

(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2020-39604
(P2020-39604A)

(43) 公開日 令和2年3月19日(2020.3.19)

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

F 1
A61B 8/14

テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2018-169515 (P2018-169515)
(22) 出願日 平成30年9月11日(2018.9.11)

(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 EE04 EE07 HH14 HH21 HH25
HH38 JB03

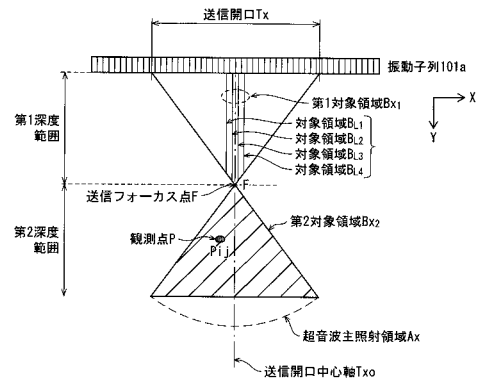
(54) 【発明の名称】 超音波信号処理装置、超音波診断装置、および、超音波信号処理方法

(57) 【要約】

【課題】合成開口法を用いる際に、演算量を低減し、かつ、音響線信号の品質の均一性を向上する。

【解決手段】超音波信号処理装置であって、超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から送信超音波が送信されるように駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行う送信部と、送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成する受信部と、送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に観測点を設定する観測点設定部と、観測点のそれぞれについて受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成するフレーム生成部とを備え、観測点設定部は、フォーカス領域よりも超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が1つの送信イベントに対応するように設定する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から集束型の送信超音波が被検体に対して送信されるように前記振動子列の振動子を駆動するための駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを前記送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行う送信部と、

前記送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成する受信部と、

前記送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に対応する観測点を設定する観測点設定部と、

前記観測点設定部により設定された前記観測点のそれぞれについて、前記受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成するフレーム生成部と

を備え、

前記観測点設定部は、前記送信超音波が集束するフォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が1つの送信イベントに対応するように設定し、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、各観測点が複数の送信イベントに対応するように設定する

ことを特徴とする超音波信号処理装置。

【請求項 2】

前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、前記送信振動子列の中心とフォーカス領域とを直線で結んだ送信超音波中心軸の近傍に観測点を設定する

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】

前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、前記送信超音波中心軸上に観測点を設定する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 4】

前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域における観測点が設定される対象領域の前記振動子列の列方向における幅は、前記送信イベント毎に位置が変更されることにより定まる前記送信振動子列の移動ピッチ以下である

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 5】

前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、前記送信超音波中心軸上にのみ観測点を設定する

ことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 6】

前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、合成開口法を用いることにより、フレーム音響線信号を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 7】

前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、前記送信振動子列を底辺として前記フォーカス領域で集束する砂時計形状の領域のうち前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い部分を、観測点が存在する対象領域として設定する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 8】

前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、送信超音波が前記フォーカス領域内の基準点まで伝播する時間と送信超音波が前記基準点から前記観測点まで伝播する時間との合計を送信超音波が前記

10

20

30

40

50

観測点まで伝播する時間である送信時間とし、反射超音波が前記観測点から前記超音波プローブの振動子まで伝播する時間を受信時間として、前記送信時間と前記受信時間とに基づいて前記受信信号列から前記観測点に係るフレーム音響線信号を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 9】

前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、送信超音波が前記観測点まで伝播する時間を送信時間とし、反射超音波が前記観測点から前記超音波プローブの振動子まで伝播する時間を受信時間として、前記送信時間と前記受信時間とに基づいて前記受信信号列から前記観測点に係るフレーム音響線信号を生成する

10

ことを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 10】

前記フレーム生成部は、観測点間の送信イベント回数の違いに起因する信号強度の差を是正する信号増幅部をさらに含み、

前記信号増幅部は、信号強度に対する増幅率を、観測点と超音波プローブとの距離の増加に対して連続的に変化するように設定する

ことを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 11】

超音波プローブと、

請求項 1 から 10 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 12】

超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から集束型の送信超音波が被検体内に送信されるように前記振動子列の振動子を駆動するための駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを前記送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行い、

前記送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成し、

前記送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に対応する観測点を設定し、

前記観測点設定部により設定された前記観測点のそれぞれについて、前記受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成する

30

処理を含み、

前記観測点の設定において、前記送信超音波が被検体内で集束するフォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が 1 つの送信イベントに対応するように設定し、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、各観測点が複数の送信イベントに対応するように設定する

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】

【0001】

40

本開示は、超音波信号処理装置、及び、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。

50

【0003】

従来の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方法として、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）。この方法では、一般に、複数の振動子によって行われる被検体への超音波送信が行われる際、被検体のある深度で超音波ビームがフォーカスを結ぶよう送信ビームフォーミングがなされる。また、この方法では、送信超音波ビームの中心軸上に観測点を設定する。そのため、1回の超音波送信イベントでは送信超音波ビームの中心軸上にある1本若しくは少数本の音響線信号しか生成することができず、超音波の利用効率が悪い。また、観測点がフォーカス点近傍から離れた位置にある場合には、得られる音響線信号の空間分解能及び信号S/N比が低くなる課題も有している。

10

【0004】

これに対して、合成開口法(Synthetic Aperture Method)により、送信フォーカス点近傍以外の領域においても空間分解能の高い、高画質な画像を得る受信ビームフォーミング方法が考案されている（例えば、非特許文献2）。この方法によれば、超音波送信波の観測点への到達時間と、観測点で反射された反射波の観測点から振動子への到達時間の両方を加味した遅延制御を行うことで、送信フォーカス点近傍以外に位置する超音波主照射領域からの反射超音波も反映した受信ビームフォーミングを行うことができる。その結果、1回の超音波送信イベントから超音波主照射領域全体に対して音響線信号を生成することができる。なお、超音波主照射領域とは、領域内のすべての点において、送信振動子列を構成する各振動子から送波される超音波の位相が揃っている領域を指す。また、合成開口法では、複数の送信イベントから得た同一観測点に対する複数の受信信号をもとに仮想的に送信フォーカスを合わせることで、空間分解能及びS/N比の高い超音波画像を得ることが可能となる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平4-60653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)

30

【非特許文献2】"Virtual ultrasound sources in high resolution ultrasound imaging", S. I. Nikolov and J. A. Jensen, in Proc, SPIE - Progress in biomedical optics and imaging, vol. 3, 2002, P. 395 - 405

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

合成開口法においては、超音波利用効率と解像度向上の観点から、1回の超音波送信イベントで音響線信号を生成する領域（以下、「対象領域」と呼ぶ）の面積が大きいことが好ましく、超音波主照射領域全域を対象領域とすることがより好ましい。しかしながら、観測点の数が増加すると演算量が増加するため、高性能な演算装置と大容量のメモリが必要となり超音波診断装置のコスト上昇につながる。また、送信フォーカス点と超音波プローブに挟まれた浅部においては、超音波プローブに近いほど仮想的な送信フォーカスに用いる複数の受信信号の数が増加するため、音響線信号の空間分解能及び信号S/N比（以下、「音響線信号の品質」と呼ぶ）の、超音波プローブに対する距離への依存性が高くなる。この、音響線信号の品質の、超音波プローブに対する距離への依存性が過度に高くなると、音響線信号の均一性が低下し、特に、超音波プローブから遠い深部における超音波信号の品質をユーザが過度に低く感じる原因となる。

40

【0008】

本開示の一態様は、上記課題に鑑みてなされたものであり、合成開口法を用いる際に、

50

演算量を低減し、かつ、音響線信号の品質の均一性を向上することのできる超音波信号処理装置および超音波信号処理方法、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】

【0009】

本開示の一態様に係る超音波信号処理装置は、超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から集束型の送信超音波が被検体に対して送信されるように前記振動子列の振動子を駆動するための駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを前記送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行う送信部と、前記送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成する受信部と、前記送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に対応する観測点を設定する観測点設定部と、前記観測点設定部により設定された前記観測点のそれぞれについて、前記受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成するフレーム生成部とを備え、前記観測点設定部は、前記送信超音波が集束するフォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が1つの送信イベントに対応するように設定し、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、各観測点が複数の送信イベントに対応するように設定することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0010】

本開示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は、合成開口法を用いる際に、演算量を低減し、かつ、音響線信号の品質の均一性を向上することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態に係る超音波診断装置100の構成を示すブロック図である。

【図2】実施の形態に係る送信ビームフォーマ部103による送信超音波ビームの伝播経路を示す図である。

【図3】実施の形態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。

30

【図4】実施の形態に係る整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】実施の形態に係る対象領域 B_x を示す図である。

【図6】実施の形態に係る受信開口設定部1043により設定された受信開口 R_x と送信開口 T_x との関係を示す模式図である。

【図7】実施の形態に係る、送信開口 T_x から観測点 P_{ij} を經由して受信振動子 R_k に到達する超音波の伝播経路を示す模式図である。

【図8】実施の形態に係る合成部1140の構成を示す機能ブロック図である。

【図9】実施の形態に係る加算処理部11401における合成音響線信号を合成する処理を示す模式図である。

【図10】実施の形態に係る、合成音響線信号における重畳数と、増幅処理部11402における増幅処理の概要を示す模式図である。

40

【図11】実施の形態に係る超音波診断装置100のフレーム音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

【図12】実施の形態に係る受信ビームフォーマ部104における観測点 P_{ij} についての音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態に係る受信ビームフォーマ部104における観測点 P_{ij} についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【図14】比較例に係る、合成音響線信号における重畳数と、増幅処理部11402における増幅処理の概要を示す模式図である。

【図15】変形例2に係る受信開口設定部により設定された受信開口 R_x と送信開口 T_x

50

との関係を示す模式図である。

【図16】変形例2に係る超音波診断装置のフレーム音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

【図17】変形例2に係る受信ビームフォーマ部における観測点 P_{ij} についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【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、合成開口法を用いる超音波診断装置において、演算量を低下させるために各種の検討を行った。

【0013】

合成開口法では、まず、それぞれの送信イベントにおいて対象領域(1回の超音波送信イベントで音響線信号を生成する領域)を設定し、対象領域内の観測点のそれぞれについて、観測点からの反射超音波を受波する受信振動子 R_k を設定する。そして、観測点のそれぞれについて、受信振動子 R_k のそれぞれが受波した反射超音波に基づき受信信号を作成し、複数の受信信号を整相加算してサブフレーム音響線信号を作成する。これにより、1つの送信イベントに対応する音響線信号を作成する。そして、観測点の位置を指標として、複数のサブフレーム音響線信号を合成することで、フレーム音響線信号を作成する。これにより、仮想的な送信フォーカスを実現している。

