

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6189867号
(P6189867)

(45) 発行日 平成29年8月30日(2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int.Cl. F I
A 6 1 B 8/14 (2006.01) A 6 1 B 8/14

請求項の数 11 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2014-556453 (P2014-556453)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(86) (22) 出願日	平成26年1月10日(2014.1.10)	(74) 代理人	110000888 特許業務法人 山王坂特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/050344	(72) 発明者	池田 貞一郎 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
(87) 国際公開番号	W02014/109392	(72) 発明者	鱒沢 裕 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
(87) 国際公開日	平成26年7月17日(2014.7.17)	(72) 発明者	高野 慎太 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
審査請求日	平成27年7月8日(2015.7.8)		
(31) 優先権主張番号	特願2013-3863 (P2013-3863)		
(32) 優先日	平成25年1月11日(2013.1.11)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の方向に沿って複数の超音波素子を配列した超音波素子アレイと、前記超音波素子アレイが受信した信号を所定の受信合焦点について整相した後加算して整相出力を得る受信ビームフォーマと、前記受信合焦点についての前記整相出力を用いて画像を生成する画像処理部とを有し、

前記受信ビームフォーマは、前記超音波素子アレイが受信した信号を、前記受信合焦点の他に、2以上のステアリング方向の点についてもそれぞれ整相した後加算して整相出力を得て、得られた前記2以上のステアリング方向の点についての整相出力を前記受信合焦点についての整相出力と合成し、合成結果を前記画像処理部に出力する整相合成部と、前記整相合成部に前記2以上のステアリング方向を指示するステアリング方向指示部とを備え、

前記画像処理部は、前記整相合成部が出力した前記合成結果を前記受信合焦点についての整相出力として用いて前記画像を生成し、

前記2以上のステアリング方向は、前記受信合焦点の方向以外の少なくとも2方向を含み、

前記2方向はそれぞれ、前記超音波素子アレイの指向性プロファイルのヌル角度の方向であることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 2】

請求項1に記載の超音波撮像装置において、前記ステアリング方向指示部は、予め求め

10

20

ておいた前記超音波素子アレイの2以上の前記ヌル角度の方向を前記整相合成部に指示することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項3】

請求項1に記載の超音波撮像装置において、前記ステアリング方向指示部は、前記超音波素子アレイの2以上の前記ヌル角度の方向を計算により求めるヌル角度計算部を有し、前記ヌル角度計算部が求めたヌル角度の方向を前記整相合成部に指示することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項4】

請求項1に記載の超音波撮像装置において、前記ステアリング方向指示部は、前記超音波素子アレイが受信した信号から、2以上の前記ヌル角度の検出するヌル角度検出部を有し、前記ヌル角度検出部が求めたヌル角度の方向を前記整相合成部に指示することを特徴とする超音波撮像装置。

10

【請求項5】

請求項4に記載の超音波撮像装置において、前記ステアリング方向指示部は、前記超音波素子アレイの2以上の前記ヌル角度の方向を計算により求めるヌル角度計算部をさらに有し、前記ヌル角度検出部は、前記ヌル角度計算部が求めたヌル角度の周辺の予め定めた範囲についてヌル角度の検出を行ってヌル角度を求めることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項6】

請求項4または5に記載の超音波撮像装置において、前記整相合成部は、前記受信合焦点および前記複数のステアリング方向の点についてそれぞれ、前記超音波素子アレイの各素子が受信した信号を遅延した後加算した整相信号を生成する遅延加算部を有し、

20

前記ステアリング方向指示部は、前記遅延加算部の出力する整相信号を用いて、整相信号が極小となるステアリング方向を前記ヌル角度の方向として検出することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項7】

請求項4または5に記載の超音波撮像装置において、前記整相合成部は、適応ビームフォーミングを行うことにより、前記受信合焦点の方向および前記2以上のステアリング方向のそれぞれについて適応重みを求める適応整相部と、前記適応重みを用いて前記素子アレイの受信した信号を重み付けする重み付け演算部とを有し、

30

前記ステアリング方向指示部は、前記重み付け演算部の出力する信号が極小となるステアリング方向を前記ヌル角度の方向として検出することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項8】

請求項1に記載の超音波撮像装置において、前記整相合成部は、前記超音波素子アレイの各素子が受信した信号を、前記受信合焦点および前記ステアリング方向の点に応じて遅延させた後加算することにより整相信号を生成する遅延加算部と、前記受信合焦点および前記2以上のステアリング方向の点それぞれについての前記整相信号を合成する合成部とを有することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項9】

所定の方向に沿って複数の超音波素子を配列した超音波素子アレイと、前記超音波素子アレイが受信した信号を所定の受信合焦点について整相した後加算して整相出力を得る受信ビームフォーマと、前記受信合焦点についての前記整相出力を用いて画像を生成する画像処理部とを有し、

40

前記受信ビームフォーマは、前記超音波素子アレイが受信した信号を、前記受信合焦点の他に、2以上のステアリング方向の点についてもそれぞれ整相した後加算して整相出力を得て、得られた前記2以上のステアリング方向の点についての整相出力を前記受信合焦点についての整相出力と合成し、合成結果を前記画像処理部に出力する整相合成部と、前記整相合成部に前記2以上のステアリング方向を指示するステアリング方向指示部とを備え、

前記画像処理部は、前記整相合成部が出力した前記合成結果を前記受信合焦点について

50

の整相出力として用いて前記画像を生成し、

前記 2 以上のステアリング方向は、前記受信合焦点の方向以外の少なくとも 2 方向を含み、

前記整相合成部は、適応ビームフォーミングを行うことにより、前記受信合焦点の方向および前記 2 以上のステアリング方向のそれぞれについて適応重みを求める適応整相部と、前記 2 以上のステアリング方向についての適応重みを合成する重み合成部と、前記合成部の合成した適応重みを用いて前記超音波素子アレイの受信した信号を重み付けした後合成する重み付け演算部とを有することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 10】

所定の方向に沿って複数の超音波素子を配列した超音波素子アレイと、前記超音波素子アレイが受信した信号を所定の受信合焦点について整相した後加算して整相出力を得る受信ビームフォーマと、前記受信合焦点についての前記整相出力を用いて画像を生成する画像処理部とを有し、

前記受信ビームフォーマは、前記超音波素子アレイが受信した信号を、前記受信合焦点の他に、2 以上のステアリング方向の点についてもそれぞれ整相した後加算して整相出力を得て、得られた前記 2 以上のステアリング方向の点についての整相出力を前記受信合焦点についての整相出力と合成し、合成結果を前記画像処理部に出力する整相合成部と、前記整相合成部に前記 2 以上のステアリング方向を指示するステアリング方向指示部とを備え、

前記画像処理部は、前記整相合成部が出力した前記合成結果を前記受信合焦点についての整相出力として用いて前記画像を生成し、

前記 2 以上のステアリング方向は、前記受信合焦点の方向以外の少なくとも 2 方向を含み、

前記整相合成部は、適応ビームフォーミングを行うことにより、前記受信合焦点の方向および前記 2 以上のステアリング方向のそれぞれについて適応重みを求める適応整相部と、前記適応重みを用いて前記超音波素子アレイの受信した信号を重み付けした後合成する重み付け演算部と、前記受信合焦点の方向および前記 2 以上のステアリング方向のそれぞれについての前記重み付け演算部の出力を合成する合成部とを有することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 11】

所定の方向に沿って複数の超音波素子を配列した超音波素子アレイと、前記超音波素子アレイが受信した信号を所定の受信合焦点について整相した後加算して整相出力を得る受信ビームフォーマと、前記受信合焦点についての前記整相出力を用いて画像を生成する画像処理部とを有し、

前記受信ビームフォーマは、前記超音波素子アレイが受信した信号を、前記受信合焦点の他に、2 以上のステアリング方向の点についてもそれぞれ整相した後加算して整相出力を得て、得られた前記 2 以上のステアリング方向の点についての整相出力を前記受信合焦点についての整相出力と合成し、合成結果を前記画像処理部に出力する整相合成部と、前記整相合成部に前記 2 以上のステアリング方向を指示するステアリング方向指示部と、前記複数の超音波素子に対してアクティブチャンネルを時系列に異なる位置に順次設定し、前記アクティブチャンネルに含まれる前記超音波素子の受信信号を前記受信ビームフォーマに受け渡す制御部とを有し、

前記画像処理部は、前記整相合成部が出力した前記合成結果を前記受信合焦点についての整相出力として用いて前記画像を生成し、

前記 2 以上のステアリング方向は、前記受信合焦点の方向以外の少なくとも 2 方向を含み、

ある時点の前記アクティブチャンネルの前記受信合焦点および前記 2 以上のステアリング方向の点は、異なる時点の前記アクティブチャンネルについての前記受信合焦点および前記 2 以上のステアリング方向の点の一部と、位置が重なっていることを特徴とする超音波撮像装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて被検体内の画像を撮像する超音波撮像技術に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波撮像技術とは、超音波（聞くことを意図しない音波、一般的には20kHz以上の高周波数の音波）を用いて人体をはじめとする被検体の内部を非侵襲的に画像化する技術である。一つの例として、医用超音波撮像装置について簡単に説明する。超音波探触子は、超音波を患者の体内に向けて送信し、患者体内から反射されるエコー信号を受信する。受信信号は、超音波探触子および超音波撮像装置本体の一方またはその双方において信号処理を施された後、画像表示部に受け渡され、超音波画像が表示される。より詳しく説明すると、例えば超音波撮像装置本体中の送信ビームフォーマにおいて送信ビームの信号が生成され、送受信分離回路（T/R）を経た後に、超音波探触子に送られる。超音波探触子は、超音波を発信する。超音波探触子は、体内からのエコー信号を受信した後、撮像装置本体に信号を伝達する。撮像装置本体中で、受信信号は再び送受信分離回路を経て、受信ビームフォーマにおいて整相処理が施された後、画像処理部に伝達される。画像処理部では、各種フィルタ、スキャンコンバータなど様々な画像処理が実行される。最終的に画像表示部に超音波画像が表示される。

【0003】

このように一般的な超音波診断装置は、送波ビームフォーミング、受信ビームフォーミングおよびバックエンドの画像処理の3つの技術によって構成されている。特に送信時および受信時のビームフォーマは、RF（高周波）レベルでの信号処理を行うため、ビームフォーマのアルゴリズムや実装アーキテクチャが超音波画像の基本画質を決定する。このため、ビームフォーマは、装置の基幹部である。

【0004】

受信ビームフォーマは、超音波探触子を構成する複数素子の各受信信号（受信データ）に対して、焦点位置と素子の位置との関係に応じて凹面型に遅延量が分布する遅延時間を与え、仮想的に空間のある一点に焦点をあわせた後、受信信号データを加算する。この方法は、遅延加算方式による整相と呼ばれている。この遅延加算方式では、超音波診断装置の複数素子で受信された受信データと診断装置に蓄えられた固定の重みベクトルとを乗算し、重み付けしてから加算する。これは受信ビームフォーマのみならず、送信ビームフォーマでも同様である。

【0005】

一方、超音波撮像装置の基本的な問題として方位方向分解能の制約があることが知られている。超音波の送受信は、有限の開口径を持つアレイによって行われるため、開口部エッジの回折の影響が発生する。無限に長いアレイを用意すれば深さ方向と同様に無限の分解能向上の可能性があるが、現実的には送受アレイの長さ、という装置設計上の物理的な制約があるため、方位方向の分解能向上が妨げられてきた。近年になって、ビームフォーマの遅延加算時に遅延のために用いる前述の固定の重みベクトルを、時系列の送受信データの一つ一つに対して適応的に変化させることにより、より高精細な超音波画像を得る試みが注目を集めている。これにより、ビームフォーミング技術における本質的な課題の一つである方位方向の分解能が格段に向上する可能性がある。

【0006】

特に近年では、移動体通信の分野で発達してきたMVD R法（Minimum Variance Distortionless Response; Capon法）をはじめとした適応信号処理の技術を、受信データのビームフォーマに適用した方位方向の分解能の改善技術が、報告され始めている。これらの適応的手法は、受信データの相関行列に基づき、遅延加算のための重みベクトルの複素成分を適応的に変化させることで実現される。すなわち、従来、重みベクトルは固定値であったが、適応的手法では、受信信号の時間方向のサンプル点ごとに、受信信号を用い

10

20

30

40

50

て演算により重みベクトルを求め、これを受信信号に乗算する。

【0007】

適応信号処理においては、従来の遅延加算方式と同様に、媒質中の不均質音速分布や、微小体の乱散乱に起因する超音波波面の歪みが課題となる。適応信号処理においても、装置が設定する受信ビームフォーマの焦点は、音速一定かつホモジニアス（均質）な媒質を仮定して設定されている。そのため、音波伝搬に歪みが存在する場合に、像がぼやけてしまうことや、実際の位置とは違う場所に結像してしまうことがある。従来遅延加算方式においては、古くより波面歪みの補正が課題となっており、相互相関処理を利用した収差補正技術が検討されており、適応ビームフォーマにおいても、媒質内の不均質による超音波画像の画質を大きく変えることが同様に課題となる。

10

【0008】

ビームフォーマの先行技術としては、例えば、固定のヌル方向を利用した遅延加算ビームフォーマ技術が特許文献1に記載されている。

【0009】

特許文献1の技術では、サイドローブによるアーチファクトを低減するために、情報を取得したい対象物の所定の方向にメインローブを向けて第1受信信号を生成するとともに、上記所定の方向にヌル方向を向けて第2受信信号を生成する。第2受信信号は、対象物の所定の方向の情報をほとんど含まないアーチファクト（ノイズ）の信号であるので、第1受信信号から第2受信信号を差し引くことにより、超音波画像における有用な信号成分の欠落を抑制しつつ、第1受信信号からアーチファクトを低減できる（特に特許文献1の段落0060）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2010-158374

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

実際の被検体媒質は不均質であるため、送信した超音波信号が焦点で反射され、焦点の周囲に散乱する。このため、焦点の対象物の情報が焦点の周囲にも存在する。適応ビームフォーマは、指向性が鋭いため、焦点の周囲に存在する超音波信号を取得することができず、超音波画像の画質が劣化するという問題がある。

30

【0012】

また、被検体媒質が不均質であることに起因して、音速不均一による波面ひずみが生じ、この波面歪みにより、焦点周囲の媒質からの反射波が受信音波に混入するという問題がある。この周囲の媒質からの反射波は、焦点からの信号と相関性がある雑音信号（相関性雑音）であるために、通常の雑音低減技術で除去することが難しい。この相関性雑音のために、超音波画像の画質が劣化する。

【0013】

本発明の目的は、被検体媒質の不均質性に起因する画質劣化を補償することのできる超音波撮像装置を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の超音波撮像装置の受信ビームフォーマは、超音波素子アレイが受信した信号を、2以上のステアリング方向についてそれぞれ整相処理した後合成する整相合成部と、整相合成部に2以上のステアリング方向を指示するステアリング方向指示部とを備えている。2以上のステアリング方向は、受信合焦点の方向以外の少なくとも2方向を含んでいる。

