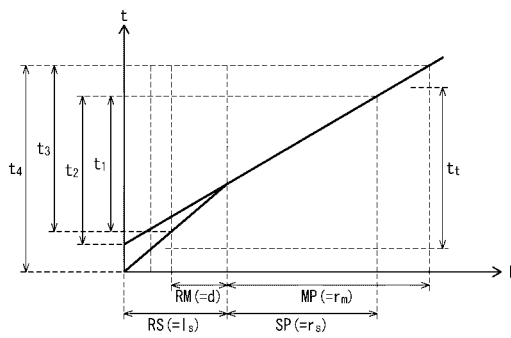


【 図 1 3 】

(a)

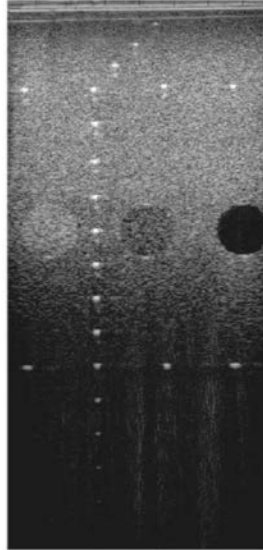


(b)

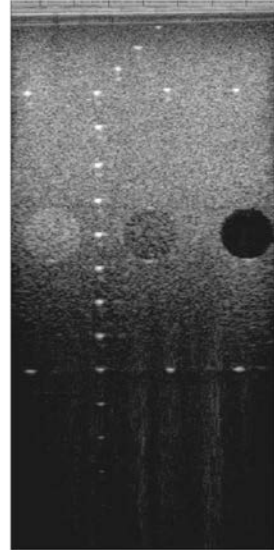


【 図 1 4 】

(a)



(b)



专利名称(译)	超声波信号处理装置，超声波诊断装置和超声波信号处理方法		
公开(公告)号	JP2019033822A	公开(公告)日	2019-03-07
申请号	JP2017155946	申请日	2017-08-10
[标]申请(专利权)人(译)	柯尼卡株式会社		
申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	津島峰生		
发明人	津島 峰生		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/5269 A61B8/145 A61B8/4272 A61B8/4444 A61B8/4488 G10K11/28 G10K11/30 G10K11/346		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/BB06 4C601/BB21 4C601/BB22 4C601/EE09 4C601/EE22 4C601/GB04 4C601/HH21 4C601/HH25 4C601/JB01 4C601/JB34		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种能够以高精度执行声透镜校正的超声信号处理设备，而不管接收波束形成中的校正值数据如何。 以及使用超声探头插入对象，基于从所述超声探头接收到该受试者反射的超声波发送所述发送超声波的发送部中，对应于每个振动器的接收信号序列以及定相加法单元，用于对受试者中的多个观察点进行相位和相加的接收信号序列的加法，以产生声线信号，其中超声探头包括：在换能器和对象之间提供声透镜，并且定相加法部分计算每个观察点和每个换能器的接收时间，直到反射的超声波从观察点到达换能器。并且接收时间计算单元使用在作为声透镜和对象之间的界面的折射表面上最靠近振动器的最大折射点来计算接收时间。 点域6

