

(11) 特許出願公開番号

特開2016-198119

(P2016-198119A)

(43) 公開日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(51) Int. Cl.
A 61 B 8/00 (2006.01)

F 1
A 6 1 B 8/00

テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2013-171569 (P2013-171569)
(22) 出願日 平成25年8月21日 (2013. 8. 21)

(71) 出願人 390029791
日立アロカメディカル株式会社
東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号

(74) 代理人 110000888
特許業務法人 山王坂特許事務所

(72) 発明者 池田 貞一郎
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所 中央研究所内

(72) 発明者 鱒沢 裕
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所 中央研究所内

(72) 発明者 高野 慎太
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所 中央研究所内

[最終頁に続く](#)

(54) 【発明の名称】 超音波撮像装置

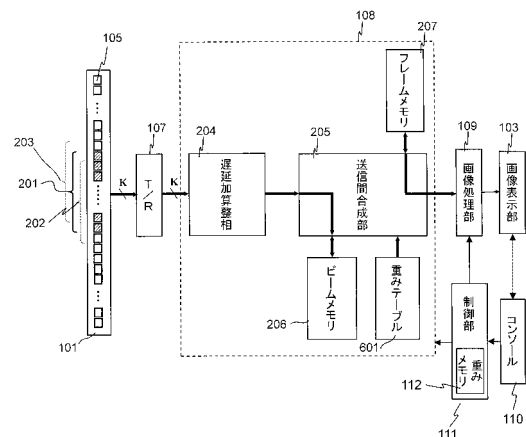
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】開口合成処理において、送信間における受信信号のばらつきを低減し、高精度の画像を得る超音波撮像装置の提供。

【解決手段】開口合成処理を行う受信ビームフォーマ108は、1送信ごとの受信信号を1以上の受信焦点のそれぞれについて遅延および加算して整相する遅延加算整相部204と、遅延加算整相部204による受信焦点ごとの遅延整相データを送信ごとに格納するビームメモリ206と、ビームメモリに格納された送信ごとの遅延整相データのうち同一の受信焦点についての遅延整相データを読み出して合成する送信間合成部205とを備えている。送信間合成部205では、同一の受信焦点についての送信ごとの遅延整相データにそれぞれ重み係数で重み付けした後、合成する。

【選択図】 図1

图 1



【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、前記複数の超音波素子の少なくとも一部から超音波を送信させる送信ビームフォーマと、被検体からの超音波を受信した前記複数の超音波素子の出力する受信信号を整相する受信ビームフォーマと、前記受信ビームフォーマ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とを有し、

前記受信ビームフォーマは、開口合成処理を行うビームフォーマであり、1 送信ごとの前記受信信号を 1 以上の受信焦点のそれぞれについて遅延および加算して整相する遅延加算整相部と、前記遅延加算整相部による前記受信焦点ごとの前記遅延整相データを送信ごとに格納するビームメモリと、前記ビームメモリに格納された送信ごとの前記遅延整相データのうち同一の前記受信焦点についての遅延整相データを読み出して合成する送信間合成部とを有し、

前記送信間合成部では、同一の前記受信焦点についての送信ごとの遅延整相データをそれぞれ重み係数で重み付けした後、合成す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、あらかじめ定められた重み係数を格納した重みメモリをさらに有し、前記送信間合成部は、前記重みメモリから前記重み係数を読み出して重み付けに用いることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数の書き換えを受け付けるためのポートをさらに有することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数を演算により求める重み係数演算部をさらに有し、前記重み係数演算部は、前記ポートを介して前記重みメモリに接続され、前記重みメモリに格納されている前記重み係数を、演算により求めた重み係数に書き換えることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数演算部は、送信ごとの前記遅延整相データを用いて前記重み係数を演算することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数演算部は、送信ごとの前記遅延整相データを用いて前記重み係数を演算することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数演算部は、送信ごとの前記遅延整相データを適応処理することにより、前記重み係数として適応重みを求め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、送信ごとの前記遅延整相データを用いて前記重み係数を演算する重み係数演算部をさらに有することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の超音波撮像装置において、前記重み係数演算部は、送信ごとの前記遅延整相データを適応処理することにより、前記重み係数として適応重みを求めることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 10】

請求項 8 または 9 に記載の超音波撮像装置において、送信ごとの前記遅延整相データを縮退させる縮退部を有し、前記重み係数演算部は、前記縮退部が縮退させた前記遅延整相データを用いて前記重み係数を演算することを特徴とする超音波撮像装置。

【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。

【0003】

超音波撮像装置によ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、開口部のエッジによる超音波の回折の影響を受け、方位角方向の分解能を向上させることが難しい。この問題は、無限に長いアレイを用意できれば解決できるが、現実的には実現は困難である。そのため近年では、方位角方向の分解能向上のために、チャンネルドメイン整相技術の検討が盛んに行われており、適応ビームフォーマや、開口合成などの新しい整相方式が盛んに報告されている。

【0004】

開口合成を簡単に説明する。まず、超音波探触子を構成する複数素子の受信信号にそれぞれ遅延時間を与えることにより、仮想的にある点について焦点を合わせた後、加算して得た整相信号を得る。この整相信号と同一点について他の1以上の送受信で得た整相信号とを合成し、重ね合わせることで開口合成を行う。

【0005】

開口合成は、ある点に対して異なる方向から超音波探触子が送受信して得た整相信号を重ね合わせることができ、点像の高解像度化、不均質に対する頑健性などを付与することが期待される。さらには、重ね合わせ処理により処理利得が向上するため、超音波の送信回数を通常よりも間引いた送信が可能となり、高速撮像にも応用できる。

【0006】

特許文献1の発明は、ハードウェアの増加やフレームレートの低下を回避しつつ、多方向から撮影した場合と同等の断層像を得ることを目的としている。特許文献1では、複数の超音波素子の受信信号のうち強度が最も大きな信号の超音波素子の位置から、超音波の主反射角を求め、主反射角を中心に受信信号を重み付けした後加算して整相する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2004-215987号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明においては、これまでの開口合成方式がもつ以下の二つの課題を解決する。

【0009】

第一の課題は、開口合成が複数の送信ごとに得た受信信号の整相信号を合成する、すなわち送信間で整相信号の合成を行うため、受信信号に含まれるシステム雑音等のシステム（機器）に起因する誤差が送信間でばらつく場合、その影響を大きく受けることである。発明者は、システムに起因する受信信号の誤差の送信間でのばらつきが、開口合成で超音波画像を生成する際に無視できない画像の誤差となることを見いだした。システムに起因する誤差の送信間でのばらつきは、装置個体によって異なり、また同じ装置においても、プローブの経年劣化、アナログ送受信回路の不具合などによって変化する。よって、複数送信間という時間方向の受信信号の誤差解消技術を用意する必要がある。

【0010】

第二の課題は、高速撮像のために、超音波の送信回数を通常よりも間引いた送信を行う場合、送信した超音波の照射領域の送信間の重なりが少なくなるため、開口合成を行った

10

20

30

40

50

場合に、ブロッキングノイズが生じることである。この問題は、拡散送信よりも集束送信の方が、送信焦点付近で照射領域が狭まるため顕著であり、焦点付近でX字型のブロッキングアーチファクトが生じる。この課題も、本質的には第一の課題と同じように、送信間での受信信号のばらつきを低減することで解消することが可能である。

