

(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2020-25714  
(P2020-25714A)

(43) 公開日 令和2年2月20日(2020.2.20)

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)  
A 6 1 B 8/14 (2006.01) A 6 1 B 8/14 4 C 6 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2018-151742 (P2018-151742)	(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
(22) 出願日	平成30年8月10日(2018.8.10)	(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	田中 隆一郎 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 EE09 EE14 HH21 HH25 HH27 HH28 HH38 JB03 JB05

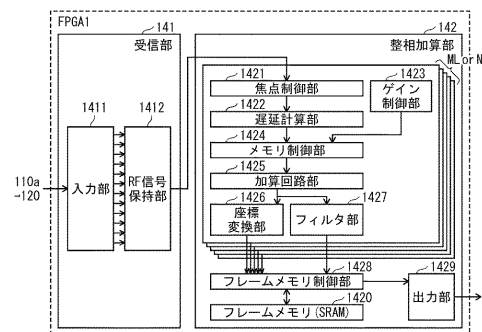
(54) 【発明の名称】 超音波信号処理方法、及び超音波信号処理装置

(57) 【要約】

【課題】安価な構成により整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理との両機能の実装する。

【解決手段】受信ビームフォーマ部140は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部142を有し、整相加算部142は、第1の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより合成して出力し、第2の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータをそのまま出力し、整相加算部142における単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第1の受信フォーミング処理の動作時と第2の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似している。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

送信イベント毎に一部において位置が重複する複数の観測点を対象として音響線信号のラインデータを 2 以上である複数本生成し、同一位置の観測点に対する前記音響線信号は加算して音響線信号のラインデータを合成する第 1 の受信フォーミング処理と、

送信イベント毎に位置が異なる複数の観測点を対象として 1 以上の音響線信号のラインデータを生成する第 2 の受信フォーミング処理とを、

択一的に動作させる受信ビームフォーマ部を備えた超音波信号処理装置であって、

第 1 の受信フォーミング処理と第 2 の受信フォーミング処理とでは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、

前記受信ビームフォーマ部は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部を有し、

前記整相加算部は、

前記第 1 の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより合成して出力し、

前記第 2 の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータをそのまま出力し、

前記整相加算部における単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第 1 の受信フォーミング処理の動作時と第 2 の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似している

超音波信号処理装置。

## 【請求項 2】

前記整相加算部は、フレームメモリを備え、

前記整相加算部は、前記第 1 の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する

請求項 1 に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 3】

前記受信ビームフォーマ部は、

複数の前記整相加算部と、複数の前記整相加算部から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して後段に出力する主加算部とを有する

請求項 2 に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 4】

前記フレームメモリを第 1 のフレームメモリとしたとき

前記主加算部は、さらに、第 2 のフレームメモリを有する

請求項 3 に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 5】

前記第 1 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $M_L$  とし、前記第 2 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $N_L$  とするとき、

前記整相加算部は、 $M$  及び  $N$  の最大値を  $\max(M_L, N_L)$  としたとき、 $\max(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M_L, N_L)$  倍速で動作することにより、 $\max(M_L, N_L)$  サイクルのタイムスロットの期間に  $\max(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する

請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

## 【請求項 6】

前記整相加算部は、 $M_L$  及び  $N_L$  の最小値を  $\min(M_L, N_L)$  としたとき、 $\min(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M$

10

20

30

40

50

$L, NL) - \min(ML, NL)$  サイクルのタイムスロットの期間、音響線信号のラインデータの生成及び出力を停止する

請求項 5 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 7】

送信イベント毎に一部において位置が重複する複数の観測点を対象として音響線信号のラインデータを複数本生成し、同一位置の観測点に対する前記音響線信号は加算して音響線信号のラインデータを合成する第 1 の受信フォーミング処理と、

送信イベント毎に位置が異なる複数の観測点を対象として 1 以上の音響線信号のラインデータを生成する第 2 の受信フォーミング処理とを、

択一的に動作させる受信ビームフォーマ部を備えた超音波信号処理装置であって、

第 1 の受信フォーミング処理と第 2 の受信フォーミング処理とでは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、

前記受信ビームフォーマ部は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部と、

前記整相加算部から出力される音響線信号のラインデータを加算して出力する主加算部とを有し、

前記主加算部は、

前記第 1 の受信フォーミング処理では、前記整相加算部により算出された音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する前記音響線信号を加算することにより音響線信号のラインデータを合成して出力し、

前記第 2 の受信フォーミング処理では、前記整相加算部により算出された音響線信号のラインデータをそのまま出力し、

前記整相加算部から前記主加算部への単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第 1 の受信フォーミング処理の動作時と第 2 の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似している

超音波信号処理装置。

【請求項 8】

前記第 1 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $ML$  とし、前記第 2 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $NL$  とするとき、

前記整相加算部は、 $M$  及び  $N$  の最大値を  $\max(ML, NL)$  としたとき、 $\max(ML, NL)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(ML, NL)$  倍速で動作することにより、 $\max(ML, NL)$  サイクルのタイムスロットの期間に  $\max(ML, NL)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する

請求項 7 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 9】

前記整相加算部は、 $ML$  及び  $NL$  の最小値を  $\min(ML, NL)$  としたとき、 $\min(ML, NL)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(ML, NL) - \min(ML, NL)$  サイクルのタイムスロットの期間、音響線信号のラインデータの生成及び出力を停止する

請求項 8 に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 10】

前記主加算部は、フレームメモリを備え、

前記主加算部は、前記第 1 の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する

請求項 7 から 9 の何れか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記第 1 の受信フォーミング処理における複数本の音響線信号のラインデータの生成は

、  
超音波プローブに列設された複数の振動子から選択された送信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信する送信イベントを、送信振動子列を列方向に漸動させて複数回行うことにより、前記振動子各々が受波した反射超音波に基づき前記複数チャンネルの送信イベント毎に得られた受信信号列に対し、

前記整相加算部において、送信イベント毎に設定される送信振動子列から被検体の深さ方向に延伸する複数本の仮想線であって、送信イベント間で一部が重なる第 1 の仮想線上に位置する複数の観測点に対する整相加算処理により行われ、

前記第 2 の受信フォーミング処理における 1 以上の音響線信号のラインデータの生成は

、  
前記送信イベント毎に得られた受信信号列に対し、前記整相加算部において、送信イベント毎に設定される送信振動子列から被検体の深さ方向に延伸する 1 以上の仮想線であって、送信イベント間で重ならない第 2 の仮想線上に位置する複数の観測点に対する整相加算処理により行われる

請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 1 2】

さらに、前記第 2 の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの対応するアドレスに書き込まれずに出力する

請求項 2 から 10 の何れか 1 項に記載の超音波信号処理装置。

【請求項 1 3】

複数の振動子が配列された超音波プローブと、

前記受信ビームフォーマ部は、前記超音波プローブからの受信信号に対して、前記第 1 の受信フォーミング処理と前記第 2 の受信フォーミング処理とを択一的に動作させる、請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載の超音波信号処理装置と、  
を有する超音波画像診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、超音波信号処理方法、及び、それを用いた超音波診断装置に関し、特に、超音波信号処理方法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、超音波プローブより被検体内に超音波を送信し、被検体組織内の音響インピーダンスの差異から生じる超音波の反射波を受信し、得られた電気信号に基づいて被検体の内部組織の形状を示す超音波断層画像を生成して表示する装置である。

【0003】

従来の超音波診断装置では、受信した反射波に基づく受信ビームフォーミング方法として、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、複数の振動子から被検体のある深さでフォーカスを結ぶよう超音波ビームを送信して超音波ビームの中心軸上にある音響線信号を生成する。

【0004】

これに対し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方法として、合成開口法(Synthetic Aperture Method)を用いた受信ビームフォーミング方法が提案されている（例えば、非特許文献 2）。合成開口法によれば、超音波送信波の伝播経路に応じた観測点までの到達時間と、観測点における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、1 回の超音波送信から送信フォーカス点近傍以外を含めた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。また、合成開口法では、複数回の超音波送信から得た同一観測点に対する複数の音響線信号を重ね合わせて、空間分解能及び S / N 比を向上することができる。反面、合

10

20

30

40

50

成開口法においては、1回の超音波送信で音響線信号が生成される対象領域に内在する観測点の数が増加し、複数回の超音波送受信から得た同一観測点に対する複数の音響線信号を重ね合わせる合成処理が行われるため、整相加算法に比べて、音響線信号を格納するためのメモリ容量やデータ伝送能力の拡大が必要となる。

【0005】

以上のとおり、超音波診断における受信ビームフォーム方法には、演算負荷が小さい整相加算ビームフォーム方法と演算負荷が大きい画質に優れる合成開口ビームフォーム方法とがあり、両方法は機能上相補的な関係にあるため機能互換性の観点から両機能を実装することが必要とされ、例えば、特許文献1には、機械走査式の超音波探触子により得た信号を遅延加算部により多重エコー除去処理を行った後、同じ遅延加算部により合成開口処理を行う超音波診断装置や、この超音波診断装置に、更に電子操作式の超音波探触子が接続され、電子操作式の超音波探触子により得た信号を前記遅延加算部により遅延加算が行われる構成が提案されている。

10

【先行技術文献】

【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)

【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

20

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2000-126176号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところが、単純に整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理の両機能を実装して受信ビームフォーム回路を構成した場合、単純な実装では回路モジュール間の転送レートを異ならせた構成となり、受信ビームフォーム回路内の回路モジュール間のインタフェース仕様と後段の回路モジュールの要求仕様が高くなり、受信ビームフォーム回路全体としてハードウェアコストがアップするという課題があった。

30

【0009】

また、特許文献1には、整相加算ビームフォーム処理を行う場合と合成開口ビームフォーム処理を行う場合とで転送レートが異なることについての記載がなく、特許文献1においても、同様の課題がある。

【0010】

本開示は、上記課題に鑑みてなされたものであり、合成開口法による第1受信ビームフォーミング処理と単純な整相加算法による第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、回路モジュール間の転送レートを等価又は近似した構成とする。これにより、安価な構成により整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理との両機能を実装する受信ビームフォーム回路を備えた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。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

本開示の一態様に係る超音波信号処理装置は、送信イベント毎に一部において位置が重複する複数の観測点を対象として音響線信号のラインデータを複数本生成し、同一位置の観測点に対する前記音響線信号は加算して音響線信号のラインデータを合成する第1の受信フォーミング処理と、送信イベント毎に位置が異なる複数の観測点を対象として1以上の音響線信号のラインデータを生成する第2の受信フォーミング処理とを、択一的に動作

50

させる受信ビームフォーマ部を備えた超音波信号処理装置であって、第1の受信フォーミング処理と第2の受信フォーミング処理とは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、前記受信ビームフォーマ部は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部を有し、前記整相加算部は、前記第1の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより合成して出力し、前記第2の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータをそのまま出力し、前記整相加算部における単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第1の受信フォーミング処理の動作時と第2の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似していることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0012】

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によれば、合成開口法による第1受信ビームフォーミング処理と単純な整相加算法による第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、回路モジュール間の転送レートを等価又は近似した構成とすることにより、安価な構成により受信ビームフォーム回路に整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理との両機能を実装できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

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

【図2】実施の形態1に係る送信ビームフォーマ部140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1に係る受信ビームフォーマ部140の構成を示す機能ブロック図である。

【図4】受信部141及び整相加算部142の構成を示す機能ブロック図である。

【図5】主加算部143の構成を示す機能ブロック図である。

【図6】(a)は、超音波出照射領域Axからの反射超音波に基づくRF信号列の生成、(b)は、受信部141におけるRF信号列とRF信号保持部1412のアドレスとの対応を示す模式図である。

20

30

【図7】第1の受信ビームフォーミング処理において設定可能な最大の対象領域Bxの範囲の模式図である。

【図8】(a)は、第1の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータds(q)を生成する観測点Pijの位置の一例を示す模式図、(b)(c)は、第2の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータds(q)を生成する観測点Pijの位置の一例を示す模式図である。

【図9】受信開口Rxと観測点Pijとの位置関係を示す模式図である。

【図10】(a)(b)は、送信開口Txから観測点Pijを経由して受信振動子Rkに到達する超音波の伝播経路を示す模式図である。

【図11】第1の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータds(q)を生成する観測点Pijの位置と観測点Pijの方位方向座標の配列ids[q]との関係を示す模式図である。

40

【図12】第2の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータds(q)を生成する観測点Pijの位置と観測点Pijの方位方向座標の配列ids[q]との関係を示す模式図である。

【図13】(a)は、第1の受信ビームフォーミング処理時に、連続する送信イベントl、l+1において音響線信号のラインデータdsijが取得された座標の位置関係を示す模式図、(b)は、第2の受信ビームフォーミング処理時に、連続する送信イベントl、l+1において音響線信号のラインデータdsijが取得された座標の位置関係を示す模式図である。

50

【図14】(a)(b)は、第1の受信ビームフォーミング処理時に連続する送信イベント1、1+1における音響線信号ラインデータ $d_s(q)$ の生成処理とフレームメモリからの出力のタイミングを示す模式図である。

【図15】(a)(b)は、第2の受信ビームフォーミング処理時に連続する送信イベント1、1+1における音響線信号ラインデータ $d_s(q)$ の生成処理とフレームメモリからの出力のタイミングを示す模式図である。

【図16】第1の受信ビームフォーミング処理時の受信ビームフォーマ部140の構成を示す機能ブロック図である。

【図17】第2の受信ビームフォーミング処理時の受信ビームフォーマ部140の構成を示す機能ブロック図である。

【図18】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部140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。

【図19】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部140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。

【図20】実施の形態1に係る受信ビームフォーマ部140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。

【図21】変形例1に係る受信ビームフォーマ部140Aの構成を示す機能ブロック図である。

【図22】変形例2に係る受信ビームフォーマ部140Bの構成を示す機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、実施の形態に係る超音波画像処理装置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。

【0015】

実施の形態1

<全体構成>

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。

【0016】

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110aを有するプローブ110、プローブ110に超音波の送受信を行わせプローブ110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160を有する。プローブ110、表示部160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。

【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110の複数ある振動子110a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120、超音波の送信を行うためにプローブ110の各振動子110a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130と、プローブ110で受信した超音波の反射波に基づき、複数の振動子110a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(DASデータ: Delay and Sum Data)を生成する受信ビームフォーマ部140を有する。また、受信ビームフォーマ部140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150、超音波画像生成部150が出力する超音波画像を保存するデータ格納部170と、各構成要素を制御する制御部180を備える。このうち、マルチプレクサ部120、送信ビームフォーマ部130、受信ビームフォーマ部140、超音波画像生成部150は、超音波信号処理装置500を構成する。

