

(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2015-119949

(P2015-119949A)

(43) 公開日 平成27年7月2日(2015.7.2)

(51) Int.Cl.  
A61B 8/00 (2006.01)

F I  
A61B 8/00

テーマコード(参考)  
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2014-177770 (P2014-177770)  
 (22) 出願日 平成26年9月2日(2014.9.2)  
 (31) 優先権主張番号 特願2013-239381 (P2013-239381)  
 (32) 優先日 平成25年11月19日(2013.11.19)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000003078  
株式会社東芝  
東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (71) 出願人 594164542  
東芝メディカルシステムズ株式会社  
栃木県大田原市下石上1385番地  
 (74) 代理人 100089118  
弁理士 酒井 宏明  
 (72) 発明者 掛江 明弘  
栃木県大田原市下石上1385番地 東芝  
メディカルシステムズ株式会社内  
 (72) 発明者 深澤 雄志  
栃木県大田原市下石上1385番地 東芝  
メディカルシステムズ株式会社内  
 Fターム(参考) 4C601 DE09 DE14 EE04 HH14 HH29  
KK12

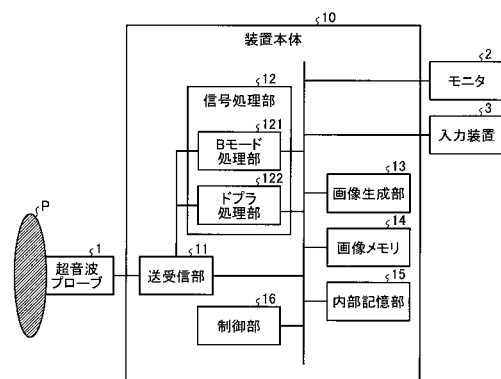
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置及び制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 残留多重アーチファクトを除去することができる超音波診断装置を提供する。

【解決手段】 超音波診断装置は、送受信部11と、信号処理部12と、画像生成部13と、制御部16とを備える。送受信部11は、同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて前記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する。信号処理部12は、前記複数のセット各々で前記受信信号群を合成し、前記複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する。画像生成部13は、前記複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成する。制御部16は、前記信号処理部によって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信それぞれの1つ前の送信同士の送信条件が同一になり位相極性が異なるように、前記送受信部11が実行させる超音波送受信の順番を制御する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて前記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する送受信部と、

前記複数のセット各々で前記受信信号群を合成し、前記複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する信号処理部と、

前記複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、

前記信号処理部によって合成される 1 セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信それぞれの 1 つ前の送信同士の送信条件が同一になり位相極性が異なるように、前記送受信部が実行させる超音波送受信の順番を制御する制御部と、

を備える、超音波診断装置。

**【請求項 2】**

前記送受信部が前記複数のセット各々で変更する送信条件は、送信フォーカス位置、送信周波数及び送信波形の少なくとも 1 つである、請求項 1 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 3】**

前記送受信部は、前記同一の走査線上において位相極性を反転して 2 回行なう超音波送受信を単位とする前記超音波送受信のセットを、送信フォーカス位置を変えて前記走査線上で複数回実行させ、前記複数のセット分の受信信号群を生成し、

前記信号処理部は、前記複数のセット各々で 2 つの受信信号を加算して、前記走査線上において前記複数の合成信号を生成し、

前記制御部は、前記信号処理部によって加算される 1 セット分の 2 つの受信信号に対応する 2 つの送信それぞれの 1 つ前の送信同士の送信フォーカス位置が同一になるように、前記送受信部の制御を行なう、請求項 2 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 4】**

前記送受信部は、前記同一の走査線上において位相極性を反転して 2 回行なう超音波送受信を単位とする前記超音波送受信のセットを、送信周波数を変えて前記走査線上で複数回実行させ、前記複数のセット分の受信信号群を生成し、

前記信号処理部は、前記複数のセット各々で 2 つの受信信号を加算して、前記走査線上において前記複数の合成信号を生成し、

前記画像生成部は、前記複数のセット各々の合成信号を用いて、超音波画像データ群を生成し、当該超音波画像データ群を合成した画像データを前記超音波画像データとして生成し、

前記制御部は、前記信号処理部によって加算される 1 セット分の 2 つの受信信号に対応する 2 つの送信それぞれの 1 つ前の送信同士の送信周波数が同一になるように、前記送受信部の制御を行なう、請求項 2 に記載の超音波診断装置。

**【請求項 5】**

前記送受信部は、前記同一の走査線上において、超音波パルスの位相極性を反転して 2 回行なう超音波送受信を単位とする第 1 セットの超音波送受信と、前記第 1 セットの超音波パルスとは送信波形が異なる超音波パルスの位相極性を反転して 2 回行なう超音波送受信を単位とする第 2 セットの超音波送受信とを実行させ、当該 2 セット分の受信信号群を生成し、

前記信号処理部は、前記第 1 セットの超音波送受信で得られた 2 つの受信信号を加算した合成信号と、前記第 2 セットの超音波送受信で得られた 2 つの受信信号を加算した合成信号との 2 つの合成信号を前記走査線上において生成し、前記 2 つの合成信号を差分処理して、前記走査線上の合成信号を生成し、

前記画像生成部は、前記合成信号を用いて前記超音波画像データを生成し、

前記制御部は、前記信号処理部によって加算される 1 セット分の 2 つの受信信号に対応する 2 つの送信それぞれの 1 つ前の送信同士の送信波形が同一になるように、前記送受信部の制御を行なう、請求項 2 に記載の超音波診断装置。

10

20

30

40

50

**【請求項 6】**

前記送受信部は、前記同一の走査線上において同一位相極性の超音波パルスを送信する超音波送受信を単位とする前記超音波送受信のセットを、送信フォーカス位置を変えて前記走査線上で複数回実行させ、前記複数のセット分の受信信号群を生成し、

前記信号処理部は、前記複数セット各々で2つの受信信号を差分処理して、前記走査線上において前記複数の合成信号を生成し、

前記制御部は、前記信号処理部によって差分処理が行われる1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信フォーカス位置が同一になるように、前記送受信部の制御を行なう、請求項2に記載の超音波診断装置。

**【請求項 7】**

前記制御部は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、前記信号処理部によって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信が隣接するように、超音波送受信の順番を切り替える、請求項1～6のいずれか1つに記載の超音波診断装置。

**【請求項 8】**

所定の走査線に関する第1の送信条件に基づく第1の超音波パルスを超音波プローブに送信させ、

前記第1の送信条件とは異なり、前記所定の走査線に関する第2の送信条件に基づく第2の超音波パルスを、前記第1の超音波パルスの次に前記超音波プローブに送信させ、

前記第1の送信条件と位相極性が異なり、前記所定の走査線に関する第3の送信条件に基づく第3の超音波パルスを、前記第2の超音波パルスの後に前記超音波プローブに送信させ、

前記第2の送信条件と位相極性が異なり、前記所定の走査線に関する第4の送信条件に基づく第4の超音波パルスを、前記第3の超音波パルスの次に前記超音波プローブに送信させ、

前記第1の超音波パルスの送信により前記超音波プローブが受信した反射波に基づく第1の受信信号、前記第2の超音波パルスの送信により前記超音波プローブが受信した反射波に基づく第2の受信信号、前記第3の超音波パルスの送信により前記超音波プローブが受信した反射波に基づく第3の受信信号、及び、前記第4の超音波パルスの送信により前記超音波プローブが受信した反射波に基づく第4の受信信号を生成する送受信部と、

前記第1の受信信号と前記第3の受信信号とを合成することで第1の合成信号を発生し、前記第2の受信信号と前記第4の受信信号とを合成することで第2の合成信号を発生する信号処理部と、

前記第1の合成信号及び前記第2の合成信号に基づいて画像データを生成する画像生成部と、

を備える、超音波診断装置。

**【請求項 9】**

前記送受信部は、送信フォーカス位置、送信周波数及び送信波形の少なくとも1つの送信条件を、前記第1の送信条件及び前記第3の送信条件と、前記第2の送信条件及び前記第4の送信条件との間で変更する、請求項8に記載の超音波診断装置。

**【請求項 10】**

前記送受信部は、前記第1の超音波パルスと前記第3の超音波パルスとの送信フォーカス位置を第1位置として、前記第1の超音波パルスと前記第3の超音波パルスとの位相極性を反転させ、前記第2の超音波パルスと前記第4の超音波パルスとの送信フォーカス位置を、前記第1位置とは異なる第2位置として、前記第2の超音波パルスと前記第4の超音波パルスとの位相極性を反転させ、

前記信号処理部は、前記第1の受信信号と前記第3の受信信号とを加算することで前記第1の合成信号を発生し、前記第2の受信信号と前記第4の受信信号とを加算することで前記第2の合成信号を発生する、請求項9に記載の超音波診断装置。

**【請求項 11】**

前記送受信部は、前記第1の超音波パルスと前記第3の超音波パルスとの送信周波数を

10

20

30

40

50

第 1 周波数として、前記第 1 の超音波パルスと前記第 3 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの送信周波数を、前記第 1 周波数とは異なる第 2 周波数として、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、

前記信号処理部は、前記第 1 の受信信号と前記第 3 の受信信号とを加算することで前記第 1 の合成信号を発生し、前記第 2 の受信信号と前記第 4 の受信信号とを加算することで前記第 2 の合成信号を発生する、請求項 9 に記載の超音波診断装置。

【請求項 12】

前記送受信部は、前記第 1 の超音波パルスと前記第 3 の超音波パルスとの送信波形を第 1 波形として、前記第 1 の超音波パルスと前記第 3 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの送信波形を、前記第 1 波形とは異なる第 2 波形として、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、

前記信号処理部は、前記第 1 の受信信号と前記第 3 の受信信号とを加算することで前記第 1 の合成信号を発生し、前記第 2 の受信信号と前記第 4 の受信信号とを加算することで前記第 2 の合成信号を発生し、前記第 1 の合成信号と前記第 2 の合成信号とを差分して合成信号を発生し、

前記画像生成部は、前記合成信号に基づいて前記画像データを生成する、請求項 9 に記載の超音波診断装置。

【請求項 13】

前記送受信部は、前記第 1 の超音波パルスと前記第 3 の超音波パルスとの送信フォーカス位置を第 1 位置として、前記第 1 の超音波パルスと前記第 3 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの送信フォーカス位置を、前記第 1 位置とは異なる第 2 位置として、前記第 2 の超音波パルスと前記第 4 の超音波パルスとの位相極性を反転させ、

前記信号処理部は、前記第 1 の受信信号と前記第 3 の受信信号とを差分することで前記第 1 の合成信号を発生し、前記第 2 の受信信号と前記第 4 の受信信号とを差分することで前記第 2 の合成信号を発生する、請求項 9 に記載の超音波診断装置。

【請求項 14】

前記送受信部は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、前記第 1 の超音波パルス、前記第 2 の超音波パルス、前記第 3 の超音波パルス、前記第 4 の超音波パルスの順番に超音波送信を前記超音波プローブに実行させる第 1 の送信順番から、前記第 1 の超音波パルス、前記第 3 の超音波パルス、前記第 2 の超音波パルス、前記第 4 の超音波パルスの順番に超音波送信を前記超音波プローブに実行させる第 2 の送信順番に切り替える、請求項 8 ~ 13 のいずれか 1 つに記載の超音波診断装置。

【請求項 15】

同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて前記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する送受信部と、

前記複数のセット各々で前記受信信号群を合成し、前記複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する信号処理部と、

前記複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成する画像生成部と、

表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、前記送受信部が前記走査線上で実行させる前記複数回の超音波送受信の順番を切り替える制御部と、

を備える、超音波診断装置。

【請求項 16】

送受信部が、同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて前記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成し、

信号処理部が、前記複数のセット各々で前記受信信号群を合成し、前記複数のセット各

10

20

30

40

50

々に対応する複数の合成信号を生成し、

画像生成部が、前記複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成し、

制御部が、前記信号処理部によって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信それぞれの1つ前の送信同士の送信条件が同一になり位相極性が異なるように、前記送受信部が実行させる超音波送受信の順番を制御する、

ことを含む、制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、超音波診断装置及び制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、組織ハーモニックイメージング (Tissue Harmonic Imaging: THI) 法は、通常のBモード撮影より空間分解能の高いBモード画像を得る方法として、広く用いられている。THI法は、受信信号に含まれる非線形成分 (例えば、2次高調波成分等の高調波成分) を用いて映像化を行なう方法である。

【0003】

THI法では、例えば、位相変調 (PM: Phase Modulation) 法や、振幅変調 (AM: Amplitude Modulation) 法、AM法及びPM法を組み合わせたAMPM法等、様々な信号処理法が行なわれる。PM法では、位相を反転させた同一振幅の超音波が各走査線で2回送信され、これにより得られた2つの受信信号が加算される。この加算処理により、基本波成分が相殺され、且つ、2次の非線形伝播で発生する2次高調波成分が主に残存した信号が得られる。PM法では、この信号を用いて2次高調波成分を映像化した画像を得ている。

20

【0004】

しかし、上記の信号処理法を用いたTHI法で生成される画像には、多重アーチファクトとして、受信信号の信号源が1つ前の送信から混入する残留多重アーチファクトが発生する場合がある。この残留多重アーチファクトは、多重の信号源が1つ前の送信によるものであるために、基本波成分の多重が相殺されずに消え残ることで発生する。また、基本波成分の多重は、比較的low周波であり、更に、基本波成分の多重の信号レベルは、ハーモニック信号よりも高い。このため、多重残留アーチファクトは、THI法で生成された画像を用いた診断に支障をきたす場合がある。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2004-181209号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明が解決しようとする課題は、残留多重アーチファクトを除去することができる超音波診断装置及び制御方法を提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

実施形態の超音波診断装置は、送受信部と、信号処理部と、画像生成部と、制御部とを備える。送受信部は、同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて前記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する。信号処理部は、前記複数のセット各々で前記受信信号群を合成し、前記複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する。画像生成部は、前記複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成する。制御部は、前記信号処理部によって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信それぞれの1つ前の送信同士

50

の送信条件が同一になり位相極性が異なるように、前記送受信部が実行させる超音波送受信の順番を制御する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、第1の実施形態に係る超音波診断装置の構成例を示すブロック図である。

【図2】図2は、図1に示すBモード処理部の構成例を示すブロック図である。

【図3A】図3Aは、THI法を説明するための図(1)である。

【図3B】図3Bは、THI法を説明するための図(2)である。

【図4】図4は、THI法を多段フォーカスにより実行する際に発生する残留多重アーチファクトを説明するための図(1)である。

【図5】図5は、THI法を多段フォーカスにより実行する際に発生する残留多重アーチファクトを説明するための図(2)である。

【図6】図6は、THI法を多段フォーカスで実行する際に、従来法で行なわれていた超音波送受信順番を示す図である。

【図7】図7は、THI法を多段フォーカスで実行する際に、第1の実施形態で行なわれる超音波送受信順番を示す図である。

【図8】図8は、第2の実施形態を説明するための図である。

【図9】図9は、第3の実施形態を説明するための図である。

【図10】図10は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(1)である。

【図11】図11は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(2)である。

【図12】図12は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(3)である。

【図13】図13は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(4)である。

【図14】図14は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(5)である。

【図15】図15は、第4の実施形態における0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(1)である。

【図16】図16は、第4の実施形態における0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図(2)である。

【図17A】図17Aは、第5の実施形態を説明するための図(1)である。

【図17B】図17Bは、第5の実施形態を説明するための図(2)である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、添付図面を参照して、超音波診断装置の実施形態を詳細に説明する。

【0010】

(第1の実施形態)

まず、第1の実施形態に係る超音波診断装置の構成について説明する。図1は、第1の実施形態に係る超音波診断装置の構成例を示すブロック図である。図1に例示するように、第1の実施形態に係る超音波診断装置は、超音波プローブ1と、モニタ2と、入力装置3と、装置本体10とを有する。

【0011】

超音波プローブ1は、複数の圧電振動子を有し、これら複数の圧電振動子は、後述する装置本体10が有する送受信部11から供給される駆動信号に基づき超音波を発生する。また、超音波プローブ1が有する複数の圧電振動子は、被検体Pからの反射波を受信して電気信号(反射波信号)に変換する。また、超音波プローブ1は、圧電振動子に設けられる整合層と、圧電振動子から後方への超音波の伝播を防止するバック材等を有する。

10

20

30

40

50

なお、超音波プローブ 1 は、装置本体 10 と着脱自在に接続される。

【0012】

超音波プローブ 1 から被検体 P に超音波が送信されると、送信された超音波は、被検体 P の体内組織における音響インピーダンスの不連続面で次々と反射され、反射波として超音波プローブ 1 が有する複数の圧電振動子にて受信され、反射波信号に変換される。反射波信号の振幅は、超音波が反射される不連続面における音響インピーダンスの差に依存する。なお、送信された超音波パルスが、移動している血流や心臓壁等の表面で反射された場合、反射波信号は、ドプラ効果により、移動体の超音波送信方向に対する速度成分に依存して、周波数偏移を受ける。

【0013】

なお、第 1 の実施形態は、超音波プローブ 1 が、被検体 P を 2 次元で走査する 1 D アレイプローブであっても、被検体 P を 3 次元で走査するメカニカル 4 D プローブや 2 D アレイプローブであっても適用可能である。

【0014】

入力装置 3 は、マウス、キーボード、ボタン、パネルスイッチ、タッチコマンドスクリーン、フットスイッチ、トラックボール、ジョイスティック等を有する。入力装置 3 は、超音波診断装置の操作者からの各種設定要求を受け付け、受け付けた各種設定要求を装置本体 10 へ転送する。

【0015】

モニタ 2 は、超音波診断装置の操作者が入力装置 3 を用いて各種設定要求を入力するための GUI (Graphical User Interface) を表示したり、装置本体 10 において生成された超音波画像データ等を表示したりする。