【0014】

しかしながら、送信超音波として集束型の超音波ビームを用いる場合、超音波主照射領域は送信フォーカス点を最狭部とする砂時計形状となる。したがって、対象領域を超音波主照射領域の全域とすると、送信フォーカス点から遠ざかるほどフレーム音響線信号に対応するサブフレーム音響線信号の数が増加する。サブフレーム音響線信号の品質は、送信フォーカス点から遠ざかるほど送信超音波のフォーカスが甘くなって低下する傾向があり、また、超音波プローブから遠ざかるほど超音波の減衰により低下する傾向にある。つまり、送信フォーカス点より深い領域では、深度が大きくなるほどサブフレーム音響線信号の品質が低下するが、フレーム音響線信号に対応するサブフレーム音響線信号の数が増加するため、サブフレーム音響線信号の品質の低下を仮想的な送信フォーカスによって補完することができ、フレーム音響線信号の品質の、超音波プローブに対する距離への依存性は高くない。これに対し、送信フォーカス点より浅い領域では、送信フォーカス点から遠い観測点ほど超音波プローブに近く、送信フォーカス点に近い観測点ほど超音波プローブから遠いため、サブフレーム音響線信号の品質は深度に大きく依存せず、特に超音波の減衰が小さいため超音波プローブに近い観測点ほどサブフレーム音響線信号の品質が高い。一方で、送信フォーカス点から遠ざかるほど、言い換えれば、超音波プローブに近づくほど、フレーム音響線信号に対応するサブフレーム音響線信号の数が増加するため、フレーム音響線信号の品質は、超音波プローブに近づくほど高くなる。したがって、対象領域を超音波主照射領域の全域とすると、超音波プローブに近い領域ほど音響線信号の品質が過度に高くなりやすい。超音波プローブに近い領域で音響線信号の品質が過度に高くなると、例えばBモード画像とした場合、超音波プローブに近い浅部でコントラストが過度に強くなるため、結果として、超音波プローブから遠い深部の品質が過度に低く見えたり、浅部が見やすいように調整を行うと深部が不明瞭になったり荒が目立ったりする事態が発生しやすくなる。

【0015】

そこで、発明者は、上記課題に鑑み、深さ方向にフレーム音響線信号の品質を均一化し、かつ、演算量を低減させる技術について検討を行い、実施の形態に係る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に想到するに至ったものである。

【0016】

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。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

実施の形態

< 全体構成 >

以下、実施の形態に係る超音波診断装置 1 0 0 について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 1 8 】

図 1 は、実施の形態に係る超音波診断システム 1 0 0 0 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 1 0 0 0 は、被検体に向けて超音波を送信しその反射波を受信する複数の振動子 1 0 1 a を有するプローブ 1 0 1、プローブ 1 0 1 に超音波の送受信を行わせプローブ 1 0 1 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 1 0 0、超音波画像を画面上に表示する表示部 1 0 6 を有する。プローブ 1 0 1、表示部 1 0 6 は、それぞれ、超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 0 に、プローブ 1 0 1、表示部 1 0 6 が接続された状態を示している。なお、プローブ 1 0 1 と、表示部 1 0 6 とは、超音波診断装置 1 0 0 の内部にあってもよい。

10

【 0 0 1 9 】

< 超音波診断装置 1 0 0 の構成 >

超音波診断装置 1 0 0 は、プローブ 1 0 1 の複数ある振動子 1 0 1 a のうち送信又は受信の際に用いる振動子のそれぞれについて入出力を確保するマルチプレクサ部 1 0 2、超音波の送信を行うためにプローブ 1 0 1 の各振動子 1 0 1 a 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 1 0 3 と、プローブ 1 0 1 で受信した超音波の反射波に基づき複数の振動子 1 0 1 a 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 1 0 4 を有する。また、受信ビームフォーマ部 1 0 4 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 1 0 5、受信ビームフォーマ部 1 0 4 が出力する音響線信号及び超音波画像生成部 1 0 5 が出力する超音波画像を保存するデータ格納部 1 0 7 と、各構成要素を制御する制御部 1 0 8 を備える。

20

【 0 0 2 0 】

このうち、マルチプレクサ部 1 0 2、送信ビームフォーマ部 1 0 3、受信ビームフォーマ部 1 0 4、超音波画像生成部 1 0 5 は、超音波信号処理装置 1 5 0 を構成する。

30

【 0 0 2 1 】

超音波診断装置 1 0 0 を構成する各要素、例えば、マルチプレクサ部 1 0 2、送信ビームフォーマ部 1 0 3、受信ビームフォーマ部 1 0 4、超音波画像生成部 1 0 5、制御部 1 0 8 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（Graphics Processing Unit）を用いることができ、GPUを用いる構成はGPGPU（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 것도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 것도できる。

40

【 0 0 2 2 】

データ格納部 1 0 7 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 1 0 7 は、超音波診断装置 1 0 0 に外部から接続された記憶装置であってもよい。

【 0 0 2 3 】

なお、本実施の形態に係る超音波診断装置 1 0 0 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 1 0 2 がなく、送信ビームフォーマ部 1 0

50

3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。

【0024】

<超音波診断装置100の主要部の構成>

実施の形態に係る超音波診断装置100は、プローブ101の各振動子101aから超音波ビームの送信を行わせる送信ビームフォーマ部103と、プローブ101において超音波反射波の受信から得た電気信号をプローブから受信し、電気信号を演算し、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を本実施の形態に係る送信ビームフォーマ部103及び受信ビームフォーマ部104に置き換えて使用することが可能である。

10

【0025】

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。

20

【0026】

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。

【0027】

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て超音波ビームのフォーカス動作を行うための回路である。

30

【0028】

送信部1031は、超音波送信ごとに送信開口Txを列方向に移動ピッチMpだけ移動させながら超音波送信を繰り返し、超音波送信を行う。本実施の形態では、移動ピッチMpを振動子1つ分とし、超音波送信ごとに、送信開口Txが振動子1つ分ずつ振動子列方向に移動していく。なお、移動ピッチMpは振動子1つ分に限られず、例えば、振動子0.5個分としてもよい。送信開口Txに含まれる振動子の位置を示す情報は制御部108を介してデータ格納部107に出力される。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、送信開口Txを構成する振動子列の数として、例えば20~100を選択してもよく、超音波送信毎に振動子1つ分だけ移動させる構成としてもよい。以後、送信部1031により同一の送信開口Txから行われる超音波送信を「送信イベント」と称呼する。

40

【0029】

図2は、送信ビームフォーマ部103による超音波送信波の伝播経路を示す模式図である。ある送信イベントにおいて、超音波送信に寄与するアレイ状に配列された振動子10

50

1 a の列（送信振動子列）を送信開口 T x として図示している。また、送信開口 T x の列長を送信開口長と呼ぶ。

【0030】

送信ビームフォーマ部 103 において、送信開口 T x 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 T x 内の振動子列から送信された超音波送信波は、ある深度（Focal depth）において、波面がある一点またはある領域に集束する状態となる。超音波送信波が振動子の並ぶ方向（図 2 における x 方向）に最も集束する深度、すなわち、超音波ビームの x 方向における幅が最も狭まる深度をフォーカス深さと呼ぶ。また、フォーカス深さにおいて、超音波送信波のエネルギーが最も高まる位置を送信フォーカス点 F（Focal point）と呼び、通常、フォーカス深さにおける超音波ビームの x 方向における中心位置が送信フォーカス点 F である。但し、1 フレームに係る複数の送信イベント中ではフォーカス深さは一定である。すなわち、1 フレームに係る複数の送信イベントにおいて、送信開口 T x と送信フォーカス点 F との相対的な関係は変化しない。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 T x 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播する。すなわち、送信開口 T x で放射された超音波は、次第にその空間上での幅（図中の 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（図中では Y 方向）に進行するにすぎず、再び、その幅を大きくしながら拡散し、伝播することとなる。この砂時計型の領域が超音波主照射領域 A x である。

10

20

【0031】

なお、超音波主照射領域 A x の形状は、フォーカス点 F を節とする砂時計型の形状に限られない。例えば、送信開口 T x を小さくすると、送信フォーカス点 F（Focal Point）での収束が、非常に狭い、たとえば一点に収束する状態にならずに、フォーカス深さから拡散を行う送信波となることが知られている。また、送信開口 T x の各素子間の遅延差を送信フォーカス点 F で合焦しないよう設定して送信波を送信することで、意図して、フォーカス深さでも、プローブ列方向に送信波にある幅を持たせる送信を行うことがある。特にこのような送信は、超音波画像のフレームレートを向上させる手段として、用いられる場合が多くある。これら送信は、種々な名称と呼ばれ、また、送信波の形成方法にも差はあるが、フォーカス深さでも、プローブ列方向に送信波にある幅を持たせる送信であることから、ブロード送信と呼ばれる。当該ブロード送信を用いた場合においても、本出願の超音波信号処理、超音波信号処理方法は、後述の発明の効果を発揮することから、ブロード送信を含む送信においても本願の範囲とする。すなわち、送信フォーカス点 F またはフォーカス領域とは、被検体内において超音波の空間的な密度が高く設定された領域を指し、また、ブロード送信を用いる場合には、送信された超音波が伝播することを意図した被検体内の領域が、超音波主照射領域 A x となる。

30

【0032】

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 101 a 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 3 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 3 に示すように、受信ビームフォーマ部 104 は、受信部 1040、整相加算部 1041、合成部 1140 を備える。

40

【0033】

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。

【0034】

(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 で超音波反射波の受信から得た電気信号をプローブ 1

50

01から受信し、受信した電気信号を増幅し、A/D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。

【0035】

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増幅して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。

【0036】

送信イベントでは、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、送信イベント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受波した反射超音波に基づきプローブ内で変換された電気信号を受信し、受信した電気信号に基づき各振動子に対する受信信号の列を生成する。ここで、1回の送信イベントにおいて1以上の観測点から反射された反射超音波を受波する振動子を「受波振動子」と称呼する。観測点それぞれに対応する受信振動子Rkは、受波振動子の一部または全部である。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。

10

【0037】

受信部1040は、送信イベントに同期して各受波振動子に対する受信信号の列を生成し、生成された受信信号はデータ格納部107に保存される。

20

【0038】

(2) 整相加算部1041

整相加算部1041は、送信イベントに同期して、サブフレーム音響線信号の生成を行う被検体内の対象領域Bxを設定する。次に、整相加算部1041は、対象領域Bx内に存する複数の観測点Pij各々について、観測点から各受信振動子Rkが受信した受信信号列を整相加算する。そして、整相加算部1041は、各観測点における音響線信号の列を算出することによりサブフレーム音響線信号を生成する。図4は、整相加算部1041の構成を示す機能ブロック図である。図4に示すように、整相加算部1041は、対象領域設定部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。

30

【0039】

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。

【0040】

i) 対象領域設定部1042

対象領域設定部1042は、サブフレーム音響線信号の生成を行う被検体内の領域である対象領域Bxを設定する。「対象領域」とは、送信イベントに対応して被検体内においてサブフレーム音響線信号の生成が行われるべき信号上の領域であり、対象領域Bx内の観測点Pijについて音響線信号が生成される。対象領域Bxは、音響線信号の生成が行われる観測点の集合として、各送信イベントに対応させて計算の便宜上設定される。

40

【0041】

ここで、「サブフレーム音響線信号」とは、1回の送信イベントから生成される対象領域Bx内に存在する全ての観測点Pijに対する音響線信号の集合である。なお、「サブフレーム」とは、1回の送信イベントで得られ、対象領域Bx内に存在する全ての観測点Pijに対応するまとまった信号を形成する単位をさす。送信イベントの異なる複数のサブフレームを合成したものがフレームとなる。