【0011】

これら第一および第二の課題は、送信間で合成を行わず、一送信ごとの受信信号で画像を生成する方法では顕在化してこなかった。なぜならば、チャンネル方向に受信信号を加算処理することにより、たとえ送受信のシステムに起因する誤差により送信間で受信信号のばらつきが発生していたとしても、最終的に超音波画像の中でその影響が現れてこないためである。

10

【0012】

特許文献1に開示されている技術は、複数素子の受信信号ごとに重み付けをして加算することにより整相するものであり、複数送信間で整相後信号を加算する開口合成処理は行っていない。

【0013】

本発明の目的は、開口合成処理において、送信間における受信信号のばらつきを低減し、高精度の画像を得ることにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の超音波撮像装置は、開口合成処理を行う受信ビームフォーマを有し、受信ビームフォーマは、1送信ごとの前記受信信号を1以上の受信焦点のそれぞれについて遅延および加算して整相する遅延加算整相部と、遅延加算整相部による受信焦点ごとの遅延整相データを送信ごとに格納するビームメモリと、ビームメモリに格納された送信ごとの遅延整相データのうち同一の受信焦点についての遅延整相データを読み出して合成する送信間合成部とを備えている。

20

【0015】

送信間合成部では、同一の受信焦点についての送信ごとの遅延整相データにそれぞれの重み係数をかけて重み付けした後、合成する。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、開口合成処理において、送信間における受信信号のばらつきを重み付けにより低減することができるため、高精度の画像が得られる。

30

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】第1の実施形態の超音波撮像装置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の実施形態の超音波撮像装置の(a)斜視図、(b)ブロック図。

【図3】図1の遅延加算整相部204の処理を説明するための説明図。

【図4】(a)図1のビームメモリ206の遅延整相データを説明する説明図、(b)送信間合成部205が送信ごとの同一の受信焦点の遅延整相データを重み付け係数でそれぞれを重み付けする処理を示す説明図、(c)開口合成画像の走査線を示す説明図。

40

【図5】(a)開口合成画像の走査線を示す説明図、(b)重みテーブル601の構造を示す説明図、(c)比較例の重みテーブルの構造を示す説明図。

【図6】第1の実施形態の超音波撮像装置の動作を示すフローチャート。

【図7】(a)送信ごとの遅延整相データの信号値のばらつきを示すグラフ、(b)送信ごとの重み係数を示すグラフ、(c)重み付け後の遅延整相データの信号値のばらつきを送信ごとに示すグラフ。

【図8】超音波撮像装置の送信ビームの重なりを(a)拡散送信の低速撮像、(b)拡散送信の高速撮像、(c)フォーカス送信の低速撮像、(d)フォーカス送信の高速撮像の場合についてそれぞれ示す説明図。

50

【図 9】第 2 の実施形態の超音波撮像装置の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図 10】第 2 の実施形態の超音波撮像装置の斜視図。

【図 11】第 2 の実施形態の超音波撮像装置の動作を示すフローチャート。

【図 12】第 3 の実施形態の超音波撮像装置の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図 13】第 3 の実施形態の超音波撮像装置の斜視図。

【図 14】第 4 の実施形態の超音波撮像装置の受信ビームフォーマの構成を示すブロック図。

【図 15】第 4 の実施形態の超音波撮像装置の動作を示すフローチャート。

【図 16】第 5 の実施形態の超音波撮像装置の受信ビームフォーマの一部構成を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明の一実施形態の超音波撮像装置について説明する。

【0019】

(第 1 の実施形態)

第 1 の実施形態の超音波撮像装置について、図 1、図 2 (a)、(b) を用いて説明する。図 1 は、装置の一部のブロック図、図 2 (a) は装置の斜視図、図 2 (b) は装置全体の概略構成を示すブロック図である。

【0020】

図 1 および図 2 (a)、(b) に示すように、第 1 の実施形態の超音波撮像装置は、所定の方向に沿って複数の超音波素子 105 を配列した超音波素子アレイ 101 と、複数の超音波素子 105 の少なくとも一部 (201, 202, 203) から超音波を送信させる送信ビームフォーマ 104 と、被検体 100 からの超音波を受信した複数の超音波素子 105 の出力する受信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。

【0021】

受信ビームフォーマ 108 は、開口合成処理を行うビームフォーマである。図 1 のように、受信ビームフォーマ 108 は、1 送信ごとの受信信号を 1 以上の受信焦点のそれぞれについて遅延および加算して整相する遅延加算整相部 204 と、遅延加算整相部 204 による受信焦点ごとの遅延整相データを送信ごとに格納するビームメモリ 206 と、ビームメモリ 206 に格納された送信ごとの遅延整相データのうち同一の受信焦点について遅延整相データを読み出して合成する送信間合成部 205 とを備えている。

【0022】

送信間合成部 205 では、同一の受信焦点についての送信ごとの遅延整相データにそれぞれの重み係数をかけて重み付けした後、合成する。これにより、システム (装置の機器) に起因する誤差が送信間でばらつくことにより、遅延整相データに誤差が生じ、開口合成後の信号に無視できない誤差を生じることが抑制することができる。よって、解像度の高い超音波画像を開口合成により得ることができる。また、超音波の送信回数を通常よりも間引いて高速撮像を行う場合に、送信間の照射領域の重なりが少なくても、開口合成により生じるアーチファクトを防止し、解像度の高い超音波画像を得ることができる。

【0023】

超音波撮像装置は、あらかじめ定められた重み係数を格納した重みメモリ 112 を備える構成とすることができる。これにより、送信間合成部 205 は、重みメモリから重み係数を読み出して重み付けに用いることが可能になる。

【0024】

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。

【0025】

図 1 および図 2 (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。

【0026】

図2(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2(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。重みメモリ112は、制御部111内に配置されている。

【0027】

受信ビームフォーマ108は、図1のように、上述の遅延加算整相部204、ビームメモリ206、送信間合成部205の他に、演算に用いる重み係数を重みメモリ112から一時的に取り込んで格納する重みテーブル601と、フレームメモリ207とを備えている。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。

【0028】

図2(b)の送信ビームフォーマ104は、超音波の送信ビームを生成するための送信ビーム用信号を生成する。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にそれぞれ送信ビーム用信号を受け渡す。超音波素子105は、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。

【0029】

遅延加算整相部204が行う整相処理を図3を用いて説明する。遅延加算整相部204は、送信ビームフォーマ104による一回の超音波の送信に対して超音波素子105が受信する受信データから、複数の受信ビーム(beam #1~beam #M)を並列処理により生成する。本実施形態では、受信ビームとは、深さ方向に直線的に並べられた複数の受信焦点の集合を言う。明細書中および図面中において#は、番号(No.)を意味する符号として用いている。一般的には、受信ビーム(受信焦点の集合)の本数は、送信ビームの中心付近の1本、または、中心付近の2~8本程度の数だけ形成される(パラレルビームフォーミング)。しかしながら、これらの本数に限定されるものではなく、超音波素子アレイ101の指向角10内に、何本形成してよい。指向角10(例えば90°)内に、32本、64本、128本等の受信ビームを並列に生成しても良い。

【0030】

ここでは一例として、超音波素子アレイ101の中心を時刻ゼロとした場合の遅延法を用いて、遅延加算整相部204が受信ビームを生成する場合について説明する。なお、送信焦点位置を時刻ゼロとするような遅延法(仮想音源法)を用いて受信ビームを生成しても良い。