【0016】

装置本体 10 は、超音波プローブ 1 が受信した反射波に基づいて超音波画像データを生成する装置である。図 1 に示す装置本体 10 は、2 次元の反射波信号に基づいて 2 次元の超音波画像データを生成可能であり、3 次元の反射波信号に基づいて 3 次元の超音波画像データを生成可能な装置である。ただし、第 1 の実施形態は、装置本体 10 が、2 次元データ専用の装置である場合であっても適用可能である。

【0017】

装置本体 10 は、図 1 に例示するように、送受信部 11 と、信号処理部 12 と、画像生成部 13 と、画像メモリ 14 と、内部記憶部 15 と、制御部 16 とを有する。

【0018】

送受信部 11 は、後述する制御部 16 の指示に基づいて、超音波プローブ 1 が行なう超音波送受信を制御する。送受信部 11 は、パルス発生器、送信遅延部、パルサ等を有し、超音波プローブ 1 に駆動信号を供給する。パルス発生器は、所定のパルス繰り返し周波数 (PRF: Pulse Repetition Frequency) で、送信超音波を形成するためのレートパルスを繰り返し発生する。また、送信遅延部は、超音波プローブ 1 から発生される超音波をビーム状に集束し、かつ送信指向性を決定するために必要な圧電振動子ごとの遅延時間を、パルス発生器が発生する各レートパルスに対し与える。また、パルサは、レートパルスに基づくタイミングで、超音波プローブ 1 に駆動信号 (駆動パルス) を印加する。

【0019】

すなわち、送信遅延部は、各レートパルスに対し与える遅延時間を変化させることで、圧電振動子面から送信される超音波の送信方向を任意に調整する。また、送信遅延部は、各レートパルスに対し与える遅延時間を変化させることで、超音波送信の深さ方向における集束点 (送信フォーカス) の位置を制御する。なお、第 1 の実施形態に係る送受信部 11 は、所定の間隔で、同一スキャンライン上にて、送信フォーカス点の深度を変えて超音波ビームを複数回送信する多段フォーカス (multi focusing) を実行可能であっても良い。多段フォーカスを行なう場合、送受信部 11 が有する送信遅延部は、各送信フォーカス点の深度に応じた送信遅延時間を算出してパルサ回路に与える。

【0020】

10

20

30

40

50

なお、送受信部 11 は、後述する制御部 16 の指示に基づいて、所定のスキャンシーケンスを実行するために、送信周波数、送信駆動電圧等を瞬時に変更可能な機能を有している。特に、送信駆動電圧の変更は、瞬間にその値を切り替え可能なりニアンプ型の発信回路、又は、複数の電源ユニットを電氣的に切り替える機構によって実現される。

#### 【0021】

また、送受信部 11 は、アンプ回路、A/D (Analog/Digital) 変換器、受信遅延回路、加算器、直交検波回路等を有し、超音波プローブ 1 が受信した反射波信号に対して各種処理を行って受信信号 (反射波データ) を生成する。アンプ回路は、反射波信号をチャンネル毎に増幅してゲイン補正処理を行う。A/D 変換器は、ゲイン補正された反射波信号を A/D 変換する。受信遅延回路は、デジタルデータに受信指向性を決定するのに必要な受信遅延時間を与える。加算器は、受信遅延回路により受信遅延時間を与えられた反射波信号の加算処理を行う。加算器の加算処理により、反射波信号の受信指向性に応じた方向からの反射成分が強調される。そして、直交検波回路は、加算器の出力信号をベースバンド帯域の同相信号 (I 信号、I: In-phase) と直交信号 (Q 信号、Q: Quadrature-phase) とに変換する。そして、直交検波回路は、I 信号及び Q 信号 (以下、I/Q 信号と記載する) を受信信号 (反射波データ) として図示しないフレームバッファに格納する。

10

#### 【0022】

なお、直交検波回路は、加算器の出力信号を、RF (Radio Frequency) 信号に変換した上で、図示しないフレームバッファに格納してもよい。I/Q 信号及び RF 信号は、位相情報を有する受信信号である。また、送受信部 11 は、1 本の送信走査線で行なわれた送信超音波により、複数の受信走査線それぞれの反射波を同時に受信する並列同時受信を行なうことも可能である。

20

#### 【0023】

ここで、送受信部 11 は、被検体 P を 2 次元走査する場合、超音波プローブ 1 から 2 次元の超音波ビームを送信させる。そして、送受信部 11 は、超音波プローブ 1 が受信した 2 次元の反射波信号から 2 次元の反射波データを生成する。また、送受信部 11 は、被検体 P を 3 次元走査する場合、超音波プローブ 1 から 3 次元の超音波ビームを送信させる。そして、送受信部 11 は、超音波プローブ 1 が受信した 3 次元の反射波信号から 3 次元の反射波データを生成する。

#### 【0024】

信号処理部 12 は、送受信部 11 が反射波信号から生成した受信信号 (反射波データ) に対して、各種の信号処理を行なう処理部である。信号処理部 12 は、図 1 に示すように、B モード処理部 121 及びドブラ処理部 122 を有する。B モード処理部 121 は、送受信部 11 から受信信号 (反射波データ) を受信し、対数増幅処理、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、信号強度が輝度の明るさで表現されるデータ (B モードデータ) を生成する。また、ドブラ処理部 122 は、送受信部 11 から受信した受信信号 (反射波データ) から速度情報を周波数解析し、ドブラ効果による速度、分散、パワー等の移動体情報を多点について抽出したデータ (ドブラデータ) を生成する。ここで、移動体とは、例えば、血流や心壁等の組織、造影剤である。B モード処理部 121 やドブラ処理部 122 は、上述したフレームバッファを介して受信信号 (反射波データ) を取得する。

30

40

#### 【0025】

なお、図 1 に例示する B モード処理部 121 及びドブラ処理部 122 は、2 次元の反射波データ及び 3 次元の反射波データの両方について処理可能である。すなわち、B モード処理部 121 は、2 次元の反射波データから 2 次元の B モードデータを生成し、3 次元の反射波データから 3 次元の B モードデータを生成する。また、ドブラ処理部 122 は、2 次元の反射波データから 2 次元のドブラデータを生成し、3 次元の反射波データから 3 次元のドブラデータを生成する。図 2 は、図 1 に示す B モード処理部の構成例を示すブロック図である。

#### 【0026】

ここで、図 2 に例示するように、B モード処理部 121 は、合成部 121a と B モード

50

データ生成部 1 2 1 b とを有する。B モードデータ生成部 1 2 1 b は、受信信号（反射波データ）に対して、対数増幅処理、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、B モードデータを生成する。通常の B モード撮影が行なわれている場合、合成部 1 2 1 a による処理は実行されず、B モードデータ生成部 1 2 1 b は、送受信部 1 1 から受信した受信信号（反射波データ）から B モードデータを生成する。

【 0 0 2 7 】

一方、例えば、位相変調法 (P M : Phase Modulation) や、振幅変調法 (A M : Amplitude Modulation)、位相振幅変調法 (A M P M) によるハーモニクイメージング等が行なわれている場合、B モードデータ生成部 1 2 1 b は、合成部 1 2 1 a が出力したデータ（合成信号）から B モードデータを生成する。なお、合成部 1 2 1 a の処理については、後に詳述する。

10

【 0 0 2 8 】

画像生成部 1 3 は、信号処理部 1 2 (B モード処理部 1 2 1 及びドブラ処理部 1 2 2) が生成したデータから超音波画像データを生成する。画像生成部 1 3 は、B モード処理部 1 2 1 が生成した 2 次元の B モードデータから反射波の強度を輝度で表した 2 次元 B モード画像データを生成する。また、画像生成部 1 3 は、ドブラ処理部 1 2 2 が生成した 2 次元のドブラデータから移動体情報を表す 2 次元ドブラ画像データを生成する。2 次元ドブラ画像データは、速度画像データ、分散画像データ、パワー画像データ、又は、これらを組み合わせた画像データである。

【 0 0 2 9 】

ここで、画像生成部 1 3 は、一般的には、超音波走査の走査線信号列を、テレビ等に代表されるビデオフォーマットの走査線信号列に変換（スキャンコンバート）し、表示用の超音波画像データを生成する。具体的には、画像生成部 1 3 は、超音波プローブ 1 による超音波の走査形態に応じて座標変換を行なうことで、表示用の超音波画像データを生成する。また、画像生成部 1 3 は、スキャンコンバート以外に、種々の画像処理として、例えば、スキャンコンバート後の複数の画像フレームを用いて、輝度の平均値画像を再生成する画像処理（平滑化処理）や、画像内で微分フィルタを用いる画像処理（エッジ強調処理）等を行なう。また、画像生成部 1 3 は、超音波画像データに、種々のパラメータの文字情報、目盛り、ボディーマーク等を合成する。

20

【 0 0 3 0 】

B モードデータ及びドブラデータは、スキャンコンバート処理前の超音波画像データであり、画像生成部 1 3 が生成するデータは、スキャンコンバート処理後の表示用の超音波画像データである。なお、B モードデータ及びドブラデータは、生データ (Raw Data) とも呼ばれる。画像生成部 1 3 は、スキャンコンバート処理前の 2 次元超音波画像データから、表示用の 2 次元超音波画像データを生成する。

30

【 0 0 3 1 】

更に、画像生成部 1 3 は、B モード処理部 1 2 1 が生成した 3 次元の B モードデータに対して座標変換を行なうことで、3 次元 B モード画像データを生成する。また、画像生成部 1 3 は、ドブラ処理部 1 2 2 が生成した 3 次元のドブラデータに対して座標変換を行なうことで、3 次元ドブラ画像データを生成する。画像生成部 1 3 は、「3 次元の B モード画像データや 3 次元ドブラ画像データ」を「3 次元超音波画像データ（ボリュームデータ）」として生成する。

40

【 0 0 3 2 】

更に、画像生成部 1 3 は、ボリュームデータをモニタ 2 にて表示するための 2 次元画像データを生成するために、ボリュームデータに対して各種レンダリング処理を行なう。画像生成部 1 3 が行なうレンダリング処理としては、例えば、断面再構成法 (M P R : Multi Planer Reconstruction) を行なってボリュームデータから M P R 画像データを生成する処理がある。また、画像生成部 1 3 が行なうレンダリング処理としては、例えば、3 次元の情報を反映した 2 次元画像データを生成するボリュームレンダリング (V R : Volume Rendering) 処理がある。

50

## 【 0 0 3 3 】

画像メモリ 1 4 は、画像生成部 1 3 が生成した表示用の画像データを記憶するメモリである。また、画像メモリ 1 4 は、B モード処理部 1 2 1 やドブラ処理部 1 2 2 が生成したデータを記憶することも可能である。画像メモリ 1 4 が記憶する B モードデータやドブラデータは、例えば、診断の後に操作者が呼び出すことが可能となっており、画像生成部 1 3 を経由して表示用の超音波画像データとなる。また、画像メモリ 1 4 は、送受信部 1 1 が出力した受信信号（反射波データ）を記憶することも可能である。

## 【 0 0 3 4 】

内部記憶部 1 5 は、超音波送受信、画像処理及び表示処理を行なうための制御プログラムや、診断情報（例えば、患者 ID、医師の所見等）や、診断プロトコルや各種ボディーマーク等の各種データを記憶する。また、内部記憶部 1 5 は、必要に応じて、画像メモリ 1 4 が記憶する画像データの保管等にも使用される。また、内部記憶部 1 5 が記憶するデータは、図示しないインターフェースを経由して、外部装置へ転送することができる。また、内部記憶部 1 5 は、外部装置から図示しないインターフェースを経由して転送されたデータを記憶することも可能である。

10

## 【 0 0 3 5 】

制御部 1 6 は、超音波診断装置の処理全体を制御する。具体的には、制御部 1 6 は、入力装置 3 を介して操作者から入力された各種設定要求や、内部記憶部 1 5 から読込んだ各種制御プログラム及び各種データに基づき、送受信部 1 1、信号処理部 1 2（B モード処理部 1 2 1 及びドブラ処理部 1 2 2）及び画像生成部 1 3 の処理を制御する。また、制御部 1 6 は、画像メモリ 1 4 や内部記憶部 1 5 が記憶する表示用の超音波画像データをモニタ 2 にて表示するように制御する。

20

## 【 0 0 3 6 】

なお、装置本体 1 0 に内蔵される送受信部 1 1 等は、集積回路等のハードウェアで構成されることもあるが、ソフトウェア的にモジュール化されたプログラムである場合もある。

## 【 0 0 3 7 】

以上、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置の全体構成について説明した。かかる構成のもと、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置は、例えば、組織ハーモニクイメージング（Tissue Harmonic Imaging：THI）法を、パルスインバージョン（Pulse Inversion）法とも呼ばれる PM 法により行なう。或いは、第 1 の実施形態に係る超音波診断装置は、例えば、THI 法を、差音成分を用いた映像化法（後述）により行なう。図 3 A 及び図 3 B は、THI 法を説明するための図である。なお、図 3 A 及び図 3 B において、横軸は、周波数（単位：MHz）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：dB）を示す。

30

## 【 0 0 3 8 】

例えば、送受信部 1 1 は、制御部 1 6 が設定したスキャンシーケンスにより、中心周波数が「 $f_1$ 」である基本波の超音波パルスを、位相を反転させながら各走査線で 2 回送信させる。すなわち、送受信部 1 1 は、1 本の走査線において中心周波数が「 $f_1$ 」の超音波を 2 回送信させる際に、1 回目の送信超音波の位相極性と 2 回目の送信超音波の位相極性とを反転させる。これにより、送受信部 1 1 は、1 本の走査線にて、2 つの受信信号を生成する。ここで、1 回目の送信「 $+1$ 」により得られる受信信号を「 $r(+1)$ 」とし、2 回目の送信「 $-1$ 」により得られる受信信号を「 $r(-1)$ 」とする。

40

## 【 0 0 3 9 】

かかる場合、基本波に由来する基本波成分の極性は、「 $r(+1)$ 」と「 $r(-1)$ 」とで反転している。一方、中心周波数が「 $2f_1$ 」である 2 次高調波に由来する 2 次高調波成分の極性は、「 $r(+1)$ 」と「 $r(-1)$ 」と同じである。そこで、合成部 1 2 1 a は、「 $r(+1)$ 」と「 $r(-1)$ 」とを加算して、合成信号を生成する。ここで、「 $r(+1)$ 」と「 $r(-1)$ 」とは、位相情報を有する IQ 信号や RF 信号であることから、合成部 1 2 1 a が行なう加算処理は、コヒーレント加算処理となる。

## 【 0 0 4 0 】

50

かかる加算処理により、中心周波数が「 $f_1$ 」の基本波に由来する基本波成分（図3Aに示す「 $f_1$ 」を参照）は、相殺され、中心周波数が「 $2f_1$ 」の2次高調波に由来する2次高調波成分（図3Aに示す「 $2f_1$ 」を参照）は、倍化される。すなわち、合成信号は、基本波成分が除去され、2次高調波成分が主に残存したハーモニック信号となる。Bモードデータ生成部121bは、合成部121aが生成した合成信号からBモードデータを生成し、画像生成部13は、このBモードデータから超音波画像データ（Bモード画像データ）を生成する。高調波成分を用いた映像化は、超音波ビームの中心部分を用いた映像化となる。また、メインビームに対してサイドローブは、音圧が低いため、高調波の発生が少ない。このようなことから、上記の方法で得られるBモード画像データの方位分解能は、通常のBモード画像データより高くなる。

10

## 【0041】

しかし、高調波成分の帯域幅が狭いため、或いは、高調波受信により深部領域における「penetration」が不足するため、上記の方法では、距離分解能は、改善されない場合がある。そこで、近年、方位分解能及び距離分解能の高いBモード画像データを得るTHI法として、受信信号に含まれる2次高調波成分と差音成分とを用いて映像化を行なう方法が実用化されている。差音成分を用いた映像化法では、中心周波数の異なる2つの基本波を混合して合成した波形の超音波パルスを、各走査線で位相反転しながら複数回送信し、これらの受信信号を合成する。

## 【0042】

例えば、差音成分を用いた映像化法で用いられる2つの基本波を、中心周波数が「 $f_1$ 」の第1基本波と、中心周波数が「 $f_1$ 」より大きい「 $f_2$ 」の第2基本波とする。送受信部11は、第1基本波の波形と第2基本波の波形とを合成した合成波形の超音波パルスを、超音波プローブ1から送信させる。この合成波形は、2次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分が発生するように、互いの位相が調整された第1基本波の波形と第2基本波の波形とを合成した波形である。この位相条件は、制御部16により調整される。以下、2次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分を発生させるための位相条件を、同一極性位相条件と記載する。

20

## 【0043】

第1基本波と第2基本波との合成波形の送信超音波による受信信号には、図3Bに示すように、中心周波数が「 $f_1$ 」である第1基本波に由来する第1基本波成分と、中心周波数が「 $f_2$ 」である第2基本波に由来する第2基本波成分とが含まれる。また、受信信号には、図3Bに示すように、中心周波数が「 $2f_1$ 」である2次高調波に由来する2次高調波成分と、中心周波数が「 $2f_2$ 」である2次高調波に由来する2次高調波成分とが含まれる。そして、中心周波数の異なる2つの基本波を用いた場合、受信信号には、図3Bに示すように、第2基本波と第1基本波との差音「 $f_2 - f_1$ 」に由来する差音成分とが含まれる。なお、図3Bには示していないが、受信信号には、第2基本波と第1基本波との和音「 $f_1 + f_2$ 」に由来する和音成分も含まれる。

30

## 【0044】

ここで、送受信部11は、合成波形の送信超音波を、位相を反転させながら複数回（例えば、2回）送信させる。例えば、送受信部11は、1本の走査線で、合成波形の送信超音波を2回送信させる際に、1回目の送信超音波の極性と2回目の送信超音波の極性とを反転させる。これにより、送受信部11は、1本の走査線にて、2つの反射波データを生成する。ここで、1回目の送信「+1」により得られる反射波データを「 $R(+1)$ 」とし、2回目の送信「-1」により得られる反射波データを「 $R(-1)$ 」とする。