## 【 0 0 1 8 】

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 2 0、送信ビームフォーマ部 1 3 0、受信ビームフォーマ部 1 4 0、超音波画像生成部 1 5 0、制御部 1 8 0 は、それぞれ、例えば、F P G A (Field Programmable Gate Array)、A S I C (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 C P U (Central Processing Unit) や G P G P U を用いることができ、G P U を用いる構成は G P G P U (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

10

## 【 0 0 1 9 】

データ格納部 1 7 0 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、M O、D V D、D V D - R A M、B D、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 7 0 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 0 】

< 超音波診断装置 1 0 0 の主要部の構成 >

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 は、プローブ 1 1 0 の各振動子 1 1 0 a 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 1 3 0 と、プローブ 1 1 0 において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 1 4 0 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 1 3 0 及び受信ビームフォーマ部 1 4 0 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 1 3 0 及び受信ビームフォーマ部 1 4 0 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。

20

## 【 0 0 2 1 】

以下、送信ビームフォーマ部 1 3 0 と、受信ビームフォーマ部 1 4 0 の構成について説明する。

30

## 【 0 0 2 2 】

1 . 送信ビームフォーマ部 1 3 0

送信ビームフォーマ部 1 3 0 は、マルチプレクサ部 1 2 0 を介してプローブ 1 1 0 と接続され、プローブ 1 1 0 から超音波の送信を行うためにプローブ 1 1 0 に存する複数 N ( N : 2 以上の自然数 ) の振動子 1 1 0 a 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 T x 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 1 3 0 は送信部 1 3 1 から構成される。

## 【 0 0 2 3 】

送信部 1 3 1 は、制御部 1 8 0 からの送信制御信号に基づき、プローブ 1 1 0 に存する複数の振動子 1 1 0 a 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 1 3 1 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シングを行うための回路である。

40

## 【 0 0 2 4 】

送信部 1 3 1 は、超音波送信ごとに送信開口 T x を列方向に移動ピッチ M p ( M p は自然数 ) だけ移動させながら超音波送信を繰り返し、プローブ 1 1 0 に存する全ての振動子

50

110aから超音波送信を行う。本実施の形態では、移動ピッチ $M_p$ を振動子1つ分とし、超音波送信ごとに、送信開口 $T_x$ が振動子1つ分ずつ移動していく。なお、移動ピッチ $M_p$ は振動子1つ分に限られず、例えば、振動子2個以上としてもよい。送信開口 $T_x$ に含まれる振動子の位置を示す情報は制御部180を介してデータ格納部170に出力される。例えば、プローブ110に存する振動子110a全数 $N$ を192としたとき、送信開口 $T_x$ 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131により同一の送信開口 $T_x$ から行われる超音波送信を「送信イベント」と称呼する。

#### 【0025】

図2は、送信ビームフォーマ部130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 $N$  ( $N$ は自然数)個の振動子110aの列に含まれる $M$  ( $M$ は自然数)個の振動子の列(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。また、送信イベント毎の送信振動子列の移動ピッチ $M_p$ は、送信振動子列に含まれる振動子の個数 $M$ より小さい。

#### 【0026】

送信ビームフォーマ部130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、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、フォーカスが合う(集束する)状態となる。送信フォーカス点 $F$ の深さ(Focal depth)(以下、「フォーカス深さ」とする)は、任意に設定することができる。ここで、フォーカス深さは、超音波送信波が振動子の並ぶ方位方向(図2における $x$ 方向)に最も集束する深さ、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さである、送信フォーカス点 $F$ は、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構成とした。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(図中の横軸方向)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(図中では上部)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。

#### 【0027】

### 2. 受信ビームフォーマ部140の構成

#### 2.1 全体構成

受信ビームフォーマ部140は、プローブ110で受信した超音波の反射波に基づき、複数の振動子110aで得られた電気信号から音響線信号を生成する。

#### 【0028】

超音波診断における受信ビームフォーム方法には、上述のとおり、演算負荷が小さい整相加算ビームフォーム方法と演算負荷が大きい画質に優れる合成開口ビームフォーム方法とがあり、両方法は機能上相補的な関係にあるため、機能互換性の観点から両機能を実装することが必要である。受信ビームフォーマ部140は、合成開口ビームフォーム方法(以後、「第1の受信ビームフォーミング処理」とする場合がある)と、整相加算ビームフォーム方法(以後、「第2の受信ビームフォーミング処理」とする場合がある)の機能を実装し、超音波計測における各種操作条件に基づき何れかのビームフォーミング処理を選択的に実施することができる。

#### 【0029】

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

10

20

30

40

50

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140の構成を示す機能ブロック図である。本開示に係る受信ビームフォーマ部140は、制御部180を介して得られるキーボード、マウス等の操作入力部(不図示)からの操作条件の入力に基づいて、本開示に係る超音波信号処理方法のプログラムがFPGA上で動作して、プローブ110からの反射波に基づく電気信号を入力として音響線信号を生成して、超音波画像生成部150を出力するにより実現される。

#### 【0030】

図3に示すように、受信ビームフォーマ部140は、プローブ110で受信した反射超音波に基づく電気信号を受信し受信信号列を生成する2つの受信部141\_\_1、141\_\_2、複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する2つの整相加算部142\_\_1、142\_\_2、整相加算部142\_\_1、142\_\_2から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して超音波画像生成部150に出力する主加算部143を備える。例えば、本実施の形態では、受信ビームフォーマ部140は、192個の振動子110aからなる振動子列(110a)を96振動子ずつ2つの部分振動子列110a\_\_1、110a\_\_2に分割し、各部分振動子列のブロックごとに受信信号列を生成する受信部141\_\_1、141\_\_2(番号を区別しない場合は141とする)と、各ブロック毎に音響線信号を生成する整相加算部142\_\_1、142\_\_2(番号を区別しない場合は142とする)と、主加算部143とから構成される。しかしながら、振動子列101aを分割するブロックの数は上記に限定されず、例えば、4、6、8、16等ととしてもよい。

#### 【0031】

各部分振動子列のブロックに対応した受信部141\_\_1と141\_\_2、整相加算部142\_\_1と142\_\_2は、それぞれ同じ回路から構成され、受信部141と整相加算部142はFPGA1に含まれ、主加算部143はFPGA1とは異なるFPGA2に含まれている。そのため、受信ビームフォーマ部140は、並列に配置された2個のFPGA1の後段に1個のFPGA2が配置された構成を採る。

#### 【0032】

##### 2.2 各部構成

以下、受信ビームフォーマ部140を構成する各部の構成について説明する。図4は、FPGA1を構成する受信部141及び整相加算部142の構成を示す機能ブロック図である。図5は、FPGA2を構成する主加算部143の構成を示す機能ブロック図である。

#### 【0033】

##### (1) 受信部141

受信部141は、マルチプレクサ部120を介してプローブ110と接続され、送信イベントに対応してプローブ110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RF(Radio Frequency)信号を生成する回路である。受信部141は、入力部1411、半導体メモリであるRF信号保持部1412を備える。入力部1411は、送信イベントの順に時系列にRF信号を生成しRF信号保持部1412にRF信号を保存する。

#### 【0034】

ここで、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。

#### 【0035】

図6(a)は、超音波出照射領域Axからの反射超音波に基づくRF信号列の生成動作を示す模式図である。送信イベントでは、上述のとおり、送信部131は、プローブ110に存する複数の振動子110a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。さらに、送信部131は、送信イベントに対応して送信開口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、プローブ110に

存するN個の振動子110a全体から超音波送信を行う。

【0036】

これに対し、受信部141は、図6(a)に示すように、送信イベントに対応してプローブ110に存する複数の振動子110aの一部又は全部にあたる振動子の各々が被検体の超音波主照射領域Axから得た反射超音波に基づいて、各振動子に対するRF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Rwを「受波振動子」と称呼し、受波振動子Rwの列を受波振動子列Rwxとする。受波振動子列Rwxを構成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以上であることが好ましい。また、受波振動子の数はプローブ110に存する振動子110aの全数としてもよい。本実施の形態では、受波振動子Rwの数は送信振動子の数とした。

10

【0037】

そして、入力部1411は、送信イベントに対応して各受波振動子列Rwにて得られたRF信号の列を生成し、生成されたRF信号は、送信イベント毎にRF信号保持部1412に保存される。本実施の形態では、RF信号保持部1412は、受信ビームフォーマ部140を構成するFPGA1の内部半導体メモリを用いた構成としている。しかしながら、RF信号保持部1412はFPGA1の外部に存在する構成としてもよい。図6(b)は、受信部141におけるRF信号列とRF信号保持部1412のアドレスとの対応を示す模式図である。RF信号保持部1412は、生成されたRF信号を、音響線信号を生成するための整相加算処理を行うまでの間保持するメモリである。そのため、図6(b)に示すように、振動子列方向(方位方向)に入力チャンネル数と同じ数、被検体深さ方向にD<sub>PART</sub>個(D<sub>PART</sub>:自然数)のアドレスに区分された構成としている。本実施の形態では、D<sub>PART</sub>は、整相加算処理における反射波の最大遅延量を考慮して、例えば2000~8000ワードとし、被検体深さ方向において後述する対象領域Bxに相当するRF信号を保持するための区分数(約16000~20000ワードに相当)よりも小さい構成とし、RF信号は反射波が得られた順に生成され被検体の浅い部位の信号を先頭に保存され、RF信号保持部1412はFIFO(First In, First Out)メモリとして機能する。

20

【0038】

(2) 整相加算部142

整相加算部142は、送信イベントに対応して、音響線信号ラインデータの生成を行う被検体内における位置を表す対象領域Bxを設定し、方位方向座標に対応するインデックスをi、深さ方向座標に対応するインデックスをjとしたとき、対象領域Bx内に存する複数の観測点P<sub>ij</sub>(j=1~N、j=1~D)各々について、観測点P<sub>ij</sub>から受波振動子Rwが受波したRF信号列を受信開口Rxの範囲について整相加算して、各観測点における音響線信号ds<sub>ij</sub>を算出することにより音響線信号ラインデータds(q)(q=1~q<sub>max</sub>:q<sub>max</sub>は音響線信号のラインデータの本数であり、第1のビームフォーミング処理ではq<sub>max</sub>=ML、第2のビームフォーミング処理ではq<sub>max</sub>=NLである)を生成する回路である。図4に示すように、整相加算部142は、フレームメモリ1420、焦点制御部1421、遅延計算部1422、ゲイン制御部1423、メモリ制御部1424、加算回路部1425、座標変換部1426、フィルタ部1427、フレームメモリ制御部1428、出力部1429とを備える。

30

40

【0039】

以下、整相加算部142を構成する各部の構成について説明する。

【0040】

i) 焦点制御部1421

焦点制御部1421は、被検体内において音響線信号ラインデータの生成を行う対象領域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音響線信号ラインデータ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P<sub>ij</sub>について音響線信号ds<sub>ij</sub>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対象点の集合として、1回の送信イベントに対応して計算の便宜上設定される。

50

## 【 0 0 4 1 】

ここで、「音響線信号ラインデータ」とは、1回の送信イベントから生成される対象領域  $B \times$  内に存在する全ての観測点  $P_{ij}$  に対する音響線信号  $d s_{ij}$  の集合を、複数本の超音波ビーム上の観測点に対する整相加算結果（音響線信号  $d s_{ij}$ ）に分類した、超音波ビーム1本に関する整相加算結果（音響線信号  $d s_{ij}$ ）を1列にまとめたデータ集合と定義される。送信イベントが異なり取得時間の異なる複数のラインデータを観測点  $P_{ij}$  の位置を基準に合成したものがフレームデータとなる。

## 【 0 0 4 2 】

焦点制御部 1 4 2 1 は、送信イベントに対応して、送信ビームフォーマ部 1 3 0 から取得する送信開口  $T \times$  の位置を示す情報に基づき対象領域  $B \times$  を設定する。

10

## 【 0 0 4 3 】

図7は、第1の受信ビームフォーミング処理において設定可能な最大の対象領域  $B \times$  を示す模式図である。図7に示すように、対象領域  $B \times$  は、超音波主照射領域  $A \times$  内に存在する。対象領域  $B \times$  は、超音波主照射領域  $A \times$  において深さがフォーカス深さ以下である部分の全域と、超音波主照射領域  $A \times$  においてフォーカス深さより深い部分における制御部 1 8 0 を介して操作者が指定する測定対象深さ  $D$  までの領域である。また、対象領域  $B \times$  の中心軸は、超音波主照射領域の中心軸と一致している。なお、対象領域  $B \times$  が超音波主照射領域  $A \times$  の全部ではなく一部であってもよい。

## 【 0 0 4 4 】

次に、第1の受信ビームフォーミング処理及び第2の受信ビームフォーミング処理において、対象領域  $B \times$  を構成する観測点  $P_{ij}$  の位置について説明する。

20

## 【 0 0 4 5 】

図8(a)は、第1の受信ビームフォーミング処理時に、送信開口  $T \times$  の位置に対して音響線信号を取得して音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  を生成する観測点  $P_{ij}$  の位置の一例を示す模式図である。第1のビームフォーミング処理では、送信フォーカス点  $F$  を通る複数本  $q$  ( $q = 1 \sim M L$  : 本図では  $M L = 5$ ) の仮想線が設定され、各仮想線上に有限個の観測点  $P_{ij}$  が設定され音響線信号が生成されてもよい。ここで、同じ仮想線上に位置する複数の観測点  $P_{ij}$  に対して得られた複数の音響線信号の集合を音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  ( $q = 1 \sim M L$ ) とする。

## 【 0 0 4 6 】

同様に、図8(b)(c)は、送信開口  $T \times$  の位置に対して第2の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  を生成する観測点  $P_{ij}$  の位置の一例を示す模式図である。第2のビームフォーミング処理では、送信フォーカス点  $F$  を通り、方位方向に垂直な複数本  $q$  ( $q = 1 \sim N L$  : 図9(b)では  $N L = 1$ 、図9(c)では  $N L = 3$ ) の仮想線が設定され、各仮想線上に有限個の観測点  $P_{ij}$  が設定され音響線信号が生成される。ここでも、同じ仮想線上に位置する複数の観測点  $P_{ij}$  に対して得られた複数の音響線信号の集合を音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  ( $q = 1 \sim N L$ ) とする。

30

## 【 0 0 4 7 】

設定された対象領域  $B \times$  を構成する観測点  $P_{ij}$  の位置は遅延計算部 1 4 2 2 に出力される。

40

## 【 0 0 4 8 】

また、焦点制御部 1 4 2 1 は、制御部 1 8 0 からの制御信号と、送信ビームフォーマ部 1 3 0 からの送信開口  $T \times$  の位置を示す情報とに基づき、プローブ 1 1 0 に存する複数の振動子の一部に当たり、受信振動子（受信振動子列）として選択して受信開口  $R \times$  を設定する。