【発明の効果】

【0015】

50

本発明によれば、受信合焦点方向以外の2方向を含む2以上のステアリング方向について整相処理をした信号を合成することにより、相関性雑音を低減することができる。よって、波面歪みに起因する相関性雑音による超音波画像の画質劣化の補償とS/N比の向上を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第1の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図2】第1の実施形態のステアリング方向を示す説明図。

【図3】第1の実施形態の相関性雑音低減の作用を説明する説明図。

【図4】(a)第1の実施形態の超音波撮像装置の概略構成を示す斜視図、(b)ブロック図。 10

【図5】第2の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図6】図5の受信ビームフォーマの動作を示すフローチャート。

【図7】第3の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図8】第4の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図9】図8の受信ビームフォーマの動作を示すフローチャート。

【図10】第5の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図11】図10の受信ビームフォーマの詳細な構成を示すブロック図。

【図12】第6の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図13】図12の整相処理部204の詳細な構成を示すブロック図。 20

【図14】第7の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図15】第8の実施形態の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図16】第9の実施形態の受信ビームフォーマの一部構成を示すブロック図。

【図17】本実施形態の超音波撮像装置のコンソールの斜視図。

【図18】本実施形態の超音波撮像装置の別の具体例のコンソールと画像表示部の斜視図。

【図19】本発明による遅延加算処理でのヌル角度検出の結果を示す図(2次元プロット)。

【図20】本発明による遅延加算処理でのヌル角度検出の結果を示す図(ラインプロファイル)。 30

【図21】本発明による適応ビームフォーマでのヌル角度検出の結果を示す図(2次元プロット)。

【図22】本発明による適応ビームフォーマでのヌル角度検出の結果を示す図(ラインプロファイル)。

【図23】(a)および(b)本発明による異なる被検体について得た画像のコントラストとヌル位置を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明の一実施形態の超音波診断装置について説明する。

【0018】 40

(第1の実施形態)

第1の実施形態の超音波診断装置について、図1～図3を用いて説明する。図1のように、第1の実施形態の超音波診断装置は、所定の方向に沿って複数の超音波素子(超音波振動子)105を配列した超音波素子アレイ101と、超音波素子アレイ101が受信した信号を整相する受信ビームフォーマ108と、受信ビームフォーマ108の出力する整相出力を用いて画像データを生成する画像処理部109とを有する構成である。受信ビームフォーマ108は、整相合成部113と、ステアリング方向指示部112を備えている。整相合成部113は、超音波素子アレイ101が受信した信号を、2以上のステアリング方向についてそれぞれ整相処理した後合成する処理を行う。ステアリング方向指示部112は、整相合成部113に2以上のステアリング方向を指示する。ステアリング方向指 50

示部 112 が指示する 2 以上のステアリング方向は、図 2 に示すように受信合焦点 10 の方向 20 以外の少なくとも 2 方向（図 2 では、受信合焦点 10 の方向 20 に対して超音波素子アレイ 106 の配列方向に沿って左右にそれぞれ所定の角度 L 、 R をなす 2 方向）21, 22 を含んでいる。ここでいうステアリング方向とは、所定の超音波素子 105 を中心に撮像対象（被検体）を向く方向であり、超音波素子アレイ 101 の超音波素子 105 の配列方向（すなわち長手方向）と、超音波素子 105 の超音波送受信面の法線とを含む面内の方向である。

【0019】

2 方向 21, 22 はそれぞれ、受信合焦点 10 の方向 20 以外の方向であれば、被検体媒質の不均質性に起因する画質劣化を補償する一定の効果を得ることができる。また、2 方向 21, 22 がそれぞれ、図 3 に示すように、超音波素子アレイ 101 の指向性プロファイルのヌル角度 $null$ の方向である場合には、画質劣化補修の効果が大きく、さらに望ましい。なお、ここでいうヌル角度 $null$ は、受信信号がゼロまたは極小値を示す角度である。また、2 以上のステアリング方向には、受信合焦点 10 の方向が含まれていてもよいし、含まれていなくてもよい。

10

【0020】

以下、第 1 の実施形態の超音波撮像装置をさらに具体的に説明する。

【0021】

図 4 (a), (b) を用いて超音波撮像装置の全体構成についてさらに説明する。図 4 (a) は装置の斜視図、図 4 (b) は内部の概略構成を示すブロック図である。

20

【0022】

図 4 (a) のように、超音波撮像装置は、超音波探触子 106 と、装置本体 102 と、画像表示部 103 と、コンソール 110 を備えている。装置本体 102 内には、図 1 (b) のように送信ビームフォーマ 104 と、送受信分離回路 (T/R) 107 と、受信ビームフォーマ 108 と、画像処理部 109 と、これらの動作を制御する制御部 111 が配置されている。受信ビームフォーマ 108 と画像処理部 109 は、上述の図 1 の構成である。超音波探触子 106 は、図 1 に示した超音波素子アレイ 101 を備えている。

【0023】

送信ビームフォーマ 104 は、送信ビーム用の信号を生成する。送信ビーム用信号は、送受信分離回路 107 を経て、超音波探触子 106 に受け渡される。超音波探触子 106 は、超音波素子アレイ 101 の超音波素子 105 から超音波を被検体 100 の体内に向けて送信する。体内で反射されたエコー信号は、超音波探触子 106 の超音波素子アレイ 101 により受信される。受信信号は、再び送受信分離回路 107 を経て受信ビームフォーマ 108 において整相演算処理等が施される。

30

【0024】

受信ビームフォーマ 108 は、上述のように整相合成部 113 と、ステアリング方向指示部 112 を備えている。ステアリング方向指示部 112 は、2 以上のステアリング方向を整相合成部 113 に指示する。2 以上のステアリング方向には、図 2 のように、受信合焦点 10 の方向 20 に対して、受信合焦点 10 の超音波素子アレイ 106 の配列方向に沿ってある所定の 0° よりも大きい角度 L 、 R をなす 2 方向 21, 22 が少なくとも含まれている。受信合焦点 10 の方向 20 がさらに含まれていてもよい。所定の角度 L 、 R が、図 3 の超音波素子アレイの左右のヌル角度 $null$ の方向であればさらに望ましい。なお、ここでは便宜上、2 つのステアリング方向を、受信合焦点 10 の方向に対して左右の 1 つずつの方向に設定した例について説明するが、2 以上のステアリング方向は、受信合焦点 10 の方向に対してどのような方向に設定してもよい。特に、超音波トランスデューサが 2 次元アレイの場合は、左右という概念はなく、受信合焦点以外のいかなる任意の 2 以上の方向に設定してもよい。

40

【0025】

整相合成部 113 は、整相処理部 204 と合成部 206 とを備えている。整相処理部 204 は、超音波素子アレイ 101 の複数の超音波素子 105 の出力する受信信号をそれぞ

50

れ、ステアリング方向 2 1 の点 1 1 に対して整相した後、加算する。ステアリング方向 2 2 の点 1 2 についても同様に整相加算する。他のステアリング方向がある場合も同様に整相加算する。整相処理部 2 0 4 の整相処理は、どのような処理方法であってもよく、例えば遅延加算処理や適応整相処理を用いることができる。

【 0 0 2 6 】

合成部 2 0 6 は、整相処理部 2 0 4 から複数のステアリング方向 2 1 , 2 2 等についてのそれぞれの整相加算結果を受け取り、加算処理等によりこれらを合成し、整相信号 $y(n)$ を出力する。

【 0 0 2 7 】

合成部 2 0 6 の出力（整相信号 $y(n)$ ）は、画像処理部 1 0 9 に受け渡され、各種フィルタ、スキャンコンバータなど様々な画像処理が実行され、超音波画像が生成される。超音波画像は、画像表示部 1 0 3 に受け渡され、表示される。

【 0 0 2 8 】

このように、本発明では、受信合焦点 1 0 の方向 2 0 に対して、超音波素子アレイ 1 0 6 の配列方向に沿って所定の角度 L 、 R をなす 2 方向 2 1 , 2 2 について整相処理した信号を合成することにより、受信合焦点 1 0（受信すべき点、受信焦点）からの信号 S に対して、相関性を示す雑音（相関性雑音 N_c ）を低減した整相信号 $y(n)$ が得られる。よって、 S/N 比の大きい整相信号 $y(n)$ を得ることができ、超音波画像の画質を向上させることができる。

【 0 0 2 9 】

これについてさらに説明する。被検体媒質は不均質であるため、送信した超音波信号が受信合焦点 1 0 で反射され、焦点の周囲の点に散乱するため、受信合焦点 1 0 の対象物の情報が受信合焦点 1 0 の周囲にも存在する。また、被検体媒質が不均質であることに起因して、音速不均一等による波面ひずみが生じ、この波面歪みにより、受信合焦点 1 0 周囲の媒質からの反射波が受信音波に混入する。この周囲の媒質からの反射波は、受信合焦点 1 0 からの信号と相関性がある雑音信号（相関性雑音）である。このため、焦点の周囲に散らばってしまった焦点の情報を再現しつつ、焦点周囲の媒質からの不要な相関性雑音を低減する必要がある。

【 0 0 3 0 】

なお、反射波の伝搬過程だけでなく、音波が送信され受信合焦点 1 0 にたどり着くまでの送信音波の伝搬過程においても、波面歪は発生するため、前述の不要な相関性雑音を増強させてしまう要因となることは明らかである。

【 0 0 3 1 】

そこで本発明では、受信合焦点 1 0 の方向 2 0 に対して、超音波素子アレイ 1 0 6 の配列方向に沿ってそれぞれ所定の角度 L 、 R をなす 2 方向 2 1 , 2 2 について整相処理した信号を合成する。例えば、超音波素子アレイ 1 0 1 が、図 3 のように角度方向の指向性プロファイルを有する場合、本発明においては、両サイドに存在するヌル角度 $null$ の方向についてそれぞれ整相処理した信号と、必要に応じて、中心部すなわちメインローブ（超音波伝搬方向、 $= 0^\circ$ ）の方向について整相処理した信号とを合成する。受信合焦点 1 0 の情報を表す信号を S 、相関性雑音を N_c 、無相関性雑音（ホワイトノイズ）を N_u と表すと、メインローブ方向 2 0 にステアリング方向を向けた場合の整相処理部 2 0 4 の出力信号は、 $(S + N_c + N_u)$ で表される。この場合、信号の S/N 比は $S/N_R = S / (S + N_c + N_u)$ となる。相関性雑音 N_c は、生体不均質によって進行方向を乱された相関性雑音であり、図 2 のように受信合焦点 1 0 とは異なる方向から超音波素子アレイ 1 0 1 に到来する。また、無相関性雑音 N_u は、熱雑音や電氣的な雑音などであり、超音波探触子アレイ 1 0 1 の受信信号に混在する方向性を持たない信号である。

【 0 0 3 2 】

また、図 2 のように所定の角度 L （例えば、左側の一つ目のヌル角度 $_{left_null-1}$ ）の方向 2 1 にステアリング方向を向けた場合の整相処理部 2 0 4 の出力信号は、 $(S_{left} + N_{c_left} + N_u)$ で表される。また、所定の角度 R （例えば、右側の一つ目のヌ

10

20

30

40

50

ル角度 θ_{right_null-1}) の方向にステアリング方向を向けた場合の整相処理部 204 の出力は、 $(S_{right} + N_{c_right} + N_u)$ と表される。ただし、 S_{left} および S_{right} は、受信合焦点 10 の情報を表す信号である。

【0033】

ここで、角度 θ_L と角度 θ_R とは、左右方向について異なる方向を向いているため、 S_{left} と S_{right} 、 N_{c_left} と N_{c_right} は、信号の位相・時相が異なるのみならず、方向性が逆向きの成分を有する。すなわち、 S_{left} と S_{right} 、 N_{c_left} と N_{c_right} は時間空間の双方に非対称性を有し、加算した場合お互いを打ち消しあう信号となっている。よって、整相合成部 113 の合成部 206 において、 $(S_{left} + N_{c_left} + N_u)$ と $(S_{right} + N_{c_right} + N_u)$ とを加算することにより、相関性雑音 N_c の成分をキャンセルすることができる。また、特に、角度 θ_L および θ_R をヌル角度 θ_{null} に設定した場合には、整相処理部 204 の出力信号に含まれる S_{left} と S_{right} の信号は、信号全体に占める割合は少ないため、左右にそれぞれ所定の角度 θ_L 、 θ_R をなす 2 方向 21, 22 について整相処理した信号を合成した場合、受信合焦点 10 の情報を表す信号 S_{left} と S_{right} の低減効果よりも、相関性雑音 N_c の低減効果の方が大きくなる。よって、結果的に、SNR の向上に寄与する割合をより大きくできる。

10

【0034】

さらに、図 2 および図 3 に示すように、左右のヌルビーム方向に加えてメインローブ方向 20 をステアリング方向に設定し、それぞれのステアリング方向についての整相処理部 204 の出力を合成することによって、相関性のノイズ $N_{c'}$ ($= N_{c_left} + N_{c_right} + N$) を大きく低減することができる。また、受信合焦点 10 の情報を表す信号 S' ($= S + S_{left} + S_{right}$) は、メインローブ方向 20 の S と比較して、相関性雑音 $N_{c'}$ ほど大きく低減しないため、SNR を向上させる効果がさらに大きくなる。

20

【0035】

一方、無相関性雑音 N_u は、方向性を持たず、 n 回加算することによって、 $(1/n)$ 倍になるため、複数のステアリング方向の整相処理部 204 の出力を加算することにより一意に減少する。

【0036】

以上のように、もともとのメインローブ方向 20 の整相処理部 204 の出力信号 ($S + N_c + N_u$) と比べて、左右のヌルビーム方向 21, 22 に加えてメインローブ方向 20 の整相処理部 204 の出力を合成した信号 ($S' + N_{c'} + N_{u'}$) $= (1/3) \times \{ (S + N + R) + (S_{left} + N_{c_left} + N_u) + (S_{right} + N_{c_right} + N_u) \}$ は、SNR が向上する (式 (1))。なお、ここでは、3 方向についての整相処理部 204 の出力をいずれも重み $1/3$ として加算しているが、異なる重みで重み付けすることも可能である。

30

【0037】

【数 1】

$$\frac{S}{S + N_C + N_U} \leq \frac{S'}{S' + N_{C'} + N_{U'}} \quad \dots (1)$$

40

【0038】

なお、整相合成部 113 の整相処理方法は、どのような方法でもよいが、適応整相処理を用いることにより、受信合焦点 10 の情報を表す信号 S の成分により指向性を持たせることができる。すなわち、所望信号成分の合成結果 $(1/3) \times (S + S_{left} + S_{right})$ の中の所望信号成分 S をほとんど減少させることなく、相関性雑音 N_c の減少効果をより高めることが可能になるため好ましい。