40

## 【0045】

かかる場合、第1基本波成分の極性と、第2基本波成分の極性とは、「 $R(+1)$ 」と「 $R(-1)$ 」とで反転している。一方、2次高調波「 $2f_1$ 」に由来する2次高調波成分の極性と、2次高調波「 $2f_2$ 」に由来する2次高調波成分の極性と、差音「 $f_2 - f_1$ 」に由来する差音成分の極性とは、「 $R(+1)$ 」と「 $R(-1)$ 」とで同じである。そこで、合成部121aは、「 $R(+1)$ 」と「 $R(-1)$ 」とを加算（コヒーレント加

50

算)して、合成信号を生成する。この合成信号は、基本波成分が除去され、差音成分及び2次高調波成分が主に残存したハーモニック信号となる。

【0046】

また、合成部121aは、2次高調波「 $2f_2$ 」に由来する2次高調波成分を、フィルタ処理により合成信号(合成データ)から除去する。或いは、例えば、制御部16は、2次高調波「 $2f_2$ 」に由来する2次高調波成分の周波数帯域を、超音波プローブ1が受信可能な周波数帯域外となるように設定する。これにより、合成部121aは、「 $f_2 - f_1$ 」の差音成分と、「 $2f_1$ 」の2次高調波成分とが抽出された合成信号(合成ハーモニック信号)を生成する。

【0047】

そして、合成部121aが出力した合成データからBモードデータを生成し、画像生成部13は、このBモードデータから超音波画像データ(Bモード画像データ)を生成する。合成部121aが出力した合成データは、低い周波数側の2次高調波成分と差音成分を含む合成ハーモニック信号となり、従来のTHI法で得られる信号より広帯域なハーモニックエコーとなる。差音成分を用いた映像化法では、この合成ハーモニック信号を用いて映像化を行なうことで、空間分解能(方位分解能及び距離分解能)が高いBモード画像データを得ることができる。

【0048】

なお、差音成分を用いた映像化法では、「 $f_1$ 」及び「 $f_2$ 」の値は、映像化される周波数帯域に応じて、制御部16により調整される。例えば、「 $f_1 = f$ 」として、「 $2f$ 」を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「 $f_2$ 」の値は、「 $f_2 = 3 \times f$ 」に調整される。また、例えば、「 $f_1 = f$ 」として、「 $2f$ 」より高周波側の周波数を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「 $f_2$ 」の値は、「 $3 \times f$ 」より大きい値、例えば、「 $f_2 = 3.5 \times f$ 」に調整される。また、例えば、「 $f_1 = f$ 」として、「 $2f$ 」より低周波側の周波数を中心とする広帯域な周波数帯域での映像化を行なう場合、「 $f_2$ 」の値は、「 $3 \times f$ 」より小さい値、例えば、「 $f_2 = 2.5 \times f$ 」に調整される。

【0049】

ところで、2次の非線形伝播で発生する高調波成分には、映像化対象となる高調波成分(例えば、2次高調波成分)の他に、0(ゼロ)次の高調波成分がある。0次の高調波成分は、直流を中心とする低域のハーモニック成分であり、DCハーモニック成分とも呼ばれる。図3A及び図3Bでは、0次高調波成分を「DC」として模式的に示している。図3A及び図3Bに示す「DC」は、受信信号の非線形成分(高調波成分)の中で、「0次」の項に対応する成分である。

【0050】

しかし、上記の信号処理法を用いたTHI法で生成される画像には、多重アーチファクトとして、受信信号の信号源が1つ前の送信から混入する残留多重アーチファクトが発生する場合がある。

【0051】

この残留多重アーチファクトは、多重の信号源が1つ前の送信によるものであるために、「送信走査線の位置の違いによる送信波面のズレ」、「多段フォーカス実行時の送信フォーカス位置の違い」、「PRF(パルス繰り返し周波数)の違い」等により、基本波成分の多重が相殺されずに消え残ることで発生する。例えば、この残留多重アーチファクトは、PM法(パルスインバージョン法)を用いたTHI法、又は、差音成分を用いたTHI法を、多段フォーカスと組み合わせて行なう場合に発生する。図4及び図5は、THI法を多段フォーカスにより実行する際に発生する残留多重アーチファクトを説明するための図である。

【0052】

図4は、多段フォーカス実行時に、フォーカス間でPRFが異なるために、残留多重アーチファクトが発生する場合を例示している。図4では、浅部に設定された送信フォーカ

10

20

30

40

50

スの位置を「F 1」で示し、深部に設定された送信フォーカスの位置を「F 2」で示している。また、図 4 では、「F 1」用の超音波送受信が「パルス間隔：T 1」で実行され、「送信フォーカス：F 1」での視野深度が「生体内音速×T 1」であることを示している。また、図 4 では、「F 2」用の超音波送受信が「パルス間隔：T 2」で実行され、「送信フォーカス：F 2」での視野深度が「生体内音速×T 2」であることを示している。すなわち、図 4 に示す一例では、「F 1」用の超音波送受信が「PRF：1/T 1」で実行され、「F 2」用の超音波送受信が「PRF：1/T 2」で実行される。

【0053】

また、図 4 では、「送信フォーカス：F 1」の位置に焦点を合わせて 1 回目に送信される超音波パルスの送信波形を「F 1 +」で示し、「F 1 +」の位相極性を反転して 2 回目に送信される超音波パルスの送信波形を「F 1 -」で示している。また、図 4 では、「送信フォーカス：F 2」の位置に焦点を合わせて 1 回目に送信される超音波パルスの送信波形を「F 2 +」で示し、「F 2 +」の位相極性を反転して 2 回目に送信される超音波パルスの送信波形を「F 2 -」で示している。

10

【0054】

かかる場合、図 4 の下図に示すように、1 回目では、「F 1 +」が送信され、T 1 が経過するまで「F 1 +」による反射波の受信が行なわれる。次に、図 4 の下図に示すように、2 回目では、「F 1 -」が送信され、T 1 が経過するまで「F 1 +」による反射波の受信が行なわれる。次に、図 4 の下図に示すように、3 回目では、「F 2 +」が送信され、T 2 が経過するまで「F 2 +」による反射波の受信が行なわれる。次に、図 4 の下図に示すように、4 回目では、「F 2 -」が送信され、T 2 が経過するまで「F 2 +」による反射波の受信が行なわれる。なお、上記の 4 つの送信波形は、PM 法に基づく送信波形であっても、差音成分を用いた映像化法に基づく送信波形であっても良い。

20

【0055】

そして、送受信部 1 1 は、1 回目の送信に基づく受信信号と 2 回目の送信に基づく受信信号を生成する。合成部 1 2 1 a は、1 回目の送信で得られた受信信号と 2 回目の送信で得られた受信信号とを加算して、該当する走査線上で、視野深度が「生体内音速×T 1」までの合成信号を生成する。また、送受信部 1 1 は、3 回目の送信に基づく受信信号と 4 回目の送信に基づく受信信号を生成する。合成部 1 2 1 a は、3 回目の送信で得られた受信信号と 4 回目の送信で得られた受信信号とを加算して、該当する走査線上で、視野深度が「生体内音速×T 2」までの合成信号を生成する。かかる処理は、走査範囲を形成する各走査線で行なわれる。

30

【0056】

これにより、「送信フォーカス：F 1」の B モード画像データと、「送信フォーカス：F 2」の B モード画像データとが得られる。制御部 1 6 の制御により、画像生成部 1 3 は、「送信フォーカス：F 1」の B モード画像データと「送信フォーカス：F 2」の B モード画像データとを組み合わせた画像データを生成し、モニタ 2 は、この画像データを表示する。

【0057】

ここで、図 4 では、ある走査線の深さ方向において、「生体内音速×T 1」と「生体内音速×T 2」との間の「生体内音速×t」に位置に、強反射体 S が存在していることを示している。かかる場合、「F 2 +」による強反射体 S の反射波「F 2 + '」は、図 4 に示すように、3 回目の送信開始から「t」経過後、すなわち、3 回目の送受信期間中に、受信される。また、「F 2 -」による強反射体 S の反射波「F 2 - '」は、図 4 に示すように、4 回目の送信開始から「t」経過後、すなわち、4 回目の送受信期間中に、受信される。3 回目の送信で得られた受信信号と 4 回目の送信で得られた受信信号との加算処理により、「F 2 + '」の基本波成分と「F 2 - '」の基本波成分とは、相殺される。

40

【0058】

しかし、「F 1 +」による強反射体 S の反射波「F 1 + '」は、図 4 に示すように、1 回目の送受信が終了して、2 回目の送信開始から「t - T 1」後に受信される。また、「

50

F 1 - 」による強反射体 S の反射波「 F 2 + 」は、図 4 に示すように、2 回目の送受信が終了して、3 回目の送信開始から「 t - T 1 」後に受信される。

【 0 0 5 9 】

従って、1 回目の送信で得られた受信信号と 2 回目の送信で得られた受信信号との加算処理では、「 F 1 + 」の基本波成分は、除去されず、消え残る。また、3 回目の送信で得られた受信信号と 4 回目の送信で得られた受信信号との加算処理では、「 F 1 - 」の基本波成分は、除去されず、消え残る。

【 0 0 6 0 】

これにより、B モード画像データには、図 4 に示すように、「 t - T 1 」に対応する深度の位置に、残留多重 S ' が出現する。ただし、残留多重 S ' は、「 T 1 < t < T 2 」である場合に出現するが、「 t < T 1 < T 2 」の場合や、「 t < T 1 = T 2 」の場合には出現しない。

10

【 0 0 6 1 】

しかし、残留多重アーチファクトは、多段フォーカスを十分に長いパルス間隔で行なったとしても、発生する場合がある。例えば、残留多重アーチファクトは、多段フォーカスによる T H I 法を、フレームレート向上のために、並列同時受信と併用して行なった場合、発生する。図 5 は、多段フォーカス及び並列同時受信の併用時に、送信波面の違いによる反射波信号の到達時間が異なるために、残留多重アーチファクトが発生する場合を例示している。

【 0 0 6 2 】

図 5 では、送信走査線 T X で超音波プローブ 1 から送信走査線 T X において超音波が送信され、並列同時受信時に、送信走査線 T X から離れた位置の受信走査線 R X で反射波が受信される場合を例示している。また、図 5 では、各送信でのパルス間隔が「 T 」である場合を示している。図 5 では、受信走査線 R X 上において、「生体内音速 × T 」より深い位置に、強反射体 S が位置している場合を示している。

20

【 0 0 6 3 】

すなわち、図 5 では、「 F 1 + 」による 1 回目の送受信と、「 F 1 - 」による 2 回目の送受信と、「 F 2 + 」による 3 回目の送受信と、「 F 2 - 」による 4 回目の送受信とが、T 間隔で行なわれる。ここで、図 5 に示すように、強反射体 S が位置する場所では、「 F 1 + 」及び「 F 1 - 」の送信波面と、「 F 2 + 」及び「 F 2 - 」の送信波面とには、送信フォーカスの位置の違いにより、「位相ズレ」が発生する。かかる位相ズレにより、「送信フォーカス： F 1 」での強反射体 S の反射波信号の到達時間は、「送信フォーカス： F 2 」での強反射体 S の反射波信号の到達時間と異なる。これにより、受信走査線 R X 上には、図 5 に示すように、残留多重 S ' が発生する。なお、「生体内音速 × T 」より浅い位置に、強反射体 S が位置する場合でも、送信波面の違いによる反射波信号の到達時間の差に起因して、残留多重 S ' は、発生する。また、「送信フォーカス： F 1 」と「送信フォーカス： F 2 」とで P R F が異なる場合にも、送信波面の違いによる残留多重 S ' は、発生する。

30

【 0 0 6 4 】

更に、ある走査線における 1 回目の送信受信期間中には、この走査線の隣の走査線の 4 回目の送信を要因とする残留多重が混入する。この場合、送信走査線の違いによる送信波面のズレにより、残留多重の基本波成分が除去できずに、消え残る。

40

【 0 0 6 5 】

ここで、残留多重の基本波成分は、比較的 low 周波であり、更に、残留多重の基本波成分の信号レベルは、ハーモニック信号よりも高い。このため、多重残留アーチファクトは、T H I 法で生成された画像を用いた診断に支障をきたす場合がある。

【 0 0 6 6 】

そこで、第 1 の実施形態では、残留多重アーチファクトを除去するために、以下の処理が行なわれる。

【 0 0 6 7 】

50

まず、送受信部 1 1 は、同一の走査線上における複数回の超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信条件を変えて上記走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する。そして、信号処理部 1 2 (合成部 1 2 1 a) は、複数のセット各々で受信信号群を合成し、複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する。すなわち、信号処理部 1 2 (合成部 1 2 1 a) は、映像化の目的に応じた加減算処理により、複数のセット分の受信信号群を合成し、複数のセット各々に対応する複数の合成信号を生成する。そして、画像生成部 1 3 は、複数の合成信号を用いて超音波画像データを生成する。すなわち、Bモードデータ生成部 1 2 1 b は、各走査線の合成信号から Bモードデータを生成し、画像生成部 1 3 は、この Bモードデータから Bモード画像データを生成する。そして、制御部 1 6 は、信号処理部 1 2 (合成部 1 2 1 a) によって合成される 1

10

**【0068】**

上記の送信順番の制約で実行される処理の一例は、以下となる。送受信部 1 1 は、所定の走査線に関する第 1 の送信条件に基づく第 1 の超音波パルスを超音波プローブ 1 に送信させる。そして、送受信部 1 1 は、第 1 の送信条件とは異なり、所定の走査線に関する第 2 の送信条件に基づく第 2 の超音波パルスを、第 1 の超音波パルスの次に超音波プローブ 1 に送信させる。そして、送受信部 1 1 は、第 1 の送信条件と位相極性が異なり、所定の走査線に関する第 3 の送信条件に基づく第 3 の超音波パルスを、第 2 の超音波パルスの後に超音波プローブ 1 に送信させる。そして、送受信部 1 1 は、第 2 の送信条件と位相極性が異なり、所定の走査線に関する第 4 の送信条件に基づく第 4 の超音波パルスを、第 3 の超音波パルスの次に超音波プローブ 1 に送信させる。そして、送受信部 1 1 は、第 1 の超音波パルスの送信により超音波プローブ 1 が受信した反射波に基づく第 1 の受信信号を生成する。また、送受信部 1 1 は、第 2 の超音波パルスの送信により超音波プローブ 1 が受信した反射波に基づく第 2 の受信信号を生成する。また、送受信部 1 1 は、第 3 の超音波パルスの送信により超音波プローブ 1 が受信した反射波に基づく第 3 の受信信号を生成する。また、送受信部 1 1 は、第 4 の超音波パルスの送信により超音波プローブ 1 が受信した反射波に基づく第 4 の受信信号を生成する。そして、信号処理部 1 2 (合成部 1 2 1 a) は、第 1 の受信信号と前記第 3 の受信信号とを合成することで第 1 の合成信号を発生し、第 2 の受信信号と第 4 の受信信号とを合成することで第 2 の合成信号を発生する。そして、画像生成部 1 3 は、第 1 の合成信号及び第 2 の合成信号に基づいて画像データを生成する。

20

30

**【0069】**

ここで、送受信部 1 1 が複数のセット各々で変更する送信条件は、送信フォーカス位置、送信周波数及び送信波形の少なくとも 1 つである。上記の送信順番の制約で実行される処理の一例では、送受信部 1 1 は、送信フォーカス位置、送信周波数及び送信波形の少なくとも 1 つの送信条件を、第 1 の送信条件及び第 3 の送信条件と、第 2 の送信条件及び第 4 の送信条件との間で変更する。第 1 の実施形態では、送受信部 1 1 がセット単位で変更する送信条件は、送信フォーカス位置である。第 1 の実施形態では、送受信部 1 1 は、同一の走査線上において位相極性を反転して 2 回行なう超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信フォーカス位置を変えて走査線上で複数回実行させる。すなわち、第 1 の実施形態では、送受信部 1 1 は、高調波成分 (例えば、2 次高調波成分や、差音成分及び 2 次高調波成分) の映像化を目的とする超音波送受信のセットを、送信フォーカス位置を変えて走査線上で複数回実行させる。そして、送受信部 1 1 は、上記複数のセット分の受信信号群を生成する。

40

**【0070】**

例えば、第 1 の実施形態では、送受信部 1 1 は、同一走査線上において位相極性を反転して 2 回行なう 1 セットの超音波送受信を、当該走査線で送信フォーカス位置を変えて 2 セット実行させる。そして、送受信部 1 1 は、4 つの受信信号を生成する。

50

## 【0071】

そして、第1の実施形態では、信号処理部12（合成部121a）は、複数のセット各々で2つの受信信号を加算して、走査線上において複数の合成信号を生成する。すなわち、信号処理部12（合成部121a）は、複数セットそれぞれの2つの受信信号を加算して、各走査線において送信フォーカス位置ごとの合成信号を生成する。例えば、合成部121aは、「F1+」による受信信号と「F1-」による受信信号とを加算して、「送信フォーカス：F1」の合成信号を生成する。また、例えば、合成部121aは、「F2+」による受信信号と「F2-」による受信信号とを加算して、「送信フォーカス：F2」の合成信号を生成する。

## 【0072】

そして、第1の実施形態では、画像生成部13は、送信フォーカス位置ごとの合成信号から、送信フォーカス位置ごとの超音波画像データを生成する。

## 【0073】

ここで、制御部16は、上述したように、送受信部11が実行させる超音波送受信の順番を制御する。制御部16は、信号処理部12（合成部121a）によって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信それぞれの1つ前の送信同士の送信条件が同一になり位相極性が異なるように、送受信部11が実行させる超音波送受信の順番を制御する。第1の実施形態では、制御部16は、信号処理部12（合成部121a）によって加算される1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信フォーカス位置が同一になるように、送信順番を制御する。