【0042】

対象領域設定部1042は、各送信イベントに対応させて、送信ビームフォーマ部103から取得する送信開口Txの位置を示す情報に基づき対象領域Bxを設定する。

【0043】

50

図5は、対象領域 B_x を示す模式図である。図5に示すように、対象領域 B_x は、超音波主照射領域 A_x 内に存在し、深度が第1深度範囲である第1対象領域 B_{x1} と、深度が第2深度範囲である第2対象領域 B_{x2} とを含む。なお、第1深度範囲は深度がフォーカス深さまでの領域であり、第2深度範囲は深度がフォーカス深さより深い領域である。第2対象領域 B_{x2} は、第2深度範囲における超音波主照射領域 A_x の全域である。これに対し、第1対象領域 B_{x1} は、送信超音波の中心軸近傍において送信超音波の中心軸の延伸する方向に延伸する略長形状の領域として設定される。より具体的には、第1対象領域 B_{x1} は、送信開口 T_x の中心と送信フォーカス点 F とを結ぶ直線である送信開口中心軸 T_xo と平行な複数の対象線 $BL_1 \sim BL_4$ が列方向(x 方向)に等間隔に配置された領域として設定される。また、第1対象領域 B_{x1} の列方向の幅は、移動ピッチ M_p の大きさ以下である。すなわち、ある送信イベントにおける第1対象領域 B_{x1} と、当該送信イベントの次に行われる送信イベントにおける第1対象領域 B_{x1} とは領域が重複しない。つまり、ある送信イベントにおける第1対象領域 B_{x1} 内の観測点 P_{ij} は、他の送信イベントにおいて観測点 P_{ij} として設定されない。これにより、第1深度範囲では、同一観測点に対する音響線信号の合成が行われなため、第2深度範囲との間で空間分解能及び信号 S/N 比の差が過剰となることを抑止することができる。一方で、第2深度範囲では、超音波主照射領域 A_x のほぼ全域に観測点を設定して照射された超音波の利用効率を向上し、仮想的な送信フォーカスによる空間分解能及び信号 S/N 比の向上を図ることができる。さらに、ある送信イベントにおける対象線 BL_4 と、当該送信イベントの次に行われる送信イベントにおける対象線 BL_1 との間隔は、同一の送信イベントにおける対象線 BL_1 と対象線 BL_2 との間隔と同一であることがより好ましい。これにより、後述するフレーム音響線信号において、列方向(x 方向)の分解能を均一とすることができる。なお、第1対象領域 B_{x1} に含まれる対象線 BL の数は4に限られず、1以上の任意の数であってよい。なお、第1対象領域 B_{x1} に含まれる対象線 BL の数が奇数である場合には、一本が送信開口中心軸 T_xo 上に存在していることが好ましい。

10

20

30

40

50

【0044】

設定された対象領域 B_x は受信開口設定部1043、送信時間算出部1044、受信時間算出部1045、遅延処理部1047に出力される。

【0045】

ii) 受信開口設定部1043

受信開口設定部1043は、制御部108からの制御信号と、対象領域設定部1042からの対象領域 B_x の範囲を示す情報とに基づき、プローブ101に存する複数の振動子の一部に当たり、列中心が観測点に最も空間的に近接する振動子と合致する振動子列(受信振動子列)を受信振動子として選択して受信開口 R_x を設定する回路である。受波振動子列のうち、観測点ごとに設定された受信開口 R_x に含まれる振動子が、当該観測点に対応する受信振動子 R_k となる。

【0046】

受信開口設定部1043は、列中心が観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 X_k と合致するよう受信開口 R_x を選択する。図6は、受信開口設定部1043により設定された受信開口 R_x と送信開口 T_x との関係を示す模式図である。図6に示すように、受信開口 R_x 振動子列の列中心が、観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 X_k と合致するよう受信開口 R_x が選択される。すなわち、受信開口中心軸 R_xo 上に観測点 P_{ij} が存在するように受信開口 R_x が選択される。そのため、受信開口 R_x の位置は、観測点 P_{ij} の位置によって定まり、送信イベントに同期して変動する送信開口 T_x の位置に基づいては変化しない。すなわち、異なる送信イベントであっても、同一位置にある観測点 P_{ij} についての音響線信号を生成する処理においては、同一の受信開口 R_x 内の受信振動子 R_k によって取得された受信信号に基づき整相加算が行われる。

【0047】

ただし、受信開口設定部1043の構成は上記の構成に限らない。例えば、受信開口中心軸 R_xo 上に送信フォーカス点 F が存在するように受信開口を設定する構成としてもよ

い。さらに、第1対象領域 $B \times 1$ と第2対象領域 $B \times 2$ とで受信開口の設定方法を変えてもよく、第1対象領域 $B \times 1$ 内の観測点 P_{ij} に対しては送信開口に受信開口中心軸 $R \times o$ 上に送信フォーカス点 F が存在するように受信開口を設定し、第2対象領域 $B \times 2$ 内の観測点 P_{ij} に対しては受信開口中心軸 $R \times o$ 上に観測点 P_{ij} が存在するように受信開口を設定するとしてもよい。また、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 $R \times$ 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 $T \times$ 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 $R \times$ を構成する振動子列の数は、例えば32、64、96、128、192等としてもよい。

【0048】

受信開口 $R \times$ の設定は、少なくとも列方向における観測点 P_{ij} の最大数と同じ回数だけ行われる。また、受信開口 $R \times$ の設定は、送信イベントに同期して漸次行われる構成であってもよく、あるいは、全ての送信イベントが終了した後に、各送信イベントに対応した受信開口 $R \times$ の設定が送信イベントの回数分まとめて行われる構成であってもよい。

10

【0049】

選択された受信開口 $R \times$ の位置を示す情報は制御部108を介してデータ格納部107に出力される。

【0050】

データ格納部107は、受信開口 $R \times$ 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1044、受信時間算出部1045、遅延処理部1047、重み算出部1048に出力する。

20

【0051】

iij) 送信時間算出部1044

送信時間算出部1044は、送信された超音波が被検体中の観測点 P に到達するのに要する時間である送信時間を算出する回路である。送信イベントに対応して、データ格納部107から取得した送信開口 $T \times$ に含まれる振動子の位置を示す情報と、対象領域設定部1042から取得した対象領域 $B \times$ の位置を示す情報とに基づき、対象領域 $B \times$ 内に存在する任意の観測点 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する。

【0052】

図7は、送信開口 $T \times$ から放射され対象領域 $B \times$ 内の任意の位置にある観測点 P_{ij} において反射され受信開口 $R \times$ 内に位置する受信振動子 R_k に到達する超音波の伝播経路を説明するための模式図である。なお、図7(a)は観測点 P_{ij} の深度がフォーカス深さ以下である場合、図7(b)は観測点 P_{ij} がフォーカス深さより深い場合を示している。

30

【0053】

まず、観測点 P_{ij} の深度がフォーカス深さより深い場合について、図7(b)を用いて説明する。このとき、送信開口 $T \times$ から放射された送信波は、経路404を通して送信フォーカス点 F にて波面が集束し、再び、拡散する、として考える。すなわち、送信波が送信フォーカス点 F から拡散する途中で観測点 P_{ij} に到達し、観測点 P_{ij} で音響インピーダンスに変化があれば反射波を生成し、その反射波がプローブ101における受信開口 $R \times$ 内の受信振動子 R_k に戻る、と考える。送信フォーカス点 F は送信ビームフォーマ部103の設計値として装置内に格納されているので、送信フォーカス点 F と任意の観測点 P_{ij} との間の経路405の長さは幾何学的に算出することができる。

40

【0054】

以下、さらに詳細に説明する。送信開口 $T \times$ から放射された送信波が、経路404を通して送信フォーカス点 F に到達し、送信フォーカス点 F から経路405を通して観測点 P_{ij} に到達したものと算出する。したがって、送信波が経路404を通過する時間と、経路405を通過する時間を合算した値が、観測点 P_{ij} への送信時間となる。具体的な算出方法としては、例えば、経路404の長さ l_1 と経路405の長さ l_2 とを加算した全経路長を、被検体内における超音波の伝搬速度で除算することで求められる。

50

【 0 0 5 5 】

一方、観測点 P_{ij} の深度がフォーカス深さ以下である場合について、図 7 (a) を用いて説明する。上述したように、第 1 対象領域 $B \times 1$ 内の観測点 P_{ij} は、送信開口中心軸 Tx_o 上またはその近傍に存在している。したがって、送信開口 Tx の中心から放射された送信波が観測点 P_{ij} に直接到達したとみなすことができる。したがって、送信開口 Tx の中心から観測点 P_{ij} までの経路 4 0 2 を送信波が通過する時間が、観測点 P_{ij} への送信時間となる。なお、観測点 P_{ij} は、送信開口中心軸 Tx_o 上またはその近傍に存在しているので、観測点 P_{ij} と同じ Y 座標で送信開口中心軸 Tx_o 上に存在している参照点 R を考慮し、送信開口 Tx の中心から参照点 R までの経路 4 0 1 を送信波が通過する時間を、観測点 P_{ij} への送信時間としてもよい。具体的な算出方法としては、例えば、経路 4 0 1 の長さを被検体内における超音波の伝搬速度で除算する、または、経路 4 0 2 の長さを被検体内における超音波の伝搬速度で除算することで算出することで求められる。

10

【 0 0 5 6 】

なお、観測点 P_{ij} が送信フォーカス点 F と一致する場合の送信時間は、経路 4 0 5 の長さが 0 であり、かつ、経路 4 0 1、経路 4 0 2、経路 4 0 4 がすべて同一経路であるので、上述したいずれの算出方法を用いてもよい。

【 0 0 5 7 】

送信時間算出部 1 0 4 4 は、1 回の送信イベントに対し、対象領域 $B \times$ 内の全ての観測点 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。

20

【 0 0 5 8 】

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 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。送信イベントに対応して、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、対象領域設定部 1 0 4 2 から取得した対象領域 $B \times$ の位置を示す情報とに基づき対象領域 $B \times$ 内に存在する任意の観測点 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} 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。

30

【 0 0 5 9 】

上述のとおり、観測点 P_{ij} に到達した送信波は、観測点 P_{ij} で音響インピーダンスに変化があれば反射波を生成し、その反射波がプローブ 1 0 1 における受信開口 R_x 内の各受信振動子 R_k に戻っていく。受信開口 R_x 内の各受信振動子 R_k の位置情報はデータ格納部 1 0 7 から取得されるので、任意の観測点 P_{ij} から各受信振動子 R_k までの経路 4 0 3 の長さは幾何学的に算出することができる。

【 0 0 6 0 】

受信時間算出部 1 0 4 5 は、1 回の送信イベントに対し、対象領域 $B \times$ 内に存在する全ての観測点 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 1 0 4 6 に出力する。

40

【 0 0 6 1 】

v) 遅延量算出部 1 0 4 6

遅延量算出部 1 0 4 6 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_k 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 1 0 4 6 は、送信時間算出部 1 0 4 4 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を取得し、受信時間算出部 1 0 4 6 から、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観測点 P_{ij} に到達して観測点 P_{ij} から反射されて各受信振動子 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 1 0 4 6 は、対象領域 $B \times$ 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について、各受信振動子 R_k