## 【 0 0 4 9 】

ここでは、焦点制御部 1 4 2 1 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  $R \times$  振動子列を選択する。図9は、焦点制御部 1 4 2 1 により設定された受信開口  $R \times$  と観測点  $P_{ij}$  との位置関係を示す模式図である。図9に示

50

すように、受信開口  $R \times$  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  $X_k$  と合致するように受信開口  $R \times$  振動子列が選択される。そのため、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  $R \times$  内の受信振動子  $R_k$  によって取得された RF 信号に基づき整相加算が行われる。なお、第 1 の受信ビームフォーミング処理及び第 2 の受信ビームフォーミング処理における受信開口  $R \times$  振動子列の選択方法は同じである。

【 0 0 5 0 】

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  $R \times$  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。

10

【 0 0 5 1 】

選択された受信開口  $R \times$  の位置を示す情報は遅延計算部 1 4 2 2 に出力される。

【 0 0 5 2 】

i i ) 遅延計算部 1 4 2 2

遅延計算部 1 4 2 2 は、送信された超音波が被検体中の観測点  $P$  に到達する送信時間を算出する。送信イベントに対応して、制御部 1 8 0 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、焦点制御部 1 4 2 1 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。

20

【 0 0 5 3 】

図 1 0 ( a ) ( b ) 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 1 0 ( a ) は、観測点  $P_{ij}$  がフォーカス深さより深い場合、図 1 0 ( b ) は、観測点  $P_{ij}$  の深さがフォーカス深さ以下である場合を示している。

【 0 0 5 4 】

送信開口  $T \times$  から放射された送信波は、経路 4 0 1 を通って送信フォーカス点  $F$  にて波面が集束し、再び、拡散する。送信波が集束または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、その反射波がプロンプ 1 1 0 における受信開口  $R \times$  内の受信振動子  $R_k$  に戻っていく。送信フォーカス点  $F$  は送信ビームフォーマ部 1 3 0 の制御パラメータとして規定されているので、送信フォーカス点  $F$  と任意の観測点  $P_{ij}$  との間の経路 4 0 2 の長さは幾何学的に算出することができる。

30

【 0 0 5 5 】

送信時間の算出方法を、以下、さらに詳細に説明する。

【 0 0 5 6 】

まず、図 1 0 ( a ) に示すように、観測点  $P_{ij}$  がフォーカス深さより深い場合、送信開口  $T \times$  から放射された送信波が、経路 4 0 1 を通っ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 4 0 2 を通って観測点  $P_{ij}$  に到達したものとして算出する。したがって、送信波が経路 4 0 1 を通過する時間と、経路 4 0 2 を通過する時間を合算した値が、送信時間となる。具体的には、例えば、経路 4 0 1 の長さとして経路 4 0 2 の長さ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。

40

【 0 0 5 7 】

一方、図 1 0 ( b ) に示すように、観測点  $P_{ij}$  の深さがフォーカス深さ以下である場合、送信開口  $T \times$  から放射された送信波が、経路 4 0 1 を通って送信フォーカス点  $F$  に到達する時刻と、経路 4 0 4 を通って観測点  $P_{ij}$  に到達した後、観測点  $P_{ij}$  から経路 4 0 2 を通って送信フォーカス点  $F$  に到達する時刻とが同一であるものとして算出する。つまり、送信波が経路 4 0 1 を通過する時間から、経路 4 0 2 を通過する時間を差し引いた

50

値が、送信時間となる。具体的には、例えば、経路 401 の長さから経路 402 の長さを減算した経路長差を、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。

【0058】

遅延計算部 1422 は、1 回の送信イベントに対し、対象領域 B x 内の全ての観測点 P i j について、送信された超音波が被検体中の観測点 P i j に到達する送信時間を算出する。

【0059】

また、遅延計算部 1422 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、焦点制御部 1421 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 B x の位置を示す情報とに基づき対象領域 B x 内に存在する任意の観測点 P i j について、送信された超音波が被検体中の観測点 P i j 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。

10

【0060】

上述のとおり、観測点 P i j に到達した送信波は、観測点 P i j で反射波を生成し、その反射波がプローブ 110 における受信開口 R x 内の各受信振動子 R k に戻り、任意の観測点 P i j から各受信振動子 R k までの経路 403 の長さは幾何学的に算出することができる。

【0061】

遅延計算部 1422 は、1 回の送信イベントに対し、対象領域 B x 内に存在する全ての観測点 P i j について、送信された超音波が観測点 P i j 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する。

20

【0062】

また、遅延計算部 1422 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 R F 信号の列に適用する遅延量を算出する。遅延計算部 1422 は、振動子列 110 a から送信された超音波が観測点 P i j に到達する送信時間と、観測点 P i j 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。遅延計算部 1422 は、対象領域 B x 内に存在する全ての観測点 P i j について、各受信振動子 R k に対する R F 信号の列に適用する遅延量を算出する。

30

【0063】

なお、第 1 の受信ビームフォーミング処理及び第 2 の受信ビームフォーミング処理における総伝播時間の算出方法は同じとしてもよい。あるいは、第 2 の受信ビームフォーミング処理では、単純に送信開口 T x から観測点 P i j までの直線距離に基づき送信時間を算出し、観測点 P i j から各受信振動子 R k までの直線距離に基づき受信時間を算出して総伝播時間を算出する構成としてもよい。

【0064】

i i i) メモリ制御部 1424

40

メモリ制御部 1424 は、受信開口 R x 内の受信振動子 R k に対する R F 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 R F 信号を、観測点 P i j 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 R F 信号として同定する。具体的には、メモリ制御部 1424 は、送信イベントに対応して、焦点制御部 1421 から受信振動子 R k の位置を示す情報、対象領域 B x の位置を示す情報、各受信振動子 R k に対する R F 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、R F 信号保持部 1412 から各受信振動子 R k に対応する R F 信号の列を取得して、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 R F 信号を観測点 P i j からの反射波に基づく R F 信号として同定し、加算回路部 1425 に出力する。

【0065】

50

## i v) ゲイン制御部 1 4 2 3

ゲイン制御部 1 4 2 3 は、受信開口  $R \times$  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。

## 【 0 0 6 6 】

図 8 に示すように、重み数列は受信開口  $R \times$  内の各振動子に対応する RF 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  $R \times$  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  $R \times o$  と一致する。ゲイン制御部 1 4 2 3 は、焦点制御部 1 4 2 1 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回路部 1 4 2 5 に出力する。

## 【 0 0 6 7 】

## v) 加算回路部 1 4 2 5

加算回路部 1 4 2 5 は、メモリ制御部 1 4 2 4 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 RF 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。あるいは、さらに、ゲイン制御部 1 4 2 3 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 RF 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。遅延計算部 1 4 2 2 の出力に基づきメモリ制御部 1 4 2 4 において、受信開口  $R \times$  内に位置する各受信振動子  $R_k$  が検出した RF 信号の位相を整えて加算回路部 1 4 2 5 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 RF 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 RF 信号を抽出することができる。なお、第 1 の受信ビームフォーミング処理及び第 2 の受信ビームフォーミング処理における加算処理方法は同じである。

## 【 0 0 6 8 】

加算回路部 1 4 2 5 により、送信イベントに対応して対象領域  $B \times$  を構成する全ての観測点  $P_{ij}$  についての音響線信号  $d s_{ij}$  の集合、すなわち、音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  が生成される。

## 【 0 0 6 9 】

図 1 1 は、第 1 の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  を生成する観測点  $P_{ij}$  の位置と観測点  $P_{ij}$  の方位方向座標の配列  $i d s[q]$  との関係を示す模式図である。図 1 2 は、第 2 の受信ビームフォーミング処理時に、音響線信号を取得して音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  を生成する観測点  $P_{ij}$  の位置と観測点  $P_{ij}$  の方位方向座標の配列  $i d s[q]$  との関係を示す模式図である。図 1 1、1 4 に示すように、音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  ( $q$  は音響線信号ラインデータを識別するインデックス、 $q = 1 \sim M L$  又は  $N L$ ) は、観測点  $P_{ij}$  の方位方向座標の配列  $i d s[q]$  を用いて、音響線信号  $d s_{ij}$  ( $i = i d s[q]$ 、 $j = 1 \sim D$ ) と表すことができる。

## 【 0 0 7 0 】

生成された音響線信号のラインデータ  $d s(q)$  は、送信イベント毎に、フレームメモリ 1 4 2 0 に出力され、後述する加算処理が行われる。

## 【 0 0 7 1 】

さらに、送信イベントに対応して送信開口  $T \times$  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 1 1 0 に存する  $N$  個全ての振動子 1 1 0 a から超音波送信を行うことにより 1 フレームの合成された音響線信号である音響線信号のフレームデータを生成する。

## 【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

50

## v) フィルタ部 1 4 2 7

フィルタ部 1 4 2 7 は、音響線信号をアップサンプリング処理する回路であり、第 2 の受信ビームフォーミング処理時に、生成された音響線信号をフィルタ部 1 4 2 7 を介して出力する構成としてもよい。FIR フィルタなどの高域通過フィルタを用いることができる。但しこれに限定されるものではなく、例えば、最小二乗フィルタ、多項式近似フィルタ、固有ベクトルフィルタ等を用いる構成としてもよい。

## 【0073】

フィルタ部 1 4 2 7 は、本実施の形態では、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 に音響線信号を出力し、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、音響線信号をそのまま出力部 1 4 2 9 に出力する。

## 【0074】

## vi) 座標変換部 1 4 2 6

座標変換部 1 4 2 6、フレームメモリ制御部 1 4 2 8、及びフレームメモリ 1 4 2 0 (以後、合成部とする) は、第 1 の受信ビームフォーミング処理時に、送信イベントに対応して生成される音響線信号のラインデータから音響線信号のフレームデータを生成する回路である。すなわち、合成部は、各音響線信号のラインデータに含まれる音響線信号が取得された観測点  $P_{ij}$  の位置を基準に複数の音響線信号のラインデータを加算することにより、各観測点に対する音響線信号を加算して音響線信号のフレームデータを生成する。そのため、同一位置の観測点に対する音響線信号は加算される。

## 【0075】

図 13 (a) は、第 1 の受信ビームフォーミング処理時に、連続する送信イベント  $l$ 、 $l + 1$  において音響線信号のラインデータ  $d_{sij}$  が取得された座標の位置関係を示す模式図、(b) は、第 2 の受信ビームフォーミング処理時に、連続する送信イベント  $l$ 、 $l + 1$  において音響線信号のラインデータ  $d_{sij}$  が取得された座標の位置関係を示す模式図である。

## 【0076】

座標変換部 1 4 2 6 は、送信イベントに対応して生成された各音響線信号のラインデータ  $d_s(q)$  ( $q = 1 \sim ML$  又は  $NL$ ) を構成する音響線信号に対し、音響線信号が取得された観測点  $P_{ij}$  の座標の情報を割り当てる。具体的には、座標変換部 1 4 2 6 は、音響線信号のラインデータ  $d_s(q)$  ( $q = 1 \sim ML$  又は  $NL$ 、図 13 (a) では、 $ML = 3$ 、図 15 (b) では  $NL = 2$ ) を構成する音響線信号と、その音響線信号が取得された観測点  $P_{ij}$  の座標の情報とを、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 に出力する。

## 【0077】

## vii) フレームメモリ 1 4 2 0

フレームメモリ 1 4 2 0 は、半導体メモリであるから構成され、異なる送信イベントにより取得した複数の音響線信号のラインデータ  $d_s(q)$  が、観測点  $P_{ij}$  の位置に対応するアドレスに加算されることにより、各観測点に対する合成音響線信号が合成される。本実施の形態では、フレームメモリ 1 4 2 0 は、RF 信号保持部 1 4 1 2 と同様に、受信ビームフォーマ部 1 4 0 を構成する FPGAs の内部半導体メモリを用いた構成としている。フレームメモリ 1 4 2 0 は、振動子列方向 (方位方向) に入力チャネル数と同じ数、被検体深さ方向に  $D$  ( $D$  は自然数) のアドレスに区分された構成としている。本実施の形態では、振動子列方向 (方位方向) に 96 又は 192 のアドレスに区分された構成とし、 $D$  は、例えば 4000 ~ 12000 のアドレスに区分された構成としている。

## 【0078】

## viii) フレームメモリ制御部 1 4 2 8、出力部 1 4 2 9

フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、観測点  $P_{ij}$  の座標の情報に対応するフレームメモリ 1 4 2 0 のアドレスを指定して、音響線信号と当該アドレスに保持されているデータとを加算して、該アドレスに保持されているデータを加算結果に置き換える。

## 【0079】

これにより、送信イベントに対応して生成された音響線信号を、その音響線信号が取得

10

20

30

40

50

された観測点  $P_{ij}$  の位置を基準に合成することができる。

【 0 0 8 0 】

出力部 1 4 2 9 は、整相加算部 1 4 2 において生成された音響線信号を主加算部 1 4 3 に出出力する回路である。

【 0 0 8 1 】

上述のとおり、第 1 の受信ビームフォーミング処理では、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、送信イベントの順に時系列に、座標変換部 1 4 2 6 から音響線信号ラインデータを取得し、フレームメモリ 1 4 2 0 のアドレスを指定して音響線信号を出力し、フレームメモリ 1 4 2 0 に記憶されてデータと加算する処理を行う。また、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、制御部 1 8 0 の指示に基づきフレームメモリ 1 4 2 0 に対する音響線信号の出力を制御し、出力部 1 4 2 9 はフレームメモリ 1 4 2 0 から出力される音響線信号を主加算部 1 4 3 に出出力する

図 1 4 ( a ) ( b ) は、図 1 3 ( a ) に示された第 1 の受信ビームフォーミング処理時に連続する送信イベント  $l$ 、 $l + 1$  における音響線信号ラインデータ  $d_s(q)$  の生成処理とフレームメモリ 1 4 2 0 からの音響線信号ラインデータ  $d_s(q)$  の出力のタイミングを示す模式図である。図 1 4 ( a ) ( b ) において、図示されているフレームメモリ 1 4 2 0 は、何れも図 1 3 ( a ) の B 1 部分の座標に対応するアドレスに相当するフレームメモリ 1 4 2 0 の部分である。

【 0 0 8 2 】

また、図 1 5 ( a ) ( b ) は、同様に、図 1 3 ( b ) に示された第 2 の受信ビームフォーミング処理時に連続する送信イベント  $l$ 、 $l + 1$  における音響線信号ラインデータ  $d_s(q)$  の生成処理とフレームメモリ 1 4 2 0 からの音響線信号ラインデータ  $d_s(q)$  の出力のタイミングを示す模式図である。