## 【0074】

かかる送信順番の制約で実行される処理の一例では、送受信部11は、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの送信フォーカス位置を第1位置「F1」として、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの位相極性を反転させ、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの送信フォーカス位置を、第1位置とは異なる第2位置「F2」として、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの位相極性を反転させる。そして、信号処理部12（合成部121a）は、第1の受信信号と第3の受信信号とを加算することで第1の合成信号を発生し、第2の受信信号と第4の受信信号とを加算することで第2の合成信号を発生する。

## 【0075】

図6は、THI法を多段フォーカスで実行する際に、従来法で行なわれていた超音波送受信順番を示す図である。また、図7は、THI法を多段フォーカスで実行する際に、第1の実施形態で行なわれる超音波送受信順番を示す図である。

## 【0076】

図6に示すように、従来では、1回目で、送信波形「F1+」の超音波パルスによる送受信が行なわれ、2回目で、送信波形「F1-」の超音波パルスによる送受信が行なわれる。また、図6に示すように、従来では、3回目で、送信波形「F2+」の超音波パルスによる送受信が行なわれ、4回目で、送信波形「F2-」の超音波パルスによる送受信が行なわれる。

## 【0077】

そして、1回目の受信信号と2回目の受信信号との加算処理「1+2」により、図6に示すように、1回目の受信信号の「組織ハーモニック成分：H1」と2回目の受信信号の「組織ハーモニック成分：H1」とを加算した「2\*H1」が抽出された合成信号が得られる。また、3回目の受信信号と4回目の受信信号との加算処理「3+4」により、図6に示すように、3回目の受信信号の「組織ハーモニック成分：H2」と4回目の受信信号の「組織ハーモニック成分：H2」とを加算した「2\*H2」が抽出された合成信号が得られる。

## 【0078】

しかし、従来では、1回目の受信信号には、図6に示すように、隣の走査線での4回目の残留多重「F2-」が混入する。また、従来では、図6に示すように、2回目の受信信

10

20

30

40

50

号には、同一走査線での1回目の残留多重「F 1 +」が混入する。このため、従来では、加算処理「1 + 2」により、図6に示すように、合成信号には、「(F 1 +) + (F 2 -)」が消え残る。

【0079】

また、従来では、3回目の受信信号には、図6に示すように、同一走査線での2回目の残留多重「F 1 -」が混入する。また、従来では、図6に示すように、4回目の受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「F 2 +」が混入する。このため、従来では、加算処理「3 + 4」により、図6に示すように、合成信号には、「(F 2 +) + (F 1 -)」が消え残る。

【0080】

これに対して、第1の実施形態では、図7に示すように、1回目で、送信波形「F 1 +」の超音波パルス(第1の超音波パルス)による送受信が行なわれ、2回目で、送信波形「F 2 +」の超音波パルス(第2の超音波パルス)による送受信が行なわれる。また、第1の実施形態では、図7に示すように、3回目で、送信波形「F 1 -」の超音波パルス(第3の超音波パルス)による送受信が行なわれ、4回目で、送信波形「F 2 -」の超音波パルス(第4の超音波パルス)による送受信が行なわれる。

【0081】

すなわち、第1の実施形態では、従来法で行なわれていた2回目の送信を3回目の送信に変更し、従来法で行なわれていた3回目の送信を2回目の送信に変更する。そして、第1の実施形態では、1回目の受信信号(第1の受信信号)と3回目の受信信号(第3の受信信号)との加算処理「1 + 3」により、図7に示すように、「組織ハーモニック成分: 2 \* H 1」が抽出された合成信号(第1の合成信号)が得られる。また、第1の実施形態では、2回目の受信信号(第2の受信信号)と4回目の受信信号(第4の受信信号)との加算処理「2 + 4」により、図7に示すように、「組織ハーモニック成分: 2 \* H 2」が抽出された合成信号(第2の合成信号)が得られる。

【0082】

ここで、上記の送信順番の制約により、第1の実施形態の加算処理「1 + 3」において、1回目の1つ前の送信である4回目の送信フォーカス位置と、3回目の1つ前の送信である2回目の送信フォーカス位置とは、同じ「F 2」である。また、上記の送受信順番の制約により、第1の実施形態の加算処理「2 + 4」において、2回目の1つ前の送信である1回目の送信フォーカス位置と、4回目の1つ前の送信である3回目の送信フォーカス位置とは、同じ「F 1」である。

【0083】

上記の送信順番の制約により、第1の実施形態では、図7に示すように、1回目の受信信号には、隣の走査線での4回目の残留多重「F 2 -」が混入する。また、第1の実施形態では、図7に示すように、2回目の受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「F 1 +」が混入する。また、第1の実施形態では、図7に示すように、3回目の受信信号には、同一走査線での2回目の残留多重「F 2 +」が混入する。また、第1の実施形態では、図7に示すように、4回目の受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「F 1 -」が混入する。

【0084】

しかし、第1の実施形態では、図7に示すように、加算処理「1 + 3」により、残留多重「F 2 -」と残留多重「F 2 +」とが加算により相殺されて、合成信号(第1の合成信号)の残留多重は、「0」となる。また、第1の実施形態では、図7に示すように、加算処理「2 + 4」により、残留多重「F 1 +」と残留多重「F 1 -」とが加算により相殺されて、合成信号(第2の合成信号)の残留多重は、「0」となる。

【0085】

上述したように、第1の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、加算処理を行なう2つの受信信号それぞれに含まれる残留多重の基本波成分は、位相極性が反転しているとともに、同じ送信フォーカス位置に対する送信波形に起因するので位相ズレが無い

10

20

30

40

50

。従って、第1の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、PM法を用いたTHI法、又は、差音成分を用いたTHI法を、多段フォーカスにより実行する際に、PRFが送信フォーカス位置ごとに異なる場合でも、並列同時受信を行なう場合でも、残留多重アーチファクトを除去することができる。

【0086】

(第2の実施形態)

第2の実施形態では、第1の実施形態とは異なる送信順番の制約条件について、図8を用いて説明する。図8は、第2の実施形態を説明するための図である。

【0087】

PM法を用いたTHI法、又は、差音成分を用いたTHI法は、更に、映像化するハーモニク成分の帯域を広げて、高画質な画像データを得るために、送信周波数を変えて超音波送信を行なう場合がある。

【0088】

かかる場合、送受信部11は、所定の信号成分として、高調波成分の映像化を目的に、以下の処理を行なう。送受信部11は、同一の走査線上において位相極性を反転して2回行なう超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信周波数を変えて走査線上で複数回実行させる。上記の場合、送受信部11がセット単位で変更する送信条件は、送信周波数である。そして、送受信部11は、複数のセット各々で2つの受信信号を加算して、前記走査線上において複数の合成信号を生成する。そして、画像生成部13は、複数のセット各々の合成信号を用いて、超音波画像データ群を生成し、当該超音波画像データ群を合成した画像データを超音波画像データとして生成する。

【0089】

例えば、送受信部11は、中心周波数「 $f_1$ 」の送信波形「 $f_1+$ 」による超音波送受信と、送信波形「 $f_1+$ 」と位相極性を反転させた送信波形「 $f_1-$ 」による超音波送受信との第1セットを、同一走査線で行なわせる。また、例えば、送受信部11は、中心周波数「 $f_2$ 」の送信波形「 $f_2+$ 」による超音波送受信と、送信波形「 $f_2+$ 」と位相極性を反転させた送信波形「 $f_2-$ 」による超音波送受信との第2セットを、同一走査線で行なわせる。そして、送受信部11は、「 $f_1+$ 」の受信信号と、「 $f_1-$ 」の受信信号と、「 $f_2+$ 」の受信信号と、「 $f_2-$ 」の受信信号とを、各走査線で生成する。

【0090】

そして、合成部121aは、「組織ハーモニク成分： $Hf_1$ 」を含む「 $f_1+$ 」の受信信号と、「組織ハーモニク成分： $Hf_1$ 」を含む「 $f_1-$ 」の受信信号とを加算して、「組織ハーモニク成分： $2 * Hf_1$ 」が抽出された合成信号を生成する。また、合成部121aは、「組織ハーモニク成分： $Hf_2$ 」を含む「 $f_2+$ 」の受信信号と、「組織ハーモニク成分： $Hf_2$ 」を含む「 $f_2-$ 」の受信信号とを加算して、「組織ハーモニク成分： $2 * Hf_2$ 」が抽出された合成信号を生成する。

【0091】

画像生成部13は、「組織ハーモニク成分： $2 * Hf_1$ 」が抽出された合成信号から生成されたBモードデータから、Bモード画像データを生成する。また、画像生成部13は、「組織ハーモニク成分： $2 * Hf_2$ 」が抽出された合成信号から生成されたBモードデータから、Bモード画像データを生成する。そして、画像生成部13は、例えば、これら2つのBモード画像データを加算平均することで、「組織ハーモニク成分： $2 * Hf_1 + 2 * Hf_2$ 」が映像化された高画質なBモード画像データを生成する。

【0092】

従来では、図8の上図に示すように、1回目を送信波形「 $f_1+$ 」とし、2回目を送信波形「 $f_1-$ 」とし、3回目を送信波形「 $f_2+$ 」とし、4回目を送信波形「 $f_2-$ 」としている。

【0093】

しかし、従来では、1回目の送信で得られる受信信号には、図8の上図に示すように、隣の走査線での4回目の残留多重「 $f_2-$ 」が混入する。また、従来では、図8の上図に

10

20

30

40

50

示すように、2回目の送信で得られる受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「 $f_1 +$ 」が混入する。このため、従来では、加算処理「 $1 + 2$ 」により、図8の上図に示すように、合成信号には、「 $(f_1 +) + (f_2 -)$ 」が消え残る。

【0094】

また、従来では、3回目の送信で得られる受信信号には、図8の上図に示すように、同一走査線での2回目の残留多重「 $f_1 -$ 」が混入する。また、従来では、図8の上図に示すように、4回目の送信で得られる受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「 $f_2 +$ 」が混入する。このため、従来では、加算処理「 $3 + 4$ 」により、図8の上図に示すように、合成信号には、「 $(f_2 +) + (f_1 -)$ 」が消え残る。

【0095】

これに対して、第2の実施形態に係る制御部16は、合成部121aによって加算される1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信周波数が同一になるように、送信順番に制約を課す。上記の加算処理は、高調波成分を抽出するための処理となる。

【0096】

かかる送信順番の制約で実行される処理の一例では、送受信部11は、第1超音波パルス、第2超音波パルス、第3超音波パルス、第4超音波パルスの順に、超音波プローブ1に超音波送信を実行させる。この際、送受信部11は、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの送信周波数を第1周波数「 $f_1$ 」として、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの位相極性を反転させ、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの送信周波数を、第1周波数とは異なる第2周波数「 $f_2$ 」として、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの位相極性を反転させる。そして、合成部121aは、第1の受信信号と第3の受信信号とを加算することで第1の合成信号を発生し、第2の受信信号と第4の受信信号とを加算することで第2の合成信号を発生する。そして、画像生成部13は、第1の合成信号に基づく画像データと、第2の合成信号に基づく画像データとを合成して、画像データを生成する。

【0097】

すなわち、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、1回目で、送信波形「 $f_1 +$ 」の超音波パルス（第1の超音波パルス）による送受信が行なわれ、2回目で、送信波形「 $f_2 +$ 」の超音波パルス（第2の超音波パルス）による送受信が行なわれる。また、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、3回目で、送信波形「 $f_1 -$ 」の超音波パルス（第3の超音波パルス）による送受信が行なわれ、4回目で、送信波形「 $f_2 -$ 」の超音波パルス（第4の超音波パルス）による送受信が行なわれる。

【0098】

すなわち、第2の実施形態では、従来法で行なわれていた2回目の送信を3回目の送信に変更し、従来法で行なわれていた3回目の送信を2回目の送信に変更する。そして、第2の実施形態では、1回目の送信で得られた受信信号（第1の受信信号）と3回目の送信で得られた受信信号（第3の受信信号）との加算処理「 $1 + 3$ 」により、図8の下図に示すように、「組織ハーモニック成分： $2 * H f_1$ 」が抽出された合成信号（第1の合成信号）が得られる。また、第2の実施形態では、2回目の送信で得られた受信信号（第2の受信信号）と4回目の送信で得られた受信信号（第4の受信信号）との加算処理「 $2 + 4$ 」により、図8の下図に示すように、「組織ハーモニック成分： $2 * H f_2$ 」が抽出された合成信号（第2の合成信号）が得られる。

【0099】

ここで、上記の送信順番の制約により、第2の実施形態の加算処理「 $1 + 3$ 」において、1回目の1つ前の送信である4回目の送信周波数と、3回目の1つ前の送信である2回目の送信周波数とは、同じ「 $f_2$ 」である。また、上記の送受信順番の制約により、第2の実施形態の加算処理「 $2 + 4$ 」において、2回目の1つ前の送信である1回目の送信周波数と、4回目の1つ前の送信である3回目の送信周波数とは、同じ「 $f_1$ 」である。

【0100】

10

20

30

40

50

上記の送信順番の制約により、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、1回目の受信信号には、隣の走査線での4回目の残留多重「 $f_2 -$ 」が混入する。また、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、2回目の受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「 $f_1 +$ 」が混入する。また、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、3回目の受信信号には、同一走査線での2回目の残留多重「 $f_2 +$ 」が混入する。また、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、4回目の受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「 $f_1 -$ 」が混入する。

【0101】

しかし、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、加算処理「 $1 + 3$ 」により、残留多重「 $f_2 -$ 」と残留多重「 $f_2 +$ 」とが加算により相殺されて、合成信号（第1の合成信号）の残留多重は、「0」となる。また、第2の実施形態では、図8の下図に示すように、加算処理「 $2 + 4$ 」により、残留多重「 $f_1 +$ 」と残留多重「 $f_1 -$ 」とが加算により相殺されて、合成信号（第2の合成信号）の残留多重は、「0」となる。

10

【0102】

これにより、「組織ハーモニック成分： $2 * H f_1$ 」が抽出された合成信号から生成されたBモード画像データから残留多重アーチファクトが除去され、「組織ハーモニック成分： $2 * H f_2$ 」が抽出された合成信号から生成されたBモード画像データから残留多重アーチファクトが除去される。その結果、これら2つのBモード画像データの合成画像データ（例えば、加算平均画像データ）は、残留多重アーチファクトが除去され、「組織ハーモニック成分： $2 * H f_1 + 2 * H f_2$ 」のみが映像化された画像データとなる。

20

【0103】

上述したように、第2の実施形態では、PM法を応用して広帯域なハーモニック成分により高画質な画像データを得る際に、多重残留アーチファクトの発生を防止するために、上記の送信周波数に基づく送信順番の制約条件を適用する。第2の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、加算処理を行なう2つの受信信号それぞれに含まれる残留多重の基本波成分は、位相極性が反転しているとともに、同じ送信周波数の送信波形に起因するので位相ズレが無い。従って、第2の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、広帯域なハーモニック成分による高画質な画像データを確実に得ることができる。なお、上記の送信順番の制約条件は、差音成分を用いたTHI法においても適用可能である。

30

【0104】

また、第1の実施形態及び第2の実施形態を組み合わせた変形例が行なわれる場合であっても良い。例えば、この変形例では、「送信フォーカス： $F_1$ 」でのPM法に基づいて行われる2回の超音波送受信は、周波数減衰特性に基づいて設定された最適な中心周波数「 $f_1$ 」で行なわれる。また、例えば、この変形例では、「送信フォーカス： $F_2$ 」でのPM法に基づいて行われる2回の超音波送受信は、周波数減衰特性に基づいて設定された最適な中心周波数「 $f_2$ 」で行なわれる。

【0105】

かかる場合、制御部16は、高調波成分を抽出するために、合成部121aによって加算される1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信フォーカス位置及び送信周波数が同一になるように、送信順番に制約を課す。例えば、送受信部11は、1回目に、 $F_1$ に焦点を合わせた $f_1$ の送信波形を送信し、3回目に、この送信波形の位相極性を反転させた送信波形を送信する。また、送受信部11は、2回目に、 $F_2$ に焦点を合わせた $f_2$ の送信波形を送信し、4回目に、この送信波形の位相極性を反転させた送信波形を送信する。

40

【0106】

すなわち、図8の下図において、1回目に送信される「 $f_1 +$ 」を、「 $F_1$ 」にフォーカスされた超音波パルスとし、2回目に送信される「 $f_2 +$ 」を、「 $F_2$ 」にフォーカスされた超音波パルスとする。また、図8の下図において、3回目に送信される「 $f_1 -$ 」を、「 $F_1$ 」にフォーカスされた超音波パルスとし、4回目に送信される「 $f_2 -$ 」を、

50

「F 2」にフォーカスされた超音波パルスとする。

【0107】

そして、合成部121aは、「1+3」の加算処理を行なって、基本波成分とともに残留多重成分を除去した「F 1」の合成信号を生成する。また、合成部121aは、「2+4」の加算処理を行なって、基本波成分とともに残留多重成分を除去した「F 2」の合成信号を生成する。これにより、この変形例では、各送信フォーカスに適した中心周波数により得られる各送信フォーカスの画像データから、残留多重アーチファクトを除去することができる。

【0108】

(第3の実施形態)

第3の実施形態では、移動体を反射源とする信号成分を抽出するための超音波送受信のセットが同一の走査線上で複数回実行される際に、送信順番に制約を課す場合について、図9を用いて説明する。図9は、第3の実施形態を説明するための図である。

【0109】

具体的には、第3の実施形態では、送受信部11は、移動体を反射源とする信号成分(以下、移動成分)の映像化を目的とするRSI(Rate Subtraction Imaging)法において、以下の処理を行なう。すなわち、第3の実施形態に係る送受信部11は、同一の走査線上において同一位相極性の超音波パルスを2回送信する超音波送受信を単位とする超音波送受信のセットを、送信フォーカス位置を変えて走査線上で複数回実行させ、複数のセット分の受信信号群を生成する。上記の場合、送受信部11がセット単位で変更する送信条件は、送信フォーカス位置である。