【0039】

このように第 1 の実施形態では、受信合焦点の方向以外の少なくとも 2 方向のステアリ

50

ング方向の整相処理結果を合成することにより、相関性雑音の時空間での非対称性を利用して、波面ひずみに起因する相関性雑音を低減することができる。しかも、受信合焦点10の周囲からの情報も収集できるため、焦点で反射されて周囲に散らばった情報も収集できる。よって、被検体の媒質が不均質であっても画質劣化を防止できるとともに、波面歪による相関性雑音の影響も受けにくく、頑健性が高く、しかも、比較的処理負荷の小さい超音波撮像装置が得られる。

【0040】

(第2の実施形態)

図5および図6を用いて第2の実施形態の超音波撮像装置について説明する。図5は、受信ビームフォーマ108の構成を示すブロック図であり、図6は、その動作を示すフローチャートである。

10

【0041】

第2の実施形態では、第1の実施形態の整相合成部113内の整相処理部204が、遅延加算処理により整相処理を行うためにP個の遅延加算部204-1~204-Pを備えている。P個は、ステアリング方向指示部112が指定可能な最大のステアリング方向の数である。また、ステアリング方向指示部112は、超音波素子アレイ101の条件および超音波照射条件に基づきヌル角度を計算するヌル角度計算部501を備え、計算により求めたヌル角度の方向をステアリング方向として整相処理部204に指定する。ヌル角度の方向は、受信合焦点10の方向以外の角度を、少なくとも2つ、を含むようにする。整相処理部204の遅延加算部204-1~204-Pは、指定されたステアリング方向についてそれぞれ遅延加算による整相を行う。

20

【0042】

また、第2の実施形態では、制御部111内のアクティブチャンネル設定部111aが、超音波素子アレイ101の有限口径の一部にアクティブチャンネル201, 202, 203等を設定する。受信ビームフォーマ108はアクティブチャンネルの受信信号について受信ビームフォーミング処理を行う。すなわち、1本の送信超音波ビームに対する受信エコーを受信した超音波素子アレイ101を構成する超音波素子105のうち、所定の範囲のK個の素子105をアクティブチャンネル201とし、受信ビームフォーマ108は、アクティブチャンネル201の受信信号を用いて超音波伝搬方向の1本の画像データ(ラスタ: 整相出力 $y(n)$)を生成する。図5のように、超音波素子アレイ101上で位置を少しずつずらしながらアクティブチャンネル202、アクティブチャンネル201、アクティブチャンネル203を順次構成し、それぞれのアクティブチャンネル202、201, 203についてラスタを生成し、その結果を並べたものが超音波画像となる。

30

【0043】

ヌル角度計算部501は、設定されているアクティブチャンネル201等についてヌル角度を計算する。

【0044】

以下、図6のフローを用いてさらに具体的に説明する。

【0045】

まず、制御部111は、そのときの撮像条件に応じた、プローブ条件・超音波照射条件・ヌル角度選択条件を示す情報を含む制御信号を生成し、ヌル角度計算部501に出力する(ステップ61)。

40

【0046】

ヌル角度計算部501は、制御信号111の出力を受け取り(ステップ62)、制御信号に含まれる情報をパラメータとして、以下の式(3)などを用いてヌル角度を計算する(ステップ63)。式(3)は送信のみのヌル角度を算出するものであるが、受信に関しても同様の計算によりヌル角度を算出することができる。また、これら送信/受信の重ね合わせとしてのヌル角度を計算することも可能である。

【0047】

ヌル角度の計算は、超音波の周波数、送信波形などの撮像条件と、使用しているアクテ

50

ィブチャンネル 201 ~ 203 に含まれる超音波素子 105 の素子数 (アクティブチャンネル素子数) ・送信 / 受信の口径、チャンネル間隔 (超音波素子 105 の間隔)、周波数特性によって第 1 義的なヌル角度を確定できる。すなわち、制御部 111 から伝達された制御信号を用いてヌル角度を計算することができる。

【0048】

例えば、超音波素子 105 が方形ピストン型である場合、超音波素子アレイ 101 のアクティブチャンネル 201 によって送受される超音波ビームの指向性は、以下の式 (2) によって計算できる。D () は、ステアリング角 における超音波ビームの強度である。

【数 2】

$$D(\theta) = \frac{\sin(ka \sin \theta)}{(ka \sin \theta)} \quad \dots (2)$$

10

【0049】

式 (2) において、 は、ステアリング角、a は、アクティブチャンネル (201 ~ 203) の口径、k は、波数である。k は、音速 c を超音波の周波数 f で除したものであり $k = c / f$ で表される。

【0050】

式 (2) の大きさがゼロであるような角度 null が、この場合のヌル角度であり、式 (3) から解析的に求めることができる。

【数 3】

$$\theta_{null} = \arcsin \left(\frac{n\pi}{ka} \right) \quad \dots (3)$$

$$n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

20

【0051】

式 (3) を見るとわかるように、ヌル角度 null は、一つではなく複数であり、図 3 のように、 $= 0^\circ$ (超音波照射方向 = 送信焦点の方向) を中心に左右に対称に n 個ずつ存在する、と言う特徴を持つ。そのため、ヌル角度計算部 501 には制御信号として、ヌル角度を選択する条件も制御部 111 から入力されている。ヌル角度選択条件は、左右にそれぞれ存在するヌル角度 null-1、 null-2 ··· null-n のうち、整相合成部 113 が処理に使用するヌル角度を選択する条件である。その条件は例えば、 $n = +1$ と $n = -1$ の 2 本のヌルを使用する、もしくは、 $n = \pm 1$ 、 ± 2 の 4 本を利用する、のように選択を指示するものである。なお、n の符号が、+ である場合は、 $> 0^\circ$ すなわち、 $= 0^\circ$ よりも右側に位置するヌル角度であることを示し、n の符号が - である場合、 $< 0^\circ$ すなわち、 $= 0^\circ$ よりも左側に位置するヌル角度であることを示す。

30

【0052】

なお、 $n = \pm 1$ の時にもっとも効果が高いため、 $n = \pm 1$ の処理部のみを有し、ヌル選択を行わず、必ず $n = \pm 1$ の 2 本を使用するようにしてもよい。

【0053】

ヌル角度計算部 501 は、計算により求めたヌル角度のうちヌル角度選択条件で選択したヌル角度の方向を、ステアリング方向として、整相処理部 204 に出力する。ステアリング方向の指定する情報の形式としては、例えば、 $= 10^\circ$ 、 -10° のような物理的な角度情報であっても良い。また、整相処理部 204 の遅延加算部 204-1 ··· 204-P をアクティブ (ON) にするための制御信号と上述の角度情報を兼用する信号を直接遅延加算部 204-1 ··· 204-n に受け渡してもよい。この方法は実用上より好ま

40

50

しい形態である。例えば、遅延加算部 204 - 1 に $L = 10^\circ$ を指定して遅延加算処理を指示し、遅延加算部 204 - n に $R = -10^\circ$ を指定して遅延加算処理を指示する。

【0054】

整相処理部 204 の遅延加算部 204 - 1 \cdots 204 - P は、ヌル角度計算部 501 から指定されたヌル角度の方向をステアリング方向とした場合の整相信号を生成し、出力する（ステップ 65）。この時、正面方向（ $\theta = 0^\circ$ ：受信合焦点の方向 20）についても、整相信号を生成することが望ましい。すなわち、 $\theta = 10^\circ$ 、 -10° がヌル角度である場合、遅延加算部 204 - 1、204 - 2、204 - 3 においては、正面方向 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 10^\circ$ と $\theta = -10^\circ$ の 3 方向について遅延加算処理を行い、その結果を合成部 206 に出力する。

10

【0055】

合成部 206 は、遅延加算部 204 - 1 ~ 204 - P からヌル方向と正面方向についての整相信号の入力を受ける（ステップ 66）。合成部 206 ではこれらの入力を加算することにより合成し出力する（ステップ 67）。加算に際しては、例えば、正面方向 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 10^\circ$ と $\theta = -10^\circ$ の 3 方向それぞれの単純加算（加算結果には $1/3$ を乗じることが好ましい）でもよいし、ステアリング方向毎に、整相信号に所定の重みを乗じたのちに加算するなどしてもよい。例えば正面方向の整相信号の比重を大きくしたり、逆にヌル方向の整相信号に大きな重みを乗算するなどして合成結果を調整したりすることができる。

【0056】

20

合成部 206 によって演算された合成信号は、画像処理部 109 に出力される。画像処理部 109 は、合成信号を受け取って（ステップ 68）、従来の整相結果と同様に処理を行い、1本の画像データ（ラスタ）を生成する。そして、アクティブチャンネル 201、202、203 を少しずつずらしながら、それぞれラスタを得て、ラスタを並べることにより超音波画像に加工する。超音波画像は、画像表示部 103 に表示する。以上をもって本発明の第 2 の実施形態のフローが完了する。

【0057】

上述してきた図 6 のフローの中で、制御部 111 のヌル角度計算部 501 への制御信号の情報に変わらない場合、すなわちプローブ条件・超音波照射条件・ヌル角度選択条件に変更が施されない限りは、遅延加算部 204 - 1 ~ 204 - P へのヌル角度情報の出力までのステップ（ステップ 61 ~ 65）の動作は同じである。よって、図 6 のように、受信ビームフォーマ 108 は、ステップ 67 において、1 サンプルの受信信号（1 回のサンプリングの受信信号のセット）について、合成部 206 が整相信号を画像処理部 109 に出力したならば、ステップ 65 に戻って、次の 1 サンプルの受信信号を処理する動作を 1 サンプルごとに繰り返す。なお、実用上は、ステップ 65 において次の 1 サンプルの受信信号の処理は、前の 1 サンプルの合成信号の出力がステップ 67 で終了する前に始まっているても良い。すなわち、上述のように図 6 のフローのプロセスは多段にわたっているため、あるサンプル時刻での処理が次のプロセスに移った時点で、次のサンプルの処理を始めても、構成上および実用上全く差し支えない。

30

【0058】

40

また、上述してきた説明では、制御部 111 からの制御信号の示す条件が変更になる度に、ヌル角度の計算をする構成であったが、この構成に限らず、ヌル角度計算部 501 にメモリ 502 を配置し、制御信号の示す条件（プローブ条件・超音波照射条件・ヌル角度選択条件）の組み合わせごとのヌル角度の計算結果を対応づけたテーブル（ヌル角度 LUT（LUT: Look Up Table））を予め格納しておくことも可能である。これにより、ヌル角度計算部 501 は、制御信号の示す条件に対応するヌル角度をヌル角度 LUT から読み出して遅延加算部 204 - 1 ~ 204 - P に設定することができるため、演算量を低減することができる。

【0059】

ヌル角度 LUT は、設定可能なすべての条件（プローブ条件・超音波照射条件・ヌル角

50

度選択条件)について、予めヌル角度を求めて作成したものをメモリ502に格納することも可能であるが、これに限らず、一部の条件についてのみヌル角度LUTを作成してメモリ502に格納しておき、ヌル角度LUTにない条件の場合には、ヌル角度計算部501が計算により求めるように構成してもよい。

【0060】

また、ヌル角度計算部501が計算により求めたヌル角度を、その時の制御信号の示す条件に対応づけて、メモリ502に格納していくことにより、ヌル角度LUTを逐次生成していく構成にすることも可能である。

【0061】

なお、図5に示したように、整相処理部204には、P個の遅延加算部204-1~204-Pが用意されている。このとき、P個の遅延加算部204-1~204-Pにそれぞれ、予めステアリング角度に対応する遅延時間のセットを割り当てておくことも可能である。例えば、P番目の遅延加算部204-Pには、最大のステアリング角度の遅延時間が割り当てておく。これにより、ヌル角度計算部501は、求めたステアリング角度に対応する遅延加算部を遅延加算部204-1~204-Pの中から選択して、演算動作を指示するだけで、そのステアリング方向についての整相処理を指示することができる。この方法に限らず、P個の遅延加算部204-1~204-Pが、ヌル角度計算部501に指定されたステアリング方向に基づいて、その都度遅延時間セットを計算する構成(On the Fly演算)であってもよい。

【0062】

上述してきたように第2の実施形態では、遅延加算処理による整相結果を受信合焦点方向以外の少なくとも2方向のステアリング方向について得て、これらを合成することにより、相関性雑音の時空間の非対称性を利用して、波面ひずみに起因する相関性雑音を低減することができる。また、焦点で反射されて周囲に散らばった情報も収集できる。よって、被検体の媒質が不均質であっても画質劣化を防止できるとともに、波面歪による相関性雑音の影響も受けにくく、頑健性の高く、しかも、比較的処理負荷の小さい超音波撮像装置が得られる。

【0063】

なお、第2の実施形態の超音波撮像装置の他の構成は、第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0064】

(第3の実施形態)

第3の実施形態として、超音波撮像装置を図7を用いて説明する。

【0065】

図7のように、第3の実施形態では、受信ビームフォーマ108にフレームメモリ701とフレーム加算部702を備え、開口合成処理を行う。なお、整相合成部113には、合成部206は備えられていない。他の構成およびその動作は、第2の実施形態と同様である。

【0066】

本発明における遅延加算部204の出力信号は、公知の開口合成処理におけるマルチルック(多方向)受信データと同一である。よって、公知の開口合成処理における、複数送信間のマルチルック受信データの合成時に本発明を適用することにより、本発明の2以上のステアリング方向についての整相合成の処理を開口合成処理によって実現することができる。

【0067】

具体的には、図7のフレームメモリ部701には、遅延加算部204-1~204-Pで超音波送信ごとに生成されたP本のデータが逐次蓄えられる。つぎにフレーム加算部702ではこの送信ごとに蓄えられたデータを複数送信間の同一点を見込む角度ごとに加算処理することにより、開口合成処理を行う。このような開口合成処理を行うことにより、ある撮像点に対し、複数の送信方向から得られた受信データを重ね合わせることが可能に

10

20

30

40

50

なり、高解像度・高S/N比・高フレームレートの超音波画像を得ることができる。

【0068】

フレーム加算部702で加算処理するデータは、第2の実施形態の合成部206で合成されるデータ(複数方向の遅延加算後データ)と同様のデータである。すなわち、ステアリング方向指示部112からの2以上のステアリング方向を合成角度情報としてフレーム加算部702へ入力する。フレーム加算部702は、指定された2以上のステアリング方向についてのデータをフレームメモリ701から読み出して加算処理する。これにより、開口合成処理と、ヌル方向のデータ加算(2以上のステアリング方向の加算)を同時に行うことができる。

【0069】

(第4の実施形態)