【 0 0 8 3 】

整相加算部 1 4 2 では、第 1 の受信ビームフォーミング処理時に、先ず、図 1 4 ( a ) に示すように、送信イベント  $l$  において、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、音響線信号のラインデータ  $d_s(1)$ 、 $d_s(2)$ 、 $d_s(3)$  が取得された観測点  $P_{ij}$  の座標の情報に対応するフレームメモリ 1 4 2 0 のアドレスを指定して、音響線信号と当該アドレスに保持されているデータとを加算して、当該アドレスに保持されているデータを加算結果に置き換える。

【 0 0 8 4 】

先ず、送信イベント  $l$  では、フレームメモリ 1 4 2 0 には、過去の送信イベント  $l - 1$ 、 $l - 2$  においてアドレス ( 1 )、( 2 ) には加算結果が書き込まれている ( 図中に「 $\circ$ 」と表記)。この状態において、図 1 4 ( a ) に示すように、B 1 部分の音響線信号の取得位置は  $d_s(1)$ 、 $d_s(2)$ 、 $d_s(3)$  の順に X 方向に正側に位置しているので、図 1 4 ( a ) に示すように、音響線信号  $d_s(1)$ 、 $d_s(2)$ 、 $d_s(3)$  ( 図中に「 $\square$ 」と表記) は、当該順にそれぞれフレームメモリ 1 4 2 0 における対応アドレス  $S$  ( アドレス ( 1 )、( 2 )、( 3 ) ) に保持されているデータ ( 図中に「 $\circ$ 」と表記) と加算され、その対応アドレス  $S$  に加算結果が書き込まれる。そして、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、過去の送信イベント  $l - 2$  において生成された音響線信号、過去の送信イベント  $l - 1$  において生成された音響線信号、及び現送信イベント  $l$  において生成された音響線信号の加算が完了しているアドレス ( 1 ) 中の音響線信号 ( 図中に「 $\square$ 」と表記) を出力部 1 4 2 9 を介して主加算部 1 4 3 に出出力する。

【 0 0 8 5 】

次に、送信イベント  $l + 1$  では、フレームメモリ 1 4 2 0 には、過去の送信イベント  $l$ 、 $l - 1$  においてアドレス ( 2 )、( 3 ) には加算結果が書き込まれている ( 図中に「 $\circ$ 」と表記)。この状態において、図 1 4 ( b ) に示すように、音響線信号  $d_s(1)$ 、 $d_s(2)$ 、 $d_s(3)$  ( 図中に「 $\square$ 」と表記) は、当該順にそれぞれフレームメモリ 1 4 2 0 における対応アドレス  $S$  ( アドレス ( 2 )、( 3 )、( 4 ) ) に保持されているデータ ( 図中に「 $\circ$ 」と表記) と加算され、その対応アドレス  $S$  に加算結果が書き込まれる。

そして、フレームメモリ制御部 1428 は、過去の送信イベント  $l-1$  において生成された音響線信号、過去の送信イベント  $l$  において生成された音響線信号、及び現送信イベント  $l+1$  において生成された音響線信号の加算が完了しているアドレス (2) 中の音響線信号 (図中に「 $\square$ 」と表記) を出力部 1429 を介して主加算部 143 に出力する。

【0086】

さらに、整相加算部 142 における音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$ 、 $ds(3)$  の生成、及び、フレームメモリ 1420 における対応アドレス  $S$  中のデータとの加算は、1 サンプル周期をこの 1 サンプル周期により得るべき音響線信号のラインデータの本数  $ML$  (図 14 (a) (b) では  $ML=3$ ) で除した 1 つのタイムスロットである  $10\text{ nsec}$  内で行われ、複数の音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$ 、 $ds(3)$  は送信イベント内で 3 のタイムスロットに時分割処理される構成を採る。

10

【0087】

具体的には、送信イベント  $l$  又は  $l+1$  では、図 14 (a) 又は (b) に示すように、タイムスロット 1 では、音響線信号ラインデータ  $ds(1)$  を加算しアドレス (1) (送信イベント  $l+1$  ではアドレス (2)) に書き込む。また、タイムスロット 2 では、音響線信号ラインデータ  $ds(2)$  を加算しアドレス (2) (送信イベント  $l+1$  ではアドレス (3)) に書き込む。さらに、タイムスロット 3 では、音響線信号ラインデータ  $ds(3)$  を加算しアドレス (3) (送信イベント  $l+1$  ではアドレス (4)) に書き込み、同時に、確定した「 $\square$ 」が印されたアドレス (1) 中 (送信イベント  $l+1$  ではアドレス (2) 中) の音響線信号ラインデータを読み出し後段に出力する。

20

【0088】

係る構成を採ることにより、複数の音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$ 、 $ds(3)$  に関する加算処理について、フレームメモリ 1420 への同時アクセスが発生しないために、1R1WタイプのシングルポートSRAMを用いることができフレームメモリ 1420 のハードウェアコストをさらに低減できる。また、例えば、2R1Wタイプや2R2Wタイプ等のマルチポートメモリによりフレームメモリ 1420 を構成した場合と比べて実装面積をより小さくできる。

【0089】

また、第2の受信ビームフォーミング処理時に、先ず、図 14 (b) に示すように、送信イベント  $l$  において、フレームメモリ制御部 1428 は、音響線信号のラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$  は、フレームメモリ 1420 に記憶されることなく、生成された順に時系列に出力部 1429 を介して主加算部 143 に出力される。

30

【0090】

ここでは、整相加算部 142 における複数 ( $NL$  本) の音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$  の生成、及び、主加算部 143 への出力は、1 サンプル周期を第1の受信ビームフォーミング処理時における 1 サンプル周期に得るべき音響線信号のラインデータの本数  $ML$  (図 14 (a) (b) では  $ML=3$ ) で除した 3 つの  $10\text{ nsec}$  長のタイムスロットから選択される 2 つのタイムスロット内で行われ、残る 1 つ ( $ML-NL$ ) のタイムスロットでは処理が停止される。すなわち、複数 ( $NL$  本) の音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$  を、1 サンプル周期をこの 1 サンプル周期に得るべき音響線信号のラインデータの本数  $NL$  (図 15 (a) (b) では  $NL=2$ ) で除した 2 つのタイムスロットにて行うことなく、複数 ( $NL$  本) の音響線信号ラインデータ  $ds(1)$ 、 $ds(2)$  は、1 サンプル周期を  $ML$  で除した 3 のタイムスロットから選択される 2 つのタイムスロットにて時分割処理される構成を採る。

40

【0091】

具体的には、送信イベント  $l$  又は  $l+1$  では、図 15 (a) 又は (b) に示すように、タイムスロット 1 では、音響線信号ラインデータ  $ds(1)$  を生成し主加算部 143 に出力する。タイムスロット 2 では、音響線信号ラインデータ  $ds(2)$  を生成し出力する。そして、タイムスロット 3 では処理を停止する。

【0092】

50

係る構成を採ることにより、第1受信ビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、同一時間のタイムスロット内で、音響線信号ラインデータの生成を行うことができる。これにより、第1受信ビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、回路モジュール間の転送レートを等価であるか又は近似した構成とすることができる。ここで、「近似した」とは、MLとNLの差が±15程度の範囲内にあることをさす。

#### 【0093】

また、第1受信ビームフォーミング処理時に、整相加算部142において音響線信号のラインデータの加算処理を行うことにより、主加算部143において音響線信号のラインデータの加算処理を行う場合と比較して、送信イベントに対応して整相加算部142から主加算部143に転送される音響線信号のラインデータの本数を減少することができる。そのため、受信ビームフォーム部140内の回路モジュールである整相加算部142と主加算部143との間のインタフェース仕様、及び後段回路モジュールである主加算部143の要求仕様を高めることを抑止し、受信ビームフォーム部140全体としてハードウェアコストを低減できる。

#### 【0094】

##### (3) 主加算部143

主加算部143は、送信イベントに対応して複数の整相加算部142において生成された音響線信号のラインデータをデータが取得された観測点 $P_{ij}$ の座標を基準に並べて音響線信号のフレームデータを生成する回路である。

#### 【0095】

図5は、FPGA2を構成する主加算部143の構成を示す機能ブロック図である。同図に示すように、主加算部143は、整相加算部142\_\_1、142\_\_2の出力部1429からそれぞれ出力される音響線信号のラインデータを入力する入力部1431\_\_1、1431\_\_2、音響線信号のラインデータをデータが取得された観測点 $P_{ij}$ の座標を基準に並べて音響線信号のフレームデータを生成する加算回路部1432、音響線信号のフレームデータを超音波画像生成部150に対してDMA(Direct Memory Access)転送を行う送信回路部1433とを備える。加算回路部1432は、全ての送信イベントについて音響線信号のラインデータを並べることにより音響線信号のフレームデータを生成し、生成された音響線信号のフレームデータは、送信イベント毎あるいは送信イベントのセット毎に送信回路部1433から超音波画像生成部150に送信される。

#### 【0096】

##### (4) 第1及び第2の受信ビームフォーミング処理時に動作する回路ブロック

受信ビームフォーマ部140は、合成開口法による第1の受信ビームフォーミング処理と、単純な整相加算方による第2の受信ビームフォーミング処理の機能を備え、超音波計測における各種操作条件に基づき何れかのビームフォーミング処理を選択的に実施する。整相加算部142は、図4に示すように、フレームメモリ1420、焦点制御部1421、遅延計算部1422、ゲイン制御部1423、メモリ制御部1424、加算回路部1425、座標変換部1426、フィルタ部1427、フレームメモリ制御部1428、出力部1429とを備える。このうち、第1のビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理とは、動作する整相加算部142中の構成が異なる。図16は、第1の受信ビームフォーミング処理時の受信ビームフォーマ部140の構成を示す機能ブロック図である。図17は、第2の受信ビームフォーミング処理時の受信ビームフォーマ部140の構成を示す機能ブロック図である。図16、17において、実線で示された回路ブロックが機能し、破線で示された回路ブロックは動作を停止している。具体的には、第1のビームフォーミング処理時には、フレームメモリ制御部1428は、焦点制御部1421から加算回路部1425までの処理において生成されたML本の音響線信号のラインデータは、フレームメモリ制御部1428により、それぞれフレームメモリ1420における対応アドレスSに保持されているデータに加算され、音響線信号のラインデータの本数に相当する回数の加算が完了しているアドレスの音響線信号が出力部1429を介して主加

算部 1 4 3 に出力される。

【 0 0 9 7 】

他方、第 2 の受信ビームフォーミング処理時には、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、焦点制御部 1 4 2 1 から加算回路部 1 4 2 5 までの処理において生成された N L 本の音響線信号のラインデータは、フィルタ部 1 4 2 7 にてアップサンプリングされた後、フレームメモリ 1 4 2 0 に記憶されることなく、生成された順に時系列に出力部 1 4 2 9 を介して主加算部 1 4 3 に出力される。

【 0 0 9 8 】

以上のとおり、実施の形態に係る超音波信号処理装置 5 0 0 では、合成開口法による第 1 受信ビームフォーミング処理と単純な整相加算法による第 2 の受信ビームフォーミング処理時とを、共通の回路モジュールの構成要素を選択的に動作させて実現することにより、単純に整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理の両機能を異なる回路モジュールによって実装して受信ビームフォーム回路を構成した場合とくらべて、回路規模を縮減できる。

10

【 0 0 9 9 】

< 動作 >

以上の構成からなる超音波診断装置 1 0 0 の動作について説明する。

【 0 1 0 0 】

図 1 8、図 1 9、図 2 0 は、受信ビームフォーマ部 1 4 0 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。

20

【 0 1 0 1 】

まず、制御部 1 8 0 は、キーボード、マウス等の操作入力部(不図示)からの操作条件  $cnd$  を取得する(ステップ S 0 5)。操作条件とは、超音波診断装置 1 0 0 における超音波計測の動作条件であり、B モードの選択、カラードプラモードの選択、B モードとカラードプラモードの複合モードの選択、解析対象範囲 R O I の設定、送信ステアリングの有無等が挙げられる。

【 0 1 0 2 】

次に、RF 信号保持部 1 4 1 2、フレームメモリ 1 4 2 0 を初期化して、すべてのアドレス中のデータをゼロ値に変換し(ステップ S 1 0)、する。次に、合成開口法による第 1 のビームフォーミング処理では、焦点制御部 1 4 2 1 は、深さ方向のインデックス  $j$  に対応する音響線信号を生成すべき観測点  $P_{ij}$  の方位方向座標の配列  $ids[q]$  ( $q = 1 \sim ML$  :  $ML$  は、送信イベントにおいて生成される音響線信号ラインデータ本数)を決定する(ステップ S 2 0)。図 1 1 に示すように、第 1 のビームフォーミング処理では、送信フォーカス点  $F$  を通る複数本  $q$  ( $q = 1 \sim ML$  : 図 1 1 では  $ML = 5$ ) の仮想線が設定され、各仮想線上に有限個の観測点  $P_{ij}$  が設定される。本明細書では、同じ仮想線上に位置する複数の観測点  $P_{ij}$  に対して得られた複数の音響線信号の集合を音響線信号のラインデータと呼称する。

30

【 0 1 0 3 】

さらに、深さ方向のインデックス  $j$  に対応する音響線信号を生成すべき観測点  $P_{ij}$  の方位方向座標  $i$  の配列  $ids[q]$  ( $q = 1 \sim ML$  :  $ML$  は、送信イベントにおいて生成される音響線信号ラインデータ本数)をすべての  $j$  について決定し、配列  $ids[q]$  の最大値  $ids[q]_{max}(idr)$  をすべての  $j$  について決定する(ステップ S 2 0)。

40

【 0 1 0 4 】

さらに、送信イベント回数を示す  $l$  を初期化して 1 とする(ステップ S 2 5)。

【 0 1 0 5 】

次に、配列  $ids[q]$  の最大値  $idr$  が、フレームメモリ 1 4 2 0 の方位方向アドレスの最大値より大きいかが判定し(ステップ S 3 0)、大きい場合には最大値  $idr$  を 0 とし、大きくない場合にはステップ S 1 1 0 に進む。

【 0 1 0 6 】

50

次に、送信部 131 は、プローブ 110 に存する複数の振動子 110 a から送信開口  $T_x$  を決定し (ステップ S110)、送信開口  $T_x$  に含まれる各送信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 (ステップ S120)。

【0107】

次に、受信部 141 は、プローブ 110 に存する複数の振動子 110 a から受波振動子列  $R_w x$  を決定する (ステップ S130)。

【0108】

次に、音響線信号を算出すべき対象領域  $B_x$  における  $j$  の最大値  $j(D)$  を設定し (ステップ S131)、 $j$  を初期値に設定する (ステップ S132)。