50

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。

【0062】

v i) 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。

【0063】

遅延処理部 1047 は、送信イベント毎に、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、対象領域設定部 1042 から取得した対象領域 B_x 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、各送信イベントについて、超音波が送信された時刻を基準として、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。

【0064】

v i i) 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（受信アボダイゼーション）を算出する回路である。

【0065】

図 6 に示すように、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、観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 x_k 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 $R_x o$ 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。なお、上記では、重み数列を観測点 P_{ij} に最も空間的に近接する振動子 x_k を中心として対称な分布としたが、送信フォーカス点 F が受信開口中心軸 $R_x o$ 上に存在し、重み数列が送信フォーカス点 F を中心として対称な分布とする構成としてもよい。

【0066】

v i i i) 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。

【0067】

1 回の送信イベントとそれに伴う処理から、対象領域 B_x 内の全ての観測点 P_{ij} について音響線信号を生成することができる。そして、送信イベントに同期して送信開口 T_x を列方向に移動ピッチ M_p だけ移動させながら超音波送信を繰り返し、プローブ 101 に存する全ての振動子 101 a から超音波送信を行い、送信イベント毎にサブフレーム音響線信号を生成し、各サブフレームを合成することにより 1 フレームの合成された音響線信

10

20

30

40

50

号であるフレーム音響線信号を生成する。

【0068】

また、フレーム音響線信号を構成する観測点ごとの合成された音響線信号を、以後、「合成音響線信号」と称呼する。

【0069】

加算部1049により、送信イベントに同期して対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} に対するサブフレームの音響線信号が生成される。生成されたサブフレームの音響線信号は、データ格納部107に出力され保存される。

【0070】

(5) 合成部1140

合成部1140は、送信イベントに同期して生成されるサブフレーム音響線信号からフレーム音響線信号を合成する回路である。図8は、合成部1140の構成を示す機能ブロック図である。図8に示すように、合成部1140は、加算処理部11401、増幅処理部11402を備える。

【0071】

以下、合成部1140を構成する各部の構成について説明する。

【0072】

i) 加算処理部11401

加算処理部11401は、フレーム音響線信号を合成するための一連のサブフレーム音響線信号の生成が終了したのち、データ格納部107に保持されている複数のサブフレーム音響線信号を読み出す。そして、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号が取得された観測点 P_{ij} の位置を指標として複数のサブフレーム音響線信号を加算することにより、各観測点に対する合成音響線信号を生成してフレーム音響線信号を合成する。そのため、複数のサブフレーム音響線信号に含まれる同一位置の観測点に対する音響線信号は加算されて合成音響線信号が生成される。

【0073】

図9は、加算処理部11401における合成音響線信号を合成する処理を示す模式図である。上述のとおり、送信イベントに同期して送信振動子列(送信開口 T_x)に用いる振動子を振動子列方向に移動ピッチ M_p だけ(振動子1つ分だけ)異ならせて超音波送信が順次行われる。そのため、異なる送信イベントに基づく対象領域 B_x も送信イベントごとに同一方向に移動ピッチ M_p だけ(振動子1つ分だけ)位置が異なる。複数のサブフレーム音響線信号を、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号が取得された観測点 P_{ij} の位置を指標として加算することにより、全ての対象領域 B_x を網羅したフレーム音響線信号が合成される。但し、第1対象領域 B_{x1} は、上述したように、複数の送信イベント間で重複する範囲が存在しないので、複数の送信イベントに属する観測点 P_{ij} は存在しない。すなわち、第1深度領域については複数の音響線信号を加算する処理は行われず、第2深度範囲についてのみ、複数の音響線信号を加算する処理が行われる。

【0074】

また、位置の異なる複数の対象領域 B_x にまたがって存在する観測点 P_{ij} については、各サブフレーム音響線信号における音響線信号の値が加算されるので、合成音響線信号は、跨りの程度に応じて大きな値を示す。以後、観測点 P_{ij} が異なる対象領域 B_x に含まれる回数を「重畳数」、振動子列方向における重畳数の最大値を「最大重畳数」と称呼する。

【0075】

また、本実施の形態では、対象領域 B_x は第1深度領域では長方形上の領域であり、第2深度領域では三角形の領域である。したがって、図10(a)に示すように、重畳数は被検体の深さ方向において変化する。そのため、合成音響線信号の値は、深さ方向に変化する重畳数の影響を受け、合成音響線信号の値は、深さ方向において変化する。但し、上述したように第1対象領域 B_{x1} は、複数の送信イベントに属する観測点 P_{ij} が存在しないように設定されるので、第1深度範囲では重畳数は深度にかかわらず1に固定され

10

20

30

40

50

る。したがって、重畳数は、第2深度範囲においてのみ、深さが大きいほど大きな値に変化する傾向を有する。

【0076】

なお、各サブフレーム音響線信号に含まれる音響線信号が取得された観測点 P_{ij} の位置を指標として加算する際に、観測点 P_{ij} の位置を指標として重みづけしながら加算してもよい。

【0077】

合成されたフレーム音響線信号は増幅処理部11402に出力される。

【0078】

ii) 増幅処理部11402

上述のとおり、合成音響線信号の値は、重畳数の影響により、被検体の深度方向において変化する。これを補うために、増幅処理部11402は、フレーム音響線信号に含まれる合成音響線信号の合成において、加算が行われた回数(重畳数)に応じて決定した増幅率を各合成音響線信号に乗じる増幅処理を行う。

10

【0079】

また、合成前の各音響線信号の値は、超音波の減衰により、被検体の深度方向において変化する。より具体的には、図10(b)に示すように、音響線信号の値は、深度方向に対して指数関数的に減衰する。これを補うために、増幅処理部11402は、フレーム音響線信号に含まれる合成音響線信号に対し、深さに応じて決定した増幅率を各合成音響線信号に乗じるゲインコントロール処理を行う。

20

【0080】

より具体的には以下のようなになる。加算が行われた回数(重畳数)に応じて決定した増幅率としては、例えば、重畳数を n としたときに増幅率として $1/n$ を採用することができる。また、深さに応じて決定した増幅率としては、例えば、深さ y に対して増幅率として e^{ky} (k は正の実数) を用いることができる。

【0081】

図10(c)は、増幅処理部11402における増幅処理の概要を示す模式図である。上述したように、重畳数は第2深度範囲において被検体の深度が増加すると増加し、音響線信号の値は被検体の深度が増加すると減少する。したがって、図10(c)の増幅率 G_c に示すように、深度が増加するごとに増幅率が増加し、かつ、重畳数が増加するごとに増幅率が減少するような増幅率が合成音響線信号に乗じられる。これにより、重畳数の変化に伴う合成音響線信号の変動要因と、超音波の減衰による音響線信号の変動要因とがともに解消され、増幅処理後の合成音響線信号の値は深度方向において均一化が図られる。

30

【0082】

また、重畳数に応じて決定された振動子列方向において変化する増幅率を合成音響線信号に乗じる処理を行ってもよい。振動子列方向において重畳数が変化する場合に、その変動要因を解消し、振動子列方向において増幅処理後の合成音響線信号の値の均一化が図られる。

【0083】

<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。

40

【0084】

図11は、超音波診断装置100のフレーム音響線信号生成動作を示すフローチャートである。

【0085】

まず、ステップS101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の内、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する送信処理(送信イベント)を行う。

【0086】

次に、ステップS102において、受信部1040は、プローブ101での超音波反射

50

波の受信から得た電気信号に基づき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。プローブ101に存する全ての振動子101aから超音波送信が完了したか否かを判定する(ステップS103)。そして、完了していない場合にはステップS101に戻り、送信開口Txを列方向に移動ピッチMpだけ移動させながら送信イベントを行い、完了している場合にはステップS210に進む。

【0087】

次に、ステップS210において、対象領域設定部1042は、送信イベントごとに、送信開口Txの位置を示す情報に基づき対象領域Bxを設定する。1回目のループでは1回の送信イベントにおける送信開口Txから求められる対象領域Bxが設定される。

【0088】

次に、観測点同期型ビームフォーミング処理(ステップS220(S221~S228))に進む。ステップS220では、まず、観測点Pijの位置を示す座標ijを対象領域Bx上の最小値に初期化し(ステップS221、S222)、受信開口設定部1043は、列中心が観測点Pijに最も空間的に近接する振動子Xkと合致するよう受信開口Rx振動子列を選択する(ステップS223)。

【0089】

次に、観測点Pijについて音響線信号を生成する(ステップS224)。

【0090】

ここで、ステップS224における、観測点Pijについて音響線信号を生成する動作について説明する。図12は、受信ビームフォーマ部104における観測点Pijについての音響線信号生成動作を示すフローチャートである。図13は、受信ビームフォーマ部104における観測点Pijについての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。

【0091】

まず、ステップS2241において、送信時間算出部1044は、対象領域Bx上に存在する任意の観測点Pijについて、送信された超音波が被検体中の観測点Pijに到達する送信時間を算出する。送信時間は、(1)観測点Pijがフォーカス深さより深い場合は、幾何学的に定まる送信開口Txの中心から送信フォーカス点Fを經由して観測点Pijに至る経路(404+405)の長さを超音波の音速csで除することにより、(2)観測点Pijの深度がフォーカス深さ以下である場合には、幾何学的に定まる、送信開口Txの中心から観測点Pijに至る経路(402)の長さ、または、送信開口Txの中心から観測点Pijと同じy座標を有する送信開口中心軸Txo上の参照点Rに至る経路(401)の長さ、のいずれかを、超音波の音速csで除することにより、算出できる。

【0092】

次に受信開口Rxから求められる受信開口Rx内の受信振動子Rkの位置を示す座標kを受信開口Rx内の最小値に初期化し(ステップS2242)、送信された超音波が被検体中の観測点Pijで反射され受信開口Rxの受信振動子Rkに到達する受信時間を算出する(ステップS2243)。受信時間は、幾何学的に定まる観測点Pijから受信振動子Rkまでの経路403の長さを超音波の音速csで除することにより算出できる。さらに、送信時間と受信時間の合計から、送信開口Txから送信された超音波が観測点Pijで反射して受信振動子Rkに到達するまでの総伝播時間を算出し(ステップS2244)、受信開口Rx内の各受信振動子Rkに対する総伝播時間の差異により、各受信振動子Rkに対する遅延量を算出する(ステップS2245)。

【0093】

受信開口Rx内に存在する全ての受信振動子Rkについて遅延量の算出を完了したか否かを判定し(ステップS2246)、完了していない場合には座標kをインクリメント(ステップS2247)して、更に受信振動子Rkについて遅延量の算出を行い(ステップS2243)、完了している場合にはステップS2248に進む。この段階では、受信開口Rx内に存在する全ての受信振動子Rkについて観測点Pijからの反射波到達の遅延量が算出されている。

10

20

30

40

50

【0094】

ステップS2248において、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} からの反射波に基づく受信信号として同定する。

【0095】

次に、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 に対する重み数列を算出する（ステップS2249）。加算部1049は、各受信振動子 R_k ごとに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し（ステップS2250）、生成された観測点 P_{ij} について音響線信号はデータ格納部107に出力され保存される（ステップS2251）。 10