【0110】

そして、第3の実施形態では、合成部121aは、複数セット各々で2つの受信信号を差分処理して、走査線上において複数の合成信号を生成する。

【0111】

例えば、送受信部11は、送信フォーカス「F 1」に焦点を合わせた送信波形「F 1+」による超音波送受信を2回行なう第1セットを、同一走査線で行なわせる。また、例えば、送受信部11は、送信フォーカス「F 2」に焦点を合わせた送信波形「F 2+」による超音波送受信を2回行なう第2セットを、同一走査線で行なわせる。そして、送受信部11は、2つの「F 1+」の受信信号と、2つの「F 2+」の受信信号とを、各走査線で生成する。

【0112】

そして、合成部121aは、2つの「F 1+」の受信信号を差分して、送信間で、走査線上から移動した移動体(血流や超音波造影剤等)を反射源とする移動成分「M(F 1)」が残存した合成信号を生成する。また、合成部121aは、2つの「F 2+」の受信信号を差分して、送信間で、走査線上から移動した移動体(血流や超音波造影剤等)を反射源とする移動成分「M(F 2)」が抽出された合成信号を生成する。

【0113】

「M(F 1)」の合成信号と、「M(F 2)」の合成信号とを用いて、RSI法では、送信フォーカス「F 1」を中心とする範囲の移動体と、送信フォーカス「F 2」を中心とする範囲の移動体との映像化を行なうことができる。

【0114】

従来では、図9の上図に示すように、1回目に送信される超音波パルスの送信波形を送信波形「F 1+」とし、2回目に送信される超音波パルスの送信波形を送信波形「F 1+」とし、3回目に送信される超音波パルスの送信波形を送信波形「F 2+」とし、4回目に送信される超音波パルスの送信波形を送信波形「F 2+」としている。

【0115】

しかし、従来では、1回目の送信で得られる受信信号には、図9の上図に示すように、隣の走査線での4回目の残留多重「F 2+」が混入する。また、従来では、図9の上図に示すように、2回目の送信で得られる受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「

10

20

30

40

50

F 1 +」が混入する。このため、従来では、減算処理「1 - 2」により、図9の上図に示すように、「M ( F 1 )」を含む合成信号には、「( F 2 + ) - ( F 1 + )」が消え残る。

【0116】

また、従来では、3回目の送信で得られる受信信号には、図9の上図に示すように、同一走査線での2回目の残留多重「F 1 +」が混入する。また、従来では、図9の上図に示すように、4回目の送信で得られる受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「F 2 +」が混入する。このため、従来では、減算処理「3 - 4」により、図9の上図に示すように、「M ( F 2 )」を含む合成信号には、「( F 1 + ) - ( F 2 + )」が消え残る。

【0117】

これに対して、第3の実施形態に係る制御部16は、合成部121aによって差分処理が行われる1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信フォーカス位置が同一になるように、送受信部11の制御を行なう。上記の差分処理は、移動成分を抽出するための処理となる。

【0118】

かかる送信順番の制約で実行される処理の一例では、送受信部11は、第1超音波パルス、第2超音波パルス、第3超音波パルス、第4超音波パルスの順に、超音波プローブ1に超音波送信を実行させる。この際、送受信部11は、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの送信フォーカス位置を第1位置「F 1」として、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの位相極性を反転させ、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの送信フォーカス位置を、第1位置とは異なる第2位置「F 2」として、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの位相極性を反転させる。そして、合成部121aは、第1の受信信号と第3の受信信号とを差分することで第1の合成信号を発生し、第2の受信信号と第4の受信信号とを差分することで第2の合成信号を発生する。

【0119】

すなわち、第2の実施形態では、図9の下図に示すように、1回目で、送信波形「F 1 +」の超音波パルス（第1超音波パルス）による送受信が行なわれ、2回目で、送信波形「F 2 +」の超音波パルス（第2超音波パルス）による送受信が行なわれる。また、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、3回目で、送信波形「F 1 +」の超音波パルス（第3超音波パルス）による送受信が行なわれ、4回目で、送信波形「F 2 +」の超音波パルス（第4超音波パルス）による送受信が行なわれる。

【0120】

すなわち、第3の実施形態では、従来法で行なわれていた2回目の送信を3回目の送信に変更し、従来法で行なわれていた3回目の送信を2回目の送信に変更する。そして、第3の実施形態では、1回目の送信で得られた受信信号（第1の受信信号）と3回目の送信で得られた受信信号（第3の受信信号）との差分処理「1 - 3」により、図9の下図に示すように、「M ( F 1 )」が抽出された合成信号（第1の合成信号）が得られる。また、第3の実施形態では、2回目の送信で得られた受信信号（第2の受信信号）と4回目の送信で得られた受信信号（第4の受信信号）と減算処理「2 - 4」により、図9の下図に示すように、「M ( F 2 )」が抽出された合成信号（第2の合成信号）が得られる。

【0121】

ここで、上記の送信順番の制約により、第3の実施形態の減算処理「1 - 3」において、1回目の1つ前の送信である4回目の送信フォーカス位置と、3回目の1つ前の送信である2回目の送信フォーカス位置とは、同じ「F 2」である。また、上記の送受信順番の制約により、第1の実施形態の減算処理「2 - 4」において、2回目の1つ前の送信である1回目の送信フォーカス位置と、4回目の1つ前の送信である3回目の送信フォーカス位置とは、同じ「F 1」である。

【0122】

上記の送信順番の制約により、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、1回目の送信で得られた受信信号には、隣の走査線での4回目の残留多重「F 2 +」が混入する

10

20

30

40

50

。また、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、2回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「F1+」が混入する。また、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、3回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での2回目の残留多重「F2+」が混入する。また、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、4回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「F1+」が混入する。

【0123】

しかし、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、減算処理「1-3」により、残留多重「F2+」と残留多重「F2+」とが相殺されて、合成信号の残留多重は、「0」となる。また、第3の実施形態では、図9の下図に示すように、減算処理「2-4」により、残留多重「F1+」と残留多重「F1+」とが相殺されて、合成信号の残留多重は、「0」となる。

10

【0124】

上述したように、第3の実施形態では、RSI法に多段フォーカスを併用する際に、多重残留アーチファクトの発生を防止するために、上記の送信フォーカス位置に基づく送信順番の制約条件を適用する。第3の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、差分処理を行なう2つの受信信号それぞれに含まれる残留多重の基本波成分は、位相極性が同一であるとともに、同じ送信フォーカス位置に対する送信波形に起因するので位相ズレが無い。従って、第3の実施形態では、上記の送信順番の制約条件により、RSI法に多段フォーカスを併用する場合でも、残留多重アーチファクトを除去することができる。

20

【0125】

(第4の実施形態)

第4の実施形態では、PM法や差音成分を用いたTHI法により、基本波成分とともに、0次高調波成分も除去するスキャンシーケンスにおいて、残留多重アーチファクトを除去する場合について、数式及び図10～図16を用いて説明する。図10～図14は、0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図である。また、図15及び図16は、第4の実施形態における0次高調波成分除去用のスキャンシーケンスを説明するための図である。

【0126】

第1の実施形態で図3を用いて説明したように、高調波成分には、映像化対象となる高調波成分(例えば、2次高調波成分)の他に、0(ゼロ)次の高調波成分がある。ここで、例えば、送信超音波が広帯域であると、0次高調波成分は、2次高調波成分と重なり合う場合がある。或いは、例えば、送信超音波が広帯域であると、0次高調波成分は、差音成分と重なり合う場合がある。

30

【0127】

かかる場合、送信位置から深くなるほど周波数依存性の減衰による影響で中心周波数が低くなるため、0次高調波成分は、深部において無視できないレベルとなる。その結果、画像の深部分解能は、劣化する。ここで、合成部121aは、フィルタ処理により、0次高調波成分を除去することができる。しかし、0次高調波成分をフィルタ処理等で低減させると、2次高調波成分の低域側、或いは、差音成分の低域側も併せて低減してしまうことになり、ペネトレーション不足により深さ方向に不均一な画像となってしまう。

40

【0128】

そこで、0次高調波成分に起因する深部分解能の劣化を回避するために、制御部16の制御のもと、送受信部11及び信号処理部12(合成部121a)は、以下に説明するスキャンシーケンス及び合成処理を実行する。

【0129】

送受信部11は、0次高調波成分以外の高調波成分の映像化を目的に、以下の処理を行なう。すなわち、送受信部11は、同一の走査線上において、超音波パルスの位相極性を反転して2回行なう超音波送受信を単位とする第1セットの超音波送受信と、第1セットの超音波パルスとは送信波形が異なる超音波パルスの位相極性を反転して2回行なう超音

50

波送受信を単位とする第2セットの超音波送受信とを実行させる。そして、送受信部11は、これら2セット分の受信信号群を生成する。上記の場合、送受信部11がセット単位で変更する送信条件は、送信波形である。そして、合成部121aは、第1セットの超音波送受信で得られた2つの受信信号を加算した合成信号と、第2セットの超音波送受信で得られた2つの受信信号を加算した合成信号との2つの合成信号を走査線上において生成し、これら2つの合成信号を差分処理して、走査線上の合成信号を生成する。そして、画像生成部13は、この合成信号を用いて超音波画像データを生成する。すなわち、Bモードデータ生成部121bは、各走査線の合成信号から、Bモードデータを生成し、画像生成部13は、このBモードデータを用いて、超音波画像データ(Bモード画像データ)を生成する。

10

## 【0130】

例えば、送受信部11は、第1位相での第1送信と、第1位相とは位相が180度異なる第2位相での第2送信との第1セットと、第1位相とは位相が90度異なる第3位相での第3送信と、第1位相とは位相が270度異なる第4位相での第4送信との第2セットとを、同一走査線上で実行させる。例えば、送受信部11は、第1送信、第2送信、第3送信、第4送信の順で行なう。以下、第1送信の初期位相を「 $\theta_1$  (ファイ)」で表わす。かかる場合、第2送信の初期位相は、「 $\theta_1 + \pi$ 」となり、第3送信の初期位相は、「 $\theta_1 + \pi/2$ 」となり、第4送信の初期位相は、「 $\theta_1 - \pi/2$ 」となる。

## 【0131】

仮に、第1送信の超音波パルスを「 $\sin$ 」で示すと、第2送信の超音波パルスは、「 $-\sin$ 」となり、第3送信の超音波パルスは「 $\cos$ 」となり、第4送信の超音波パルスは「 $-\cos$ 」となる。

20

## 【0132】

ここで、時間を「 $t$ 」とし、振幅を示す包絡線信号を「 $p(t)$ 」とし、中心周波数である角周波数を「 $\omega$ 」とすると、送信信号(超音波パルス)である「 $S_{TX}(t) = p(t) \cos(\omega t + \varphi)$ 」は、オイラーの公式により、以下の式(1)で表わすことができる。なお、式(1)に示す「 $j$ 」は、虚数を示す。

## 【0133】

## 【数1】

$$S_{TX}(t) = p(t) \cos(\omega t + \varphi)$$

$$= \frac{1}{2} p(t) \{ \exp(j\omega t + j\varphi) + \exp(-j\omega t - j\varphi) \} \quad \dots(1)$$

30

## 【0134】

そして、式(1)に示す「 $S_{TX}(t)$ 」が組織内を伝播中に発生する2次の非線形成分である2次高調波成分「 $S_H(t) = S_{TX}^2(t) = p^2(t) \cos^2(\omega t + \varphi)$ 」は、オイラーの公式により、以下の式(2)で表わすことができる。

## 【0135】

## 【数2】

$$S_H(t) = S_{TX}^2(t) = p^2(t) \cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} p^2(t) \{ 2 + \exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi) \} \\ &= \frac{1}{2} p^2(t) + \frac{1}{4} p^2(t) \{ \exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi) \} \quad \dots(2) \end{aligned}$$

40

## 【0136】

式(1)に示す基本波と、式(2)に示す2次の非線形成分とが加算された信号は、被検体Pのターゲットに到達して反射される。ここで、「基本波」対「2次非線形項」の比

50

を「 」とすると、基本波と、2次の非線形成分とが加算された信号は、以下の式(3)で表わされる。

【0137】

【数3】

$$S(t) = \frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t + j\varphi) + \exp(-j\omega t - j\varphi)\} + \frac{\alpha}{2}p^2(t) + \frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi)\} \quad \dots(3)$$

【0138】

制御部16の指示により、送受信部11は、第1回目の送信を、第1初期位相「 」により行なう。そして、送受信部11は、第1送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「S1」を生成出力する。深さ方向を示す時間「t」をパラメータとする受信信号「S1(t)」は、以下の式(4)で表わすことができる。なお、式(4)は、送信経路の伝播で発生した高調波が受信経路中に略減衰しないとして示したものであり、式(3)と等価である。

10

【0139】

【数4】

$$S1(t) = \frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t + j\varphi) + \exp(-j\omega t - j\varphi)\} + \frac{\alpha}{2}p^2(t) + \frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi)\} \quad \dots(4)$$

【0140】

図10は、受信信号「S1」のスペクトラムを示す。図4において、横軸は、周波数(単位: MHz)を示し、縦軸は、受信信号の強度(単位: dB)を示す。図10に示すように、受信信号「S1」の周波数特性は、基本波成分が支配的なスペクトラムとなる。

20

【0141】

次に、制御部16の指示により、送受信部11は、第2回目の送信を、第2初期位相「 + 」により行なう。そして、送受信部11は、第2送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「S2」を生成出力する。受信信号「S2(t)」は、以下の式(5)で表わすことができる。

【0142】

【数5】

$$S2(t) = -\frac{1}{2}p(t)\{\exp(j\omega t + j\varphi) + \exp(-j\omega t - j\varphi)\} + \frac{\alpha}{2}p^2(t) + \frac{\alpha}{4}p^2(t)\{\exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi)\} \quad \dots(5)$$

30

【0143】

合成部121aは、受信信号「S1」と受信信号「S2」とを加算する。加算信号「S1(t) + S2(t)」は、以下の式(6)で表わすことができる。

【0144】

【数6】

$$S1(t) + S2(t) = \alpha \cdot p^2(t) + \frac{\alpha}{2}p^2(t)\{\exp(j2\omega t + j2\varphi) + \exp(-j2\omega t - j2\varphi)\} \quad \dots(6)$$

【0145】

ここで、式(4)の右辺及び式(5)の右辺それぞれにおいて、第1項は、基本波成分であり、第2項は、0次高調波成分であり、第3項は、2次高調波成分である。0次高調波成分は、式(4)及び式(5)に示すように、「 」と「p(t)」とのみで表わすことができる。

40

【0146】

また、式(4)の右辺の第1項と式(5)の右辺の第1項とは、符号が反対であり、式(4)の右辺の第2項と式(5)の右辺の第2項とは、符号が同一であり、式(4)の右辺の第3項と式(5)の右辺の第3項とは、符号が同一である。従って、加算信号「S1(t) + S2(t)」は、式(6)に示すように、基本波成分が相殺され、0次高調波成分及び2次高調波成分が2倍になった信号となる。

【0147】

50

図 1 1 は、加算信号「S 1 + S 2」のスペクトラムを示す。図 1 1 において、横軸は、周波数（単位：M H z）を示し、縦軸は、受信信号の強度（単位：d B）を示す。図 1 1 に示すように、加算信号「S 1 + S 2」の周波数特性は、基本波成分が除去され、0 次高調波成分及び 2 次高調波成分が出現したスペクトラムとなる。

【 0 1 4 8 】

次に、制御部 1 6 の指示により、送受信部 1 1 は、第 3 回目の送信を、第 3 初期位相「 + / 2」により行なう。そして、送受信部 1 1 は、第 3 送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「S 3」を生成出力する。受信信号「S 3 ( t )」は、以下の式 ( 7 ) で表わすことができる。

【 0 1 4 9 】

【 数 7 】

$$S3(t) = \frac{j}{2} p(t) \{ \exp(j\omega t + j\phi) - \exp(-j\omega t - j\phi) \} + \frac{\alpha}{2} p^2(t) - \frac{\alpha}{4} p^2(t) \{ \exp(j2\omega t + j2\phi) + \exp(-j2\omega t - j2\phi) \} \quad \dots(7)$$

【 0 1 5 0 】

合成部 1 2 1 a は、加算信号「S 1 + S 2」と、受信信号「S 3」にマイナスを乗算した信号とを加算する。換言すると、合成部 1 2 1 a は、「S 1 + S 2」から「S 3」を減算する。そして、合成部 1 2 1 a は、信号「S 1 + S 2 - S 3」をメモリに格納する。

【 0 1 5 1 】

最後に、制御部 1 6 の指示により、送受信部 1 1 は、第 4 回目の送信を、第 4 初期位相「 - / 2」により行なう。そして、送受信部 1 1 は、第 4 送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「S 4」を生成出力する。受信信号「S 4 ( t )」は、以下の式 ( 8 ) で表わすことができる。

【 0 1 5 2 】

【 数 8 】

$$S4(t) = -\frac{j}{2} p(t) \{ \exp(j\omega t + j\phi) - \exp(-j\omega t - j\phi) \} + \frac{\alpha}{2} p^2(t) - \frac{\alpha}{4} p^2(t) \{ \exp(j2\omega t + j2\phi) + \exp(-j2\omega t - j2\phi) \} \quad \dots(8)$$

【 0 1 5 3 】

信号処理部 1 2 ( 合成部 1 2 1 a ) は、信号「S 1 + S 2 - S 3」と、受信信号「S 4」にマイナスを乗算した信号とを加算する。換言すると、合成部 1 2 1 a は、「S 1 + S 2 - S 3」から「S 4」を減算する。そして、合成部 1 2 1 a は、信号「S 1 + S 2 - S 3 - S 4」、すなわち、信号「S 1 + S 2 - ( S 3 + S 4 )」を、合成信号とする。深さ方向を示す時間「t」を用いて、信号「S 1 ( t ) + S 2 ( t ) - S 3 ( t ) - S 4 ( t )」は、以下の式 ( 9 ) で表わすことができる。