【0031】

図3において2番目の受信ビーム(beam #2)の受信焦点11aについて受信信号を整相する場合、遅延加算整相部204が超音波素子アレイ101のアクティブチャンネルの超音波素子105の受信信号のそれぞれに、図3に示す遅延カーブ12aで表される遅延時間を適用して遅延させる。同様に、受信焦点11bについて受信信号を整相する場合には、遅延カーブ12bで表される遅延時間を適用して受信信号を遅延させる。また、m番目の受信ビーム(beam #m)の上の受信焦点13a、13bについて整相を行う場合には、それぞれ図3の遅延カーブ14a、14bで表される遅延時間を適用して受信信号を遅延させる。

【0032】

遅延加算整相部204は、受信信号をそれぞれ遅延させた後、加算する。これにより、一つの受信焦点について遅延整相データが得られる。この演算を受信ビーム上に設定した全ての受信焦点について行うことにより、一つの受信ビームについて、遅延整相データの集合が得られる。

【0033】

この演算を、M本の受信ビーム (beam #1~beam # M) 上の全ての受信焦点について行うことにより、扇形領域15の受信焦点の遅延整相データを生成することができる。すなわち、超音波素子アレイ101からの一回の超音波の送信および受信によって、M本の並列な受信ビームの集合体としての扇形領域15の像 (すなわち、受信焦点の集合) が生成される。なお受信ビームの集合体の形状は、扇型形状であっても、超音波素子105それぞれの表層面の法線ベクトル方向にビーム方向を選んだような受信ビーム形状であっても良い。また、超音波素子105が送信する送信ビームの範囲内を網羅するような任意の複数ビームの集合体であってもよい。また、図3においては超音波素子105は直線上に配置されたりニア型の形状であるが、素子配置が湾曲したコンベックス形状であってもよい。また、送信ビームの走査方式がセクタ型であっても良い。

10

【0034】

求められた各受信焦点の遅延整相データは、遅延加算整相部204から送信間合成部205を通して受信ビームごとにビームメモリ206に蓄積される。よって、ビームメモリ206内には、超音波の送受信ごとに、M本の受信ビームの受信焦点の遅延整相データから構成される扇形領域15の像が、1つ蓄えられる。ビームメモリ206のメモリ量は有限であるため、新しい送受信で得た受信ビームの遅延整相データを蓄えるために、最も時間が古い受信ビームの遅延整相データを消去して更新する構成とする。ただし、超音波撮像を行っている時間中のすべての送受信で得た遅延整相データを蓄えるのに十分なメモリ量を持っている場合には、古いデータを消去する必要はなく、全ての遅延整相データをビームメモリ206内に蓄える。

20

【0035】

次に、送信間合成部205の動作を図4を用いて説明する。送信間合成部205は、ビームメモリ206に蓄えられた遅延整相データのうち、異なる送信で同じ位置の受信焦点について得た遅延整相データを合成することで、開口合成画像を生成する。

【0036】

まず、最終的に形成したい開口合成画像を、図4(c)のように定める。図4(c)の開口合成画像は、J本の走査線(Scan line #1 ~ Scan line #J)から構成される。それぞれの走査線は、深さ方向にS個の受信焦点 ($\sigma=1, 2, \dots, S$) を含む。なお、明細書および図4において、 ϕ は、走査線番号を表す符号として、 σ は、受信焦点の番号を表す符号として、 n は、送信 (Tx) の番号を示す符号として用いている。

30

【0037】

この開口合成画像中の受信焦点と同一の位置の受信焦点の遅延整相データをビームメモリ206から読み出して合成する。例えば、開口合成画像の走査線方向および受信焦点の間隔が、遅延加算整相部204で計算される受信ビームの方向と受信焦点の間隔にそれぞれ対応している場合、送信番号1, 2, ..., Nで得られた扇形領域の像には、開口合成画像のj番目の走査線のs番目の受信焦点24と同一位置の受信焦点21, 22, ..., 23が図4(a)のように含まれる。送信間合成部205は、ビームメモリ206から受信焦点21, 22, ..., 23の遅延整相データをそれぞれ読み出して合成する。

【0038】

本実施形態では、遅延整相データの合成の際に、図4(b)のように送信間合成部205が、送信間の遅延整相データを重み付けして加算する。送信ごとの遅延整相データには、システム (機器) に起因する誤差によるばらつきや、高速撮像時のブロックノイズが存在するため、下記式(1)のように重みを乗じて、演算を行い合成することにより、この問題を解消する。

40

【0039】

【数 1】

$$R(j, s) = \sum_{n=1}^N w(j, s, n) \cdot r(j, s, n) \quad \dots (1)$$

【0040】

なお、式(1)において、 $R(j, s)$ は、開口合成画像のj番目の走査線のs番目の受信焦点の合成後の遅延整相データであり、 $r(j, s, n)$ は、送信番号nで得られた遅延整相データであって、開口合成画像の $R(j, s)$ と同一の位置にある受信焦点の遅延整相データである。 $w(j, s, n)$ は、遅延整相データ $r(j, s, n)$ に重み付けする重み係数を表し、重みテーブル601に格納されている重み係数である。すなわち、重み係数 $w(j, s, n)$ は、送信番号、走査線番号および受信焦点番号ごとに個別の重み係数が設定されている。

【0041】

なお、開口合成画像の走査線方向および受信焦点の間隔は、遅延加算整相部204で計算される受信ビーム方向と受信焦点の間隔にそれぞれ対応しない場合もある。このような場合には、開口合成画像の受信焦点に最も近い受信ビームの受信焦点の遅延整相データをそのまま $r(j, s, n)$ として用いてもよいし、バイリニア補間のような線形補間、もしくはバイキュービック補間のような非線形補間を利用して、開口合成画像の受信焦点に近い位置の遅延整相データの値から $r(j, s, n)$ を補間演算により求めて用いても良い。

【0042】

つぎに、図5を用いて重みテーブル601に格納される重み係数について説明する。本実施形態では、全ての走査線1～Jの全ての受信焦点について、送信ごとに重み係数を用意することに特徴がある。

【0043】

開口合成画像の走査線の総数がJ本、1本の走査線上の受信焦点の数がS個、一つの開口合成に用いる送信回数がN回である場合、図5(a)のように重みテーブル601は、 $S \times N$ 個の重み係数の値を格納可能なテーブルを、走査線の総数であるJ個格納可能な記憶領域を備えている。すなわち、一つのテーブルには、一つの走査線上のS個の受信焦点のそれぞれの重みが、N回の送信回数の分だけ格納されている。例えば、図5(a)のように開口合成画像の2番目の走査線のs番目の受信焦点61についての1回～N回の送信ごとの重み係数は、図5(b)の2番目の走査線の重みテーブルの行62に格納されている。

【0044】

なお、重みテーブル601は、必ずしも図5(b)の構成でなくともよく、全送信回数、全受信焦点数および全走査線数について、それぞれ重み係数が格納できればよい。また、重みテーブル601内の重みデータが重複する場合にはその重複した分を取り除いた最小データ量の重みデータの組合せだけをもつような重みテーブル601であっても良い。

【0045】

重みテーブル内の重み係数は、設定可能な撮像条件ごとに、遅延整相データのシステムに起因するばらつきや、高速撮像時のブロックノイズが低減されるように最適な値を予め求めておき、制御部111内の重みメモリ112に格納しておく。制御部111は、操作者がコンソール110に設定した撮像条件に対応するテーブルを重みメモリ112から読み出して、重みテーブル601に格納する。