【0096】

次に、図11に戻り、座標 ij をインクリメントしてステップS223、S224を繰り返すことにより、対象領域 B_x 内の座標 ij に位置する全ての観測点 P_{ij} （図13中の「・」）について音響線信号が生成される。対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} 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S225、S227）、完了していない場合には座標 ij をインクリメント（ステップS226、S228）して、観測点 P_{ij} について音響線信号を生成し（ステップS224）、完了した場合にはステップS230に進む。この段階では、1回の送信イベントに伴う対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} についてのサブフレームの音響線信号が生成され、データ格納部107に出力され保存されている。 20

【0097】

次に、全ての送信イベントについて、サブフレームの音響線信号の生成が終了したか否かを判定し（ステップS230）、終了していない場合には、ステップS210に戻り、観測点 P_{ij} の位置を示す座標 ij を、次の送信イベントでの送信開口 T_x から求められる対象領域 B_x 上の最小値に初期化し（ステップS221、S222）、受信開口 R_x を設定（ステップS223）、音響線信号の作成（ステップS224）を行い、終了している場合にはステップS301に進む。

【0098】

次に、ステップS301において、加算処理部11401は、データ格納部107に保持されている複数のサブフレーム音響線信号を読み出し、観測点 P_{ij} の位置を指標として複数のサブフレーム音響線信号を加算して各観測点 P_{ij} に対する合成音響線信号を生成してフレーム音響線信号を合成する。次に、増幅処理部11402は、フレーム音響線信号に含まれる各合成音響線信号の加算回数に応じて決定された増幅率を各合成音響線信号に乘じ（ステップS302）、増幅されたフレーム音響線信号を超音波画像生成部105及びデータ格納部107に出力し（ステップS303）、処理を終了する。 30

【0099】

<実施の形態が奏する効果>

以下、従来 of 合成開口法と実施の形態に係る受信ビームフォーミングとの効果の観点について説明する。 40

【0100】

従来 of 合成開口法としての比較例では、図2で示した超音波主照射領域 A_x の全域を対象領域として設定する。したがって、対象領域の形状は、第2深度範囲においては実施の形態に係る第2対象領域 B_x2 と同形状であるが、第1深度範囲においては、フォーカス深さで列方向の幅が最も狭まり、超音波プローブに近づくほど列方向の幅が広がる形状となる。したがって、重畳数は、図14(a)に示すように、第2深度範囲においては実施の形態と同様となるが、第1深度範囲においてはフォーカス深さを基準として対称のプロファイルを有する。すなわち、第1深度範囲においては超音波プローブに近づくほど重畳数が増加する。したがって、重畳数の変化に伴う合成音響線信号の変動要因と、超音波の減衰による音響線信号の変動要因とをともに解消するためには、図14(b)に示すよう 50

に、深度が増加するごとに増幅率が増加し、かつ、重畳数が増加するごとに増幅率が減少するような増幅率が合成音響線信号に乘じられる必要がある。特に、超音波プローブに近い最浅部においては、音響線信号の値が大きい上に重畳数も大きいため増幅率を小さくする必要が生じる。そのため、観測点 P_{ij} を超音波プローブに近い最浅部に多数設けても、フレーム音響線信号全体の品質向上に寄与する効果が小さい。また、比較例では、特に第1深度範囲において、重畳数が変化する深度で増幅率が大きく変化する。したがって、重畳数が変化する深さを境に増幅率が不連続に変化するため、重畳数が変化する深さを境としてフレーム音響線信号の値が不連続に変化しやすい。つまり、例えばBモード画像において、重畳数が変化する深さで色調の変化が起こり横縞状のノイズが発生することがある。

10

【0101】

これに対し、実施の形態に係る受信ビームフォーミングでは、第1深度範囲においては、超音波主照射領域 $A \times$ のうち送信開口中心軸 $T \times o$ 近傍にだけ第1対象領域 $B \times 1$ を設ける。したがって、第1深度範囲における観測点の数が大きく減少するため、演算量を大きく削減することができる。さらに、第1深度範囲では重畳数が1で固定されるため、重畳数の変化に起因して増幅率が不連続に変化することがない。したがって、フレーム音響線信号の値が不連続に変化することがない。

【0102】

また、上述したように、比較例では、第1深度範囲においては、サブフレーム音響線信号の品質も重畳数も超音波プローブに近づくほど高くなるため、フレーム音響線信号の品質が第1深度範囲において超音波プローブに近づくほど高くなるため、第2深度範囲のフレーム音響線信号の品質が相対的に低く感じられる。これに対し、実施の形態に係る受信ビームフォーミングによれば、第1深度範囲において重畳数が一定であるため、フレーム音響線信号の品質は従来の合成開口法と比べて均一性が高い。また、フレーム音響線信号の品質が超音波プローブの近傍で過度に高くなりづらいため、第1深度範囲と第2深度範囲とで、フレーム音響線信号の品質の差を小さく抑えることができる。

20

【0103】

さらに、第1深度範囲においては、重畳数が1で固定される、すなわち合成を行わないため、被検体内の動きや、被検体と超音波プローブとの間で相対的な動きがあったとしても、被検体内の異なる位置からの反射超音波を1つの観測点に対するフレーム音響線信号として合成したり、1つの観測点からの状態の異なる複数の反射超音波をフレーム音響線信号として合成したり、といったことがない。したがって、被検体内の動きや、被検体と超音波プローブとの間で相対的な動きがあった場合に、比較例と比べて、第1深度範囲においてゴースト像の発生やフレーム音響線信号の品質の低下が起こりづらく、画質を向上させることができ、ユーザの使い勝手を向上させることができる。

30

【0104】

<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100によれば、フォーカス深さより深い第2深度範囲では、合成開口法により、異なる送信イベントにより生成された同一位置にある観測点Pについての音響線信号を重ね合わせて合成する。これにより、送信フォーカス点F以外の深度にある観測点Pにおいても、仮想的に送信フォーカスを行った効果が得られ空間分解能と信号S/N比を向上することができる。

40

【0105】

また、超音波診断装置100では、第2深度範囲では、サブフレーム音響線信号の生成されるべき対象領域としての第2対象領域は、超音波主照射領域全域に設定される。これにより、超音波の利用効率を向上させるとともに、合成開口法によるS/N比および空間解像度の向上効果を最大限に享受することができる。一方、深度がフォーカス深さ以下の第1深度範囲では、対象領域としての第1対象領域は、送信超音波の中心軸近傍に設定される。これにより、合成開口法を行わずともフレーム音響線信号のS/N比および空間解像度を十分に高められる第1深度範囲については、観測点の数を削減することで演算量を

50

削減することが可能となる。さらに、サブフレーム音響線信号の合成を行わないことにより、超音波プローブに近づくほどフレーム音響線信号のS/N比および空間解像度が高まる現象を抑制できるため、フレーム音響線信号のS/N比および空間解像度の深さ依存性を弱めて均一性を高めることができる。

【0106】

また、超音波診断装置100では、第1深度範囲についてはサブフレーム音響線信号の合成を行わないため、被検体に動きがあったり、被検体と超音波プローブとの相対移動があったりしても、フレーム音響線信号に動きの影響が及びづらく、ユーザの利便性を高めることができる。

【0107】

また、超音波診断装置100では、受信開口設定部1043は、列中心が観測点Pに最も空間的に近接する振動子と合致するよう受信開口R×振動子列を選択し、送信イベントに依存せず観測点Pの位置に基づいて、観測点Pを中心として対称な受信開口を用いて受信ビームフォーミングを行う。そのため、送信フォーカス点Fを横軸方向に変化(移動)させる送信イベントに同期せず、受信開口の位置が一定となり、異なる送信イベントにおいても同一の観測点Pに対して同一の受信開口にて整相加算を行うことができる。併せて、観測点Pからの反射波を、観測点Pから距離が小さい振動子ほど大きな重み数列が適用されることができるので、超音波が伝播距離に依存して減衰することを鑑みても、観測点Pに対して最も感度よく反射波を受信することができる。その結果、高い空間分解能と信号S/N比を実現できる。

【0108】

なお、上記実施形態では、列中心が観測点Pに最も空間的に近接する振動子と合致するよう受信開口R×振動子列を選択したが、列中心がフォーカス点となるよう受信開口R×振動子列を選択してもよい。

【0109】

変形例1

実施の形態では、増幅処理部11402が図10(c)の増幅率 G_c に示すように、深度が増加するごとに増幅率が増加し、かつ、重畳数が増加するごとに増幅率が減少するような増幅率が合成音響線信号に乘じられるとした。これにより、重畳数の変化に伴う合成音響線信号の変動要因と、超音波の減衰による音響線信号の変動要因とがともに解消され、増幅処理後の合成音響線信号の値は深度方向において均一化が図られる。しかしながら、第2深度範囲においてもフレーム音響線信号の値が不連続に変化することを回避するとともによい。

【0110】

図10(c)の増幅率 G_A は、変形例1に係る増幅処理部の増幅率である。増幅率 G_A は、増幅率が深さに対して連続的に単調増加している点で、増幅率 G_c と異なる。すなわち、増幅率 G_A は、深さに対して不連続に変化しない。これにより、重畳数の変化に伴う合成音響線信号の変動要因がより強く解消され、増幅処理後の合成音響線信号の値は深度方向において均一化が図られる。

【0111】

また、図10(c)の増幅率 G_A は、増幅率 G_c に対し、第1深度領域における増幅率を小さく設定している。これにより、第1深度領域と第2深度領域とにおける増幅処理後の合成音響線信号の値の差がより小さくなるため、第2深度領域におけるフレーム音響線信号の品質が相対的に高くなる。したがって、Bモード画像において第2深度領域における超音波画像の品質を相対的に高めることができる。

【0112】

なお、増幅率は図10(c)の増幅率 G_A に限られず、増幅処理後の合成音響線信号の値について深度方向の均一化を図り、かつ、深度方向に対して連続的に変化するものであれば任意のものであってよい。

【0113】

10

20

30

40

50

変形例 2

実施の形態に係る超音波診断装置 100 では、受信開口設定部 1043 は、列中心が観測点 P に最も空間的に近接する振動子と合致するよう受信開口 R_x を選択する構成とした。しかしながら、総伝播時間の算出方法および総伝播時間に基づく遅延制御が同一であれば受信開口 R_x と観測点 P_{ij} との位置関係自体は同一である必要はなく適宜変更することができる。

【0114】

変形例 2 では、列中心が送信開口 T_x の列中心と受信開口 R_x の列中心とを一致させる送信同期型受信開口設定部（以後、「 T_x 受信開口設定部」）を備えた点で実施の形態と相違する。 T_x 受信開口設定部以外の構成については、実施の形態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。

10

【0115】

図 15 は、 T_x 受信開口設定部により設定された受信開口 R_x と送信開口 T_x との関係を示す模式図である。変形例 2 では、受信開口 R_x 振動子列の列中心が送信開口 T_x 振動子列の列中心と合致するように受信開口 R_x 振動子列が選択される。受信開口 R_x の中心軸 $R_x o$ の位置は、送信開口 T_x の中心軸 $T_x o$ の位置と同一であり、受信開口 R_x は、送信フォーカス点 F を中心として対称な開口である。したがって、送信イベントごとに列方向に移動する送信開口 T_x の位置変化に同期して、受信開口 R_x の位置も移動する。一方で、1つの送信イベントにおいては、対象領域 B_x 内のすべての観測点 P_{ij} に対し、同一の受信開口 R_x が設定される。