【 0 1 5 4 】

【 数 9 】

$$\begin{aligned} S1(t) + S2(t) - S3(t) - S4(t) &= \alpha \cdot p^2(t) \{ \exp(j2\omega t + j2\phi) + \exp(-j2\omega t - j2\phi) \} \\ &= 2\alpha \cdot p^2(t) \cos(2\omega t + 2\phi) \quad \dots(9) \end{aligned}$$

【 0 1 5 5 】

ここで、式 ( 7 ) の右辺及び式 ( 8 ) の右辺それぞれにおいて、第 1 項は、基本波成分であり、第 2 項は、0 次高調波成分であり、第 3 項は、2 次高調波成分である。また、式 ( 7 ) の右辺の第 1 項と式 ( 8 ) の右辺の第 1 項とは、符号が反対であり、式 ( 7 ) の右辺の第 2 項と式 ( 8 ) の右辺の第 2 項とは、符号が同一であり、式 ( 7 ) の右辺の第 3 項と式 ( 8 ) の右辺の第 3 項とは、符号が同一である。従って、信号「S 3 ( t ) + S 4 ( t )」は、基本波成分が相殺され、0 次高調波成分及び 2 次高調波成分が 2 倍になった信号となる。

【 0 1 5 6 】

また、「S 1 + S 2」の 0 次高調波成分の符号と、「S 3 + S 4」の 0 次高調波成分の

10

20

30

40

50

符号とは、同一となる。一方、「 $S_1 + S_2$ 」の2次高調波成分の符号と、「 $S_3 + S_4$ 」の2次高調波成分の符号とは、反対となる。従って、「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」の合成処理を行なうと、式(9)に示すように、基本波成分に加えて0次高調波成分が相殺され、2次高調波成分のみを抽出することができる。換言すると、「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」は、4つの受信信号に含まれる2次高調波成分が加算された信号となる。例えば、「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」は、「 $S_1$ 」に含まれる2次高調波成分が4倍の強度に増幅された信号となる。

#### 【0157】

図12は、合成信号「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」のスペクトラムを示す。図12において、横軸は、周波数(単位: MHz)を示し、縦軸は、受信信号の強度(単位: dB)を示す。図12に示すように、合成信号「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」の周波数特性は、0次高調波成分が除去され、2次高調波成分が増幅されたスペクトラムとなる。

10

#### 【0158】

送受信部11は、1フレーム分(或いは、1ボリューム分)の走査範囲を形成する各走査線において、上記の4回送信を1回行なう。そして、合成部121aは、送受信部11が生成出力した4つの受信信号( $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ )の合成信号「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」を、各走査線で生成する。そして、Bモードデータ生成部121bは、合成部121aが出力した各走査線の合成信号「 $S_1 + S_2 - (S_3 + S_4)$ 」に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、1フレーム分(或いは、1ボリューム分)のBモードデータを生成する。

20

#### 【0159】

そして、画像生成部13は、このBモードデータから、Bモード画像データを生成し、モニタ2は、制御部16の制御により、Bモード画像データを生成する。これにより、基本波成分及び0次高調波成分が相殺され、2次高調波成分のみが増幅された信号により形成された画像が得られることになる。

#### 【0160】

図13の左図に示す画像データ100は、例えば、上記の第1送信と第2送信とを各走査線で行なうことで生成されたBモード画像データを示す。また、図13の右図に示す画像データ200は、上記の4回送信により生成されたBモード画像データを示す。図13に示すように、画像データ100では、深部領域において、0次高調波成分に起因するアーチファクトが発生して深部分解能が低下している。一方、図13に示すように、画像データ200では、深部領域におけるアーチファクトが消失し、深部分解能が向上している。

30

#### 【0161】

以上が、PM法を用いたTHI法において、0次高調波成分を除去するためのスキミングシーケンス及び合成処理法となる。一方、差音成分を用いたTHI法において、0次高調波成分を除去するためのスキミングシーケンス及び合成処理法は、以下となる。

#### 【0162】

送受信部11は、各走査線において第1周波数成分(第1周波数の第1超音波パルス)と第2周波数成分(第2周波数の第2超音波パルス)との2周波を混合した合成パルスを4回以上送信する。この際、送受信部11は、以下に説明する「第1送信及び第2送信の第1セットの送信」と、「第3送信及び第4送信の第2セットの送信」とを、同一走査線上で実行させる。

40

#### 【0163】

上記の第1送信は、第1周波数成分を第1位相とし、第2周波数成分を第2位相とした合成パルスによる送信である。また、上記の第2送信は、第1周波数成分を第1位相と180度異なる位相とし、第2周波数成分を第2位相と180度異なる位相とした合成パルスによる送信である。

#### 【0164】

また、上記の第3送信は、第1周波数成分を第1位相と90度異なる位相とし、第2周

50

波数成分を第2位相と270度異なる位相とした合成パルスによる送信である。また、上記の第4送信は、第1周波数成分を第1位相と270度異なる位相とし、第2周波数成分を第2位相と90度異なる位相とした合成パルスによる送信である。

【0165】

以下の一例では、2周波（角周波数「 $\omega_0$ 」の単周波及び角周波数「 $\omega_1$ 」の単周波）を混合した超音波パルス（合成パルス）の超音波送信が、第1送信、第2送信、第3送信、第4送信の順で、同一走査線上で1セット行なわれ、この1セットの送信により得られた4つの受信信号の加減算処理により、1本の受信ビーム（合成信号）が形成される場合について説明する。以下、「 $\omega_0$ 」で設定される第1の送信信号の初期位相を「 $\phi_0$ 」で表わし、「 $\omega_1$ 」で設定される第2の送信信号の初期位相を「 $\phi_1$ 」で表わす。（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）は、2次高調波成分と同一の極性を持つ差音成分を発生させるための位相条件により設定される。

10

【0166】

かかる場合は、第1送信では（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）の初期位相が（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）で混合された超音波パルスが送信され、第2送信では（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）の初期位相が（ $\phi_0 + \pi$ 、 $\phi_1 + \pi$ ）で混合された超音波パルスが送信される。また、第3送信では（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）の初期位相が（ $\phi_0 + \pi/2$ 、 $\phi_1 - \pi/2$ ）で混合された超音波パルスが送信され、第4送信では（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）の初期位相が（ $\phi_0 - \pi/2$ 、 $\phi_1 + \pi/2$ ）で混合された超音波パルスが送信される。

20

【0167】

ここで、時間を「 $t$ 」とし、中心周波数である角周波数「 $\omega_0$ 」の単周波の振幅を示す包絡線信号を「 $p_0(t)$ 」とし、中心周波数である角周波数「 $\omega_1$ 」の単周波の振幅を示す包絡線信号を「 $p_1(t)$ 」とすると、2つの単周波信号を初期位相（ $\phi_0$ 、 $\phi_1$ ）で混合加算した送信信号「 $S_{TX}(t)$ 」は、以下の式（10）で表わすことができる。

【0168】

【数10】

$$S_{TX}(t) = p_0(t)\cos(\omega_0 t + \phi_0) + p_1(t)\cos(\omega_1 t + \phi_1) \quad \cdots(10)$$

【0169】

ここで、式（10）において、「 $\omega_0 t + \phi_0$ 」を「 $\theta_0$ 」とし、「 $\omega_1 t + \phi_1$ 」を「 $\theta_1$ 」とすると、第1送信の超音波パルスの送信波形は、「 $p_0(t)\cos\theta_0 + p_1(t)\cos\theta_1$ 」となる。また、第2送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（ $\phi_0 + \pi$ 、 $\phi_1 + \pi$ ）となることから、「 $-(p_0(t)\cos\theta_0 + p_1(t)\cos\theta_1)$ 」となる。また、第3送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（ $\phi_0 + \pi/2$ 、 $\phi_1 - \pi/2$ ）となることから、「 $-p_0(t)\sin\theta_0 + p_1(t)\sin\theta_1$ 」となる。また、第4送信の超音波パルスの送信波形は、初期位相が（ $\phi_0 - \pi/2$ 、 $\phi_1 + \pi/2$ ）となることから、「 $p_0(t)\sin\theta_0 - p_1(t)\sin\theta_1$ 」（ $= -(-p_0(t)\sin\theta_0 + p_1(t)\sin\theta_1)$ ）となる。すなわち、第1送信の超音波パルスと第2送信の超音波パルスは、同じ送信波形であるが位相極性が反転している。また、第3送信の超音波パルスと第4送信の超音波パルスは、同じ送信波形であるが位相極性が反転している。

30

40

【0170】

そして、式（10）に示す「 $S_{TX}(t)$ 」が組織内を伝播中に発生する2次の非線形成分である2次高調波成分「 $S_H(t) = S_{TX}^2(t)$ 」は、オイラーの公式により、以下の式（11）で表わすことができる。なお、式（11）に示す「 $j$ 」は、虚数を示す。

【0171】

【数 1 1】

$$\begin{aligned}
S_H(t) &= S^2_{TX}(t) = \{p_0(t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0) + p_1(t)\cos(\omega_1 t + \varphi_1)\}^2 \\
&= \frac{1}{2}p_0^2(t) + \frac{1}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_1^2(t) + \frac{1}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1)\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\}\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&= \frac{1}{2}p_0^2(t) + \frac{1}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_1^2(t) + \frac{1}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1)\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2(\omega_1 + \omega_0)t + j2(\varphi_1 + \varphi_0)) + \exp(-j(\omega_1 + \omega_0)2t - j2(\varphi_1 + \varphi_0))\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j2(\omega_1 - \omega_0)t + j2(\varphi_1 - \varphi_0)) + \exp(-j(\omega_1 - \omega_0)2t - j2(\varphi_1 - \varphi_0))\} \quad \dots(11)
\end{aligned}$$

10

【0 1 7 2】

ここで、式(11)の右辺において、第1項は、「 $\omega_0$ 」の0次高調波成分であり、第2項は、「 $\omega_0$ 」の2次高調波成分である。また、式(11)の右辺において、第3項は、「 $\omega_1$ 」の0次高調波成分であり、第4項は、「 $\omega_1$ 」の2次高調波成分である。また、式(11)の右辺において、第5項は、「 $\omega_0$ 」と「 $\omega_1$ 」との和音成分(和周波数成分)であり、第6項は、「 $\omega_0$ 」と「 $\omega_1$ 」との差音成分(差周波数成分)である。

20

【0 1 7 3】

式(10)に示す基本波と、式(11)に示す2次の非線形成分とが加算された信号は、被検体Pのターゲットに到達して反射される。ここで、「基本波」対「2次非線形項」の比を「 $\alpha$ 」とすると、基本波と、2次の非線形成分とが加算された信号は、以下の式(12)で表わされる。

【0 1 7 4】

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
S(t) &= \frac{1}{2}p_0(t)\{\exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) + \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0)\} \\
&\quad + \frac{1}{2}p_1(t)\{\exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) + \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1)\} \\
&\quad + \frac{\alpha}{2}p_0^2(t) + \frac{\alpha}{4}p_0^2(t)\{\exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0)\} \\
&\quad + \frac{\alpha}{2}p_1^2(t) + \frac{\alpha}{4}p_1^2(t)\{\exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1)\} \\
&\quad + \frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)) + \exp(-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0))\} \\
&\quad + \frac{\alpha}{2}p_0^2(t)p_1^2(t)\{\exp(j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)) + \exp(-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0))\} \quad \dots(12)
\end{aligned}$$

30

40

【0 1 7 5】

制御部16の指示により、送受信部11は、( $\omega_0$ 、 $\varphi_0$ )の初期位相を( $\omega_0$ 、 $\varphi_0$ )とする第1回目の送信を行なう。そして、送受信部11は、第1送信の反射波信号に対して増幅処理や受信遅延加算処理等を行なって、受信信号「S1」を生成出力する。深さ方向を示す時間「t」をパラメータとする受信信号「S1(t)」は、以下の式(13)で表わすことができる。

【0 1 7 6】

## 【数 1 3】

$$\begin{aligned}
S1(t) = & \frac{1}{2} p_0(t) \{ \exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) + \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0) \} \\
& + \frac{1}{2} p_1(t) \{ \exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) + \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) + \frac{\alpha}{4} p_0^2(t) \{ \exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_1^2(t) + \frac{\alpha}{4} p_1^2(t) \{ \exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0)\} \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\} \} \quad \dots(13)
\end{aligned}$$

## 【0 1 7 7】

以下、制御部 1 6 の指示により、送受信部 1 1 は、(  $\omega_0$ 、  $\varphi_1$  ) の初期位相を (  $\omega_0$  +  $\omega_1$ 、  $\varphi_1 + \varphi_0$  ) とする第 2 回目の送信を行ない、受信信号「S 2」を生成出力する。また、送受信部 1 1 は、(  $\omega_0$ 、  $\varphi_1$  ) の初期位相を (  $\omega_0 + \omega_1 / 2$ 、  $\varphi_1 - \varphi_0 / 2$  ) とする第 3 回目の送信を行ない、受信信号「S 3」を生成出力する。また、送受信部 1 1 は、(  $\omega_0$ 、  $\varphi_1$  ) の初期位相を (  $\omega_0 - \omega_1 / 2$ 、  $\varphi_1 + \varphi_0 / 2$  ) とする第 4 回目の送信を行ない、受信信号「S 4」を生成出力する。

## 【0 1 7 8】

受信信号「S 2 ( t )」は、以下の式 ( 1 4 ) で表わすことができ、受信信号「S 3 ( t )」は、以下の式 ( 1 5 ) で表わすことができ、受信信号「S 4 ( t )」は、以下の式 ( 1 6 ) で表わすことができる。

## 【0 1 7 9】

## 【数 1 4】

$$\begin{aligned}
S2(t) = & -\frac{1}{2} p_0(t) \{ \exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) + \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0) \} \\
& - \frac{1}{2} p_1(t) \{ \exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) + \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) + \frac{\alpha}{4} p_0^2(t) \{ \exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_1^2(t) + \frac{\alpha}{4} p_1^2(t) \{ \exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0)\} \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\} \} \quad \dots(14)
\end{aligned}$$

## 【0 1 8 0】

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
S3(t) = & \frac{j}{2} p_0(t) \{ \exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) - \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0) \} \\
& - \frac{j}{2} p_1(t) \{ \exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) - \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) - \frac{\alpha}{4} p_0^2(t) \{ \exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_1^2(t) - \frac{\alpha}{4} p_1^2(t) \{ \exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0)\} \} \\
& - \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\} \} \quad \dots (15)
\end{aligned}$$

【0 1 8 1】

【数 1 6】

$$\begin{aligned}
S4(t) = & -\frac{j}{2} p_0(t) \{ \exp(j\omega_0 t + j\varphi_0) - \exp(-j\omega_0 t - j\varphi_0) \} \\
& + \frac{j}{2} p_1(t) \{ \exp(j\omega_1 t + j\varphi_1) - \exp(-j\omega_1 t - j\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) - \frac{\alpha}{4} p_0^2(t) \{ \exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_1^2(t) - \frac{\alpha}{4} p_1^2(t) \{ \exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1) \} \\
& + \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 + \omega_0)t + j(\varphi_1 + \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 + \omega_0)t - j(\varphi_1 + \varphi_0)\} \} \\
& - \frac{\alpha}{2} p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\} \} \quad \dots (16)
\end{aligned}$$

【0 1 8 2】

合成部 1 2 1 a は、「S 1 + S 2 - S 3 - S 4」の演算処理を行なって、合成信号を生成する。すなわち、合成部 1 2 1 a は、「S 1 + S 2 - (S 3 + S 4)」の演算処理を行なう。深さ方向を示す時間「t」をパラメータとする合成信号「S 1 ( t ) + S 2 ( t ) - S 3 ( t ) - S 4 ( t )」は、以下の式 ( 1 7 ) で表わすことができる。

【0 1 8 3】

【数 1 7】

$$\begin{aligned}
S1(t) + S2(t) - S3(t) - S4(t) = & \alpha p_0^2(t) \{ \exp(j2\omega_0 t + j2\varphi_0) + \exp(-j2\omega_0 t - j2\varphi_0) \} \\
& + \alpha p_1^2(t) \{ \exp(j2\omega_1 t + j2\varphi_1) + \exp(-j2\omega_1 t - j2\varphi_1) \} \\
& + 2\alpha p_0^2(t) p_1^2(t) \{ \exp\{j(\omega_1 - \omega_0)t + j(\varphi_1 - \varphi_0)\} + \exp\{-j(\omega_1 - \omega_0)t - j(\varphi_1 - \varphi_0)\} \} \\
= & 2\alpha p_0^2(t) \cos(2\omega_0 t + \varphi_0) + 2\alpha p_1^2(t) \cos(2\omega_1 t + \varphi_1) + 4\alpha p_0^2 p_1^2 \cos\{(\omega_1 - \omega_0)t + (\varphi_1 - \varphi_0)\} \quad \dots (17)
\end{aligned}$$

【0 1 8 4】

式 ( 1 7 ) に示す合成信号では、基本波成分と、0 次高調波成分と、「 $\omega_0$ 」及び「 $\omega_1$ 」の和音成分 ( 和周波数成分 ) とが除去されている。そして、式 ( 1 7 ) に示す合成信号では、「 $\omega_0$ 」の 2 次高調波成分 ( 第 1 項 ) と、「 $\omega_1$ 」の 2 次高調波成分 ( 第 2 項 ) と、「 $\omega_0$ 」及び「 $\omega_1$ 」の差音成分 ( 第 3 項 ) が増強されて残存している。なお、「 $\omega_0 < \omega_1$ 」の場合、「 $\omega_1$ 」の 2 次高調波成分は、超音波プローブ 1 の受信可能帯域外となるように設定される場合がある。或いは、「 $\omega_1$ 」の 2 次高調波成分は、フィルタ処理により除去される場合がある。