【0046】

つぎに、図6を用いて、本発明の超音波撮像装置の動作フローを説明する。

【0047】

まず、装置の操作者(術者・検者)がコンソール110に撮像条件を入力すると、その撮像条件に従って、制御部111がプローブ条件・超音波照射条件・開口合成条件、の情

報を示す制御信号を出力する。受信ビームフォーマ108が上記制御信号を受け取る（ステップS401）。

【0048】

次に、制御部111は、上記の撮像条件に対応する重み係数のテーブルを選択し、受信ビームフォーマ108中の重みテーブル601にダウンロードする（ステップS402）。

【0049】

次に、超音波素子アレイ101において超音波の送受が行われる（ステップS403）。一回の送信で超音波素子105が受信した受信データは、遅延加算整相部204に伝達され、図3を用いて説明したような複数の受信ビームの受信焦点の遅延整相データの演算が行われる。求められた複数の受信ビームの受信焦点の遅延整相データは、ビームメモリ206に格納される（ステップS404）。

【0050】

上記のステップS403からS404のプロセスは、超音波の送信1回と受信1回のセットごとに繰り返して行われる。

【0051】

次に、ビームメモリに蓄えられた複数送信間の遅延整相データと、重みテーブル内の重みデータは、送信間合成部205に送られる（ステップS405、S406）。

【0052】

送信間合成部205においては、図4を用いて説明したように、開口合成画像の走査線番号 j の s 番目の受信焦点の合成後の遅延整相データ $R(j, s)$ を、送信番号 n で得られた遅延整相データであって、開口合成画像の受信焦点（走査線番号 j 、受信焦点番号 s ）と同一の位置にあるデータ $r(j, s, n)$ を、送信番号 n 、走査線番号 j 、受信焦点番号 s の重み係数 $w(j, s, n)$ によって重み付けした後、他の送信番号で同様に演算した重み付け後の遅延整相データと加算して合成する（ステップS407）。

【0053】

送信間合成に関する3つのステップS405、S406、S407を、1フレームの開口合成画像の全て（ $J \times S$ 個）の受信焦点について繰り返す。

【0054】

送信間合成部205で合成された開口合成画像は、受信ビームフォーマ108内のフレームメモリ207に蓄えられる（ステップS408）。以上のプロセスで、受信ビームフォーマ108による処理が完了する。

【0055】

フレームメモリ207中に蓄えられたフレームデータは、画像処理部109に送信される。画像処理部109はバックエンドの画像処理を行い、超音波画像（例えばBモード画像）を生成して画像表示部103に出力する（ステップS409）。また、画像処理部109では、フレームメモリ207から送られてきたフレームデータを用いて、非線形撮像画像、造影コントラスト画像、連続波ドプラ画像、パルスドプラ画像、カラーフロー画像、エラストグラフィなどの弾性波画像など様々な超音波画像の生成やアプリケーションの実行を行うことができる。

【0056】

また、図6においては、制御部からの重み値のダウンロードは、全ての超音波の送信・受信の前にダウンロードされているが、ステップS402の動作は、ステップS406の直前に行われてもよく、送信間の合成処理の1回毎に行われても良い。その場合、ステップS402のブロックは、図6のステップS404とS406のブロックの間に配置され、ステップS402→S406→S407→S402の動作が、1フレーム完成まで繰り返される。また、この場合、重みテーブルに1回のダウンロード処理で転送される重みデータの容量は、ステップS407の送信間合成処理に必要なだけの容量に限ることができる。

【0057】

10

20

30

40

50

本実施形態によれば、図 7 (a) のように、システムに起因する誤差や高速撮像時のブロックノイズによって送信回数ごとの信号強度にばらつきのある遅延整相データに、これを抑制するように予め定められた重み係数 (図 7 (b)) を乗じることにより、送信間でのばらつきを低減する (図 7 (c))。よって、重み係数を乗じた後の遅延整相データを加算することにより、システムに起因する誤差や高速撮像時のブロックノイズを低減した合成結果を得ることができる。

【0058】

図 8 (a) は、拡散送信で低速撮像の場合の送信ビームの重なりを示し、図 8 (b) は、拡散送信で高速撮像の場合の送信ビームの重なりを示している。図 8 (c) は、低い F 値のフォーカス送信 (集束送信) で低速撮像の場合の送信ビームの重なりを示し、図 8 (d) は、低い F 値のフォーカス送信で高速撮像の場合の送信ビームの重なりを示している。図 8 (b)、(d) の高速撮像の場合、送信ビーム同士の重なりが、低速撮像の場合よりも少なく、ブロッキングアーチファクトが生成されやすい。特に、図 8 (d) のフォーカス送信で高速撮像の場合には、焦点付近で送信ビーム同士の重なり少なく、顕著なブロッキングアーチファクトとして現れる。図 8 (b)、(d) のような高速撮像の場合であっても、本実施形態によれば、遅延整相データに重み係数を乗じて、送信間のばらつきを低減することができるため、ブロッキングアーチファクトを低減することができる。

【0059】

また、本実施形態の開口合成処理は、一般的な開口合成処理と同様に、図 4 のようにアクティブチャンネル 201、202、203 の位置を少しずつずらしながら送信しているため、開口合成画像の走査線番号 j の s 番目の受信焦点 24 と同一位置の受信焦点 21、22...23 は、各送信で得た扇型領域 15 の像の異なる位置 (異なる見込み角度、異なる受信ビーム番号) に存在する。これらのデータを合成することによって、受信焦点 24 を異なる方向から見込んで送信・受信した遅延整相データを重ね合わせることができるため、受信焦点 24 の遅延整相データの精度を向上させることができる。

【0060】

(比較例 1)

比較例として、従来技術のように、送信間では重み付けを行わず、チャンネル方向 (超音波素子の並び方向) と深さ方向に重み付けを行う場合の重みテーブルを図 5 (c) に示す。図 5 (c) の重みテーブルは、チャンネル方向と深さ方向の組み合わせのみでよい

【0061】

したがって、比較例の重みテーブルでは、図 7 (a) のように送信ごとに遅延整相データの信号強度にばらつきがある場合であっても、これを補正することができないため、システムに起因する誤差や高速撮像時のブロックノイズを低減した合成結果を得ることはできない。

【0062】

(第 2 の実施形態)

図 9、図 10 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。

【0063】

図 9 は、第 2 の実施形態の超音波撮像装置の一部のブロックであり、図 10 は、装置全体の斜視図である。第 2 の実施形態の超音波撮像装置は、重みメモリ 112 または重みテーブル 601 の重み係数の外部から書き換えを受け付けるための入出力ポート 701 を本体 102 に有する。本体 102 の外側には、重み係数を演算により求める重み係数演算部 702 が配置されている。重み係数演算部 702 は、入出力ポート 701 を介して重みメモリ 112 または重みテーブル 601 に接続され、重みメモリ 112 または重みテーブル 601 に格納されている重み係数を、演算により求めた重み係数に書き換える。

【0064】

重み係数演算部 702 は、ビームメモリ 206 から送信ごとの遅延整相データを受け取って重み係数を演算する構成にすることができる。例えば、重み係数演算部 702 は、送

信ごとの遅延整相データを適応処理することにより、重み係数として適応重みを求める適応エンジン208を備える構成にする。重み係数演算部702には、適応エンジン208の他に制御部703が配置されている。制御部703は、適応エンジン208の動作の制御および入出力ポート701を介した遅延整相データや重み係数の本体102との信号のやり取りの制御を行う。