10

【0109】

次に、操作条件  $cnd$  が条件集合  $A$  に含まれているかを判定する (ステップ S133)。条件集合  $A$  とは、合成開口法による第 1 のビームフォーミング処理を行う操作条件の集合であり、例えば、B モードにおける各種の操作条件が条件集合  $A$  に含まれ、カラードプラモード、B モードとカラードプラモードの複合モード、送信ステアリング有りの操作条件は、条件集合  $A$  に含まれない条件設定としてもよい。操作条件  $cnd$  が条件集合  $A$  に含まれる場合には、ステップ S151 に進み、含まれない場合には、ステップ S240 に進む。

【0110】

次に、図 19 において、 $j$  に対応する方位方向座標を示すインデックス  $i$  を初期値  $ids[1]$  ( $q=1$ ) に設定する (ステップ S151)。

20

【0111】

次に、ステップ S152 では、焦点制御部 1421 は、観測点  $P(i, j)$  に対応する方位方向のインデックス  $k$  の最小値  $kRFmin$ 、最大値  $kRFmax$  を決定して受信開口  $R_x$  を設定し、 $k$  を最小値  $kRFmin$  に設定する (ステップ S153)。 $k$  は、観測点  $P(i, j)$  の整相加算処理の際に参照する  $rf$  信号に対応する振動子の方位方向の位置を示すインデックスである。

【0112】

次に、ステップ S160 では、遅延計算部 1422 は観測点  $P(i, j)$  と  $k$  とから遅延量に相当する  $v$  を算出し、メモリ制御部 1424 は相当する  $rf(k, v)$  を RF 信号保持部 1412 から読み出し、加算回路部 1425 は加算レジスタに加算 (整相加算処理) する。このとき、ゲイン制御部 1423 は、図 11 に示すように、受信開口  $R_x$  の中心軸  $R_xo$  を中心とする重み付け分布 (アポダイゼーション) から  $k$  に対応する重み係数を  $rf(k, v)$  に乗じて加算してもよい。

30

【0113】

次に、 $k$  が最大値  $kRFmax$  であるか否かを判定し (ステップ S161)、最大値未満である場合には  $k$  をインクリメント (ステップ S162) して、ステップ S160 に戻る。 $k$  が最大値以上である場合には、ステップ S170 に進む。こうして観測点  $P(i, j)$  に対応する方位方向の  $k$  の最小値  $kRFmin$  から最大値  $kRFmax$  についてステップ S160 (整相加算処理) を行うことで、加算レジスタには観測点  $P(i, j)$  に対する音響線信号 (DAS データ: Delay and Sum Data) が加算される。

40

【0114】

次に、ステップ S170 では、座標変換部 1426 は、対象領域  $B_x$  内の座標 ( $ids[q], j$ ) に対するフレームメモリ 1420 の対応アドレス  $S(ids[q], j)$  を特定する。具体的には、座標変換部 1426 は、 $ids[q]$  と送信イベント回数  $l$  から 1 を減じた値 ( $l-1$ ) との和を方位方向の対応アドレス番号  $S$  とし当該アドレスを対応アドレス  $S(ids[q], j)$  とし、対応アドレス  $S(ids[q], j)$  をフレームメモリ制御部 1428 に出力する。フレームメモリ制御部 1428 は、加算レジスタ値と対応アドレス  $S(ids[q], j)$  に保持するデータとを加算し、データを加算結果に置き換える (ステップ S171)。

50

## 【0115】

次に、 $q$ が対象領域 $B_x$ における音響線信号本数の最大値 $ML$ であるか否かを判定し(ステップS181)、最大値未満である場合には、 $q$ をインクリメントし、新たな $ids[q]$ を $i$ に設定して(ステップS182)して、ステップS152に戻る。 $q$ が対象領域 $B_x$ 内の最大値 $M$ である場合には、これまでの送信イベントにおいて既に合成処理が完了しているフレームメモリ1420の対応アドレス( $idr, j$ )に保持されている音響線信号 $ds(ids\_max, j)$ を主加算部143に出力する(ステップS195)。

## 【0116】

ステップS195においては、音響線信号 $ds(ids[q], j)$ に含まれる音響線信号の加算回数に応じて決定された深さ方向に異なる増幅率を各音響線信号に乘じる処理を行ってもよい。この段階では、インデックス $j$ に対応する全ての方位方向座標の配列 $ids[q]$ ( $q = 1 \sim ML$ )に対応する観測点 $P(i, j)$ についての音響線信号 $ds(ids[q], j)$ が生成され、フレームメモリ1420に出力され対応アドレス中のデータとの加算処理されている。

10

## 【0117】

次に、 $j$ が対象領域 $B_x$ 内の最大値 $j(D)$ であるか否かを判定し(ステップS196)、最大値 $j(D)$ 未満である場合には $j$ をインクリメントして(ステップS197)、ステップS151に戻り、新たな配列 $ids[q]$ に対応する観測点 $P(i, j)$ について音響線信号 $ds(ids[q], j)$ を算出する(ステップS160)。このように、 $j$ をインクリメントしてステップS160を繰り返すことにより、対象領域 $B_x$ 内に位置する全ての方位方向座標の配列 $ids[q]$ に対応する観測点 $P(i, j)$ について音響線信号 $ds(ids[q], j)$ が生成される。ステップS196において、 $j$ が最大値 $j(D)$ である場合にはステップS319に進む。

20

## 【0118】

次に、送信イベント回数を示す $l$ が最大値であるか否かにより、全ての送信イベントを行ったか否かを判定する(ステップS300)。そして、完了していない場合には $l$ 及び $idr$ をインクリメントして(ステップS301)、ステップS30に戻り、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送信イベントを行い、観測点 $P(i, j)$ の位置を示す座標( $i, j$ )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 $B_x$ の範囲に基づき、 $j$ に対応する配列 $ids[q]$ に対して、観測点 $P(i, j)$ に対応する最小値 $kRFmin$ 、最大値 $kRFmax$ を決定して受信開口 $R_x$ を設定し(ステップS152)、音響線信号 $ds(ids[q], j)$ の生成(整相加算処理)(ステップS160)を行い、完了している場合には合成開口法による第1のビームフォーミング処理を終了する。

30

## 【0119】

一方、ステップS133における操作条件 $cnd$ が条件集合Aに含まれているかを判定において、操作条件 $cnd$ が条件集合Aに含まれない場合には、ステップS240に進む。図20において、単純な整相加算法による第2のビームフォーミング処理では、まず、焦点制御部1421は、深さ方向のインデックス $j$ に対応する音響線信号を生成すべき観測点 $P_{ij}$ の方位方向座標の配列 $ids[q]$ ( $q = 1 \sim NL$ :  $NL$ は、送信イベントにおいて生成される音響線信号ラインデータ本数)を決定する(ステップS240)。

40

## 【0120】

図12に示すように、第2のビームフォーミング処理では、送信フォーカス点 $F$ を通り、方位方向に垂直な複数本 $q$ ( $q = 1 \sim NL$ : 図12では $NL = 1$ )の仮想線が設定され、各仮想線上に有限個の観測点 $P_{ij}$ が設定される。

## 【0121】

次に、 $j$ に対応する方位方向座標を示すインデックス $i$ を初期値 $ids[1]$ ( $q = 1$ )に設定する(ステップS251)。

## 【0122】

次に、ステップS252では、観測点 $P(i, j)$ に対応する方位方向のインデックス

50

$k$  の最小値  $k_{RFmin}$ 、最大値  $k_{RFmax}$  を決定して受信開口  $R_x$  を設定し、 $k$  を最小値  $k_{RFmin}$  に設定する (ステップ S 2 5 3)。  $k$  は、観測点  $P(i, j)$  の整相加算処理の際に参照する  $rf$  信号に対応する振動子の方位方向の位置を示すインデックスである。

【 0 1 2 3 】

次に、ステップ S 2 6 0 では、遅延計算部 1 4 2 2 は観測点  $P(i, j)$  と  $k$  とから遅延量に相当する  $v$  を算出し、メモリ制御部 1 4 2 4 は相当する  $rf(k, v)$  を RF 信号保持部 1 4 1 2 から読み出し、加算回路部 1 4 2 5 は加算レジスタに加算 (整相加算処理) する。このとき、ゲイン制御部 1 4 2 3 は、図 1 2 に示すように、受信開口  $R_x$  の中心軸  $R_x o$  を中心とする重み付け分布 (アポダイゼーション) から  $k$  に対応する重み係数を  $rf(k, v)$  に乗じて加算してもよい。

10

【 0 1 2 4 】

次に、 $k$  が最大値  $k_{RFmax}$  であるか否かを判定し (ステップ S 2 6 1)、最大値未満である場合には  $k$  をインクリメント (ステップ S 2 6 2) して、ステップ S 2 6 0 に戻る。 $k$  が最大値以上である場合には、ステップ S 2 8 0 に進む。こうして観測点  $P(i, j)$  に対応する方位方向の  $k$  の最小値  $k_{RFmin}$  から最大値  $k_{RFmax}$  についてステップ S 2 6 0 (整相加算処理) を行うことで、加算レジスタには観測点  $P(i, j)$  に対する音響線信号 (DAS データ: Delay and Sum Data) が加算される。

【 0 1 2 5 】

次に、ステップ S 2 8 0 では、フレームメモリ制御部 1 4 2 8 は、加算レジスタ値を主加算部 1 3 4 に出力する。このとき、フィルタ部 1 4 2 7 によりアップサンプリング処理をしたのち主加算部 1 3 4 に出力してもよい。

20

【 0 1 2 6 】

次に、 $q$  が対象領域  $B_x$  における音響線信号本数の最大値  $N_L$  であるか否かを判定し (ステップ S 2 8 1)、最大値  $N_L$  未満である場合には、 $q$  をインクリメントし、新たな  $ids[q]$  を  $i$  に設定して (ステップ S 2 8 2) して、ステップ S 2 5 2 に戻る。 $q$  が対象領域  $B_x$  内の最大値  $N_L$  である場合には、インデックス  $j$  に対応する全ての方位方向座標の配列  $ids[q]$  ( $q = 1 \sim N_L$ ) に対応する観測点  $P(i, j)$  についての音響線信号  $ds(ids[q], j)$  が生成され、主加算部 1 4 3 に出力されている。

【 0 1 2 7 】

次に、 $j$  が対象領域  $B_x$  内の最大値  $j(D)$  であるか否かを判定し (ステップ S 2 9 6)、最大値  $j(D)$  未満である場合には  $j$  をインクリメントして (ステップ S 2 9 2)、ステップ S 2 4 0 に戻り、新たな配列  $ids[q]$  に対応する観測点  $P(i, j)$  について音響線信号  $ds(ids[q], j)$  を算出する (ステップ S 1 6 0)。このように、 $j$  をインクリメントしてステップ S 2 6 0 を繰り返すことにより、対象領域  $B_x$  内に位置する全ての方位方向座標の配列  $ids[q]$  に対応する観測点  $P(i, j)$  について音響線信号  $ds(ids[q], j)$  が生成される。ステップ S 2 9 1 において、 $j$  が最大値  $j(D)$  である場合にはステップ S 3 0 0 に進む。

30

【 0 1 2 8 】

次に、送信イベント回数を示す  $l$  が最大値であるか否かにより、全ての送信イベントを行ったか否か判定する (ステップ S 3 0 0)。そして、完了していない場合には  $l$  及び  $idr$  をインクリメントして (ステップ S 3 0 1)、ステップ S 3 0 に戻り、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送信イベントを行い、観測点  $P(i, j)$  の位置を示す座標  $(i, j)$  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  $B_x$  の範囲に基づき、 $j$  に対応する配列  $ids[q]$  を決定して (ステップ S 2 4 0)、観測点  $P(i, j)$  に対応する最小値  $k_{RFmin}$ 、最大値  $k_{RFmax}$  を決定して受信開口  $R_x$  を設定し (ステップ S 2 5 2)、音響線信号  $ds(ids[q], j)$  の生成 (整相加算処理) (ステップ S 2 6 0) を行い、完了している場合には整相加算法による第 2 のビームフォーミング処理を終了する。

40

【 0 1 2 9 】

50

<まとめ>

以上、説明したように実施の形態に係る超音波信号処理装置500は、合成開口法による第1の受信フォーミング処理と、整相加算法による第2の受信フォーミング処理とを、択一的に動作させる受信ビームフォーマ部140を備えた超音波信号処理装置500であって、第1の受信フォーミング処理と第2の受信フォーミング処理とでは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、受信ビームフォーマ部140は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部142を有し、整相加算部142は、第1の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより合成して出力し、第2の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータをそのまま出力し、整相加算部142における単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第1の受信フォーミング処理の動作時と第2の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似していることを特徴とする。

10

【0130】

従来、単純に整相加算ビームフォーム処理と合成開口ビームフォーム処理の両機能を実装して受信ビームフォーマ部140を構成した場合、単純な実装では回路モジュール間の転送レートを異ならせた構成となり、受信ビームフォーム回路内の回路モジュール間のインタフェース仕様と後段の回路モジュールの要求仕様が高くなり、受信ビームフォーマ部140全体としてハードウェアコストがアップするという課題があった。

20

【0131】

これに対し、上記した実施の形態に係る超音波信号処理装置500によれば、第1受信ビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、回路モジュール間の転送レートを等価又は近似した構成とすることにより、受信ビームフォーマ部140内の回路モジュールである整相加算部142と主加算部143との間のインタフェース仕様、及び後段回路モジュールである主加算部143の要求仕様を高めることを抑止し、受信ビームフォーマ部140全体としてハードウェアコストを低減できる。その結果、受信ビームフォーム回路に、安価な構成により合成開口法によるビームフォーム処理と単純な整相加算法によるビームフォーム処理との両機能の実装を可能にすることができる。

【0132】

また、第1受信ビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理時とを、共通の回路モジュールの構成要素を選択的に動作させて実現することができ、単純に両機能を異なる回路モジュールによって実装した場合とくらべて受信ビームフォーマ部140の回路規模を縮減できる。

30

【0133】

また、整相加算部は、フレームメモリ1420を備え、整相加算部142は、第1の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、音響線信号のラインデータを、フレームメモリ1420の同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する構成としてもよい。

【0134】

係る構成により、第1受信ビームフォーミング処理時に、整相加算部142において音響線信号のラインデータの加算処理を行うことにより、主加算部143において音響線信号のラインデータの加算処理を行う場合と比較して、送信イベントに対応して整相加算部142から主加算部143に転送される音響線信号のラインデータの本数を減少することができ、整相加算部142と主加算部143との間のインタフェース仕様、及び後段回路モジュールである主加算部143の要求仕様を高めることを抑止できる。また、整相加算部142と主加算部143との間のインターフェイスに転送レートが低い構成を用いることができ、インターフェイス選択の自由度が高く、低システムコストを実現できる。