【0 1 8 5】

送受信部 1 1 は、1 フレーム分 ( 或いは、1 ポリユーム分 ) の走査範囲を形成する各走査線において、上記の 4 回送信を 1 回行なう。そして、合成部 1 2 1 a は、送受信部 1 1

が生成出力した4つの受信信号(S1、S2、S3、S4)の合成信号「 $S1 + S2 - S3 - S4$ 」を、各走査線で生成する。そして、Bモードデータ生成部121bは、合成部121aが出力した各走査線の合成信号「 $S1 + S2 - S3 - S4$ 」に対して、包絡線検波処理、対数圧縮処理等を行なって、1フレーム分(或いは、1ボリューム分)のBモードデータを生成する。そして、画像生成部13は、このBモードデータから、Bモード画像データを生成し、モニタ2は、制御部16の制御により、Bモード画像データを生成する。

【0186】

これにより、基本波成分及び0次高調波成分が相殺され、2次高調波成分及び差音成分(差周波数成分)が増幅された信号により形成されたBモード画像データを生成表示することができる。

10

【0187】

上記で説明した2種類の「スキャンシーケンス及び合成処理法」は、各位相の関係及び加減算処理の関係が遵守されていれば、送信の順番は、任意の順番に変更しても、0次高調波成分の除去を行なうことができる。また、上記で説明した2種類の「スキャンシーケンス及び合成処理法」は、各走査線で、4回送信を複数回行なうことでも、0次高調波成分の除去を行なうことができる。しかし、上記で説明した2種類の「スキャンシーケンス及び合成処理法」は、0次高調波成分の除去のために送信される送信波形の違いにより、基本波成分の多重が相殺されずに、残留多重アーチファクトが発生する場合がある。図14では、PM法を用いたTHI法において、0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスが、第1送信を1回目とし、第2送信を2回目とし、第3送信を3回目とし、第4送信を4回目で実行されていることを示す。

20

【0188】

また、図14では、「 $\sin$ 」を受信信号に含まれる0次高調波成分で示している。かかる場合、1回目の「送信波形： $\sin$ 」により得られた受信信号に含まれる組織ハーモニック成分(0次高調波成分+2次高調波成分)は、図14に示すように、「 $\sin + \cos 2$ 」となる。また、2回目の「送信波形： $-\sin$ 」により得られた受信信号に含まれる組織ハーモニック成分は、図14に示すように、「 $-\sin + \cos 2$ 」となる。

【0189】

また、3回目の「送信波形： $\cos$ 」により得られた受信信号に含まれる組織ハーモニック成分は、図14に示すように、「 $\cos - \cos 2$ 」となる。また、4回目の「送信波形： $-\cos$ 」により得られた受信信号に含まれる組織ハーモニック成分は、図14に示すように、「 $-\cos - \cos 2$ 」となる。合成部121aは、加算処理「1+2」により、1回目の送信で得られた受信信号と2回目の送信で得られた受信信号とから基本波成分を除去し、加算処理「3+4」により、3回目の送信で得られた受信信号と4回目の送信で得られた受信信号とから基本波成分を除去する。そして、合成部121aは、「 $(1+2) - (3+4)$ 」の減算処理により、「 $\sin$ 」が除去され、2次高調波成分が「 $4 * \cos 2$ 」に増幅された合成信号を生成する。

30

【0190】

しかし、1回目の送信で得られた受信信号には、図14に示すように、隣の走査線での4回目の残留多重「 $-\cos$ 」が混入する。また、図14に示すように、2回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での1回目の残留多重「 $\sin$ 」が混入する。また、3回目の送信で得られた受信信号には、図14に示すように、同一走査線での2回目の残留多重「 $-\sin$ 」が混入する。また、図14に示すように、4回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「 $\cos$ 」が混入する。このため、従来では、加減算処理「 $(1+2) - (3+4)$ 」により、図14に示すように、合成信号には、「 $2 * \sin - 2 * \cos$ 」が消え残り、残留多重アーチファクトが発生する。

40

【0191】

かかる残留多重アーチファクトは、差音成分を用いたTHI法において、0次高調波成

50

分を除去するためのスキャンシーケンスが、第1送信を1回目とし、第2送信を2回目とし、第3送信を3回目とし、第4送信を4回目で実行される場合でも発生する。

【0192】

かかる残留多重アーチファクトを除去するために、第4の実施形態に係る制御部16は、合成部121aによって加算される1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信波形が同一になるように、送受信部11の制御を行なう。上記の加算処理は、0次高調波成分以外の高調波成分を抽出するための処理となる。

【0193】

かかる送信順番の制約で実行される処理の一例では、送受信部11は、第1超音波パルス、第2超音波パルス、第3超音波パルス、第4超音波パルスの順に、超音波プローブ1に超音波送信を実行させる。この際、送受信部11は、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの送信波形を第1波形（例えば、 $\sin$ ）として、第1の超音波パルスと第3の超音波パルスとの位相極性を反転させ、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの送信波形を、第1波形とは異なる第2波形（例えば、 $\cos$ ）として、第2の超音波パルスと第4の超音波パルスとの位相極性を反転させる。そして、合成部121aは、第1の受信信号と第3の受信信号とを加算することで第1の合成信号を発生し、第2の受信信号と第4の受信信号とを加算することで第2の合成信号を発生し、第1の合成信号と第2の合成信号とを差分して合成信号を発生する。そして、画像生成部13は、合成信号に基づいて画像データを生成する。

【0194】

すなわち、第4の実施形態では、PM法を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスは、図15に示すように、1回目で、送信波形「 $\sin$ 」の超音波パルス（第1の超音波パルス）による送受信が行なわれ、2回目で、送信波形「 $\cos$ 」の超音波パルス（第2の超音波パルス）による送受信が行なわれる。また、第4の実施形態では、PM法を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスは、図15に示すように、3回目で、送信波形「 $-\sin$ 」の超音波パルス（第3の超音波パルス）による送受信が行なわれ、4回目で、送信波形「 $-\cos$ 」の超音波パルス（第4の超音波パルス）による送受信が行なわれる。

【0195】

すなわち、第4の実施形態では、図14に示す2回目の送信を3回目の送信に変更し、図14に示す3回目の送信を2回目の送信に変更する。そして、第4の実施形態では、1回目の送信で得られた受信信号（第1の受信信号）と3回目の送信で得られた受信信号（第3の受信信号）との加算処理「 $1 + 3$ 」により、「組織ハーモニック成分： $2 + 2 * \cos 2$ 」が抽出された合成信号（第1の合成信号）が得られる。また、第4の実施形態では、2回目の送信で得られた受信信号（第2の受信信号）と4回目の送信で得られた受信信号（第4の受信信号）との加算処理「 $2 + 4$ 」により、「組織ハーモニック成分： $2 - 2 * \cos 2$ 」が抽出された合成信号（第2の合成信号）が得られる。そして、これら2つの合成信号の差分処理「 $1 + 3 - (2 + 4)$ 」により、「組織ハーモニック成分： $4 * \cos 2$ 」が抽出された合成信号が得られる。

【0196】

ここで、上記の送信順番の制約により、第4の実施形態の加算処理「 $1 + 3$ 」において、1回目の1つ前の送信である4回目の送信波形と、3回目の1つ前の送信である2回目の送信波形とは、位相極性が反転しているが、同じ「 $\cos$ 」である。また、上記の送信順番の制約により、第4の実施形態の加算処理「 $2 + 4$ 」において、2回目の1つ前の送信である1回目の送信波形と、4回目の1回前の送信である3回目の送信波形とは、位相極性が反転しているが、同じ「 $\sin$ 」である。

【0197】

上記の送信順番の制約により、第4の実施形態では、図15に示すように、1回目の送信で得られた受信信号には、隣の走査線での4回目の残留多重「 $-\cos$ 」が混入する。また、第4の実施形態では、図15に示すように、2回目の送信で得られた受信信号に

10

20

30

40

50

は、同一走査線での1回目の残留多重「 $\sin$ 」が混入する。また、第4の実施形態では、図15に示すように、3回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での2回目の残留多重「 $\cos$ 」が混入する。また、第4の実施形態では、図15に示すように、4回目の送信で得られた受信信号には、同一走査線での3回目の残留多重「 $-\sin$ 」が混入する。

【0198】

しかし、第4の実施形態では、図15に示すように、加減算処理「 $1 + 3 - (2 + 4)$ 」により、これら多重残留成分がキャンセルされて、残留多重が「0」となり、「組織ハーマニック成分： $4 * \cos 2$ 」が抽出された合成信号が得られる。その結果、第4の実施形態では、PM法を用いたTHI法により得られる画像データから、0次高調波成分

10

【0199】

なお、第4の実施形態では、差音成分を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスは、上記の送信波形に基づく送信順番の制約により、2回目の送信を3回目の送信に変更し、図14に示す3回目の送信を2回目の送信に変更して行なわれる。すなわち、第4の実施形態では、差音成分を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスは、スキャンシーケンスでは、1回目を「 $p_0(t) \cos \theta_0 + p_1(t) \cos \theta_1$ 」の送信波形で行ない、2回目を、「 $-p_0(t) \sin \theta_0 + p_1(t) \sin \theta_1$ 」で行なう。また、このスキャンシーケンスでは、上記の送信順番の制約により、3回目を、「 $-(p_0(t) \cos \theta_0 + p_1(t)$

20

【0200】

そして、合成部121aは、加減算処理「 $1 + 3 - (2 + 4)$ 」により、合成処理を行なう。加減算処理「 $1 + 3 - (2 + 4)$ 」により、多重残留成分がキャンセルされて、残留多重が「0」となり、「差音成分及び2次高調波成分」が増幅抽出された合成信号が得られる。その結果、第4の実施形態では、差音成分を用いたTHI法により得られる画像データから、0次高調波成分によるアーチファクトとともに、残留多重アーチファクトを除去することができる。

【0201】

図16の左図に示す画像データ300は、差音成分を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスを、変更前の送信順番で行なって生成表示されたBモード画像データである。また、図16の右図に示す画像データ400は、差音成分を用いたTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスを、上記の制約条件で変更した送信順番で行なって生成表示されたBモード画像データである。図16に示すように、画像データ300では、深部領域において、残留多重アーチファクトが発生している。一方、図16に示すように、画像データ400では、深部領域における残留多重アーチファクトが消失している。

30

【0202】

上述したように、第4の実施形態では、送信波形に基づく送信順番の制約により、THI法により得られる画像データから、0次高調波成分によるアーチファクトとともに、残留多重アーチファクトを除去することができる。

40

【0203】

なお、上記のTHI法において0次高調波成分を除去するためのスキャンシーケンスは、ハーマニック成分を広帯域にするために、第1セットの送信周波数と第2セットの送信周波数とを変更して行なう場合であっても良い。かかる場合の送信順番の制約条件は、合成部121aによって加算される1セット分の2つの受信信号に対応する2つの送信それぞれの1つ前の送信同士の送信周波数及び送信波形を同一とする送信順番の制約条件となる。この制約条件により、ハーマニック成分を広帯域にするために、第1セットの送信周波数と第2セットの送信周波数とを変更して行なう場合でも、残留多重アーチファクトを

50

除去することができる。

【0204】

(第5の実施形態)

上記の第1～第4の実施形態では、残留多重アーチファクトを除去するための送信順番の制約により、映像化用の信号成分を抽出するための加算処理、又は、減算処理(差分処理)を行なう2つの受信信号それぞれを得るための送信間隔が、変更前のスキャンシーケンスと比較して、広がることになる。

【0205】

かかる場合、広がった送信間隔の時間差により、体動に起因するモーションアーチファクトが発生する場合がある。すなわち、第1～第4の実施形態で説明した送信順番により、多重アーチファクトは除去できるが、モーションアーチファクトが発生する可能性が高くなる場合がある。

10

【0206】

しかし、残留多重アーチファクトは、超音波画像データの表示深度が浅い場合、或いは、送信パルスのパルス間隔が短い場合、発生しにくくなる。すなわち、残留多重アーチファクトは、超音波画像データの表示深度が浅い場合、或いは、送信パルスのPRFが大きい場合、発生しにくくなる。

【0207】

そこで、第5の実施形態に係る制御部16は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、送受信部11が走査線上で実行させる複数回の超音波送受信の順番を切り替える。すなわち、制御部16は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、送受信部11が、超音波送受信の1セットの中で、走査線上で実行させる複数回の超音波送受信の順番を切り替える。具体的には、制御部16は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、合成部121aによって合成される1セット分の複数の受信信号に対応する複数の送信が隣接するように、超音波送受信の順番を切り替える。換言すると、第5の実施形態に係る制御部16は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、送信順番の制約に基づいて変更しているスキャンシーケンスを、変更前のスキャンシーケンスに切り替える。

20

【0208】

例えば、第1～第4の実施形態で説明した送信順番(以下、第1の送信順番)では、送受信部11は、「第1の超音波パルス、第2の超音波パルス、第3の超音波パルス、第4の超音波パルス」の順番に超音波送信を超音波プローブ1に実行させるとする。一方、従来の送信順番(以下、第2の送信順番)では、送受信部11は、「第1の超音波パルス、第3の超音波パルス、第2の超音波パルス、第4の超音波パルス」の順番に超音波送信を超音波プローブ1に実行させる。第5の実施形態に係る送受信部11は、表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、第1の送信順番から第2の送信順番に切り替える。図17A及び図17Bは、第5の実施形態を説明するための図である。

30

【0209】

図17A及び図17Bにおいて、「ThD」は、表示深度に対して設定された閾値であり、「ThP」は、PRFに対して設定された閾値である。「ThD」及び「ThP」は、予めシステムに初期設定される場合でも、操作者により設定される場合でも良い。

40

【0210】

例えば、第1の実施形態では、制約条件により、1回目～4回目それぞれの送信波形は、「F1+、F2+、F1-、F2-」となる。ここで、制御部16は、表示条件として設定された「表示深度」、又は、送信条件として設定された「PRF」の値を取得する。そして、「表示深度<ThD」である場合、或いは、「PRF>ThP」である場合、制御部16は、図17Aに示すように、1回目～4回目それぞれの送信波形を「F1+、F1-、F2+、F2-」とする従来スキャンシーケンスに切り替える。

【0211】

また、例えば、第4の実施形態では、制約条件により、1回目～4回目それぞれの送信

50

波形は、「 $\sin$ 、 $\cos$ 、 $-\sin$ 、 $-\cos$ 」となる。しかし、「表示深度  $< ThD$ 」である場合、或いは、「 $PRF > ThP$ 」である場合、制御部 16 は、図 17 B に示すように、1 回目～4 回目それぞれの送信波形を「 $\sin$ 、 $-\sin$ 、 $\cos$ 、 $-\cos$ 」とする通常のスキャンシーケンスに切り替える。

【0212】

なお、制御部 16 は、表示条件や、送信条件を設定した操作者からの切り替え要求に応じて、上記の切り替え制御を行なっても良い。

【0213】

上述したように、第 5 の実施形態では、残留多重アーチファクトが発生しにくい条件が設定されている場合、映像化用の信号成分を抽出するための加算処理、又は、減算処理を行なう 2 つの受信信号それぞれを得るための送信間隔が短くなる通常のスキャンシーケンスに切り替える。その結果、第 5 の実施形態では、モーションアーチファクトの発生を低減することができる。なお、制御部 16 は、通常のスキャンシーケンスを実行中に、残留多重アーチファクトが発生しやすい条件に変更された場合（表示深度  $ThD$ 、或いは、 $PRF > ThP$  となった場合）、制約条件に基づく送信順番のスキャンシーケンスに切り替えても良い。すなわち、第 5 実施形態は、変更後の表示深度、又は、パルス繰り返し周波数に応じて、第 2 の送信順番から第 1 の送信順番に切り替える場合であっても良い。

10

【0214】

なお、上記の実施形態において、 $THI$  法での残留多重アーチファクトの除去方法は、ハーモニックイメージングの別の一例である  $CHI$  (Contrast Harmonic Imaging) 法においても適用することができる。

20

【0215】

また、上記の第 1～第 5 の実施形態で説明した信号処理及び画像生成処理は、超音波診断装置とは独立に設置された画像処理装置により実行されても良い。かかる画像処理装置は、制御部 16 の送信順番の制御により設定されたスキャンシーケンスにより、送受信部 11 が生成した受信信号群を、超音波診断装置や、記憶媒体等から取得する取得部と、信号処理部 12 及び画像生成部 13 と同等の機能を有する処理部とを有する。そして、かかる画像処理装置は、これら処理部により、上記の第 1～第 5 の実施形態で説明した信号処理及び画像生成処理を実行する。

【0216】

また、上記の第 1～第 5 の実施形態で図示した各装置の各構成要素は機能概念的なものであり、必ずしも物理的に図示の如く構成されていることを要しない。すなわち、各装置の分散・統合の具体的形態は図示のものに限られず、その全部又は一部を、各種の負荷や使用状況等に応じて、任意の単位で機能的又は物理的に分散・統合して構成することができる。更に、各装置にて行なわれる各処理機能は、その全部又は任意の一部が、 $CPU$  及び当該  $CPU$  にて解析実行されるプログラムにて実現され、或いは、ワイヤードロジックによるハードウェアとして実現され得る。

30

【0217】

また、上記の第 1～第 5 の実施形態で説明した制御方法は、予め用意された制御プログラムをパーソナルコンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することによって実現することができる。この制御プログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布することができる。また、この制御プログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク ( $FD$ )、 $CD-ROM$ 、 $MO$ 、 $DVD$  等のコンピュータで読み取り可能な非一時的な記録媒体に記録され、コンピュータによって非一時的な記録媒体から読み出されることによって実行することもできる。