【0065】

図11に本実施形態の超音波撮像装置の動作フローを示す。図11の動作フローは、第1の実施形態の図6のステップS406、S407に替えて、ステップS505、S506、S507が行われる。他のステップは図6の説明と同様であるので説明を省略し、ステップS505、S506、S507について説明する。遅延整相データがビームメモリ206に格納されたならば、制御部111および制御部703の制御の下で、適応エンジン208が遅延整相データを受け取る（ステップS505）。適応エンジン208は、ビームメモリ206の遅延整相データを用いて、遅延整相データの送信間のばらつきに対応した最適な適応重みを求め、この適応重みを重みテーブル601の重み係数と書き換える（ステップS506）。送信間合成部205は、遅延整相データと適応重みを読み込んで、遅延整相データを適応重みで重み付けし、送信間で合成する（ステップS507）。

【0066】

これにより、遅延整相データに応じた重み係数を用いて、遅延整相データの送信間のばらつきをより効果的に低減することができる。よって、システムに起因する誤差や高速撮像時のブロックノイズを低減した高解像度の超音波画像を生成することができる。

【0067】

また、求めた適応重みを、その時の撮像条件に対応させて重みメモリ112に格納していくことにより、装置ごとの遅延整相データのばらつきの差異や装置の経時変化に対応して、重みメモリ112内の重み係数を最適な値に更新していくことができる。なお、更新時には、画像表示部108に、重み係数演算部702により重み係数を更新中であることや、調整状態、調整の進捗などを表示することも可能である。また、この表示を重み係数演算部702に取り付けたインジケータ802に表示することも可能である。

【0068】

本実施形態の重み係数演算部702は、本体102の外部に配置され、必要な時だけ、本体102に接続して、重みテーブル601の重み係数の書き換え、重みメモリ112の更新を行えばよい。よって、本体102内に重み係数演算部702を配置する場合と比較して、超音波画像診断装置を小型化することができる。また、複数の超音波画像診断装置で1台の重み係数演算部702を使い回すことができるというメリットもある。また、これにより、プローブの経年劣化、アナログ送受信回路の不具合などによって装置特性が変化する場合に、重み係数を変えることによるリフレッシュ動作を、装置の定期的なメンテナンス作業の一環として行う事ができる。

【0069】

次に、適応エンジン208における適応重みの計算（図11のステップS506）の演算方法について説明する。以下、j番目の走査線のs番目の受信焦点に対して適応重みを求める手順を説明する。

【0070】

適応エンジン208への入力は、N回の送信で得た遅延整相データ $r(j,s,1), r(j,s,2), \dots, r(j,s,N)$ である。また適応エンジン208からの出力は、重み係数 $w(j,s,1), w(j,s,2), \dots, w(j,s,N)$ である。以下、説明を簡単にするために、jの表記は省き、入力される遅延整相データ $r(j,s,1), r(j,s,2), \dots, r(j,s,N)$ をベクトル $r(s)=[r1(s), r2(s), \dots, rN(s)]$ とし、重み係数 $w(j,s,1), w(j,s,2), \dots, w(j,s,N)$ をベクトル $w(s)=[r1(s), r2(s), \dots, rN(s)]$ と表す。

【0071】

適応エンジン208は、入力ベクトルrから共分散行列 $\Gamma(s)$ を以下の式(2)を用いて作成する。なお、式(2)において*は、共役複素数を表す。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

【数 2】

$$\mathbf{\Gamma}(s) = \begin{pmatrix} r_1(s)r_1^*(s) & r_1(s)r_2^*(s) & \cdots & r_1(s)r_N^*(s) \\ r_2(s)r_1^*(s) & r_2(s)r_2^*(s) & \cdots & r_2(s)r_N^*(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_N(s)r_1^*(s) & r_N(s)r_2^*(s) & \cdots & r_N(s)r_N^*(s) \end{pmatrix} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

【 0 0 7 3 】

10

また、ベクトル $\mathbf{r}$ の入力時間を時間サンプル方向に $-T \leq s \leq T$ の $2T+1$ 点の時間幅を持って入力することも可能であり、その場合アンサンブル平均をとることで、共分散行列 $\mathbf{\Gamma}(s)$ は以下の式 (3) で表すことができる。

【 0 0 7 4 】

【数 3】

$$\begin{aligned} \mathbf{\Gamma}(s) &= E[\mathbf{r}(s)\mathbf{r}^H(s)] = E \left\{ \begin{pmatrix} r_1(s)r_1^*(s) & r_1(s)r_2^*(s) & \cdots & r_1(s)r_N^*(s) \\ r_2(s)r_1^*(s) & r_2(s)r_2^*(s) & \cdots & r_2(s)r_N^*(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_N(s)r_1^*(s) & r_N(s)r_2^*(s) & \cdots & r_N(s)r_N^*(s) \end{pmatrix} \right\} \\ &= \frac{1}{2T+1} \sum_{\tau=-T}^T \mathbf{r}(s+\tau) \mathbf{r}^H(s+\tau) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (3) \end{aligned} \quad 20$$

【 0 0 7 5 】

これらの共分散行列を用いて、たとえば M V D R 法による適応重みベクトル $\mathbf{w}(s)$ は、以下の式 (4) から計算できる。

【 0 0 7 6 】

【数 4】

30

$$\mathbf{w}(s) = \frac{\mathbf{\Gamma}^{-1}(s)}{\mathbf{a}^H \mathbf{\Gamma}^{-1}(s) \mathbf{a}} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

【 0 0 7 7 】

式 (4) において、 $\mathbf{a}$ はステアリングベクトルであり、入力されるベクトル $\mathbf{r}(s)$ の方向に対する傾きであり、各送信番号 n の位相関係から、式 (5) のように表される。

【 0 0 7 8 】

【数 5】

$$\mathbf{a} = [\exp\{\psi_1(\theta, f)\}, \exp\{\psi_2(\theta, f)\}, \dots, \exp\{\psi_N(\theta, f)\}] \quad \cdot \cdot \cdot \quad (5) \quad 40$$

【 0 0 7 9 】

式 (5) において、 θ は、位相周りが各送信番号間でゼロである場合を $\theta = 0$ としたときの位相シフト量を表し、 f は超音波の周波数である。一般的に $\theta = 0$ として考えると、 $\mathbf{a} = [1, 1, \dots, 1]$ と全ての要素が 1 のベクトルで表現することができ、このベクトルをステアリングベクトル方向とする。

【 0 0 8 0 】

適応エンジン 208 においては、以上のプロセスから、送信番号 $1 \sim N$ に対応する重みベクトル $\mathbf{w}(s) = [r_1(s), r_2(s), \dots, r_N(s)]$ を算出することができる (S506)。

【 0 0 8 1 】

50

なお、適応重みの演算方法は、MVD R法に限られるものではなく、A P E S法、M U S I C法、E S M V法など各種重み生成プロセスを用いて $w(s)$ を算出しても構わない。

【0082】

また、ここで説明した適応重みの演算方法を用いて、第1の実施形態の重みメモリ112に格納する重み係数を超音波撮像条件ごとに計算することが可能である。

【0083】

(第3の実施形態)

図12、図13を用いて第3の実施形態の超音波撮像装置について説明する。図12は、第3の実施形態の超音波撮像装置の一部構成を示すブロック図であり、図13は、装置の斜視図と通信回線に接続されることを示す図である。

10

【0084】

図12のように、第3の実施形態の超音波撮像装置は、第2の実施形態の図9の装置と似た構成であるが、図9の入出力ポート701に替えて、データを通信データに変換するためのデータ変換機能を備えた通信ポート901を本体102に配置している。また、重み係数演算部702にもデータ変換機能を備えた通信ポート903を配置している。