第4の実施形態の超音波撮像装置について図8、図9を用いて説明する。

【0070】

第4の実施形態では、ステアリング方向指示部112がヌル角度検出部207を備え、超音波探触子アレイ101の実際の受信信号の整相信号を用いて、ヌル角度を検出する。これを可能にするために、整相合成部113は、整相処理部204にQ個の遅延加算部204-1~204-Qを備えるとともに、Q個の遅延加算部204-1~204-Qの整相出力を格納するメモリ部205を備えている。

【0071】

さらに、ヌル角度検出部207は、第2の実施形態で説明したヌル角度計算部501を備え、計算により求めたヌル角度周辺についてヌル角度のスキャンを行い、ヌル角度を検出する構成である。

【0072】

他の構成は、第2の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0073】

以下、第4の実施形態の受信ビームフォーマ108の動作について図9のフローチャートを用いて説明する。図9のフローにおいて図6のフローと同様のステップについては、同じ符号を付している。

【0074】

第2の実施形態では、プローブ条件等の超音波照射条件からヌル角度を計算により求める構成であったため、装置の設定や超音波照射条件など装置側の条件でヌル角度が決定されていた。しかしながら、実際の受信信号の指向性は、生体における不均質な音波伝搬の影響を受けており、受信ビームの指向性は、受信信号のサンプル毎によって変化する。そこで、第4の実施形態では、ヌル角度検出部207が受信信号のサンプルごとに、実際の受信信号に基づいてヌル角度を検出する。

【0075】

制御部111では、第2の実施形態と同様に、そのときの撮像条件に応じた、プローブ条件・超音波照射条件・ヌル角度選択条件を示す制御信号を生成し出力する(ステップ61)。ヌル角度計算部501は、これらの制御信号を受け取り、ヌル角度を計算により求める(ステップ62, 63)。これらのステップ61~63の詳細は、第2の実施形態で説明した通りである。ヌル角度計算部207は、ヌル角度計算部501がヌル角度を計算により求めたならば、メモリ部205に整相信号のデータを要求する。

【0076】

一方、整相合成部の遅延加算部204-1~204-Qは、予め定められた min から max の角度範囲における所定の角度ずつ異なるQ個のステアリング方向について、それぞれ遅延加算処理を行い、整相信号を出力する(ステップ92)。メモリ部205は、min から max の角度範囲のステアリング角度ごとの整相信号を格納する(ステップ93)。min から max の角度範囲は、物理的には例えば、-60°~60°のステアリング角度である。

【0077】

10

20

30

40

50

メモリ部 205 は、ステップ 91 におけるヌル角度検出部 207 の要求に応じて、 \min から \max の角度範囲の Q 個のステアリング方向についての整相信号をヌル角度検出部 207 に出力する (ステップ 94)。

【0078】

ヌル角度検出部 207 は、 \min から \max の角度範囲の Q 個のステアリング方向についての整相信号を受け取って、 \min から \max の角度範囲のうち、所定の角度範囲 1 ~ 2 の整相信号をスキャンし、最小 (極小) の整相出力をヌル角度 null_scan として抽出し、出力する (ステップ 95、96)。これを (1, 2) のセットの数だけ繰り返す。

【0079】

ここで 1 ~ 2 の角度範囲は、ヌル角度計算部 501 が計算により求めたヌル角度を含む予め定めた大きさの角度範囲であり、その角度の間に実際のヌル角度があると想定される角度範囲である。すなわち、(1, 2) のセットは、ヌル角度計算部 501 が求めた null に対して、 $1 < \text{null} < 2$ となる予め定めた大きさの角度範囲である。また、(1, 2) のセット数は、制御信号に含まれるヌル選択条件によって決定されたヌル角度 null の数と同数である。これについては、第 2 の実施形態で説明した通りである。

【0080】

これらの処理により、ヌル角度検出部 207 は、ヌル角度選択条件に基づいた数と同数の、実際のヌル角度 null_scan を検出する。

【0081】

ヌル角度検出部 207 は、検出したヌル角度 null_scan を、メモリ部 205 に指示する。メモリ部 205 は、遅延加算部 204 に使用するヌル角度情報を伝達する。検出したヌル角度 null_scan の伝達形式は、第 2 の実施形態と同様であり、例えば、 $= 10^\circ$ 、 -10° のような物理的な角度情報で伝達する。

【0082】

メモリ部 205 は、ヌル角度検出部 207 から伝達されたヌル角度 null_scan と正面方向 ($= 0^\circ$) のステアリング方向の整相信号を選択し、合成部 206 に出力する。すなわち、 $= 10^\circ$ 、 -10° がヌル角度である場合、メモリ部 205 は、正面方向 $= 0^\circ$ と $= 10^\circ$ と $= -10^\circ$ の 3 方向整相信号を出力する。なお、 $= 0^\circ$ は含まなくても良い。

【0083】

合成部 206 は、メモリ部 205 からヌル角度 null_scan と正面方向 ($= 0^\circ$) のステアリング方向の整相信号を受け取り (ステップ 97)、加算することにより合成して、画像処理部 109 に出力する (ステップ 98)。加算に際しては、単純加算でもよいし、整相信号毎に所定の重みを乗じたのちに加算してもよい。

【0084】

画像処理部 109 は、合成部 206 の出力する合成された整相信号を受け取り、これを用いて、第 2 の実施形態と同様に、超音波画像を生成し、画像表示部 103 に表示する (ステップ 99)。以上をもって本発明の第 4 の実施形態の処理フローが完了する。

【0085】

なお、受信信号の 1 サンプルについて、ステップ 98 において合成部 206 による合成信号の出力が終了したならば、ステップ 91, 92 にそれぞれ戻って、次のサンプルの受信信号について処理を行う。

【0086】

以上のように、第 4 の実施形態では、実際の受信信号の指向性のヌル角度を検出することができるため、生体における不均質な音波伝搬の影響によるヌル角度の変化に対応してヌル角度を設定することができる。よって、被検体の媒質が不均質であっても画質劣化を防止できるとともに、波面歪による相関性雑音の影響も受けにくく、頑健性の高い超音波撮像装置が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 7 】

なお、本実施形態では、ヌル角度計算部により、ヌル角度を計算により求め、計算により求めたヌル角度を含む所定の角度範囲 1 ~ 2 についてのみ、ヌル角度検出部 2 0 7 がヌル角度のスキャンを行えばよい。このため、ヌル角度検出部 2 0 7 の演算量を低減することができる。ただし、本発明は、この構成に限定されるものではなく、ヌル角度検出部 2 0 7 がヌル角度計算部 5 0 1 を備えず全角度範囲についてヌル角度のスキャンを行ってもよい。

【 0 0 8 8 】

また、ヌル角度計算部 5 0 1 は、第 2 の実施形態で説明したようにメモリ 5 0 2 を備え、メモリ 5 0 2 内のヌル角度LUTを参照してヌル角度を求める構成であっても構わない。

10

【 0 0 8 9 】

(第 5 の実施形態)

第 5 の実施形態の超音波撮像装置について、図 1 0、図 1 1 を用いて説明する。

【 0 0 9 0 】

第 5 の実施形態の超音波撮像装置は、第 2 の実施形態と同様であるが、整相処理部 2 0 4 が、適応整相処理を行う点が第 2 の実施形態とは異なっている。すなわち、整相処理部は、図 1 0 に示すように、遅延回路 5 1 1 と、適応整相部 5 1 2 を備えている。遅延回路 5 1 1 は、k 個の超音波素子 1 0 5 からなるアクティブチャンネル 2 0 1 等の k 個の受信信号を受信合焦点 1 0 の位置に応じて遅延する回路である。なお、受信合焦点 1 0 は超音波送信方向 (0 ° 方向) だけでなく、送信方向から少しだけ傾いた角度方向に複数用意してもよい (受信複ビーム処理)。その場合、その傾いた角度ごとに整相合成部 1 1 3 を並列に用意しておく。

20

【 0 0 9 1 】

適応整相部 5 1 2 は、図 1 1 のように、行列演算部と、適応ビームステアリング部 3 0 1 とを備え、ヌル角度計算部 5 0 1 により指定されたステアリング方向についてそれぞれ適応重み w を求める。適応合成部 5 1 6 は、適応重み w を用いて、遅延回路 5 1 1 の出力する遅延後受信信号を整相し、合成する。なお、ヌル角度計算部 5 0 1 の動作は、第 2 の実施形態と同様である。

【 0 0 9 2 】

このように、第 5 の実施形態では、受信ビームフォーマ 1 0 8 が適応整相処理を行うため、所望の信号成分 S をほとんど減少させることなく、相関性雑音 N u をより効果的に低減することができるという効果が得られる。

30

【 0 0 9 3 】

以下、適応整相処理について具体的に説明する。アクティブチャンネル 2 0 1 を構成する超音波素子 1 0 5 の数 (チャンネル数) が K 個であれば、あるスナップショット時刻 n における、遅延回路 5 1 1 の遅延後受信データは、超音波素子 1 0 5 の出力 $x_k(n)$ を用いて、下記式 (4) の左辺のベクトル $x(n)$ として表すことができる。

【 数 4 】

$$\mathbf{X}(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_K(n)]^T \quad \dots (4)$$

40

【 0 0 9 4 】

この遅延後受信データ $x(n)$ は、適応処理部 5 1 2 - 1 ~ 5 1 2 - P にそれぞれ入力される。適応処理部 5 1 2 - 1 ~ 5 1 2 - P は、ヌル角度計算部 5 0 1 に指定されたステアリング方向ごとに、スナップショット時刻 n における K 個のチャンネルごとの重み値 $w_k(n)$ から構成される適応重みベクトル $w_p(n) = [w_{p-1}(n), w_{p-2}(n), \dots, w_{p-K}(n)]^T$ を生成する。すなわち、ステアリング方向が P 個である場合には、 $w_1(n), w_2(n) \dots w_P(n)$ が生成される。

【 0 0 9 5 】

適応合成部 5 1 6 は、適応重みベクトル $w_1(n), w_2(n) \dots w_P(n)$ を合成した後、遅延

50

後受信データ $x(n)$ と内積演算（重み付け演算）することにより、あるスナップショット時刻 n における適応ビームフォーマ出力 $y(n)$ を得る。

【0096】

適応整相部512の適応処理部512-1～512-Pは、図11のように行列演算部300と適応ビームステアリング部301を備えている。適応処理部512-1～512-Pは、それぞれ行列演算部300と適応ビームステアリング部301を備えていてもよいし、ひと組の行列演算部300と適応ビームステアリング部301を適応処理部512-1～512-Pで共有してもよい。

【0097】

遅延後受信データベクトル $x(n)$ は、行列演算部300において、下式(5)により空間共分散行列 $R(n)$ を求められる。 $R(n)$ を求める際には、 $x(n)$ をそのままの実信号として用いてもよいし、ヒルベルト変換やベースバンド変調などを施して、複素数のデータに変換されたものを用いてもよい。ここでは、より一般性のある形態として、 $x(n)$ を複素データ (n) に変換し、式(5)のように空間共分散行列 $R(n)$ を求める場合を例に説明する。式(5)の $R(n)$ は、式(6)であらわされる複素ベクトル (n) と、その(複素)共役転置ベクトル $^H(n)$ との積のアンサンブル平均をとったものである。

【0098】

【数5】

$$R(n) = E[\xi(n)\xi^H(n)] = E \left\{ \begin{pmatrix} \xi_1(n)\xi_1^*(n) & \xi_1(n)\xi_2^*(n) & \cdots & \xi_1(n)\xi_k^*(n) \\ \xi_2(n)\xi_1^*(n) & \xi_2(n)\xi_2^*(n) & \cdots & \xi_2(n)\xi_k^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \xi_k(n)\xi_1^*(n) & \xi_k(n)\xi_2^*(n) & \cdots & \xi_k(n)\xi_k^*(n) \end{pmatrix} \right\} \quad 20$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{s=-S}^S \xi(n+s) \xi^H(n+s) \quad \dots (5)$$

【数6】

$$\xi(n) = [\xi_1(n), \xi_2(n), \dots, \xi_k(n)]^T \quad \dots (6) \quad 30$$

【0099】

なお、式(5)において、アンサンブル平均数 N は、対象スナップショットにおける (n) の前後 S サンプルずつの合計 $N=2S+1$ 点として、式(5)の最右辺のように一様平均とすることができる。また、時間方向の平均化の仕方はその他にも、台形重みなど、時間方向各サンプルに任意の重みを乗算してから加算平均を取る方法をとってもよい。行列演算部300から出力された空間共分散行列 $R(n)$ は、次に適応ビームステアリング部301に入力される。

【0100】

空間共分散行列 $R(n)$ を受け取った適応ビームステアリング部301では、MVDR法を用いて重みベクトル $w_p(n)$ を計算する。ヌル角度計算部501から指定されたステアリングベクトル a_p は式(7)で表される。

10

20

30

40

【数7】

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_p &= \left[\exp\{\psi_1(\theta_p, \phi_p, f_p)\}, \exp\{\psi_2(\theta_p, \phi_p, f_p)\}, \dots, \exp\{\psi_K(\theta_p, \phi_p, f_p)\} \right] \\ &= \left[1, \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda_p} d \sin \theta_p\right), \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda_p} \cdot 2d \sin \theta_p\right), \dots, \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda_p} (K-1)d \sin \theta_p\right) \right] \\ &\dots (7) \end{aligned}$$

10

【0101】

上式(7)において、 p はステアリングベクトルの本数であり、総数 P として、 $0 < p < P + 1$ を満たす整数である。式(7)のように、ステアリングベクトル \mathbf{a}_p は、アクティブチャンネルの個数と等しい K 個のベクトル要素($0 \sim (K - 1)$)をもつ方向ベクトルであり、受信周波数 f_p 、および超音波素子105の表面の法線ベクトル方向とステアリングベクトルとのなす角(以下、ステアリング角度と呼ぶ)(θ_p, ϕ_p)の関数で表される。

【0102】

θ_p は、法線ベクトルからの開き角、 ϕ_p は、超音波素子105の配列方向からの旋回角度である。超音波探触子106の超音波素子105の配列が、1次元の直線(リニア)アレイであった場合、ステアリング角度は式(7)の最終式で表される。ここで、 λ_p は周波数 f_p に対応する音波の波長、 d は超音波素子105の素子中心同士の間隔(素子ピッチ)である。

20

【0103】

上記のようなステアリングベクトル \mathbf{a}_p の方向についての、MVDR法による重みベクトル $\mathbf{w}_p(n)$ は、ここでは式(8)により算出される。よって、適応処理部512-1~512-Pでそれぞれ異なるステアリングベクトル \mathbf{a}_p について重みベクトル $\mathbf{w}_p(n)$ を演算することにより、ステアリングベクトル \mathbf{a}_p の本数 P の分だけの適応重みベクトル $\mathbf{w}_1(n) \sim \mathbf{w}_P(n)$ を得ることができる。

【数8】

$$\mathbf{w}_p(n) = \frac{\mathbf{R}^{-1}(n)}{\mathbf{a}_p^H \mathbf{R}^{-1}(n) \mathbf{a}_p} \dots (8)$$