20

【0116】

また、受信開口 R_x の中心軸 $R_x o$ 及び送信開口 T_x の中心軸 $T_x o$ 上に位置する振動子に対する重みが最大となるよう受信開口 R_x の各受信振動子 R_i に対する重み数列（受信アポダイゼーション）は算出される。重み数列は、振動子 X_i 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。

【0117】

<動作>

図 16 は、変形例 2 に係る超音波診断装置のフレーム音響線信号生成動作を示すフローチャートである。本フローチャートでは、図 11 における観測点同期型ビームフォーミング処理（ステップ S220（S221～S228））に替えて送信同期型ビームフォーミング処理（ステップ S420（S421～S428））を行う点にて相違する。ステップ S420 以外の処理については、図 11 と同じであり、同じ部分については説明を省略する。

30

【0118】

ステップ S420 の処理において、まず、ステップ S421 では、 T_x 受信開口設定部は、送信イベントごとに列中心が送信開口 T_x に含まれる振動子列の列中心と合致する振動子列を受信振動子 R_k として選択して受信開口 R_x を設定する。

【0119】

次に、ステップ S210 で算出した対象領域 B_x 内の観測点 P_{ij} の位置を示す座標 i_j を対象領域 B_x 内の最小値に初期化し（ステップ S422、S423）、観測点 P_{ij} について音響線信号を生成する（ステップ S424）。図 17 は、変形例 2 に係る受信ビームフォーマ部における観測点 P_{ij} についての音響線信号生成動作を説明するための模式図である。実施の形態に関する図 13 とは、送信開口 T_x と受信開口 R_x との位置関係が異なる。ステップ S424 における処理方法については、図 11 におけるステップ S224（図 12 におけるステップ S2241～ステップ S2251）と同じである。

40

【0120】

座標 i_j をインクリメントしてステップ S424 を繰り返すことにより、対象領域 B_x 内の座標 i_j に位置する全ての観測点 P_{ij} （図 17 中の「・」）について音響線信号が生成される。対象領域 B_x 内に存在する全ての観測点 P_{ij} について音響線信号の生成を

50

完了したか否かを判定し（ステップ S 4 2 5、S 4 2 7）、完了していない場合には座標 $i j$ をインクリメント（ステップ S 4 2 6、S 4 2 8）して、観測点 $P i j$ について音響線信号を生成し（ステップ S 4 2 4）、完了している場合にはステップ S 2 3 0 に進む。この段階で、1 回の送信イベントに伴う対象領域 $B x$ 内に存在する全ての観測点 $P i j$ のサブフレームの音響線信号が生成されデータ格納部 1 0 7 に出力され保存されている。

【 0 1 2 1 】

< 効果 >

以上説明した、変形例 2 に係る超音波診断装置では、実施の形態において示した効果のうち観測点同期型の受信開口に関する部分を除いた効果に変えて、以下の効果を奏する。すなわち、変形例 2 では、 $T x$ 受信開口設定部は送信イベントに対応して列中心が送信開口 $T x$ に含まれる振動子列の列中心と合致する振動子列を受信振動子として選択して受信開口 $R x$ を設定する。そのため、受信開口 $R x$ の中心軸 $R x o$ の位置は、送信開口 $T x$ の中心軸 $T x o$ の位置と同一であり、送信イベントにごとに列方向に移動する送信開口 $T x$ の位置変化に同期して、受信開口 $R x$ の位置も変化（移動）する。よって、送信イベントに同期してそれぞれ異なる受信開口にて整相加算を行うことができ、複数の送信イベントにわたって受信時刻は異なるものの、結果としてより一層広い受信開口を用いた受信処理の効果が得られ、広い観測領域で空間分解能を均一にすることができる。

【 0 1 2 2 】

実施の形態に係るその他の変形例

(1) 実施の形態及び各変形例では、第 2 対象領域 $B x 2$ を超音波主照射領域 $A x$ のうちフォーカス深さより深い部分の全域であるとした。しかしながら、例えば、第 2 対象領域 $B x 2$ は超音波主照射領域 $A x$ のうちフォーカス深さより深い部分の一部であってもよく、時系列に隣接する 2 つの送信イベント間で第 2 対象領域 $B x 2$ に重複があれば形状や面積は限定されない。また、例えば、第 2 対象領域 $B x 2$ において、第 2 対象領域 $B x 2$ の列方向の幅を狭める、観測点の列方向の密度を観測点の深度方向の密度より低くする、第 2 対象領域 $B x 2$ の列方向の最大幅を規定するなどの方法により、観測点の数を削減するとしてもよい。

【 0 1 2 3 】

(2) 実施の形態及び各変形例では、第 1 対象領域 $B x 1$ は送信超音波の中心軸近傍に設けられた 4 つの送信超音波中心軸と平行な対象線からなるとした。しかしながら、上述したように、対象線の本数は 4 に限られず任意の本数であってもよい。なお、対象線の本数が奇数である場合には、1 つの対象線が送信超音波中心軸と一致していることにより、フレーム音響線信号の品質を向上することができる。

【 0 1 2 4 】

(3) 実施の形態及び変形例では、超音波プローブがリニアプローブであるとした。しかしながら、超音波プローブはコンベックスプローブであってもよい。この場合、第 1 対象領域 $B x 1$ は送信超音波の中心軸近傍に設けられた、コンベックスプローブ表面の焦点から放射状に延びる 1 または複数の対象線からなるとしてもよい。

【 0 1 2 5 】

(4) 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。

【 0 1 2 6 】

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。

【 0 1 2 7 】

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

10

20

30

40

50

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。

【0128】

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。

10

【0129】

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りコンフィギュラブル・プロセッサ(Reconfigurable Processor)を利用してもよい。

20

【0130】

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。

【0131】

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。

30

【0132】

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。

【0133】

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。

40

【0134】

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。

【0135】

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、

50

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。

【0136】

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。

10

【0137】

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。

【0138】

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。

20

【0139】

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。

【0140】

まとめ

(1) 実施の形態に係る超音波信号処理装置は、超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から集束型の送信超音波が被検体に対して送信されるように前記振動子列の振動子を駆動するための駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを前記送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行う送信部と、前記送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成する受信部と、前記送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に対応する観測点を設定する観測点設定部と、前記観測点設定部により設定された前記観測点のそれぞれについて、前記受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成するフレーム生成部とを備え、前記観測点設定部は、前記送信超音波が集束するフォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が1つの送信イベントに対応するように設定し、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、各観測点が複数の送信イベントに対応するように設定することを特徴とする。

30

【0141】

また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は、超音波プローブに列設された複数の振動子から送信振動子列を選択して前記送信振動子列から集束型の送信超音波が被検体内に送信されるように前記振動子列の振動子を駆動するための駆動信号を超音波プローブに出力する送信イベントを前記送信振動子列の位置を変更しながら繰り返し行い、前記送信イベントに応じて得られた反射超音波に基づく信号を超音波プローブから受信して受信信号列を生成し、前記送信イベントのそれぞれに対応して被検体内の各位置に対応する観測点を設定し、前記観測点設定部により設定された前記観測点のそれぞれについて、前記受信信号列に基づいてフレーム音響線信号を生成する処理を含み、前記観測点の設定において、前記送信超音波が被検体内で集束するフォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、各観測点が1つの送信イベントに対応するように設定し、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について

40

50

、各観測点が複数の送信イベントに対応するように設定することを特徴とする。

【0142】

上記構成又は方法によれば、合成開口法を用いる際に、演算量を低減し、かつ、音響線信号の品質の均一性を向上することができる。

【0143】

(2)また、上記(1)の超音波信号処理装置は、前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、送信イベントごとに、前記送信振動子列の中心とフォーカス領域とを直線で結んだ送信超音波中心軸の近傍に観測点を設定する、としてもよい。

【0144】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブに近い領域について、フレーム音響線信号の品質を向上させることができる。

【0145】

(3)また、上記(2)の超音波信号処理装置は、前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、送信イベントごとに、前記送信超音波中心軸上に観測点を設定する、としてもよい。

【0146】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブに近い領域について、最もフレーム音響線信号の品質が高くなる領域からもフレーム音響線信号を生成することができる。

【0147】

(4)また、上記(1)～(3)の超音波信号処理装置は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域における観測点が設定される対象領域の前記振動子列の列方向における幅は、前記送信イベント毎に位置が変更されることにより定まる前記送信振動子列の移動ピッチ以下である、としてもよい。

【0148】

上記構成により、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域について、各観測点が1つの送信イベントに対応するような対象領域を容易に設定することができる。

【0149】

(5)また、上記(3)または(4)の超音波信号処理装置は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、前記送信超音波中心軸上にのみ観測点を設定する、としてもよい。

【0150】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブに近い領域について、最もフレーム音響線信号の品質が高くなる領域のみからフレーム音響線信号を生成することができるため、合成開口法を用いることなくフレーム音響線信号の品質を、振動子列の列方向に均一かつ最大限に向上させることができる。

【0151】

(6)また、上記(1)～(5)の超音波信号処理装置は、前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、合成開口法を用いることにより、フレーム音響線信号を生成する、としてもよい。

【0152】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブから遠い領域について、合成開口法により超音波の利用効率を向上させ、仮想送信ビームフォーミングによりフレーム音響線信号の品質を向上させることができる。

【0153】

(7)また、上記(1)～(6)の超音波信号処理装置は、前記観測点設定部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、前記送信振動子列を底辺として前記フォーカス領域で集束する砂時計形状の領域のうち前記

10

20

30

40

50

フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い部分を、観測点が存在する対象領域として設定する、としてもよい。

【0154】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブから遠い領域について、超音波の使用効率を最大化しフレーム音響線信号の品質を向上させることができる。

【0155】

(8)また、上記(1)～(7)の超音波信号処理装置は、前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブから遠い領域に対応する観測点について、送信超音波が前記フォーカス領域内の基準点まで伝播する時間と送信超音波が前記基準点から前記観測点まで伝播する時間との合計を送信超音波が前記観測点まで伝播する時間である送信時間とし、反射超音波が前記観測点から前記超音波プローブの振動子まで伝播する時間を受信時間として、前記送信時間と前記受信時間とに基づいて前記受信信号列から前記観測点に係るフレーム音響線信号を生成する、としてもよい。

10

【0156】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブから遠い領域について、送信フォーカス点を仮想音源とした送信ビームフォーミングを行うことができる。

【0157】

(9)また、上記(1)～(8)の超音波信号処理装置は、前記フレーム生成部は、前記フォーカス領域よりも前記超音波プローブに近い領域に対応する観測点について、送信超音波が前記観測点まで伝播する時間を送信時間とし、反射超音波が前記観測点から前記超音波プローブの振動子まで伝播する時間を受信時間として、前記送信時間と前記受信時間とに基づいて前記受信信号列から前記観測点に係るフレーム音響線信号を生成する、としてもよい。

20

【0158】

上記構成により、フォーカス領域よりも超音波プローブに近い領域について、送信時間の演算を単純化することができ、演算量を削減することができる。

【0159】

(10)また、上記(1)～(9)の超音波信号処理装置は、前記フレーム生成部は、観測点間の送信イベント回数の違いに起因する信号強度の差を是正する信号増幅部をさらに含み、前記信号増幅部は、信号強度に対する増幅率を、観測点と超音波プローブとの距離の増加に対して連続的に変化するように設定する、としてもよい。