【0085】

これにより、本体102から離れた場所に重み係数演算部702が配置されていても、通信回線902やネットワークを介して両者を接続して、制御信号、遅延整相データおよび重み係数データをやり取りすることができるため、第2の実施形態と同様に重み係数の更新動作を行うことができる。よって、リモート制御で、重みメモリ112に格納されている重み係数を更新する動作を、遠隔操作による定期的な装置メンテナンスの一環として行うことが可能である。

20

【0086】

(第4の実施形態)

図14、図15を用いて第4の実施形態の超音波撮像装置について説明する。図14は第4の実施形態の超音波撮像装置の一部構成を示すブロック図であり、図15は、装置の動作フローを示す。

【0087】

第4の実施形態の超音波撮像装置は、第1の実施形態の図1の装置の重みテーブルに替えて、送信ごとの遅延整相データを用いて重み係数を演算する重み係数演算部702を受信ビームフォーマ108の内部に備えている。重み係数演算部702は、送信ごとの遅延整相データを適応処理することにより、重み係数として適応重みを求める適応エンジン208を備えている。また、制御部111内には、重みメモリ112は配置されていない。

30

【0088】

適応エンジン208を備えた重み係数演算部702の動作は、第2の実施形態の重み係数演算部702と同様である。

【0089】

図15を用いて、超音波撮像装置の動作について説明する。図15からわかるように、装置の動作フローは、第3の実施形態の図11の動作フローと似ているが、重みメモリ112および重みテーブル601を備えないため、ステップS402を行わず、重み係数演算部702は、ビームメモリ206から直接遅延整相データを受け取る。また、ステップS505、S506により適応エンジン208が求めた適応重みは、直接送信間合成部205に受け渡す。送信間合成部205は、遅延整相データを適応重みで重み付けし、送信間で合成する(ステップS507)。

40

【0090】

これにより、開口合成処理のたびに、ビームメモリ206に格納された遅延整相データから適応エンジン208が適応重みを演算により求めることができる。送信間合成部は、適応重みを用いて遅延整相データを重み付けして合成することができるため、システムに起因する誤差や高速撮像時のブロックノイズを効果的に低減できる。よって、高解像度の超音波画像を得ることができる。

50

【0091】

(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16を用いて説明する。

【0092】

第5の実施形態の超音波撮像装置は、第4の実施形態の図14の装置と同様の構成であるが、図16に示すように、送信ごとの遅延整相データを縮退させる縮退部501を有する。重み係数演算部702は、縮退部501が縮退させた遅延整相データを用いて重み係数を演算する。これにより、重み係数演算部702の適応エンジン208の演算量を低減する。

【0093】

10

例えば、縮退部501は、ビームメモリ206からのN回の送信の遅延整相データをN→Mに縮退させる。例えば、16回の送信の遅延整相データを4回の送信の遅延整相データと等価なデータに低減させる。これにより、適応エンジン208における逆行列計算の計算時間が $(4 \times 3) = 64$ 倍高速化され、実装規模を大幅に低減させることができる。これにより、装置のコストを低減することができる。

【0094】

縮退部501の動作をさらに説明する。縮退部501が、送信回数Nの遅延整相データを送信回数L ($N > L$) と同等のデータ量に低減する場合を考える。

【0095】

20

縮退部501では、まず以下の式(6)のようにベクトルrのうち長さLの部分を取り出した要素数Lの部分ベクトル $\mathbf{r}_l(s)$ を生成する。

【0096】

【数6】

$$\mathbf{r}_l^{\wedge}(s) = [r_l(s), r_{l+1}(s), \dots, r_{l+L-1}(s)]^T \quad \dots (6)$$

【0097】

次にこの部分ベクトルを全て平均すると以下の式(7)のように、縮退した送信間ベクトル $\mathbf{g}(s)$ を作ることができる。

30

【0098】

【数7】

$$\mathbf{g}(s) = \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{r}_l^{\wedge}(s) \quad \dots (7)$$

【0099】

これにより、縮退部501は、N個の要素をもつ信号ベクトル $\mathbf{r}(s)$ の代わりに、L個の要素を持つ信号ベクトル $\mathbf{g}(s)$ を送信間合成部205に入力する。また、適応エンジン208には、縮退部で生成した $\mathbf{r}_l^{\wedge}(s)$ を入力する。

40

【0100】

適応エンジン208では、要素数Lの部分ベクトル $\mathbf{r}_l^{\wedge}(s)$ を用いた共分散行列 $\Gamma^{\wedge}(s)$ (式(8))を演算する。

【0101】

【数 8】

$$\begin{aligned}\Gamma^{\wedge}(s) &= \frac{1}{(2T+1)(N-L+1)} \sum_{\tau=-T}^T \sum_{l=1}^{N-L+1} \Gamma_{\text{SUB}l}^{\wedge} \\ &= \frac{1}{(2T+1)(N-L+1)} \sum_{\tau=-T}^T \sum_{l=1}^{N-L+1} \mathbf{r}_l^{\wedge}(s) \mathbf{r}_l^{\wedge H}(s) \quad \dots (8)\end{aligned}$$

【0102】

式(8)で表される $\Gamma^{\wedge}(s)$ は、 $L \times L$ の要素を持つ行列となっている。この縮退した
共分散行列 $\Gamma^{\wedge}(s)$ を用いて、適応エンジン208では、 L の要素を持つ重み係数 $\mathbf{w}^{\wedge}(s)$
を式(9)により求め、送信間合成部205へ出力する。 10

【0103】

【数 9】

$$\mathbf{w}^{\wedge}(s) = \frac{\Gamma^{\wedge-1}(s)}{\mathbf{a}^H \Gamma^{\wedge-1}(s) \mathbf{a}} \quad \dots (9)$$

【0104】

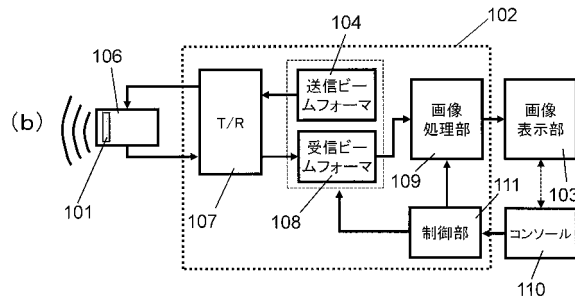
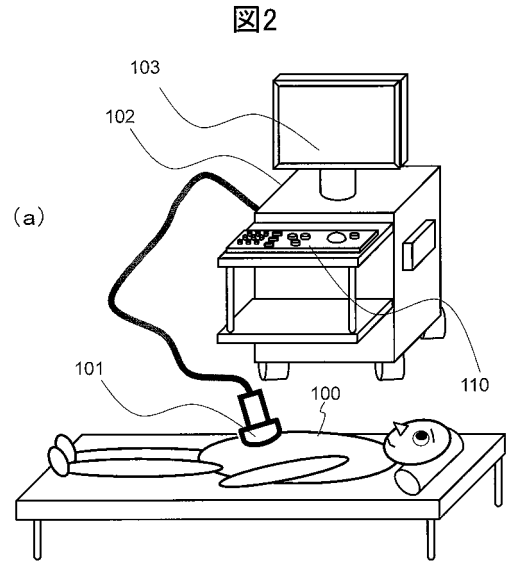
このように、送信間合成部205においては、式(1)の $\mathbf{w}$ と $\mathbf{r}$ に替えて、 $\mathbf{w}^{\wedge}$ と $\mathbf{g}$ を
用いることにより、要素数を N から L に縮退した形で送信間合成処理を行うことができ、
演算量を $(L^3) / (N^3)$ に低減することができる。 20