30

【0104】

式(8)において、 $\mathbf{R}(n)$ は、式(5)により生成した、時間方向のあるスナップショット n における空間共分散行列であり、上付き添え字の -1 は逆行列を表す。

【0105】

なお、受信合焦点10はアクティブチャンネル201の中心軸上、すなわち、アクティブチャンネル数が偶数の場合は、アクティブチャンネル201を構成する K 個の超音波素子105のうち $K/2$ 番目と $(K+2)/2$ 番目の素子の間の中点を通る法線(アクティブチャンネル面と直交する法線)上に位置するとする。また、アクティブチャンネル数が奇数の場合は、アクティブチャンネル201を構成する K 個の超音波素子105のうち、 $(K+1)/2$ 番目の超音波素子105の中心を通るような法線(アクティブチャンネル面と直交する法線)上に位置するとする。

40

【0106】

図11には、ステアリング方向の総数 $P = 3$ のケースを示しているため、適応重みベクトル $\mathbf{w}_1(n) \sim \mathbf{w}_P(n)$ が3つの例を示しているが、実際には、ヌル角度計算部501により指定された個数の適応重みベクトルが適応ビームステアリング部301から出力される。

【0107】

50

遅延回路 204 において遅延処理を施しているため、例えばリニアスキャンのある 1 時刻 n の受信データベクトル $x(n)$ は、法線ベクトルの方向である $\theta = 0^\circ$ 方向に波面が揃ったデータとなっている。よって、式 (7) において、 $\theta_p = 0^\circ$ とすると、ステアリングベクトル a_p は、 $a_p = [1, 1, \dots, 1]^T$ であり、焦点方向についての適応重みベクトル $w(n)$ が求められる。焦点方向についての適応重みベクトル $w(n)$ は、従来の MVD R 法による適応重みベクトル $w(n)$ と一致する。

【0108】

適応ビームステアリング部 301 から出力された P 本の適応重みベクトル $w_1(n) \sim w_P(n)$ は、適応合成部 516 に入力される。図 11 のように、適応合成部 516 は、 P 本の適応重みベクトル $w_1(n) \sim w_P(n)$ を重み合成部 306 において加算し、算術平均を取り、式 (9) のように合成重みベクトル $w_{sum}(n)$ を算出する。例えば、図 11 のように $P = 3$ 個の適応重みベクトルの合成重みベクトル $w_{sum}(n)$ は、 $w_{sum}(n) = \{w_1(n) + w_2(n) + w_3(n)\} / 3$ となる。

10

【数 9】

$$w_{sum}(n) = \sum_{p=1}^P w_p(n) = \frac{1}{P} \{w_1(n) + w_2(n) + \dots + w_p(n) + \dots + w_P(n)\} \quad \dots (9)$$

【0109】

なお、この合成重みベクトル $w_{sum}(n)$ を求める前段に、固定アポダイゼーション乗算部 305 を配置し、重みベクトル $w_p(n)$ のそれぞれに対して、固定のアポダイゼーションを乗算してもよい。たとえば、 $\theta = 0^\circ$ 方向の適応重みベクトル $w_p(n)$ の値を大きくし、それ以外の方向は値が小さくなるような、分布を持たせた固定アポダイゼーション b_p を乗算することもでき、これは式 (10) の演算によって実現される。

20

【数 10】

$$w_{sum}(n) = \sum_{p=1}^P b_p w_p(n) = \frac{1}{P} \{b_1 w_1(n) + b_2 w_2(n) + \dots + b_p w_p(n) + \dots + b_P w_P(n)\} \quad \dots (10)$$

【0110】

例えば、図 11 の構成においては、固定アポダイゼーション乗算部 305 において、 b_1, b_2, b_3 の固定アポダイゼーション重みが用意されている。この場合、重み合成部から出力される合成重みは、 $w_{sum}(n) = \{b_1 w_1(n) + b_2 w_2(n) + b_3 w_3(n)\} / 3$ となる。

30

【0111】

次に、合成重みベクトル $w_{sum}(n)$ は、適応合成部 516 内の重み付け演算部 307 に入力される。重み付け演算部 307 は、乗算部 3071 を含み、合成重みベクトル $w_{sum}(n)$ と、遅延回路 204 からパイパス線 207 を通して伝達された遅延後の受信データベクトル $x(n)$ との間の内積演算を式 (11) のように行い、整相出力 $y(n)$ を得る。具体的には、乗算部 3071 で、重みベクトルおよび遅延後受信データベクトルのそれぞれのチャンネル要素間 (1 ~ K) の積を計算する。加算部 3072 は、重み付け演算部 307 の乗算部 3071 で得られた K 個の積の総和を計算し、適応合成部 516 の最終出力 (整相出力 $y(n)$ 、スカラー値) とする。

40

【数 11】

$$y(n) = w_{sum}^H(n) x(n) \quad \dots (11)$$

【0112】

この重み付け演算部 307 の整相出力 $y(n)$ は、画像処理部 109 に出力される。以上の処理を 1 ラスタを構成する N サンプルのうち最初のサンプル $n = 1$ から最終サンプル $n = N$ まで繰り返すことで重み付け演算部 307 は、順次整相出力 $y(1), y(2), \dots, y(N)$ を順次画像処理部 109 に出力する。式 (11) によって得られる 1 ラスタの整相出力 $y(n)$ は、

50

アクティブチャンネル201をアクティブチャンネル202, 203へと超音波素子アレイ101上をシフトさせながら、それぞれ取得される。画像処理部109においては、超音波探触子106の走査方式などに対応したスキャンコンバータにより、全ラスタを並べ2次元画像を生成する。また、各種フィルタ処理等の様々なバックエンド画像処理や計測アプリケーションの演算がなされる。最終的に、画像表示部103に超音波画像や計測アプリケーションの演算結果が表示される。

【0113】

このように、第5の実施形態では、適応整相処理を用いることにより、所望の信号成分Sの低減を抑制しつつ、相関性雑音Nuのより効果的に低減することができるという効果が得られる。

10

【0114】

なお、第5の実施形態において、上述した行列演算部300における演算アルゴリズムの別の手法の一つとして、サブアレイ行列を用いた空間平均演算を行うことも可能である。空間平均演算におけるサブアレイ行列 R_{SUBl} は、式(12)のように、部分空間ベクトル $\xi_l(n)$ (式(13))の積で表される。部分空間ベクトル $\xi_l(n)$ は、アクティブチャンネルK個に対する遅延後受信データ(ここでは一般化された複素信号ベクトル $\xi(n)$)で表記しているが、代わりに実信号ベクトル $x(n)$ でもよい。)のうち、一部(L素子分)の成分を抜き出したベクトルである。よって、部分空間ベクトルの総数は $K - L + 1$ 個($0 < L$ (小文字L) $< K - L + 1$)である。

【0115】

20

【数12】

$$\mathbf{R}_{SUBl}^{\wedge}(n) = \xi_l^{\wedge}(n) \xi_l^{\wedge H}(n) \quad \dots (12)$$

【数13】

$$\xi_l^{\wedge}(n) = [\xi_l^{\wedge}(n), \xi_{l+1}^{\wedge}(n), \dots, \xi_{l+L-1}^{\wedge}(n)]^T \quad \dots (13)$$

【0116】

30

このサブアレイ行列の主対角成分を空間共分散行列 $R(n)$ の主対角成分に一致させて1サンプルずつずらしてゆくと、 $K - L + 1$ 個のサブアレイ行列の空間平均処理となり、式(14)のサブアレイ空間共分散行列 $R^{\wedge}(n)$ が得られる。このサブアレイ空間共分散行列 $R^{\wedge}(n)$ を適応ビームステアリング部301で演算する際に、上記式(8)の $R(n)$ と置き換えて用いることにより、式(15)のように重みベクトル $w_p(n)$ を演算することができる。なお、この場合行列演算部300の出力は $L \times L$ のサイズであり、また、重みベクトル $w_p(n)$ を構成する要素の数はLとなる。

【0117】

【数14】

40

$$\begin{aligned} \mathbf{R}^{\wedge}(n) &= \frac{1}{N(K-L+1)} \sum_{s=-S}^S \sum_{l=1}^{K-L+1} \mathbf{R}_{SUBl}^{\wedge} \quad \dots (14) \\ &= \frac{1}{N(K-L+1)} \sum_{s=-S}^S \sum_{l=1}^{K-L+1} \xi_l^{\wedge}(n) \xi_l^{\wedge H}(n) \end{aligned}$$

【数 15】

$$\mathbf{w}_p(n) = \frac{\mathbf{R}^{\wedge -1}(n)}{\mathbf{a}_p^H \mathbf{R}^{\wedge -1}(n) \mathbf{a}_p} \quad \dots (15)$$

【0118】

また、空間平均法のもう一つの例として、前向き後向き空間平均法を用いてもよい。この場合、後向きのサブアレイ行列 $\tilde{\mathbf{R}}_{\text{SUB}l}(n)$ は、式(16)のように、後向き部分空間ベクトル $\tilde{\xi}_l(n)$ の積で求めることができる。なお、後向き部分空間ベクトルは、式(17)で表される。また、式(18)に示すように、前向き空間平均と同様の演算によって、後向きのサブアレイ空間行列 $\tilde{\mathbf{R}}(n)$ を式(18)のように計算することができる。次に、式(19)のように、前述の前向き空間平均の場合のサブアレイ空間行列 $\mathbf{R}(n)$ と算術平均することによって、最終的に前向き/後向きのサブアレイ空間共分散行列 $\mathbf{R}_{\text{FB}}(n)$ を求めることができる。前向き空間平均の場合と同様、この前向き/後向きのサブアレイ空間共分散行列 $\mathbf{R}_{\text{FB}}(n)$ を、適応ビームステアリング部 301 での演算において式(8)の $\mathbf{R}(n)$ と置き換えて用いることにより、式(20)のように重みベクトル $\mathbf{w}_p(n)$ を演算することができる。なお、この場合もやはり、行列演算部 300 の出力は $L \times L$ のサイズであり、また、重みベクトル $\mathbf{w}_p(n)$ を構成する要素の数は L となる。

10

【0119】

20

【数 16】

$$\tilde{\mathbf{R}}_{\text{SUB}l}(n) = \tilde{\xi}_l(n) \tilde{\xi}_l^H(n) \quad \dots (16)$$

【数 17】

$$\tilde{\xi}_l(n) = [\xi_{K-l-1}(n), \xi_{K-l-2}(n), \dots, \xi_{K-l-K}(n)]^T \quad \dots (17)$$

【数 18】

30

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{R}}(n) &= \frac{1}{N(K-L+1)} \sum_{s=-S}^S \sum_{l=1}^{K-L+1} \tilde{\mathbf{R}}_{\text{SUB}l}(n) \\ &= \frac{1}{N(K-L+1)} \sum_{s=-S}^S \sum_{l=1}^{K-L+1} \tilde{\xi}_l(n) \tilde{\xi}_l^H(n) \quad \dots (18) \end{aligned}$$

【数 19】

$$\mathbf{R}_{\text{FB}}(n) = \frac{\mathbf{R}^{\wedge}(n) + \tilde{\mathbf{R}}(n)}{2} \quad \dots (19)$$

40

【数 20】

$$\mathbf{w}_p(n) = \frac{\mathbf{R}_{\text{FB}}^{-1}(n)}{\mathbf{a}_p^H \mathbf{R}_{\text{FB}}^{-1}(n) \mathbf{a}_p} \quad \dots (20)$$

【0120】

空間平均法を用いて式(15)もしくは式(20)で計算された複数個 (P 個) の重みベクトル \mathbf{w}_p は、空間平均法を用いない場合と同様、適応合成部 516 に伝達される。

【0121】

50

ここで、空間平均法を用いた場合に、重みベクトル w_p の要素数は L である。よって、最終的に内積演算部307での演算を行うためには、 K 個の成分を持つ (n) から L 個の成分を持つベクトル $g(n)$ を作るような演算(式(21))を行うブロックが追加で必要になる。例えば、図11に示すように、バイパス線207の途中であって重み付け演算部307の前段に、次元圧縮部308を配置し、次元圧縮部308が、 K 個の要素を持つ (n) から L 個の要素を持つベクトル $g(n)$ を生成するように構成することができる。なお、次元圧縮部308は、合成部206の内部に配置することも可能である。

【0122】

空間平均法を用いた場合の整相出力 $y(n)$ は式(22)で表される。

【数21】

$$\mathbf{g}(n) = \sum_{l=1}^{K-L+1} \hat{\xi}_l(n) \quad \dots (21)$$

【数22】

$$y(n) = \mathbf{w}_{\text{sum}}^H(n) \mathbf{g}(n) \quad \dots (22)$$

【0123】

このように、行列演算部300において、サブアレイ行列の空間平均処理を行うことにより、超音波受信信号に含まれる相関性の雑音を抑制する効果が得られる。よって、サブアレイ行列の空間平均処理を、焦点の周辺の複数の適応重みベクトルを合成する構成に組み合わせることによって、より雑音の影響の少ない超音波画像を得ることができる。

【0124】

以上、第5の実施形態では、適応ビームフォーミング手法の一例としてMVD Rを例にとって説明したが、適応ビームステアリング部301において適用されるアルゴリズムは、行列演算部300で計算される空間共分散行列を用いるアルゴリズムであればよく、MMS E法やAPES法、空間共分散行列とその固有値・固有ベクトルを利用するEigenspace-MV法(ESMV、EIBM V)、ESPRIT法、MUSIC法など他のいかなる手法でもよい。

【0125】

(第6の実施形態)

第6の実施形態の超音波撮像装置を図12および図13を用いて説明する。第6の実施形態の超音波撮像装置は、第4の実施形態と同様に、整相処理部204の整相信号を用いて実際のヌル角度をヌル角度検出部207が検出する構成であるが、整相処理部204が適応整相処理を行うという点で第4の実施形態とは異なっている。

【0126】

具体的には、図12に示すように、整相処理部204に、遅延回路511と、適応整相部612を備えている。適応整相部612は、 Q 個の適応処理部612-1~612-Qを備えている。遅延回路511は、第5の実施形態と同様の構成および動作である。

【0127】

適応処理部612-1~612-Qは、第4の実施形態と同様に、 \min から \max の角度範囲の Q 個のステアリング方向について整相出力を求める。適応処理部612-1~612-Qは、図13に示すように第5の実施形態の適応処理部512-1~512-Pと同様に、行列演算部300と適応ビームステアリング部301により、それぞれ適応重みベクトル $w_1(n) \sim w_Q(n)$ を求めるだけでなく、適応処理部612-1~612-Qは、それぞれ乗算部3071と加算部3072を含む。適応処理部612-1の乗算部3071は、重みベクトル $w_1(n)$ と、遅延回路511からバイパス線207を通して伝達された遅延後の受信データベクトル $x(n)$ との間の内積演算を行い、加算部3072は、それを加算