30

【0160】

上記構成により、空間的に近接する2つの観測点の間で増幅率が不連続に変化しないため、フレーム音響線信号の値が、観測点と超音波プローブとの距離の変化に対して不連続に変化しづらくなり、列方向に延びるノイズの発生を抑制することができる。

【0161】

(11)また、実施の形態に係る超音波処理装置は、超音波プローブと、上記(1)～(10)の超音波信号処理装置を備える。

【産業上の利用可能性】

【0162】

40

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、演算量を低減し、かつ、音響線信号の品質の均一性の向上に有用であり、低コストかつユーザビリティを向上させた超音波診断装置の提供が可能である。

【符号の説明】

【0163】

- 100 超音波診断装置
- 101 超音波プローブ
- 101 a 振動子
- 102 マルチプレクサ部

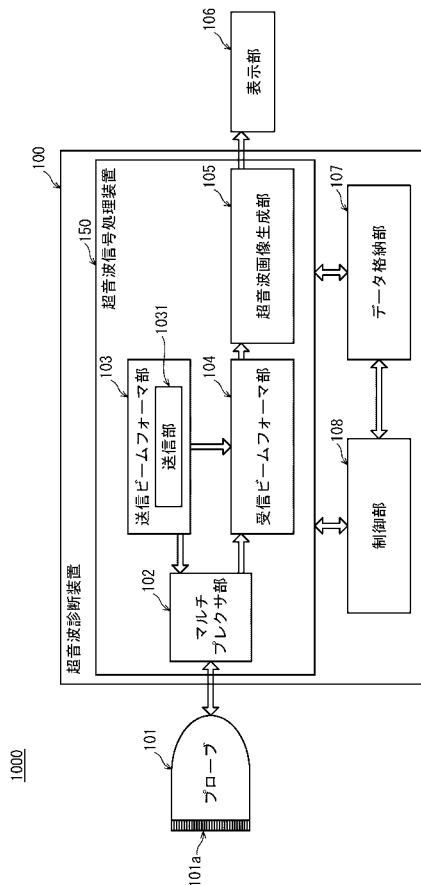
50

- 1 0 3 送信ビームフォーマ部
- 1 0 3 1 送信部
- 1 0 4 受信ビームフォーマ部
- 1 0 4 0 受信部
- 1 0 4 1 整相加算部
- 1 0 4 2 対象領域設定部
- 1 0 4 3 受信開口設定部
- 1 0 4 4 送信時間算出部
- 1 0 4 5 受信時間算出部
- 1 0 4 6 遅延量算出部
- 1 0 4 7 遅延処理部
- 1 0 4 8 重み算出部
- 1 0 4 9 加算部
- 1 1 4 0 合成部
- 1 1 4 0 1 加算処理部
- 1 1 4 0 2 増幅処理部
- 1 0 5 超音波画像生成部
- 1 0 6 表示部
- 1 0 7 データ格納部
- 1 0 8 制御部
- 1 5 0 超音波信号処理装置
- 1 0 0 0 超音波診断システム