40

【0135】

また、第1の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に整相加算部142が出

50

力する音響線信号のラインデータの本数を  $M L$  とし、第 2 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $N L$  とするとき、整相加算部は、 $M L$  及び  $N L$  の最大値を  $\max(M L, N L)$  としたとき、 $\max(M L, N L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M L, N L)$  倍速で動作することにより、 $\max(M L, N L)$  サイクルのタイムスロットの期間に  $\max(M L, N L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する構成としてもよい。

【0136】

係る構成により、第 1 受信ビームフォーミング処理と第 2 の受信ビームフォーミング処理時との間で、同一時間のタイムスロット内で、音響線信号ラインデータの生成を行うことができる。そのため、受信ビームフォーム部 140 内の回路モジュールである整相加算部 142 と主加算部 143 との間のインタフェース仕様、及び後段回路モジュールである主加算部 143 の要求仕様を高めることを抑止し、受信ビームフォーム部 140 全体としてハードウェアコストを低減できる。

10

【0137】

また、整相加算部 142 は、 $M$  及び  $N$  の最小値を  $\min(M L, N L)$  としたとき、 $\min(M L, N L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M L, N L) - \min(M L, N L)$  サイクルのタイムスロットの期間、音響線信号のラインデータの生成及び出力を停止する構成としてもよい。

【0138】

係る構成により、 $\max(M L, N L)$  倍速動作の時分割処理（タイムスロット処理）をすることにより必要な回路規模を削減し低システムコスト化が可能となる。また、タイムスロット処理により、スケラブルな処理が可能となり回路構成を単純化できる。

20

【0139】

また、受信ビームフォーマ部 140 は、複数の整相加算部 142 と、複数の整相加算部 142 から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して後段に出力する主加算部 143 とを有する構成としてもよい。

【0140】

係る構成により、整相加算部 142 を含む回路モジュールを複数使用して多チャネルの受信ビームフォーミング回路を構成できる。また、主加算部を単純な加算回路と DMA 転送回路のみで構成することが可能となりビームフォーマ部の低システムコスト化が図れる。

30

【0141】

< 変形例 1 >

以上、実施の形態に係る超音波信号処理装置を説明したが、本発明は、その本質的な特徴的構成要素を除き、以上の実施の形態に何ら限定を受けるものではない。例えば、各実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本発明に含まれる。以下では、そのような形態の一例として、変形例に係る超音波信号処理装置について説明する。

40

【0142】

以下、変形例 1 に係る超音波信号処理装置の構成について説明する。

【0143】

実施の形態 1 では、受信ビームフォーマ部 140 は、複数の整相加算部 142 と、複数の整相加算部 142 から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して後段に出力する主加算部 143 とを有し、整相加算部 142 は、第 1 のフレームメモリ 1420 を備え、第 1 の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、音響線信号のラインデータを、第 1 のフレームメモリ 1420 の同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する構成としている。

50

## 【 0 1 4 4 】

しかしながら、変形例 1 に係る超音波信号処理装置の受信ビームフォーマ部 1 4 0 A では、主加算部 1 4 3 A は、さらに、第 2 のフレームメモリ 1 4 3 4 A を有する構成としてもよい。図 2 1 は、変形例 1 に係る受信ビームフォーマ部 1 4 0 A の構成を示す機能ブロック図である。係る構成により、第 1 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に、音響線信号のラインデータを、第 1 のフレームメモリ 1 4 2 0 に加え、主加算部における第 2 のフレームメモリ 1 4 3 4 A の同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することができる。また、変形例 1 に受信ビームフォーマ部 1 4 0 A では、整相加算部において生成される音響線信号ラインデータの一部分について第 1 のフレームメモリ 1 4 2 0 をバイパスして主加算部 1 3 4 A の第 2 のフレームメモリ 1 4 3 4 A にて加算処理をさせることが可能となる。フレームメモリを異なる F P G A 1 と 2 に分散して設けることができ、実施の形態の構成に比べ、F P G A 1 の回路モジュールの低コスト化が可能となる。

10

## 【 0 1 4 5 】

## &lt; 変形例 2 &gt;

以下、変形例 2 に係る超音波信号処理装置の構成について説明する。変形例 2 に係る超音波信号処理装置の受信ビームフォーマ部 1 4 0 B では、複数の整相加算部 1 4 2 B と、複数の整相加算部 1 4 2 B から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して後段に出力する主加算部 1 3 4 B とを有し、主加算部 1 3 4 B にのみ、フレームメモリ 1 4 3 4 B を有する構成としてもよい。図 2 2 は、変形例 2 に係る受信ビームフォーマ部 1 4 0 B の構成を示す機能ブロック図である。係る構成により、

20

具体的には、変形例 2 に係る超音波信号処理装置における受信ビームフォーマ部 1 4 0 B は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部 1 4 2 B と、整相加算部 1 4 2 B から出力される音響線信号のラインデータを加算して出力する主加算部 1 4 3 B とを有し、主加算部 1 4 3 B は、第 1 の受信フォーミング処理では、整相加算部 1 4 2 B により算出された音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより音響線信号のラインデータを合成して出力し、第 2 の受信フォーミング処理では、整相加算部 1 4 2 B により算出された音響線信号のラインデータをそのまま出力し、整相加算部 1 4 2 B から主加算部 1 3 4 B への単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第 1 の受信フォーミング処理の動作時と第 2 の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似している構成を採る。

30

## 【 0 1 4 6 】

係る構成により、第 1 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に、音響線信号のラインデータを、主加算部 1 3 4 B おけるフレームメモリ 1 4 3 4 B の同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することができ実施の形態 1 と同様の効果が得られる。また、変形例 2 に受信ビームフォーマ部 1 4 0 B では、フレームメモリを異なる F P G A 2 に設けることができ、実施の形態 1、2 に比べ、より一層 F P G A 1 の回路モジュールの低コスト化が可能となる。

## 【 0 1 4 7 】

## その他の変形例

( 1 ) 実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 0 0 では、焦点制御部 1 4 2 1 は、列中心が線上観測点  $P B \times i j$  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  $R \times$  を選択する構成とした。しかしながら、受信開口  $R \times$  の構成は適宜変更することができる。

40

## 【 0 1 4 8 】

例えば、列中心が送信開口  $T \times$  振動子列の列中心と合致する受信開口  $R \times$  振動子列を選択する送信同期型受信開口設定部を備えた構成としてもよい。係る構成では、受信開口  $R \times$  振動子列の列中心が送信開口  $T \times$  振動子列の列中心と合致するように受信開口  $R \times$  振動子列が選択される。受信開口  $R \times$  の中心軸の位置は、送信開口  $T \times$  の中心軸の位置と同一であり、受信開口  $R \times$  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

50

て、送信イベントごとに列方向に移動する送信開口  $T \times$  の位置変化に同期して、受信開口  $R \times$  の位置も移動する。

【 0 1 4 9 】

( 2 ) 受信開口  $R \times$  の中心軸及び送信開口  $T \times$  の中心軸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  $R \times$  の各受信振動子  $R_k$  に対する重み数列 ( 受信アボダイゼーション ) は算出する構成としたが、重み数列を乗じない構成としてもよい。

【 0 1 5 0 】

( 3 ) 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 2 0 がなく、送信ビームフォーマ部 1 3 0 と受信ビームフォーマ部 1 4 0 とが直接、プローブ 1 1 0 の各振動子 1 1 0 a に接続されていてもよい。また、プローブ 1 1 0 に送信ビームフォーマ部 1 3 0 や受信ビームフォーマ部 1 4 0、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 1 0 0 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。また、フィルタ部 1 4 2 7 を設けない構成としてもよい。

10

【 0 1 5 1 】

( 4 ) 本開示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 5 2 】

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、本発明の超音波診断装置の診断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。

20

【 0 1 5 3 】

また、上記超音波診断装置の全部、もしくは一部、またビームフォーミング部の全部又は一部を、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。

30

【 0 1 5 4 】

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個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と呼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。

40

【 0 1 5 5 】

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。

50

## 【 0 1 5 6 】

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 L S I 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。

## 【 0 1 5 7 】

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、C P U 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。

10

## 【 0 1 5 8 】

また、上記実施形態に係る超音波診断装置の各構成要素は、C P U (Central Processing Unit) や G P U (Graphics Processing Unit) や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。後者の構成は、いわゆる G P G P U (General Purpose computing on Graphics Processing Unit) である。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。

## 【 0 1 5 9 】

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。

20

## 【 0 1 6 0 】

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。

## 【 0 1 6 1 】

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。

30

## 【 0 1 6 2 】

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。

## 【 0 1 6 3 】

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。

40

## 【 0 1 6 4 】

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。

## 【 0 1 6 5 】

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。

## 【 0 1 6 6 】

50

## まとめ

以上、説明したとおり、本開示に係る超音波信号処理装置は、送信イベント毎に一部において位置が重複する複数の観測点を対象として音響線信号のラインデータを2以上である複数本生成し、同一位置の観測点に対する前記音響線信号を加算して音響線信号のラインデータを合成する第1の受信フォーミング処理と、送信イベント毎に位置が異なる複数の観測点を対象として1以上の音響線信号のラインデータを生成する第2の受信フォーミング処理とを、択一的に動作させる受信ビームフォーマ部を備えた超音波信号処理装置であって、第1の受信フォーミング処理と第2の受信フォーミング処理とでは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、前記受信ビームフォーマ部は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部を有し、前記整相加算部は、前記第1の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する音響線信号を加算することにより合成して出力し、前記第2の受信フォーミング処理では、整相加算処理により算出した音響線信号のラインデータをそのまま出力し、前記整相加算部における単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第1の受信フォーミング処理の動作時と第2の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似していることを特徴とする。

10

### 【0167】

係る構成により、第1受信ビームフォーミング処理と第2の受信ビームフォーミング処理時との間で、回路モジュール間の転送レートを等価又は近似した構成とすることにより、受信ビームフォーマ部内の回路モジュールである整相加算部と主加算部との間のインタフェース仕様、及び後段回路モジュールである主加算部の要求仕様を高めることを抑止できる。

20

### 【0168】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記整相加算部は、フレームメモリを備え、前記整相加算部は、前記第1の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する構成としてもよい。

### 【0169】

係る構成により、第1受信ビームフォーミング処理時に、整相加算部142において音響線信号のラインデータの加算処理を行うことにより、送信イベントに対応して整相加算部142から主加算部143に転送される音響線信号のラインデータの本数を減少することができ回路の低コスト化ができる。

30

### 【0170】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記受信ビームフォーマ部は、複数の前記整相加算部と、複数の前記整相加算部から出力される音響線信号のラインデータをさらに加算して後段に出力する主加算部とを有する構成としてもよい。

### 【0171】

係る構成により、整相加算部142を含む回路モジュールを複数使用して多チャンネルの受信ビームフォーミング回路を構成できる。主加算部を単純な加算回路とDMA転送回路のみで構成できる。

40

### 【0172】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記フレームメモリを第1のフレームメモリとしたとき前記主加算部は、さらに、第2のフレームメモリを有する構成としてもよい。

### 【0173】

係る構成により、前段の回路モジュールの低コスト化が可能となる。

### 【0174】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記第1の受信フォーミング処理

50

において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $M_L$  とし、前記第 2 の受信フォーミング処理において、送信イベント毎に前記整相加算部が出力する音響線信号のラインデータの本数を  $N_L$  とするとき、前記整相加算部は、 $M$  及び  $N$  の最大値を  $\max(M_L, N_L)$  としたとき、 $\max(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M_L, N_L)$  倍速で動作することにより、 $\max(M_L, N_L)$  サイクルのタイムスロットの期間に  $\max(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する構成としてもよい。

【0175】

係る構成により、第 1 受信ビームフォーミング処理と第 2 の受信ビームフォーミング処理時との間で、同一時間のタイムスロット内で、音響線信号ラインデータの生成を行うことができる。

10

【0176】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記整相加算部は、 $M_L$  及び  $N_L$  の最小値を  $\min(M_L, N_L)$  としたとき、 $\min(M_L, N_L)$  本の音響線信号のラインデータを生成及び出力する処理では、 $\max(M_L, N_L) - \min(M_L, N_L)$  サイクルのタイムスロットの期間、音響線信号のラインデータの生成及び出力を停止する構成としてもよい。

【0177】

係る構成により、 $\max(M_L, N_L)$  倍速動作の時分割処理（タイムスロット処理）をすることにより必要な回路規模を削減し、スケラブルな処理が可能となり回路構成を単純化できる。

20

【0178】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、送信イベント毎に一部において位置が重複する複数の観測点を対象として音響線信号のラインデータを複数本生成し、同一位置の観測点に対する前記音響線信号は加算して音響線信号のラインデータを合成する第 1 の受信フォーミング処理と、送信イベント毎に位置が異なる複数の観測点を対象として 1 以上の音響線信号のラインデータを生成する第 2 の受信フォーミング処理とを、択一的に動作させる受信ビームフォーマ部を備えた超音波信号処理装置であって、第 1 の受信フォーミング処理と第 2 の受信フォーミング処理とは、送信イベント毎に生成される音響線信号の本数が異なり、前記受信ビームフォーマ部は、反射超音波に基づく複数チャンネルの受信信号列に対し整相加算処理を行い音響線信号のラインデータを生成する整相加算部と、前記整相加算部から出力される音響線信号のラインデータを加算して出力する主加算部とを有し、前記主加算部は、前記第 1 の受信フォーミング処理では、前記整相加算部により算出された音響線信号のラインデータを同一位置の観測点に対する前記音響線信号を加算することにより音響線信号のラインデータを合成して出力し、前記第 2 の受信フォーミング処理では、前記整相加算部により算出された音響線信号のラインデータをそのまま出力し、前記整相加算部から前記主加算部への単位本数当たりの音響線信号のラインデータの生成にかかる時間は、第 1 の受信フォーミング処理の動作時と第 2 の受信フォーミング処理の動作時とで等価であるか又は近似している構成としてもよい。

30

【0179】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記主加算部は、フレームメモリを備え、前記主加算部は、前記第 1 の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの同一の観測点の位置に対応するアドレスに書き込まれた同一位置の観測点に対する音響線信号のデータと加算することにより合成する構成としてもよい。

40

【0180】

係る構成により、より一層、前段の回路モジュールの低コスト化が可能となる。

【0181】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、前記第 1 の受信フォーミング処理における複数本の音響線信号のラインデータの生成は、超音波プローブに列設された複数

50

の振動子から選択された送信振動子列から被検体内の対象領域に超音波ビームを送信する送信イベントを、送信振動子列を列方向に漸動させて複数回行うことにより、前記振動子各々が受波した反射超音波に基づき前記複数チャンネルの送信イベント毎に得られた受信信号列に対し、前記整相加算部において、送信イベント毎に設定される送信振動子列から被検体の深さ方向に延伸する複数本の仮想線であって、送信イベント間で一部が重なる第1の仮想線上に位置する複数の観測点に対する整相加算処理により行われ、前記第2の受信フォーミング処理における1以上の音響線信号のラインデータの生成は、前記送信イベント毎に得られた受信信号列に対し、前記整相加算部において、送信イベント毎に設定される送信振動子列から被検体の深さ方向に延伸する1以上の仮想線であって、送信イベント間で重ならない第2の仮想線上に位置する複数の観測点に対する整相加算処理により行われる構成としてもよい。