10

20

30

40

50

して整相出力 $y_1(n)$ を出力する。同様に、適応処理部612-2~612-Qは、整相出力 $y_2(n) \sim y_Q(n)$ を出力する。なお、固定アポダイゼーション乗算部305を配置し、重みベクトル $w_1(n)$ に対して、固定のアポダイゼーションを乗算してもよい。

【0128】

メモリ部205およびヌル角度検出部207の動作は、第4の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0129】

第6の実施形態では、ステアリング方向について適応整相処理により求めた整相信号を合成するため、波面ひずみに起因する相関性雑音を低減する効果ができる。また、適応整相処理により求めた整相信号を用いてヌル角度を検出するため、ヌル角度の検出精度も高いという効果がある。

10

【0130】

(第7の実施形態)

第7の実施形態の超音波撮像装置を図14を用いて説明する。第7の実施形態は、第4の実施形態の図4の構成と、第6の実施形態の図12の構成とを組み合わせた受信ビームフォーマ108を有する。この受信ビームフォーマ108は、図8の遅延加算によりQ個のステアリング方向について整相信号を得る整相処理部204とその整相信号を格納するメモリ部205を備え、ヌル検出部207は、遅延加算により整相処理されたQ個の整相信号に基づいてヌル角度を検出する。一方、この受信ビームフォーマ108は、図12の適応処理により整相信号を得る整相処理部204'を備え、ヌル角度検出部207により指定されたP個のヌル角度のステアリング方向についてのそれぞれ整相信号 $y_1(n) \sim y_P(n)$ を適応整相部612が適応整相処理により求める。合成部206は、整相信号 $y_1(n) \sim y_P(n)$ を加算して合成し、整相信号 $y(n)$ を求める。

20

【0131】

本実施形態では、遅延加算処理により求めた整相信号により、ヌル角度を検出し、ヌル角度検出部207が指定したステアリング方向についてのみ適応整相処理を行えばよいため、第6の実施形態よりも少ない演算量で、ステアリング方向について適応整相処理により求めた整相信号を合成することができる。よって、少ない演算量で、波面ひずみに起因する相関性雑音の低減効果を高めることができる。

【0132】

なお、図14の適応整相部612および合成部206を、図10の適応整相部512および適応合成部516に置きかえることも可能である。

30

【0133】

(第8の実施形態)

第8の実施形態の超音波撮像装置について図15を用いて説明する。

【0134】

第8の実施形態では、第5の実施形態の図10の受信ビームフォーマ108において開口合成を行う構成である。

【0135】

図15を用いて、本発明の第8の実施形態の超音波撮像装置について具体的に説明する。第3の実施形態と同様に、第8の実施形態では、図15のフレームメモリ部701に、超音波送信ごとに生成されたR本のデータが逐次蓄えられている。フレーム加算部702は、この送信ごとに蓄えられたデータを複数送信間の同一点を見込む角度ごとに加算処理することにより、本発明の2以上のステアリング方向についての整相合成処理と開口合成処理とを同時に行う。開口合成処理を行うことにより、ある撮像点に対し、複数の送信方向から得られた受信データを重ね合わせることが可能になり、高解像度・高SN比・高フレームレートの超音波画像を得ることができる。

40

【0136】

第8の実施形態は、図15のように、第3の実施形態の図7の構成とは、フレームメモリ701の前段の整相処理が異なる。第3の実施形態においては複数の遅延加算部204

50

- 1 ~ 204 - Pが整相合成部113に設けられたが、第8の実施形態においては、整相合成部113が、第5の実施形態の図5の遅延回路511と適応整相部512を備えた整相処理部204をR個備えている。

【0137】

フレームメモリ部701には、R個の整相処理部204が超音波送信ごとに生成した適応整相処理したR本の整相信号が逐次蓄えられる。フレーム加算部702は、ステアリング方向指示部112からの2以上のステアリング方向を合成角度情報として受け取り、指定された2以上のステアリング方向についてのデータをフレームメモリ701から読み出して加算処理する。これにより、開口合成処理と、ヌル方向のデータ加算(2以上のステアリング方向の加算)を同時に行うことができる。

10

【0138】

第8の実施形態では、ステアリング方向について適応整相処理により求めた整相信号を合成するため、第3の実施形態とくらべて、波面ひずみに起因する相関性雑音を低減する効果大きい。また、適応整相処理により求めた整相信号を用いてヌル角度を計算することができるため、ヌル角度の検出精度も高いという効果がある。

【0139】

(第9の実施形態)

第9の実施形態の超音波撮像装置について図16を用いて説明する。

【0140】

第9の実施形態は第5から第8の実施形態における適応合成部の別の実施態様を示すものである。第5から第8の実施形態を通じて、適応合成部の内部は図11で示される第5の実施形態で説明した構成であっても、第9の実施形態の図16の構成であっても良い。

20

【0141】

図11に示した第5の実施形態においては、適応合成部516は、重み合成部306で複数の適応重みベクトル $w_1(n), w_2(n), w_3(n)$ を合成し、得られた合成重み $w_{sum}(n)$ によって遅延後受信データ $x(n)$ の整相加算処理を行う構成であった。この演算は、線形演算であるため、重み合成と整相加算処理の順序を逆にしてもよい。そこで、第9の実施形態の適応合成部206では、図16に示すように、複数の乗算部(3071-1、3071-2、3071-3)と、乗算後の要素(遅延後データ)の和を計算して合成前整相出力を得る複数の加算部3072-1、3072-2、3072-3とを複数の適応重みベクトル $w_1(n), w_2(n), w_3(n)$ ごとに配置している。乗算部3071と加算部3072それぞれ1つずつのセットは、適応重みベクトルごとの内積演算部を一つ構成しており、これらのセットが複数用意されることで、内積演算部307を構成している。乗算部3071-1、3071-2、3071-3それぞれバイパス入力2071、2072、2073により遅延後受信データ $x(n)$ を入力する。内積演算部307の後段に、出力合成部500を配置する。

30

【0142】

このような構成により、内積演算部307において、バイパス入力2071を重みベクトル $w_1(n)$ を用いて整相加算し、バイパス入力2072を重みベクトル $w_2(n)$ を用いて整相加算し、バイパス入力2073を重みベクトル $w_3(n)$ を用いて整相加算することにより、各ステアリングベクトルに対応した合成前の複数の整相出力 $y_1(n), y_2(n), y_3(n)$ を算出する(下式(23))。その後段で出力合成部500において、各ステアリングベクトルに対応した整相出力 $y_1(n), y_2(n), y_3(n)$ の算術平均をとり、式(24)のように、合成整相出力 $y_{sum}(n)$ を得る。

40

【0143】

【数23】

$$y_p(n) = \mathbf{w}_p^H(n) \mathbf{x}(n) \quad \dots (23)$$

【数 2 4】

$$y_{\text{sum}}(n) = \sum_{p=1}^P y_p(n) = \frac{1}{P} \{y_1(n) + y_2(n) + \cdots y_p(n) \cdots + y_P(n)\} \quad \dots (24)$$

【0 1 4 4】

なお、図 1 6 に示すように、本実施形態においても固定アポダイゼーション乗算部 3 0 5 を付加することができる。図 1 6 においては、固定アポダイゼーション乗算部 3 0 5 は、内積演算部 3 0 7 の前段に配置している。しかしながら、固定アポダイゼーション乗算部 3 0 5 の位置は、図 1 6 の位置には限定されない。線形演算であることから明らかなように、内積演算部 3 0 7 と出力合成部 5 0 0 の間に固定アポダイゼーション乗算部 3 0 5 を付加しても、さらには、内積演算部中の乗算部 3 0 7 1 - 1 ~ 3 と加算部 3 0 7 2 - 1 ~ 3 の間に固定アポダイゼーション乗算部 3 0 5 を付加してもよく、どちらの場合も、最終的な合成整相出力 $y_{\text{sum}}(n)$ は式 (2 5) で表すことができる。

【数 2 5】

$$y_{\text{sum}}(n) = \sum_{p=1}^P b_p y_p(n) = \frac{1}{P} \{b_1 y_1(n) + b_2 y_2(n) + \cdots b_p y_p(n) \cdots + b_P y_P(n)\} \quad \dots (25)$$

【0 1 4 5】

以上のように、第 5 の実施形態と第 8 の実施形態は、重みを合成してその後に内積演算を行うか、内積演算後の整相出力を合成するかの違いであるかの違いで実施形態が異なる。その一方で最終的な出力は線形演算のため同一で有り、第 5 の実施形態の最終的な整相出力である (2 2) 式の $y(n)$ と、第 8 の実施形態の最終的な合成整相出力 $y_{\text{sum}}(n)$ は等しい値となる。

【0 1 4 6】

(第 9 の実施形態)

図 1 7 に第 1 ~ 第 8 の超音波撮像装置のコンソール 1 1 0 の一例を示す。上述してきた実施形態を実現するため、超音波診断装置のコンソール 1 1 0 に、ステアリング方向の本数などを変更するための操作部として、目盛りをともなつたつまみ部 1 0 0 1, 1 0 0 2 等を配置することができる。また、上述の各実施形態で説明したヌル角度を計算で求めるか、検出するか等のモードの切り替えなどを行うための操作部として、スイッチ部 1 0 0 4 をコンソール 1 1 0 に配置できる。これによって、操作者は実際の超音波画像を見ながら、整相合成処理の各種パラメータを変更し、被検体 1 0 0 ごとに最適な条件で撮像や診断を行うことができる。また、設定した値を画像表示部 1 0 3 の表示領域の一部 1 1 0 4 に表示する構成にすることもできる。

【0 1 4 7】

また、コンソールのモードの切り替え部は、異なる探触子での切り替えや、撮像条件、撮像シーケンスに対応して切り替えられるようになっていても良い。例えば、リニア探触子、コンベックス探触子、セクタ探触子、2 次元アレイ探触子、機械式 3 D 撮像探触子、などの探触子に対応して異なるステアリング方向のセットを適用して画像を生成することが出来るようなモードを切り替えられるような切り替え部であっても、また、例えば、送信・受信フォーカス、送信/受信周波数、フレームレート、パラレルビームフォーミング本数、組織ハーモニックス、造影コントラストなどの撮像条件、撮像シーケンスごとに異なるステアリング方向のセットを適用して画像を生成することが出来るような切り替え部であってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 8 】

図 1 8 には本発明の超音波診断装置の別の具体例のコンソール 1 1 0 と、画像表示部 1 0 3 の斜視図を示す。図 1 8 の構成では、術者は通常の超音波画像（本発明の合成処理を行っていない画像） 1 0 3 を参照しながら、特定の ROI（関心領域） 1 1 0 1 を設定するための手動的な操作部 1 1 0 3（例えばマウス）が用意されている。これにより、術者は特定の ROI 1 1 0 1 についてのみ、本発明の各実施形態の処理を施した画像 1 1 0 2 を生成することができる。また、本発明の処理を施した画像 1 1 0 2 は、画像表示部 1 0 3 の別領域に表示することも可能である。

【 0 1 4 9 】

また、術者が手動的な操作部 1 1 0 3 により、撮像条件のパラメータを設定することができる構成とすることも可能である。

10

【 0 1 5 0 】

（実施形態の効果の具体例）

図 1 9 に、第 4 の実施形態の図 8 の遅延加算処理を行う整相処理部 2 0 4 の整相信号のプロファイルを示す。図 1 9 は、ステアリング角度 を横軸に、深さを縦軸に取った 2 次元マップ 1 2 0 1 である。図 1 9 中の点線 1 2 0 2 は、第 2 の実施形態の図 5 の構成により、ヌル角度計算部 5 0 1 が超音波素子 1 0 5 のピッチ・周波数等から算出した送受信ビームのヌル角度を示す。実線 1 2 0 3 は、第 4 の実施形態の図 8 のヌル角度検出部 2 0 7 が検出したヌル角度（極小点）のトレースであり、実際に超音波を被検体に照射した場合のヌル角度を示している。

20

【 0 1 5 1 】

図 1 9 を見ると明らかなように、計算により決定されるヌル角度と、実際に超音波を照射して検出したヌル角度には、ずれが生じていることがわかる。

【 0 1 5 2 】

図 2 0 は、図 1 9 の異なる 3 つの深さについて、第 4 の実施形態の整相処理部 2 0 4 の整相信号の出力の大きさをステアリング角度 方向に示したものである。すなわち、図 2 0 は、異なる 3 つの深さについての指向性を示している。図 2 0 を見ると明らかなように、それぞれのラインプロファイル 1 3 0 1、1 3 0 2、1 3 0 3 上に見られる極小値の位置 1 3 0 4、1 3 0 5、1 3 0 6 は異なっている。

【 0 1 5 3 】

図 1 9、図 2 0 より、第 5 の実施形態等のように、ヌル角度検出部 2 0 7 によりヌル検出を行うことにより、正確なヌル角度の方向にステアリング方向を設定することができるため、相関性雑音の低減効果の向上が期待できることがわかる。

30

【 0 1 5 4 】

図 2 1 に、第 6 の実施形態の図 1 2 の適応整相処理を行う整相処理部 2 0 4 の整相信号のプロファイルを示す。図 2 1 中の点線 1 2 0 2 は、第 2 の実施形態の図 5 の構成により、ヌル角度計算部 5 0 1 が超音波素子 1 0 5 のピッチ・周波数等から算出した送受信ビームのヌル角度を示す。実線 1 4 0 3 は、第 6 の実施形態の図 1 2 のヌル角度検出部 2 0 7 が検出したヌル角度（極小点）のトレースであり、実際に超音波を被検体に照射した場合のヌル角度を示している。

40

【 0 1 5 5 】

図 2 2 は、図 2 1 の異なる 3 つの深さについて、第 6 の実施形態の整相処理部 2 0 4 の整相信号の出力の大きさをステアリング角度 方向に示したものである。図 2 2 を見ると明らかなように、それぞれのラインプロファイル 1 5 0 1、1 5 0 2、1 5 0 3 上に見られる極小値の位置 1 5 0 4、1 5 0 5、1 5 0 6 は異なっている。

【 0 1 5 6 】

図 2 1、図 2 2 より、適応整相処理を行う場合についても第 6 の実施形態等のように、ヌル角度検出部 2 0 7 によりヌル検出を行うことにより、正確なヌル角度の方向にステアリング方向を設定することができるため、相関性雑音の低減効果の向上が期待できることがわかる。

50

【 0 1 5 7 】

最後に図 2 3 を用いて、本発明のヌル検出の効果を示す。図 2 3 (a)、(b) は、第 6 の実施形態の適応整相処理によりヌル角度を検出する図 1 2 の超音波撮像装置により、異なる被検体を対象に超音波を照射したときのある深さにおけるステアリング方向 についての画像コントラスト 1 6 0 1、1 6 0 2 のプロファイルを示している。図 2 3 (a)、(b) において、点線 1 6 0 3、1 6 0 4 は、それぞれ、ヌル角度検出部 2 0 7 が検出したヌル角度を示している。ヌル角度 1 6 0 3 と 1 6 0 4 の角度は、異なっており、ヌル角度は、被検体によって異なることがわかる。