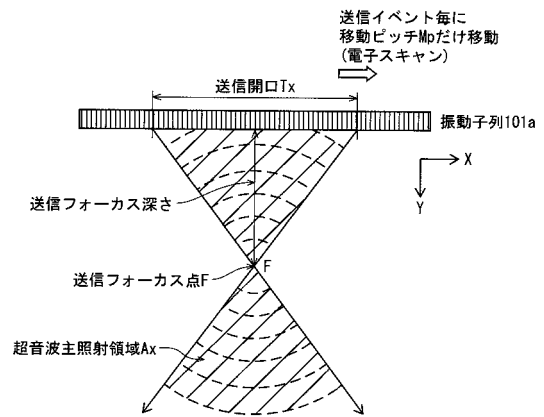
10

20

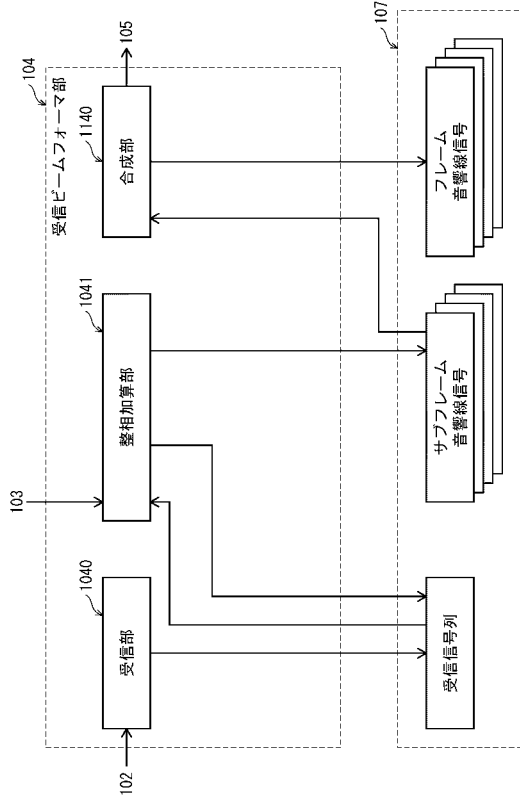
【 図 1 】



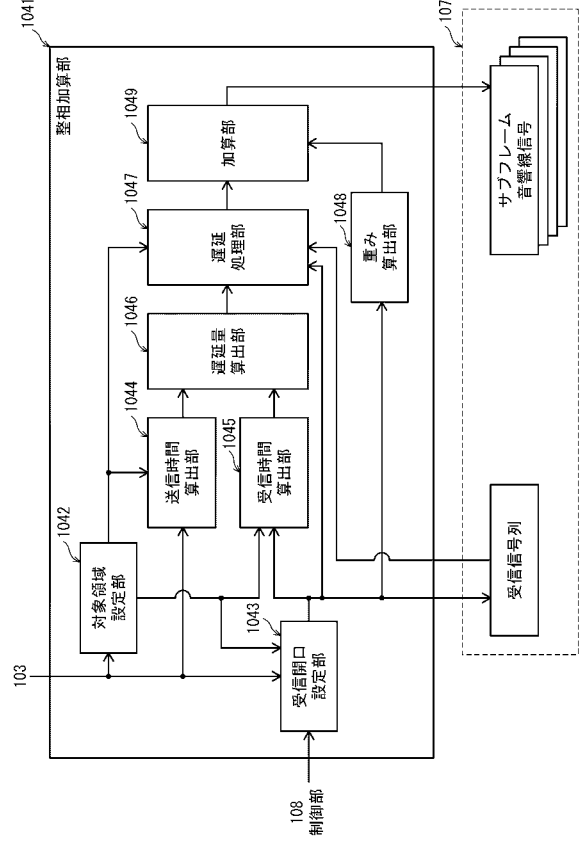
【 図 2 】



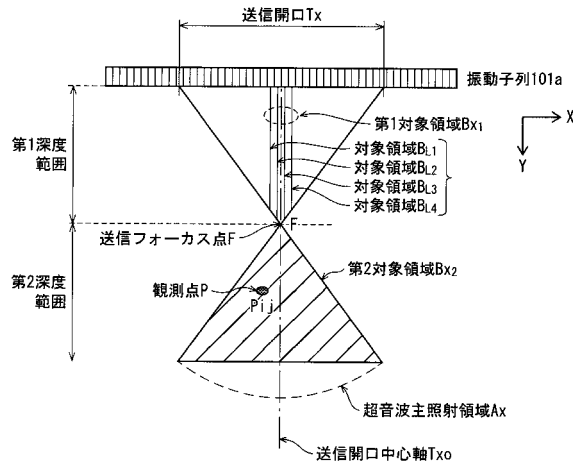
【 図 3 】



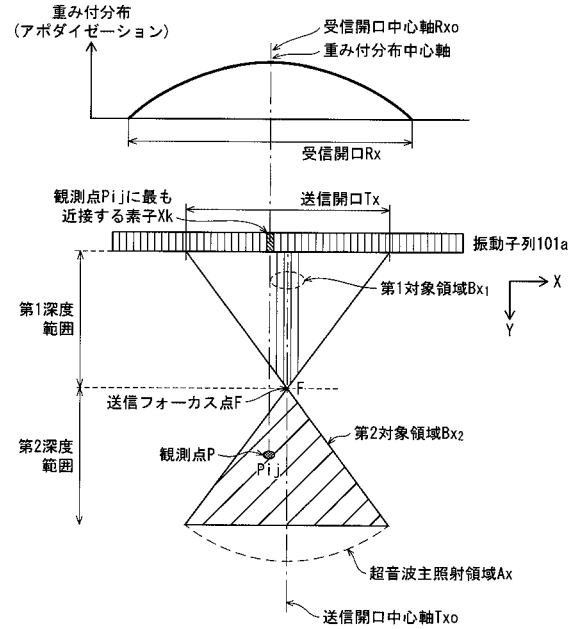
【 図 4 】



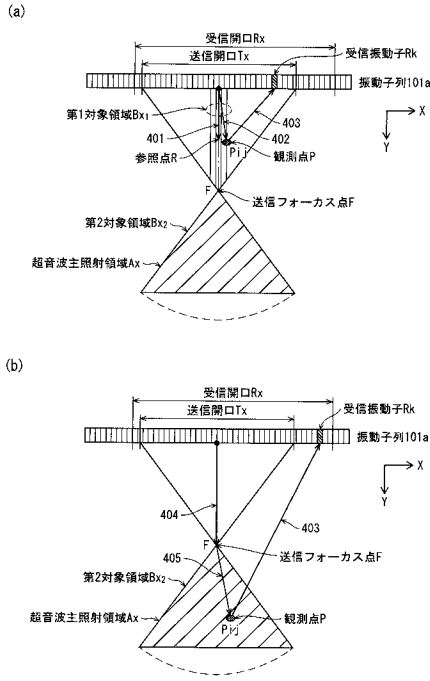
【 図 5 】



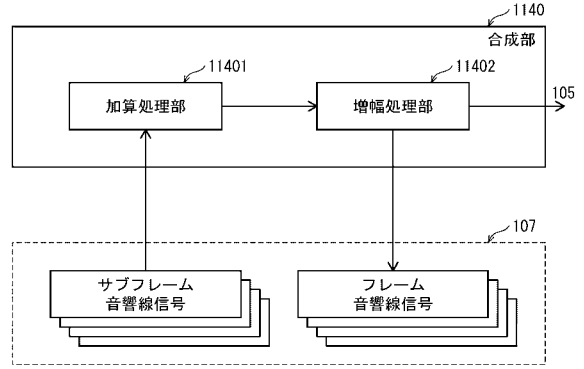
【 図 6 】



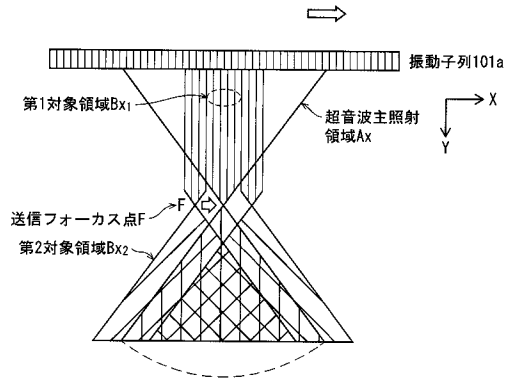
【図7】



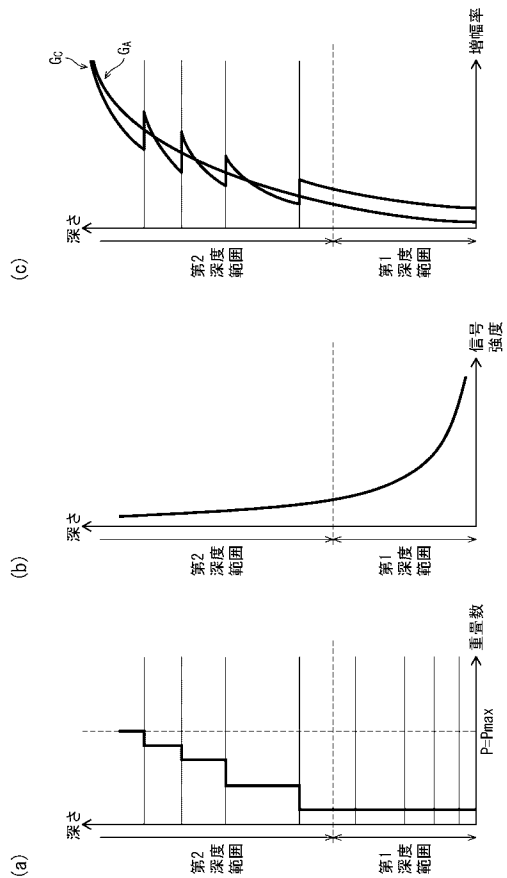
【図8】



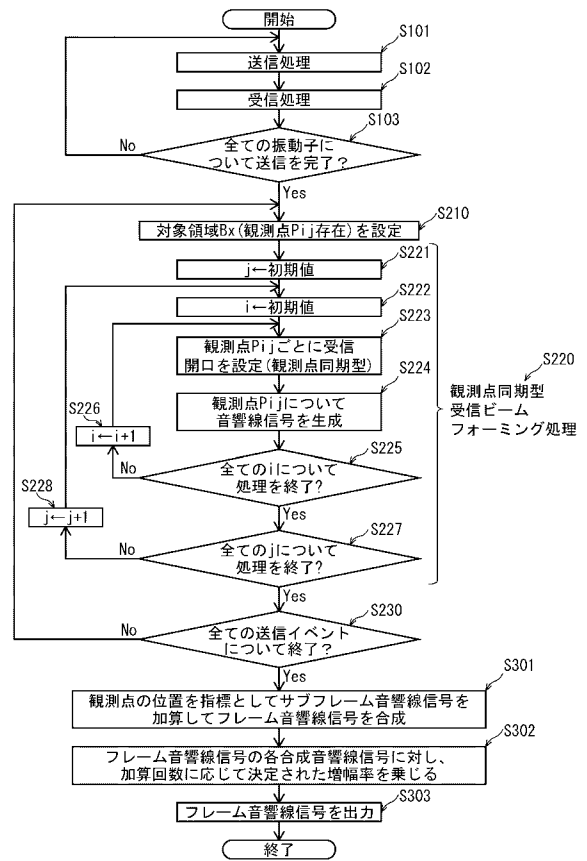
【図9】



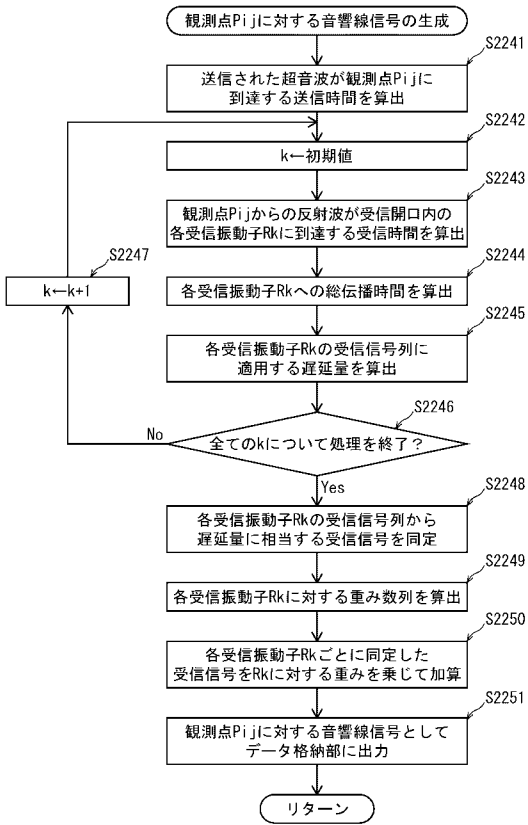
【図10】



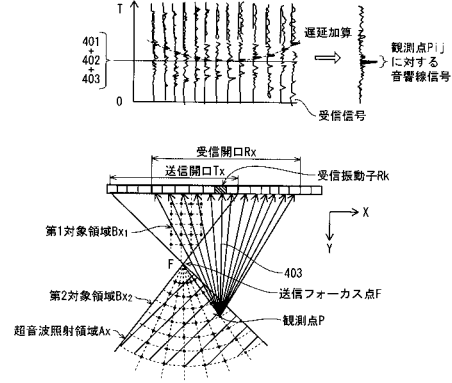
【図11】



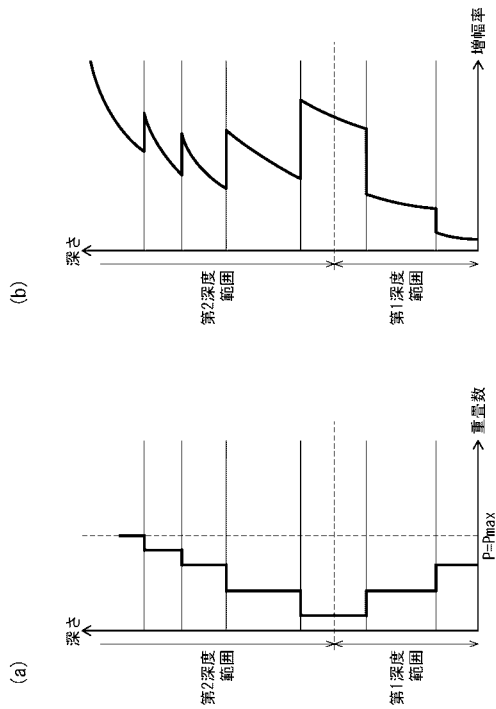
【図 1 2】



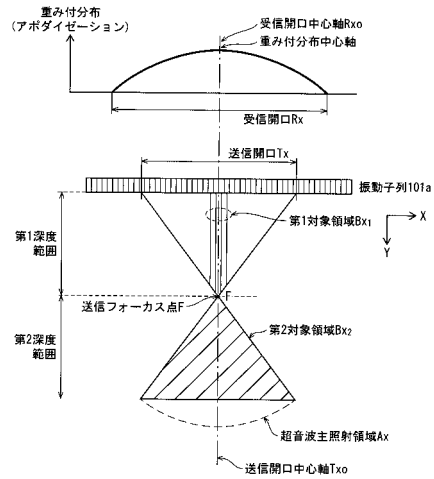
【図 1 3】



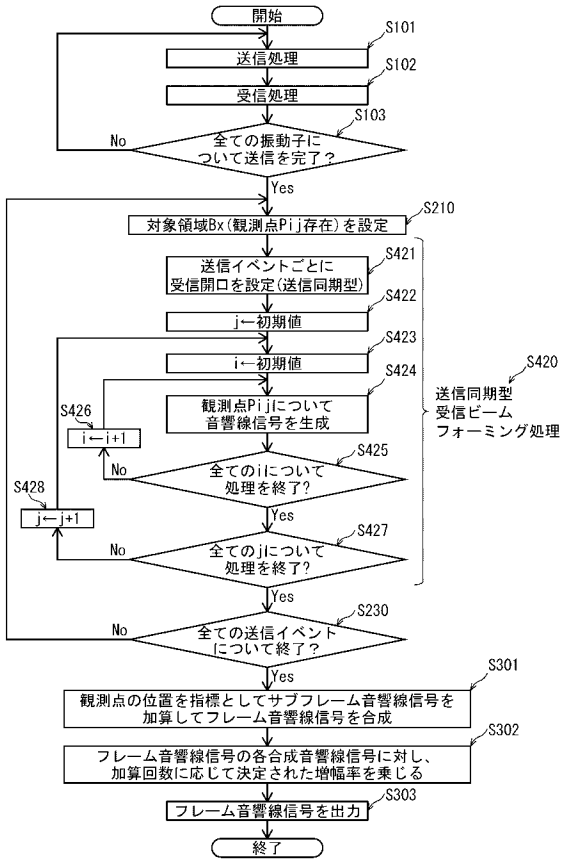
【図 1 4】



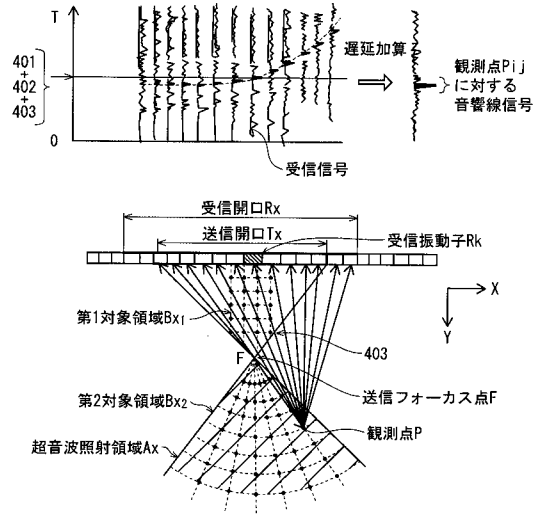
【図 1 5】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



专利名称(译)	超声波信号处理装置,超声波诊断装置以及超声波信号处理方法		
公开(公告)号	JP2020039604A	公开(公告)日	2020-03-19
申请号	JP2018169515	申请日	2018-09-11
[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	A61B8/14 A61B8/4488 G01N29/221 G01N29/44		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/EE04 4C601/EE07 4C601/HH14 4C601/HH21 4C601/HH25 4C601/HH38 4C601/JB03		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题:使用合成孔径方法时,减少计算量并提高声线信号质量的均匀性。一种超声波信号处理装置,其特征在于,从在超声波探头上排成一列的多个振子中选择发送振子列,并进行驱动,从而从该发送振子列发送发送超声波。从超声波探头接收并接收重复发送事件的发送器,该发送事件在改变发送换能器阵列的位置的同时向超声波探头输出信号,并且基于根据该发送事件获得的反射超声波的信号被接收。产生信号序列的接收单元,在对象中与每个发送事件相对应的每个位置处设置观察点的观察点设置单元,以及基于每个观察点的接收信号序列的帧声线信号 观察点设定单元设定对应于比聚焦区域更靠近超声探头的区域的观察点,使得每个观察点对应于一个透射事件。[选择图]图5