10

【0182】

係る構成により、合成開口法による第1受信ビームフォーミング処理と単純な整相加算法による第2の受信ビームフォーミング処理が可能となる。

【0183】

また、別の態様では、上記いずれかの態様において、さらに、前記第2の受信フォーミング処理では、送信イベント毎に、前記音響線信号のラインデータを、前記フレームメモリの対応するアドレスに書き込まれずに出力する構成としてもよい。

【0184】

係る構成により、回路モジュール間の転送レートを等価又は近似した構成とすることにより、安価な構成により受信ビームフォーミング回路に整相加算ビームフォーミング処理と合成開口ビームフォーミング処理との両機能を実装できる。

20

【0185】

補足

以上で説明した実施の形態は、いずれも本発明の好ましい一具体例を示すものである。実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、工程、工程の順序などは一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、実施の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない工程については、より好ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。

【0186】

30

また、上記の工程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、上記工程の一部が、他の工程と同時に（並列）に実行されてもよい。

【0187】

また、発明の理解の容易のため、上記各実施の形態で挙げた各図の構成要素の縮尺は実際のものとは異なる場合がある。また本発明は上記各実施の形態の記載によって限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

【産業上の利用可能性】

【0188】

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、従来の超音波診断装置の性能向上、特に、合成開口法を用いた受信ビームフォーミングにおいて演算装置のコスト削減や演算負荷やデータ伝送容量の縮減によるフレームレート向上に有用である。また本開示は超音波への適用のみならず、複数のアレイ素子を用いたセンサ等の用途にも応用できる。

40

【符号の説明】

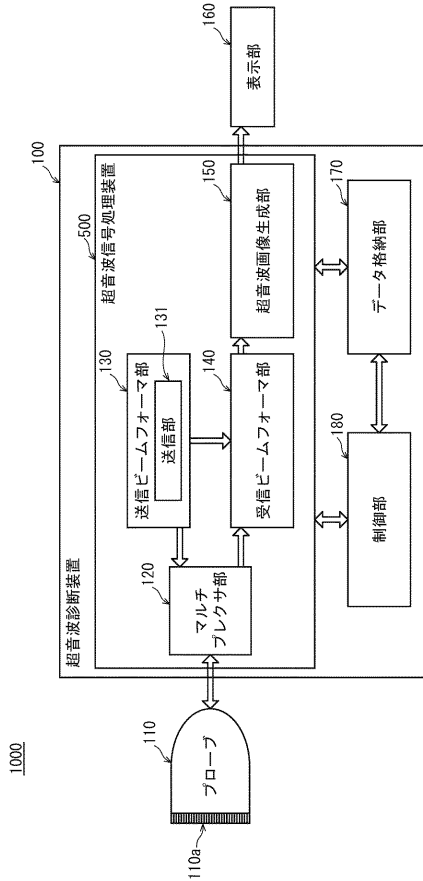
【0189】

- 100 超音波診断装置
- 110 プローブ
- 110a 振動子
- 120 マルチプレクス部

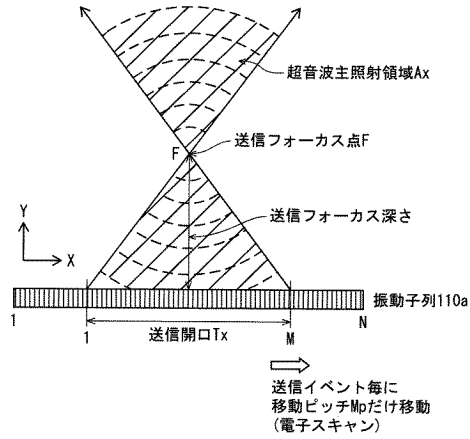
50

1 3 0	送信ビームフォーマ部	
1 3 1	送信部	
1 4 0	受信ビームフォーマ部	
1 4 1	受信部	
1 4 1 1	入力部	
1 4 1 2	R F 信号保持部	
1 4 1 3	アドレス制御部	
1 4 1 4	入出力制御部	
1 4 2	整相加算部	
1 4 2 0	フレームメモリ	10
1 4 2 1	焦点制御部	
1 4 2 2	遅延計算部	
1 4 2 3	ゲイン制御部	
1 4 2 4	メモリ制御部	
1 4 2 5	加算回路部	
1 4 2 6	座標変換部	
1 4 2 7	フィルタ部	
1 4 2 8	フレームメモリ制御部	
1 4 2 9	出力部	
1 4 3	主加算部	20
1 4 3 1	入力部	
1 4 3 2	加算回路部	
1 4 3 3	送信回路部	
1 5 0	超音波画像生成部	
1 6 0	表示部	
1 7 0	データ格納部	
1 8 0	制御部	
5 0 0	超音波信号処理装置	
1 0 0 0	超音波診断システム	

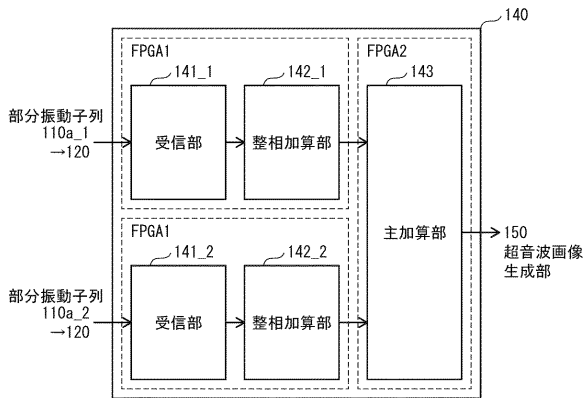
【図1】



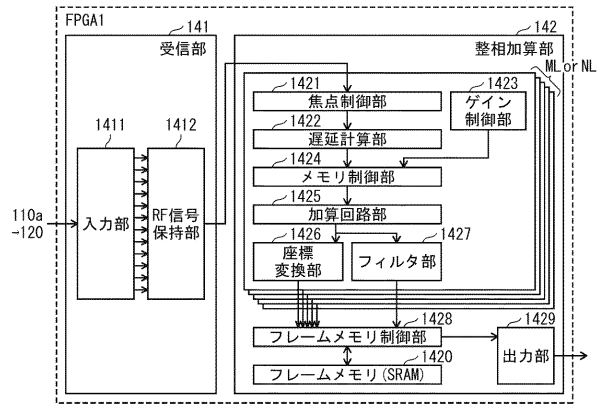
【図2】



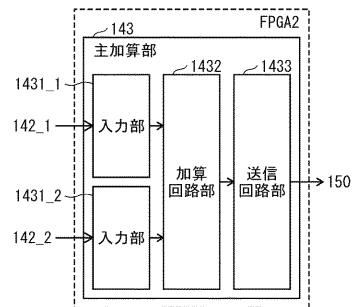
【図3】



【図4】

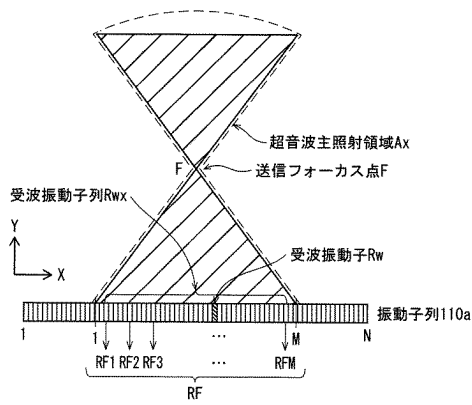


【図5】

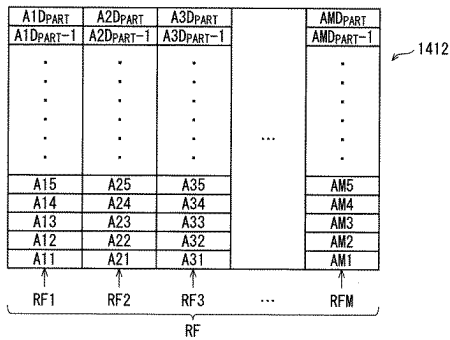


【図6】

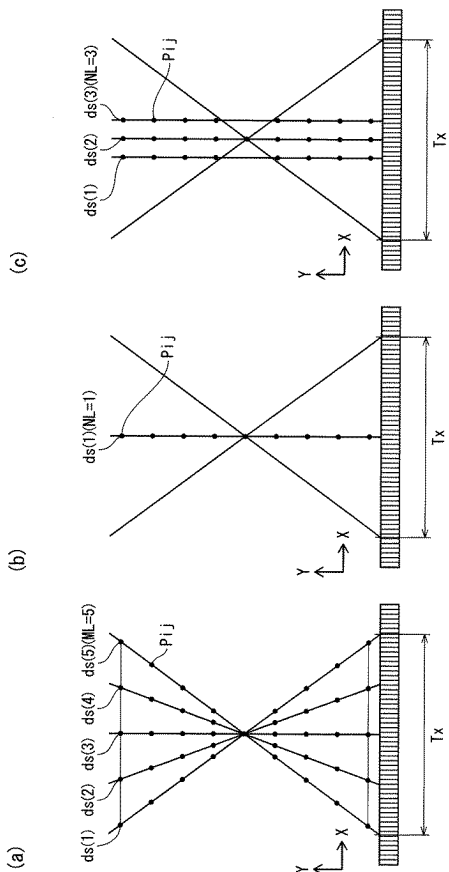
(a)



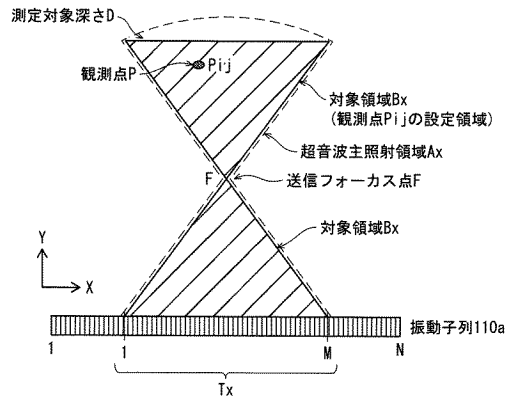
(b)