【 0 1 5 8 】

図 2 3 (a)、(b) のラインプロファイル 1 6 0 1、1 6 0 2 を見ると、ちょうどヌル角度の方向において画像コントラストが最大になっていることがわかる。ヌル角度の画像コントラストは、他のステアリング角度と比べて 5-6 d B 高い画像コントラストが得られている。これらのことから、第 6 の実施形態のようにヌル角度を検出して、左右のヌル角度の方向をステアリング方向に設定して、整相信号を合成することにより、ノイズを低減し、画像コントラストを顕著に向上させることができることが示されている。

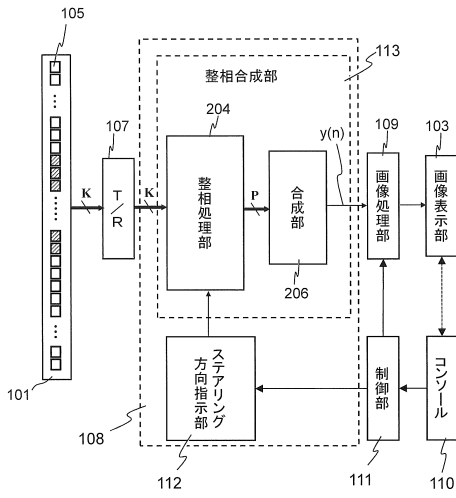
【 符号の説明 】

【 0 1 5 9 】

1 0 0	被検体	
1 0 1	超音波素子アレイ	
1 0 2	装置本体	20
1 0 3	画像表示部	
1 0 4	送信ビームフォーマ	
1 0 6	超音波探触子	
1 0 7	送受信分離回路 (T / R)	
1 0 8	受信ビームフォーマ	
1 0 9	画像処理部	
1 1 0	コンソール	
1 1 1	制御部	
2 0 4	整相処理部	
2 0 5	メモリ部	30
2 0 6	周辺情報合成部	
2 0 7	ヌル角度検出部	
3 0 1	適応ビームステアリング部	
5 0 1	ヌル角度計算部	
7 0 1	チャンネルメモリ	
7 0 2	フレーム加算部	
1 0 0 1、1 0 0 2	つまみ部	