【符号の説明】

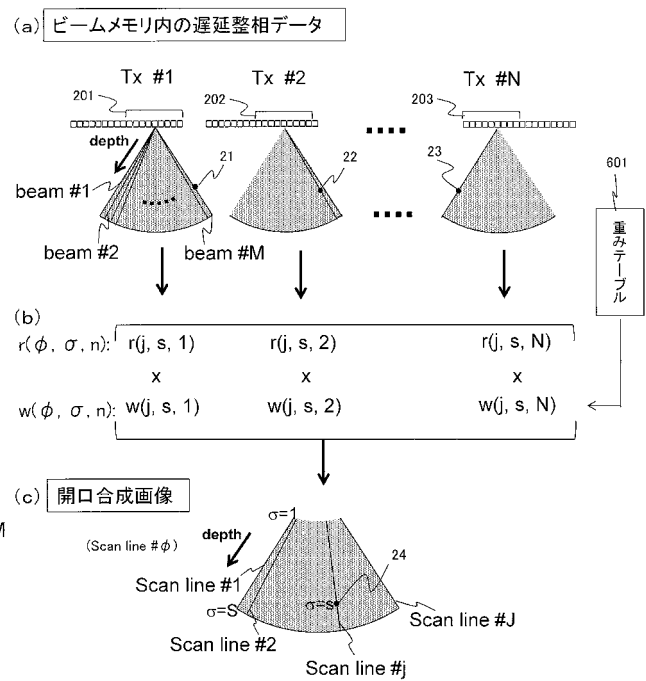
【0105】

- 100 被検体
- 101 超音波素子アレイ
- 102 超音波撮像装置本体
- 103 画像表示部
- 104 送信ビームフォーマ
- 106 超音波探触子
- 107 送受信分離回路 (T/R)
- 108 受信ビームフォーマ
- 109 画像処理部
- 110 コンソール
- 111 制御部
- 601 重みテーブル