40

【0218】

以上、説明したとおり、第 1～第 5 の実施形態によれば、残留多重アーチファクトを除去することができる。

【0219】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したも

50

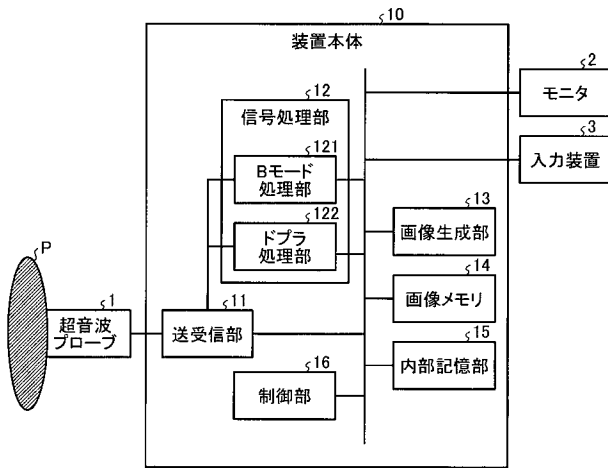
のであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

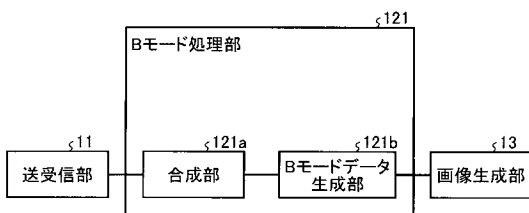
【0220】

- 1 1 送受信部
- 1 2 信号処理部
- 1 2 1 Bモード処理部
- 1 2 1 a 合成部
- 1 2 1 b Bモードデータ生成部
- 1 3 画像生成部
- 1 6 制御部

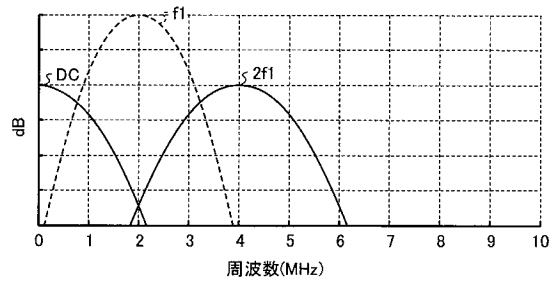
【図1】



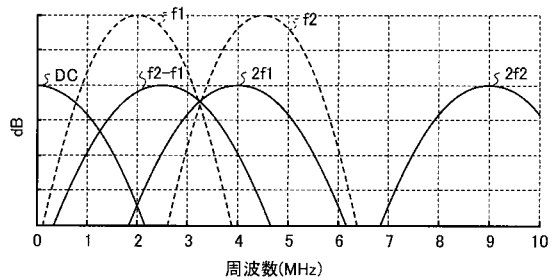
【図2】



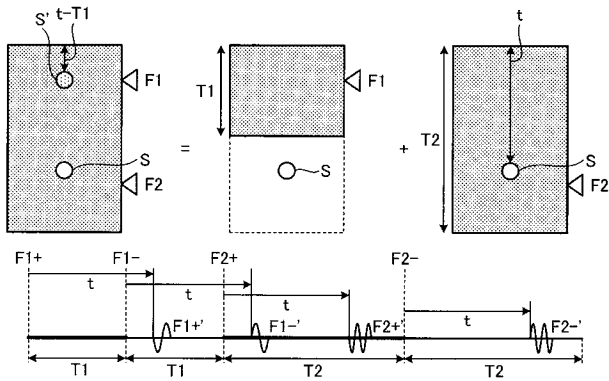
【図3A】



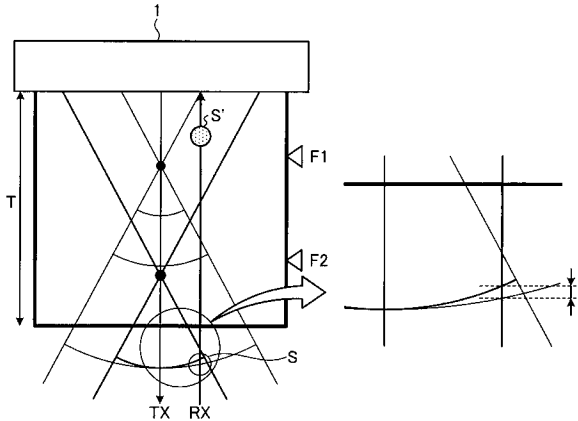
【図3B】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 8 】

	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	f1+	Hf1	f2-
2回目	f1-	Hf1	f1+
(1+2)		2*Hf1	(f1+)+(f2-)
3回目	f2+	Hf2	f1-
4回目	f2-	Hf2	f2+
(3+4)		2*Hf2	(f2+)+(f1-)



	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	f1+	Hf1	f2-
2回目	f2+	Hf2	f1+
3回目	f1-	Hf1	f2+
4回目	f2-	Hf2	f1-
(1+3)		2*Hf1	0
(2+4)		2*Hf2	0

【 図 6 】

	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	F1+	H1	F2-
2回目	F1-	H1	F1+
(1+2)		2*H1	(F1+)+(F2-)
3回目	F2+	H2	F1-
4回目	F2-	H2	F2+
(3+4)		2*H2	(F2+)+(F1-)

【 図 7 】

	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	F1+	H1	F2-
2回目	F2+	H2	F1+
3回目	F1-	H1	F2+
4回目	F2-	H2	F1-
(1+3)		2*H1	0
(2+4)		2*H2	0

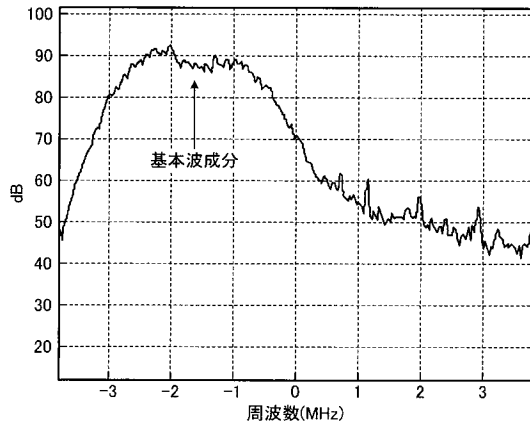
【 図 9 】

	送信波形	移動成分	残留多重
1回目	F1+		F2+
2回目	F1+		F1+
(1-2)		M(F1)	(F2+)-(F1+)
3回目	F2+		F1+
4回目	F2+		F2+
(3-4)		M(F2)	(F1+)-(F2+)

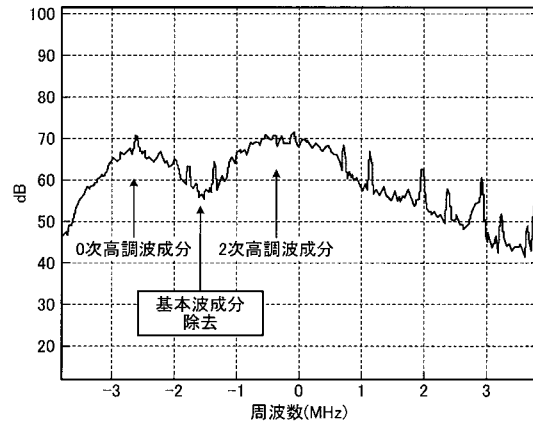


	送信波形	移動成分	残留多重
1回目	F1+		F2+
2回目	F2+		F1+
3回目	F1+		F2+
4回目	F2+		F1+
(1-3)		M(F1)	0
(2-4)		M(F2)	0

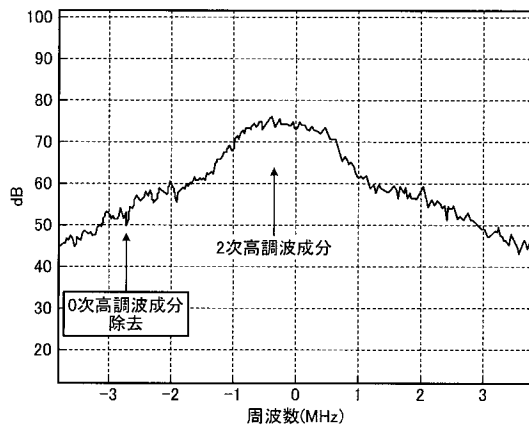
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



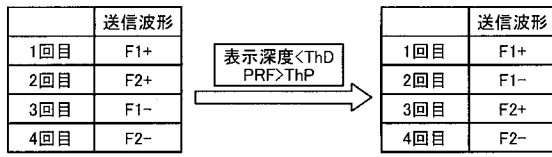
【 図 1 4 】

	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	$\sin \theta$	$\alpha + \cos 2\theta$	$-\cos \theta$
2回目	$-\sin \theta$	$\alpha + \cos 2\theta$	$\sin \theta$
3回目	$\cos \theta$	$\alpha - \cos 2\theta$	$-\sin \theta$
4回目	$-\cos \theta$	$\alpha - \cos 2\theta$	$\cos \theta$
1+2-(3+4)		$4 * \cos 2\theta$	$2 * \sin \theta - 2 * \cos \theta$

【 図 1 5 】

	送信波形	組織ハーモニック成分	残留多重
1回目	$\sin \theta$	$\alpha + \cos 2\theta$	$-\cos \theta$
2回目	$\cos \theta$	$\alpha - \cos 2\theta$	$\sin \theta$
3回目	$-\sin \theta$	$\alpha + \cos 2\theta$	$\cos \theta$
4回目	$-\cos \theta$	$\alpha - \cos 2\theta$	$-\sin \theta$
1+3-(2+4)		$4 * \cos 2\theta$	0

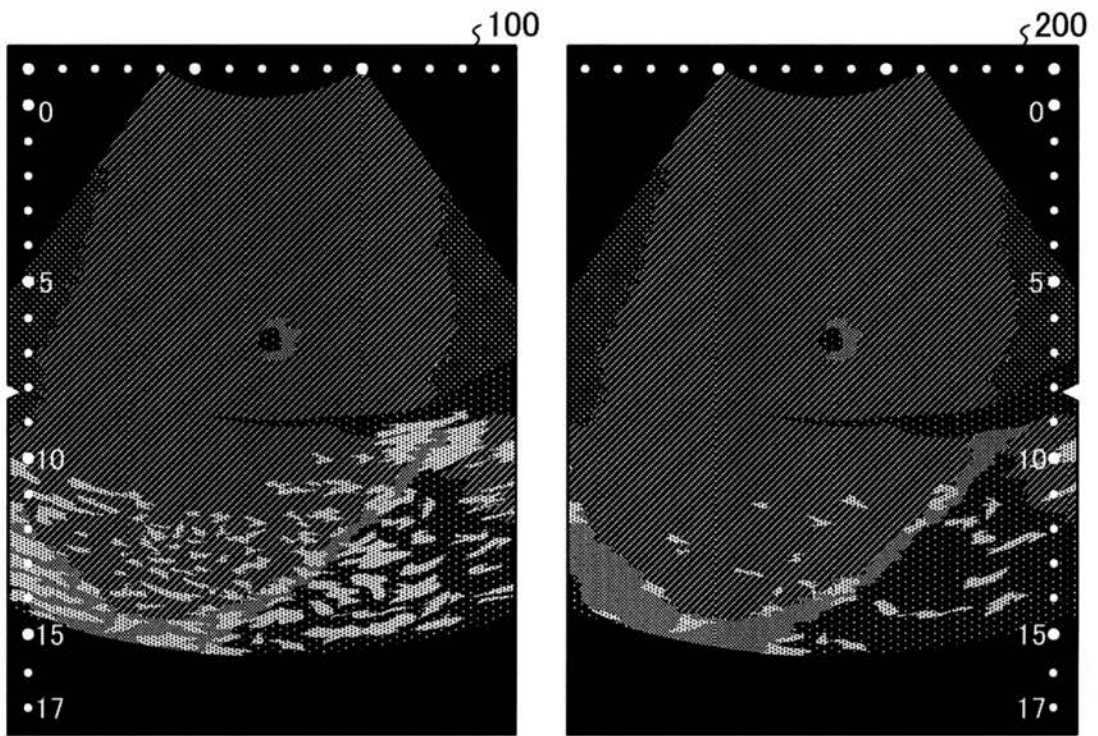
【 图 1 7 A 】



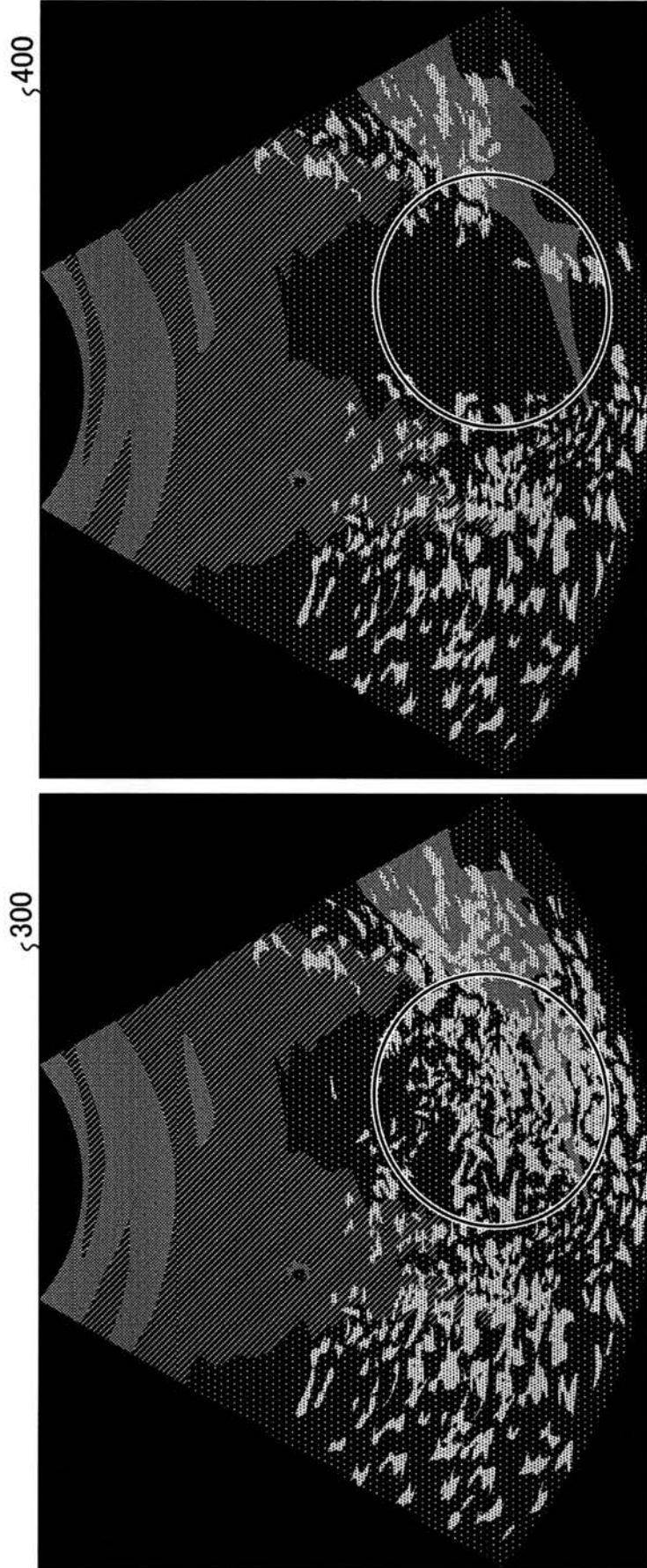
【 图 1 7 B 】



【 図 1 3 】



【 図 16 】



专利名称(译)	超声波诊断装置和控制方法		
公开(公告)号	<a href="#">JP2015119949A</a>	公开(公告)日	2015-07-02
申请号	JP2014177770	申请日	2014-09-02
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社东芝 东芝医疗系统株式会社		
申请(专利权)人(译)	东芝公司 东芝医疗系统有限公司		
[标]发明人	掛江明弘 深澤雄志		
发明人	掛江 明弘 深澤 雄志		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/145 A61B8/488 A61B8/5207 A61B8/5253 A61B8/5269 A61B8/54 G01S7/5202 G01S7/52039 G01S7/52085 G01S15/8915 G01S15/8952 G01S15/8963 G01S15/8979 G01S15/8993		
FI分类号	A61B8/00 A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/DE09 4C601/DE14 4C601/EE04 4C601/HH14 4C601/HH29 4C601/KK12		
代理人(译)	酒井宏明		
优先权	2013239381 2013-11-19 JP		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种能够去除残留的多个伪像的超声诊断设备。超声波诊断装置包括发送/接收单元11，信号处理单元12，图像生成单元13和控制单元16。发送/接收单元11执行一组超声发送/接收，其中通过改变发送条件在扫描线上对同一条扫描线上的超声发送/接收单元进行多次，并且接收多组接收信号组。产生。信号处理单元12在多组中的每组中合成接收信号组，并生成与多组中的每组相对应的多个合成信号。图像生成部13使用多个合成信号来生成超声波图像数据。控制单元16被配置为使得与由信号处理单元组合的一组的多个接收信号相对应的多个传输中的先前传输中的传输条件相同，并且相位极性不同，发送/接收单元11控制超声发送/接收的顺序。[选型图]图1

(21) 出願番号	特願2014-177770 (P2014-177770)	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝
(22) 出願日	平成26年9月2日(2014.9.2)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(31) 優先権主張番号	特願2013-239381 (P2013-239381)	(71) 出願人	594164542 東芝メディカルシステムズ株式会社
(32) 優先日	平成25年11月19日(2013.11.19)		栃木県大田原市下石上1385番地
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	掛江 明弘 栃木県大田原市下石上1385番地 東芝 メディカルシステムズ株式会社内
		(72) 発明者	深澤 雄志 栃木県大田原市下石上1385番地 東芝 メディカルシステムズ株式会社内
		Fターム(参考)	4C601 DE09 DE14 EE04 HH14 HH29 KK12