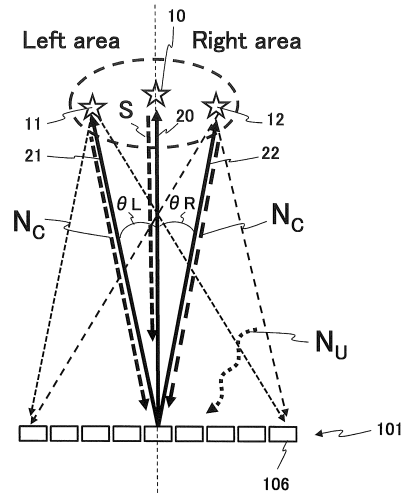
【図1】

図1



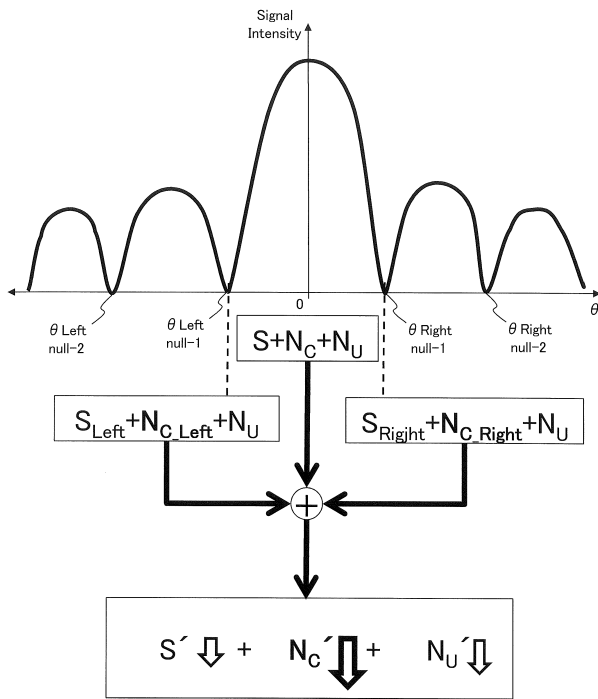
【図2】

図2



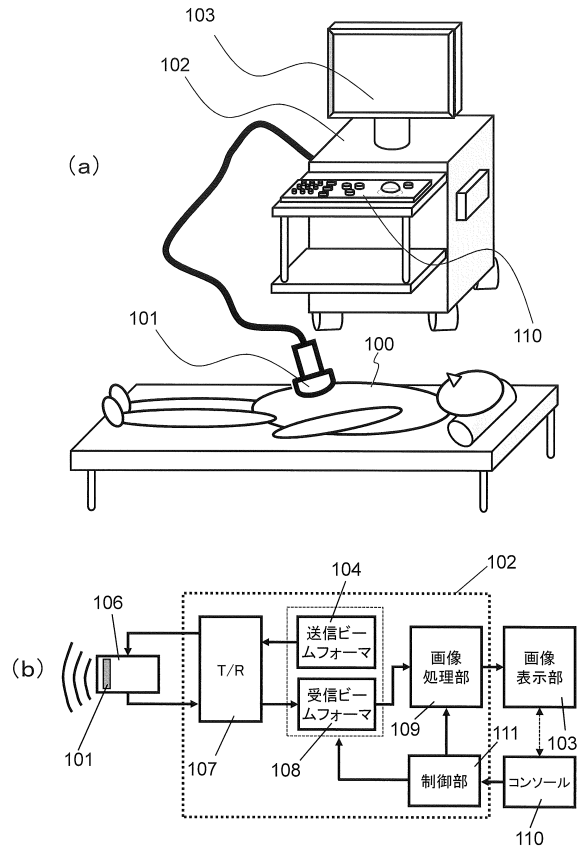
【図3】

図3

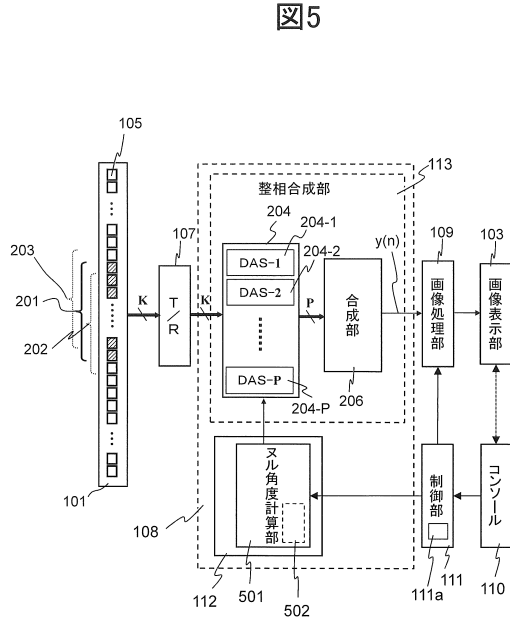


【図4】

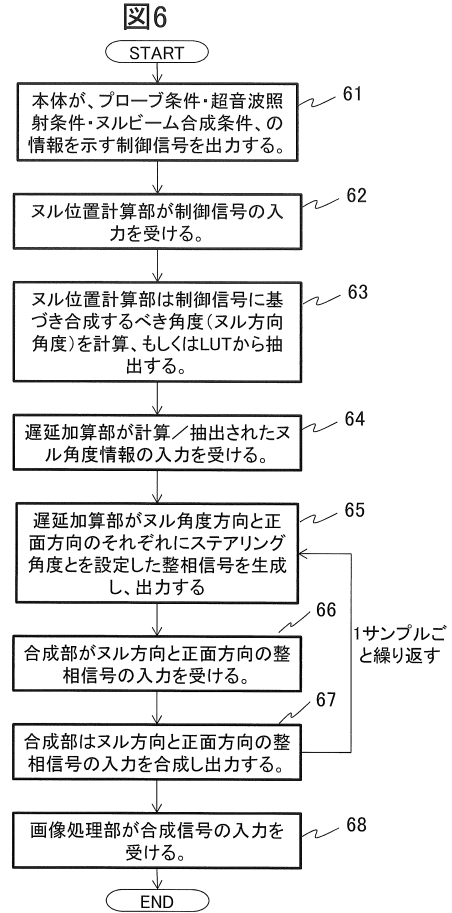
図4



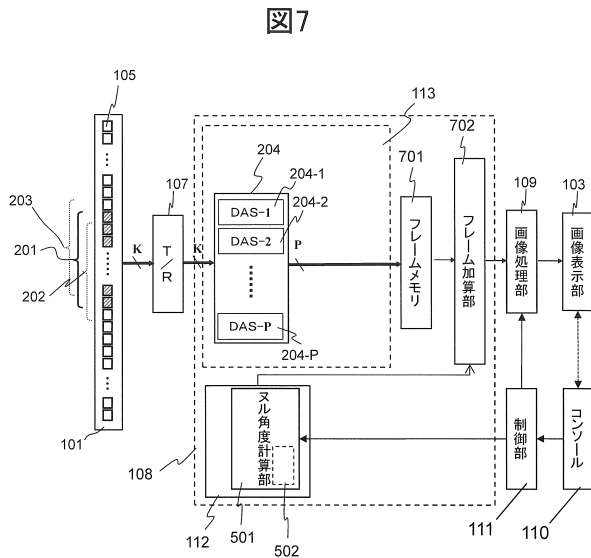
【図5】



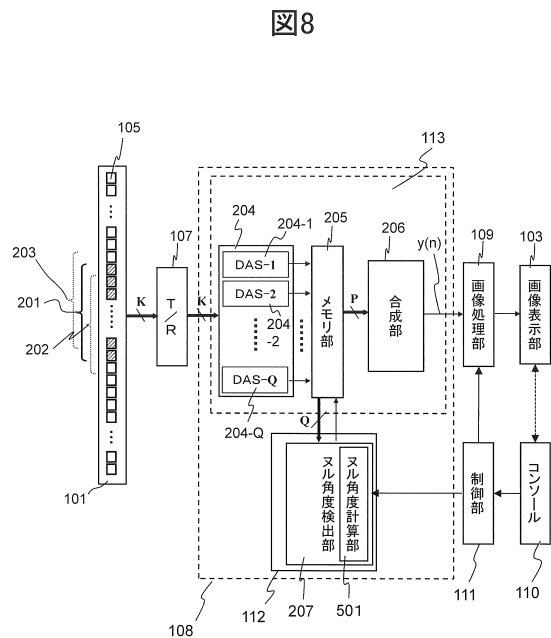
【図6】



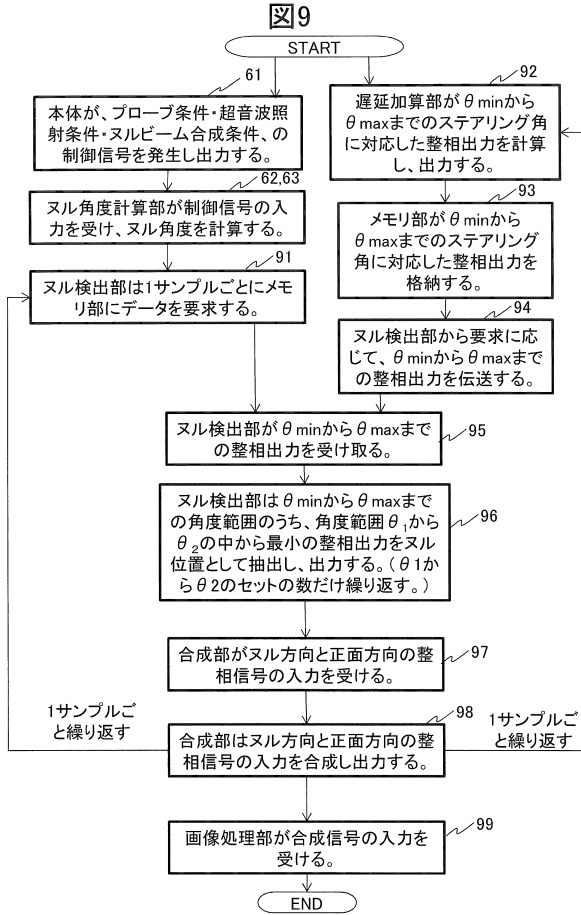
【図7】



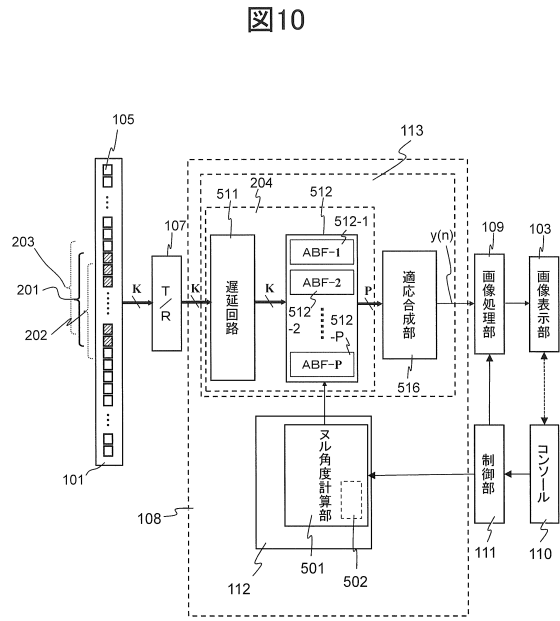
【図8】



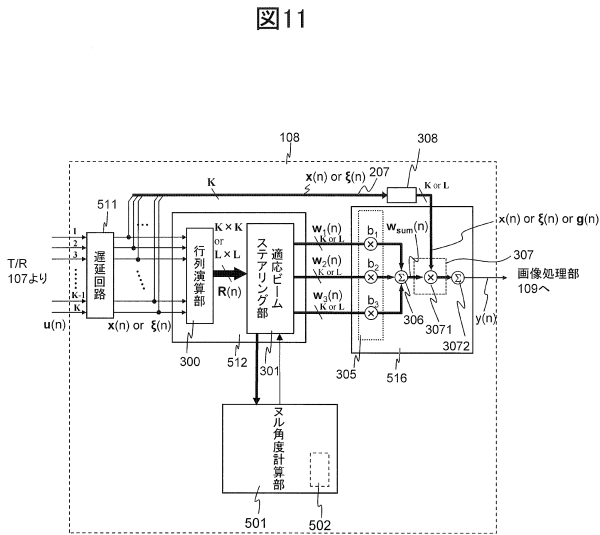
【図9】



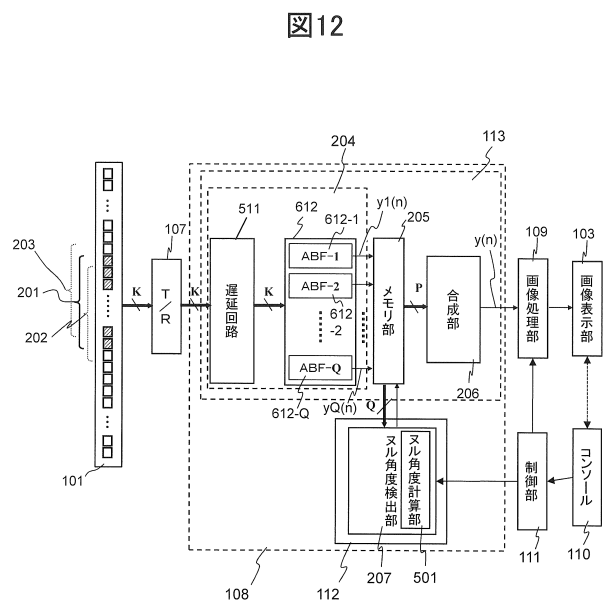
【図10】



【図11】

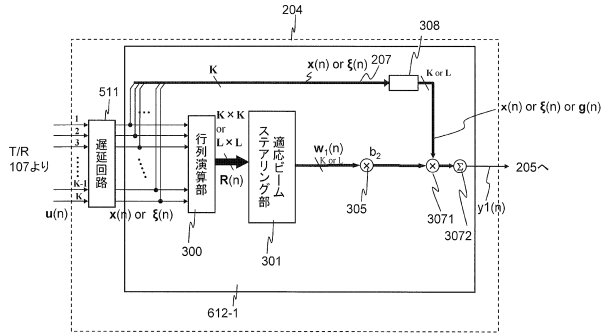


【図12】



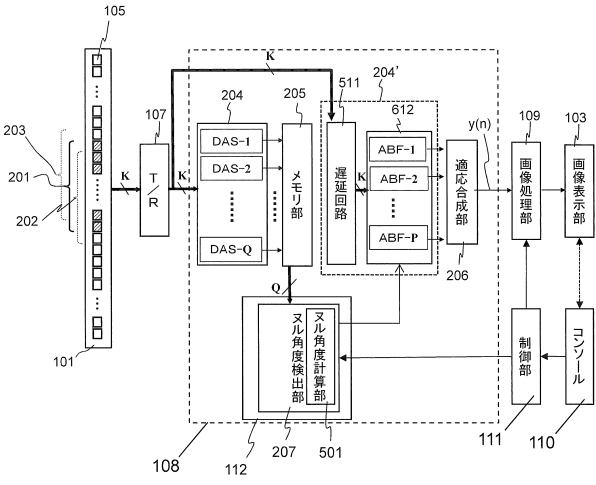
【図13】

図13



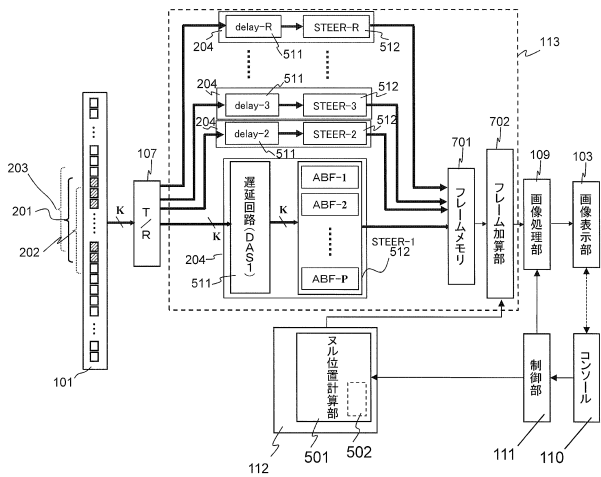
【図14】

図14



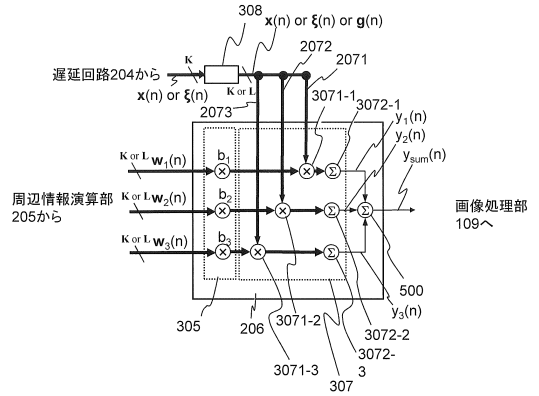
【図15】

図15



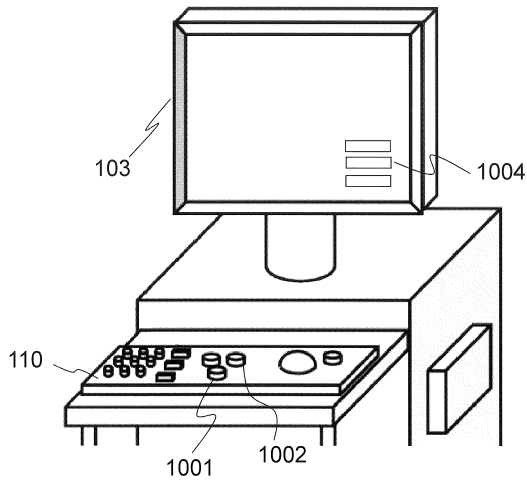
【図16】

図16



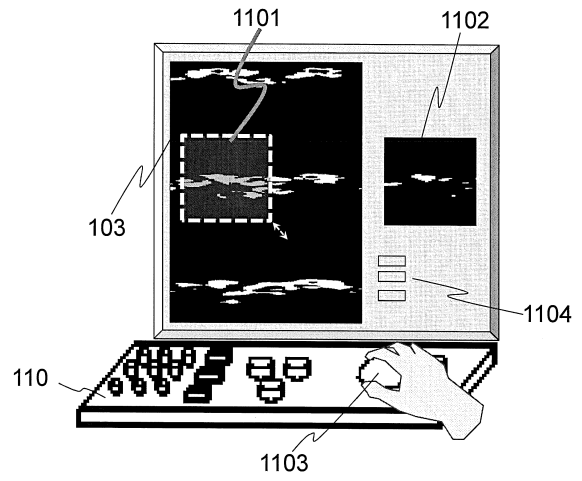
【図17】

図17



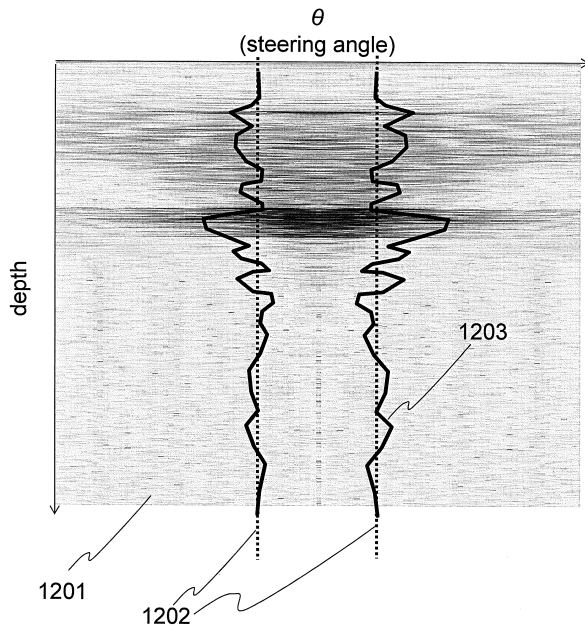
【図18】

図18



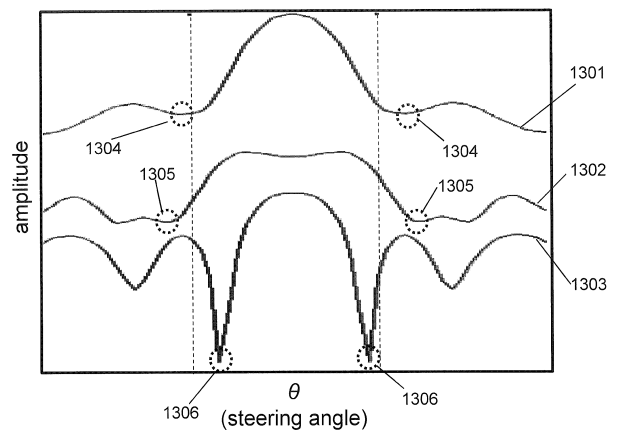
【図19】

図19

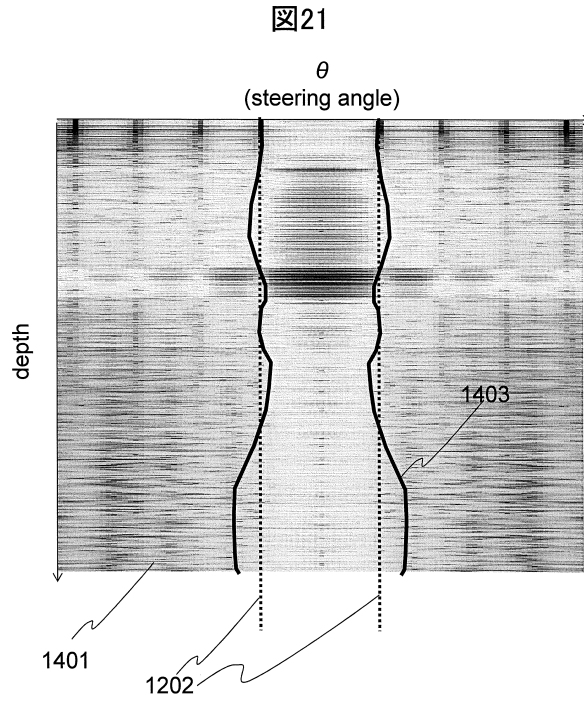


【図20】

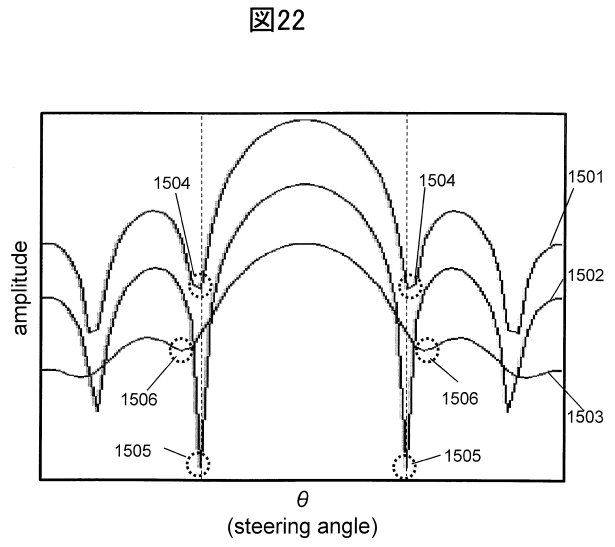
図20



【 図 2 1 】

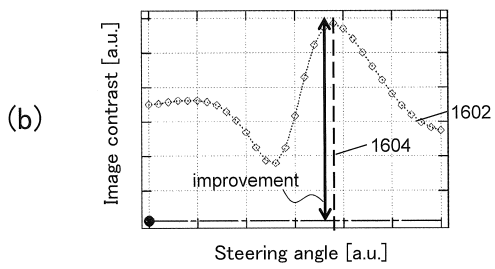
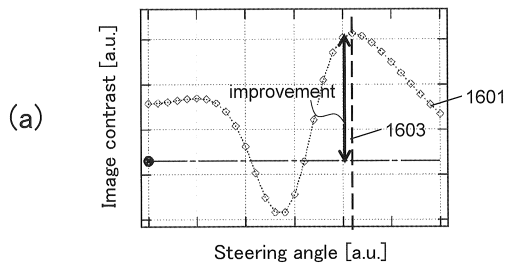


【 図 2 2 】



【 図 2 3 】

図23



フロントページの続き

(72)発明者 石原 千鶴枝
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 永田 浩司

(56)参考文献 特開平08-140969(JP,A)
特開2009-219511(JP,A)
特開2010-158374(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0004540(US,A1)
社団法人 日本電子機械工業会,改訂 医用超音波機器ハンドブック,日本,コロナ社,1997年 1月20日,p.91-109

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
A61B 8/00 - 8/15

专利名称(译)	超声成像设备		
公开(公告)号	JP6189867B2	公开(公告)日	2017-08-30
申请号	JP2014556453	申请日	2014-01-10
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
当前申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	池田 貞一郎 鱒沢 裕 高野 慎太 石原 千鶴枝		
发明人	池田 貞一郎 鱒沢 裕 高野 慎太 石原 千鶴枝		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/00 A61B8/4461 A61B8/4488 A61B8/5207 G01N29/262 G01S7/52049 G01S15/8915 A61B8/145 A61B8/4494 A61B8/5269 G01S7/52085		
FI分类号	A61B8/14		
审查员(译)	永田浩二		
优先权	2013003863 2013-01-11 JP		
其他公开文献	JPWO2014109392A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

提供一种超声波成像设备，其能够补偿由测试对象介质的不均匀性导致的图像质量的劣化。接收波束形成器108在针对两个或更多个转向方向中的每一个执行由超声波元件阵列105接收的信号相位处理之后执行合成。两个或更多个转向方向由转向方向指令单元112指示。两个或更多个转向方向包括两个方向，每个方向相对于沿着超声元件的接收焦点的方向在左右形成预定角度。数组方向的数组。预定角度优选为零角度。

(19) 日本国特許庁 (JP)	(12) 特許公報 (B2)	(11) 特許番号 特許第6189867号 (P6189867)
(45) 発行日 平成29年8月30日 (2017. 8. 30)	(24) 登録日 平成29年8月10日 (2017. 8. 10)	
(51) Int. Cl. A61B 8/14 (2006.01)	F 1 A61B 8/14	
請求項の数 11 (全 34 頁)		
(21) 出願番号 特願2014-556453 (P2014-556453)	(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所	
(86) (22) 出願日 平成26年1月10日 (2014. 1. 10)	東京都千代田区丸の内一丁目6番6号	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2014/050344	(74) 代理人 110000888 特許業務法人 山王坂特許事務所	
(87) 国際公開番号 W02014/109392	(72) 発明者 池田 貞一郎 株式会社日立製作所内	
(87) 国際公開日 平成26年7月17日 (2014. 7. 17)	(72) 発明者 鱒沢 裕 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内	
審査請求日 平成27年7月8日 (2015. 7. 8)	(72) 発明者 高野 慎太 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内	
(31) 優先権主張番号 特願2013-3863 (P2013-3863)		
(32) 優先日 平成25年1月11日 (2013. 1. 11)		
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)		

(54) 【発明の名称】 超音波撮像装置

最終頁に続く