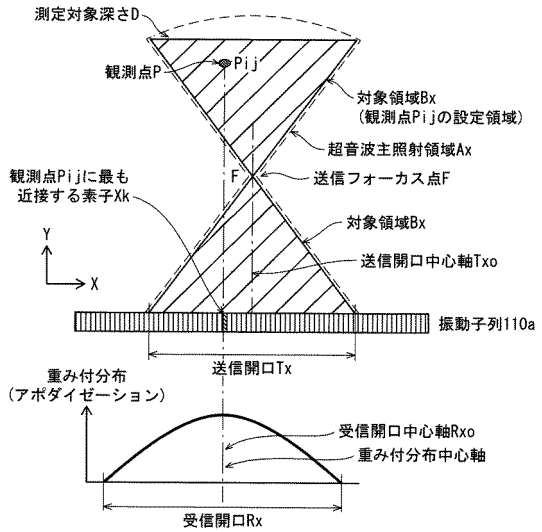
【図8】



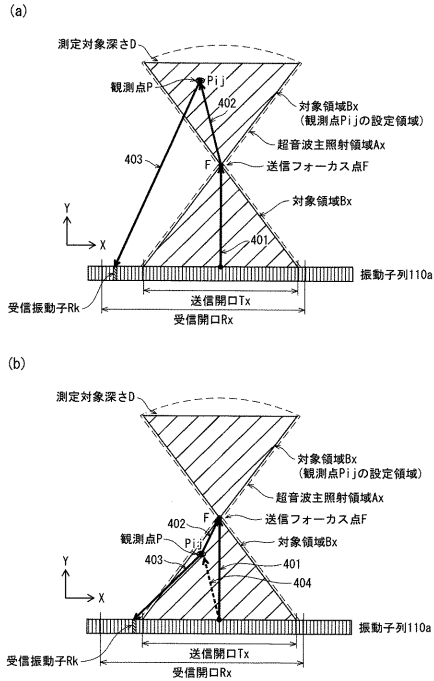
【図7】



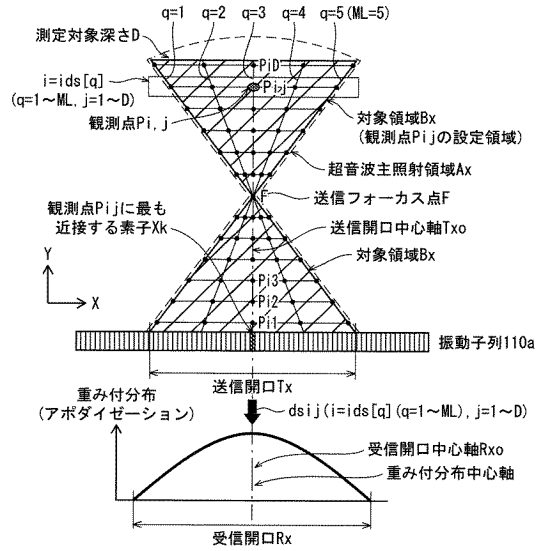
【図9】



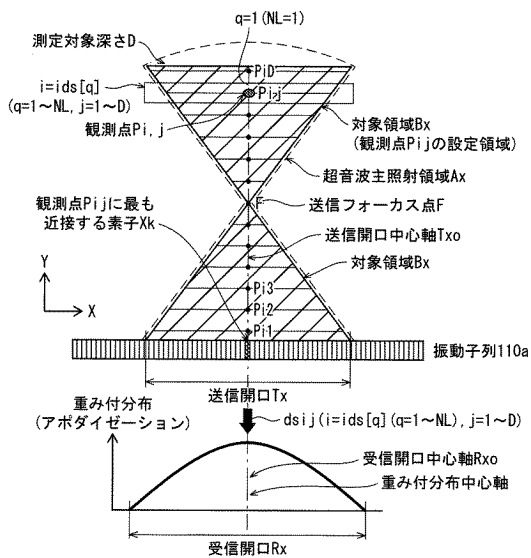
【図10】



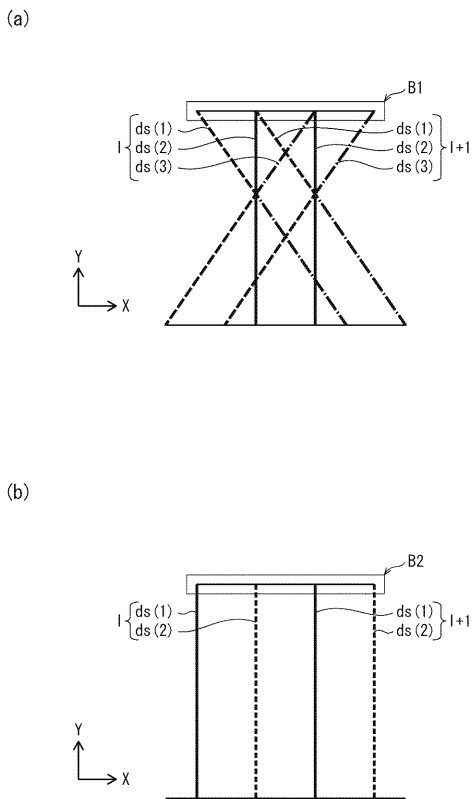
【図11】



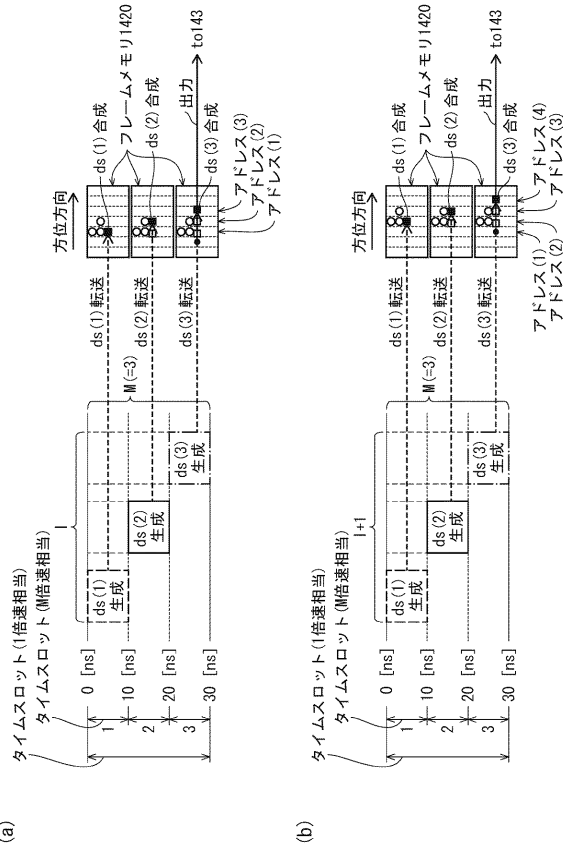
【図12】



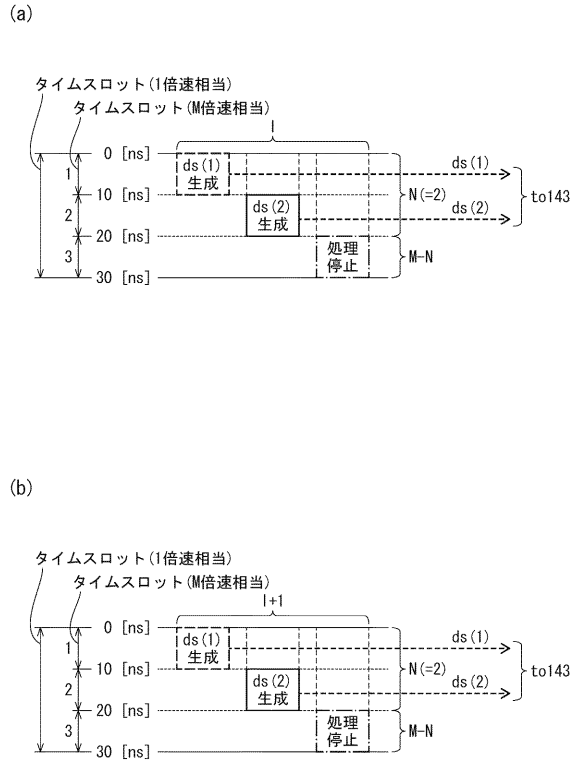
【図13】



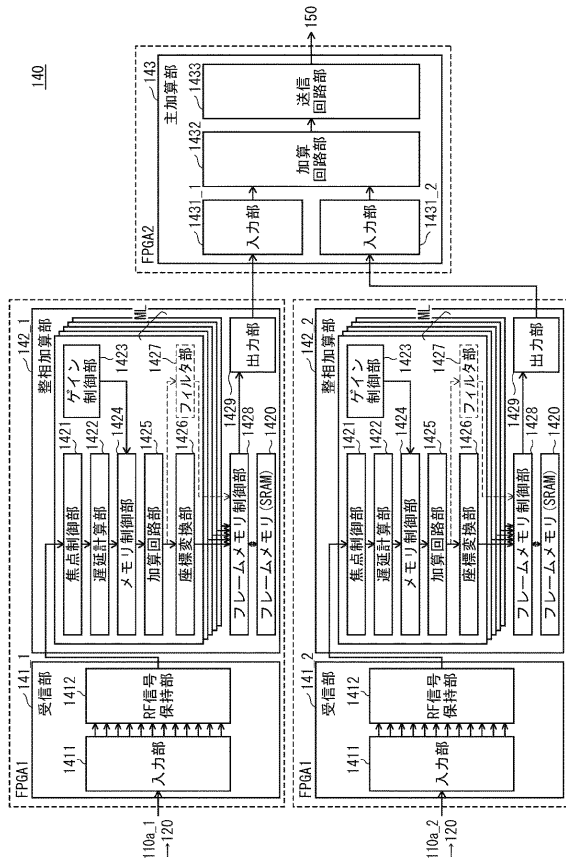
【図 14】



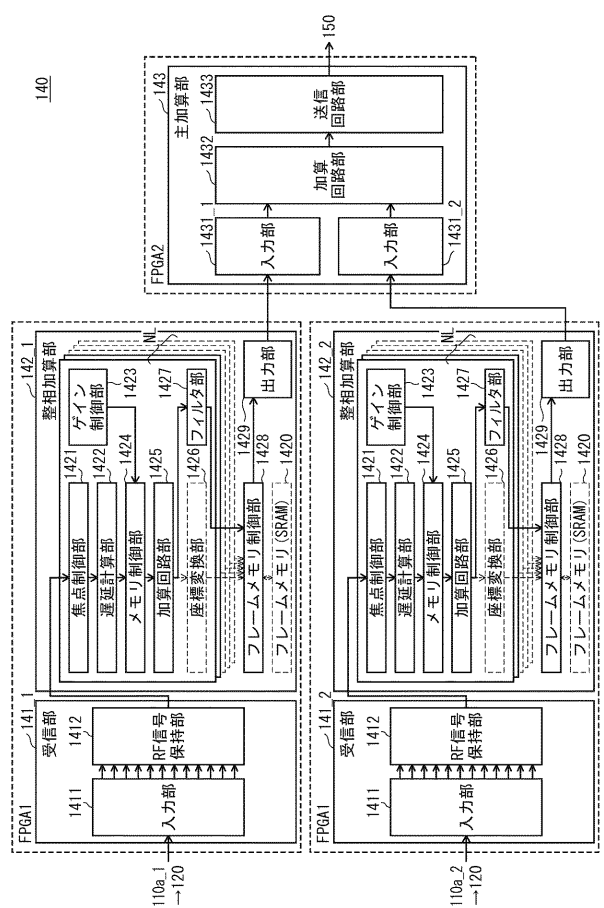
【図 15】



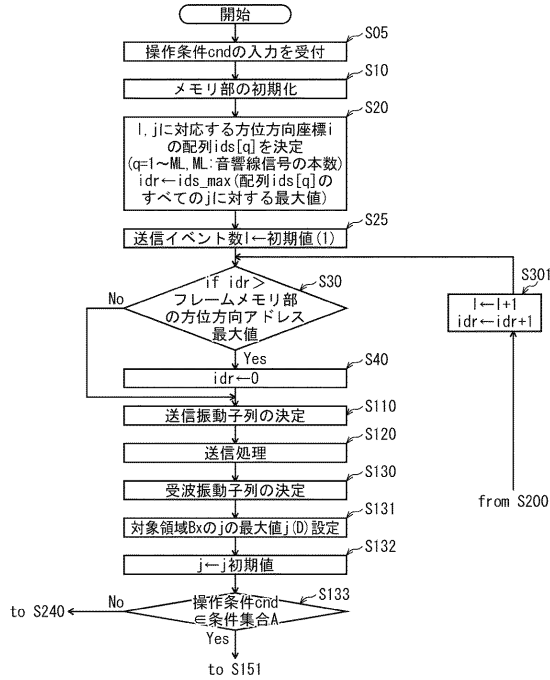
【図 16】



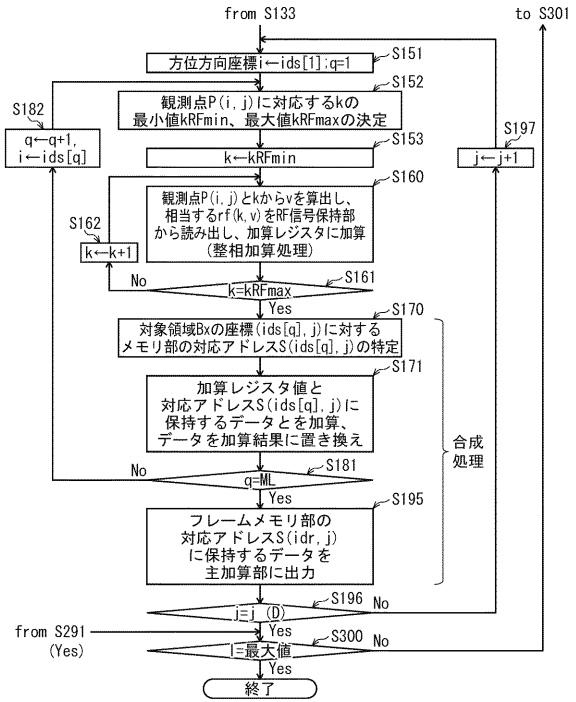
【図 17】



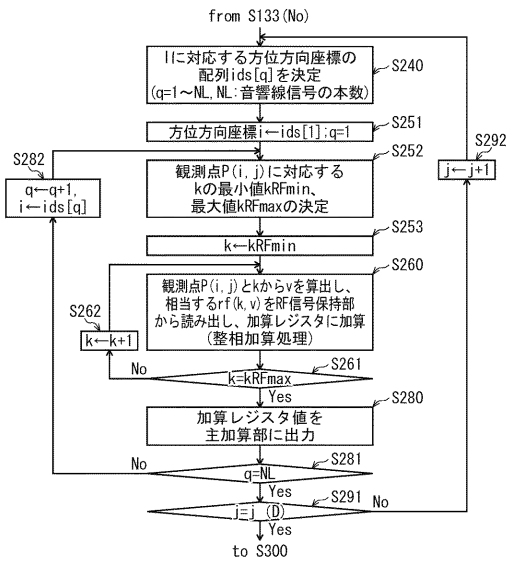
【図18】



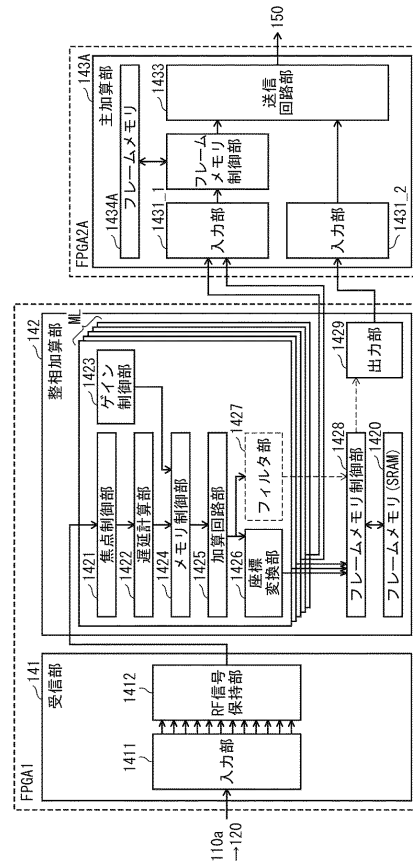
【図19】



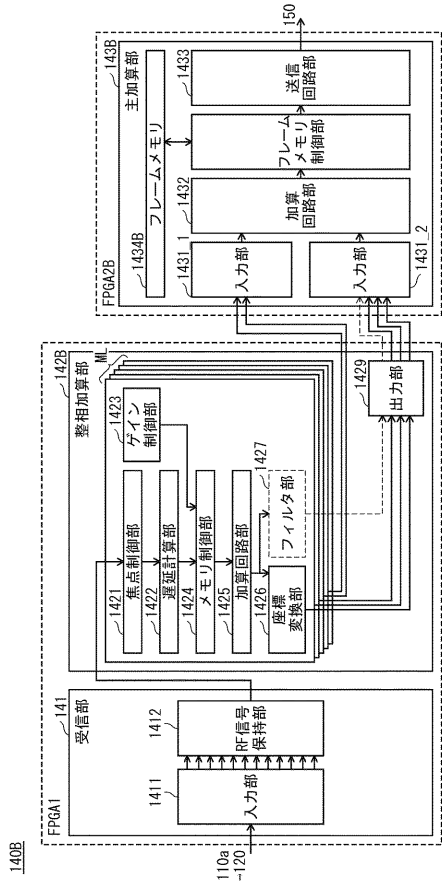
【図20】



【図21】



【 図 2 2 】



专利名称(译)	超声波信号处理方法及超声波信号处理装置		
公开(公告)号	<a href="#">JP2020025714A</a>	公开(公告)日	2020-02-20
申请号	JP2018151742	申请日	2018-08-10
[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	田中隆一郎		
发明人	田中 隆一郎		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/13 A61B8/14 A61B8/145 A61B8/461 A61B8/5207 B06B1/0215 B06B2201/76 G01S7/52026 G01S7/52046 G01S7/52085 G01S15/8915 G01S15/8997		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/EE09 4C601/EE14 4C601/HH21 4C601/HH25 4C601/HH27 4C601/HH28 4C601/HH38 4C601/ JB03 4C601/ JB05		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

要解决的问题：以便宜的配置实现定相附加波束形成过程和合成孔径波束形成过程的两个功能。接收波束形成器单元 ( 140 ) 具有相位加法单元 ( 142 )，该相位加法单元基于反射的超声波对多个信道的接收信号序列执行相位加法处理，以生成声线信号的线数据。在第一接收形成处理中，加法单元142通过将相对于相同位置处的观察点的声线信号进行组合，输出通过相位加法处理而计算出的声线信号的线数据，其中，在接收形成处理中，通过相位加法处理计算出的声线信号的线数据原样输出，并且在相位加法单元142中生成每单位数量的声线信号的线数据所需的时间等于第一次接收。形成过程中的操作和第二接收形成过程中的操作彼此相同或接近。 [选择图]图4