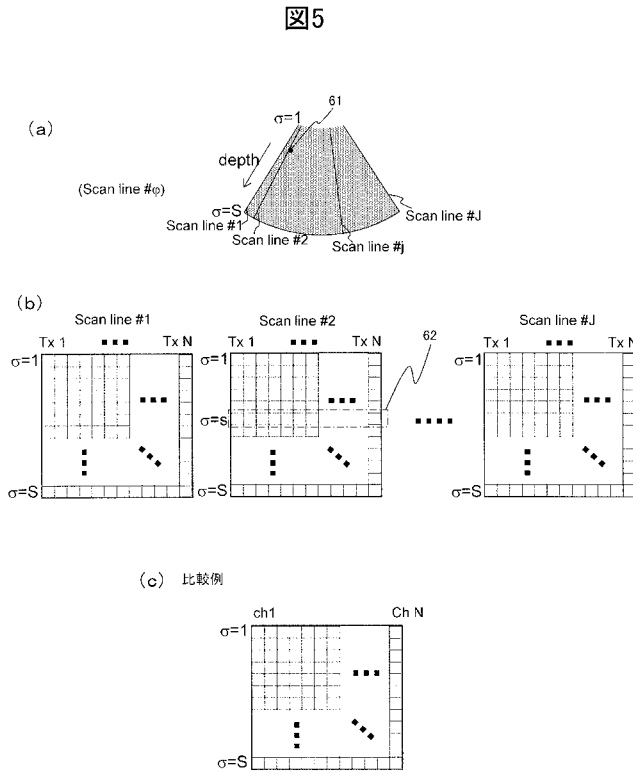
【図 2】



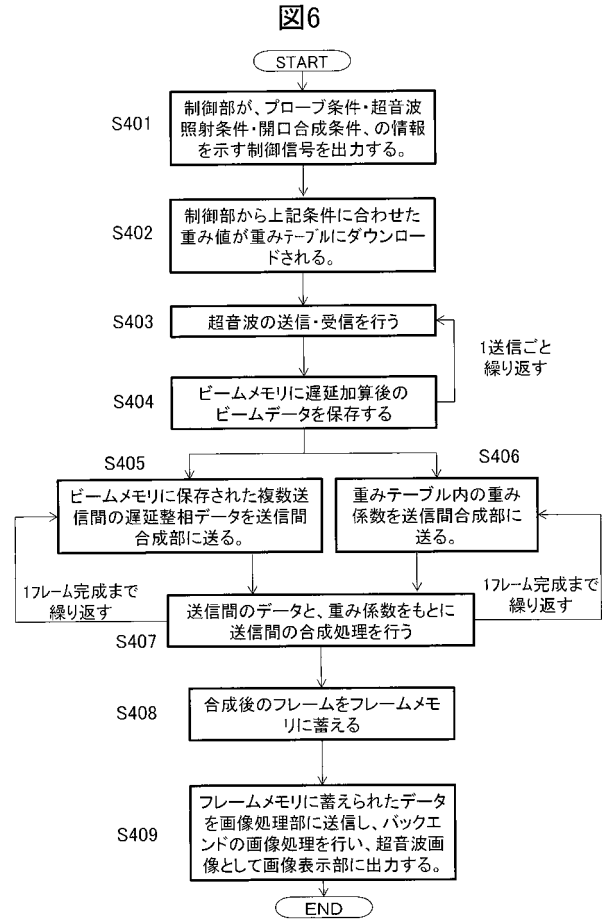
【図 4】



【図5】

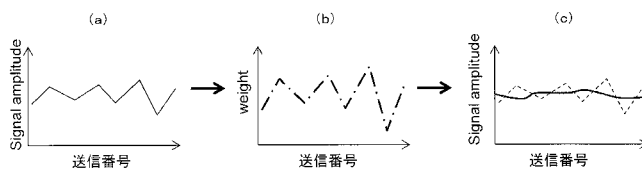


【図6】



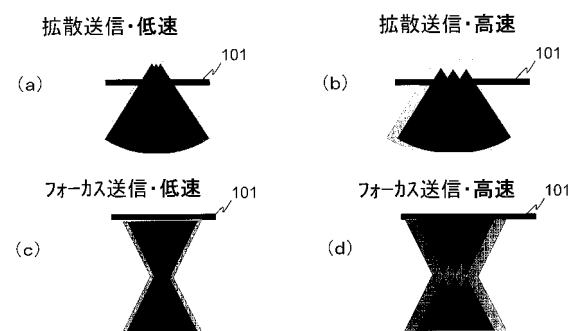
【図7】

図7

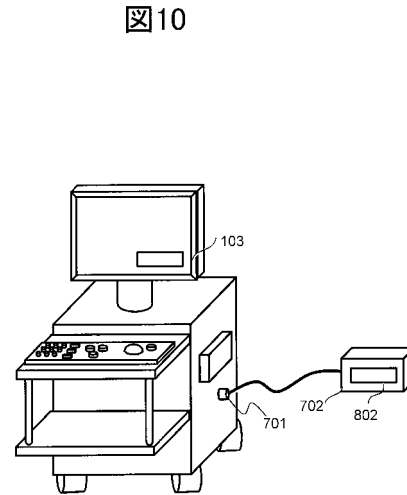


【図8】

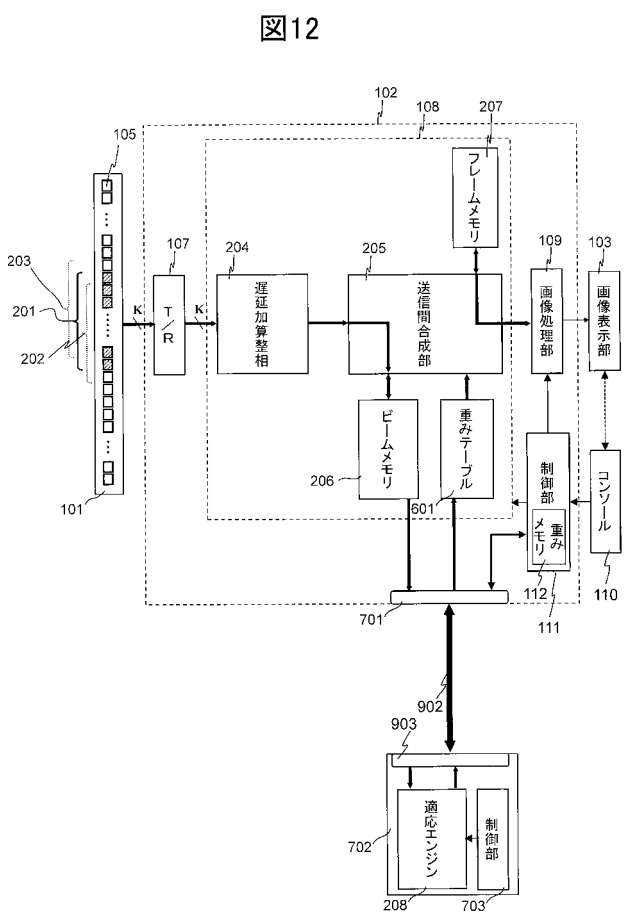
図8



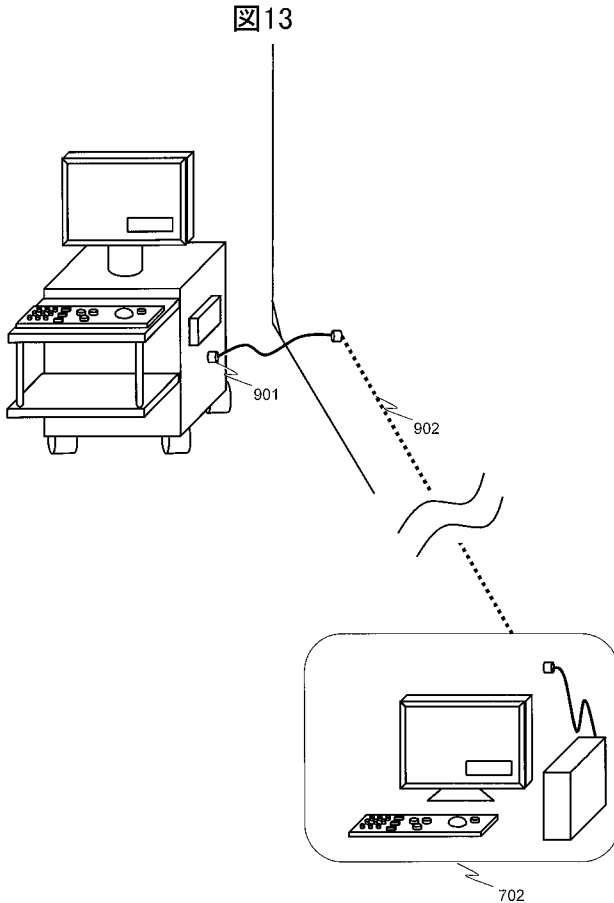
【図 10】



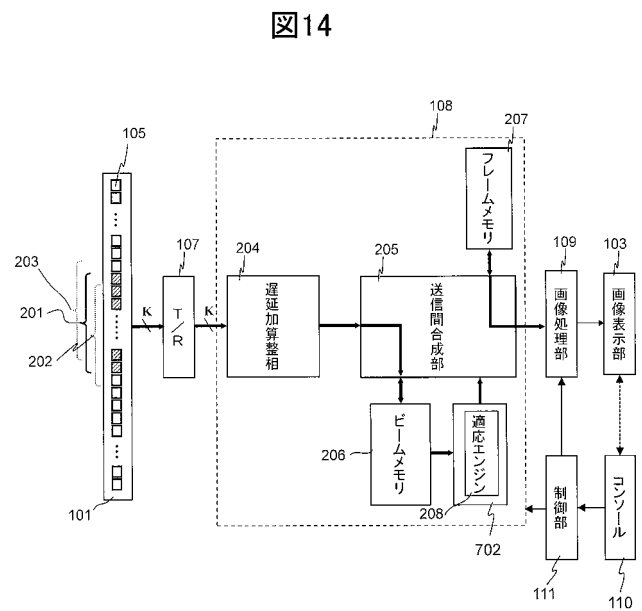
【图 1 2】



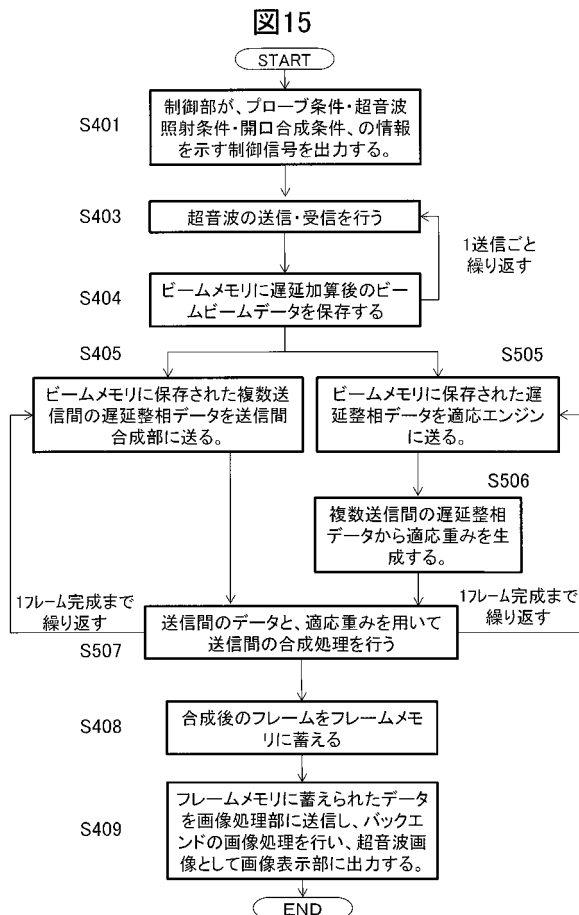
【 図 1 3 】



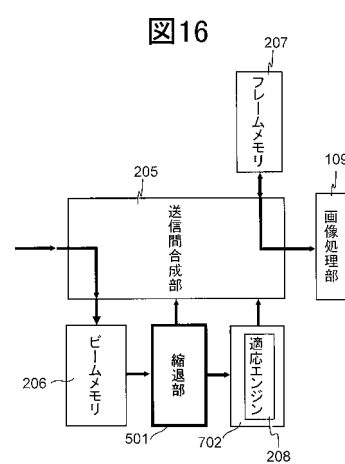
【 図 1 4 】



【図 15】



【图 16】



フロントページの続き

(72)発明者 石原 千鶴枝

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

Fターム(参考) 4C601 BB06 EE04 HH38 JB45 JB47 LL05