

(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2017-136235
(P2017-136235A)

(43) 公開日 平成29年8月10日(2017.8.10)

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

F I
A61B 8/14

テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2016-19655 (P2016-19655)
(22) 出願日 平成28年2月4日(2016.2.4)

(71) 出願人 000001270
コニカミノルタ株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
(74) 代理人 110001900
特許業務法人 ナカジマ知的財産総合事務所
(72) 発明者 布施 優
東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
Fターム(参考) 4C601 EE01 EE04 JB03 JB28 JB36 JB45 LL13

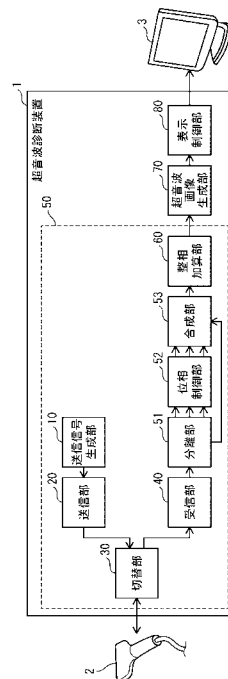
(54) 【発明の名称】 超音波診断装置、および、超音波信号処理方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】単純な処理によって実現可能であり、かつ、信号の広帯域化と距離分解能の向上を両立させた超音波診断装置および超音波信号処理方法を提供する。

【解決手段】超音波探触子2を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を前記被検体内に送信し、超音波探触子が受信した被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成し、受信信号から、1以上の周波数成分を含む第1の成分と、第1の成分とは異なる第2の成分とを分離し、第1の成分と前記第2の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、第2の成分の位相を制御して第3の成分を生成する位相制御部52と、第1の成分と第3の成分とを合成し、合成受信信号を生成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波探触子を用いて超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて画像を生成する超音波診断装置であって、

前記超音波探触子を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、

前記超音波探触子が受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成する受信部と、

前記受信信号から、1以上の周波数成分を含む第1の成分と、前記第1の成分とは異なる第2の成分とを分離する分離部と、

前記第1の成分と前記第2の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、前記第2の成分の位相を制御して第3の成分を生成する位相制御部と、

前記第1の成分と前記第3の成分とを合成し、合成受信信号を生成する合成部と、

前記合成受信信号に基づいて画像を生成する画像生成部と

を備えることを特徴とする超音波診断装置。

10

【請求項 2】

前記第1の成分と前記第2の成分のうち、一方は、前記基本波成分と周波数帯が一致する反射基本波成分を含む第4の成分であり、他方は、前記反射基本波成分の偶数次高調波成分を含む第5の成分である

ことを特徴とする請求項1に記載の超音波診断装置。

20

【請求項 3】

前記送信信号は、前記基本波成分と、前記基本波成分のM倍（Mは2以上の整数）の周波数を有する成分とを含む

ことを特徴とする請求項1または2に記載の超音波診断装置。

【請求項 4】

前記第4の成分は、前記反射基本波成分の奇数次高調波成分をさらに含む

ことを特徴とする請求項2または3に記載の超音波診断装置。

【請求項 5】

前記送信信号は、前記基本波成分とは周波数が異なる第2の基本波成分をさらに含み、

前記第5の成分は、前記基本波成分と前記第2の基本波成分との間の和周波成分、差周波成分のうち1以上をさらに含む

ことを特徴とする請求項2乃至4のいずれか1項に記載の超音波診断装置。

30

【請求項 6】

前記第4の成分は、前記第2の基本波成分に対応する第2の反射基本波成分と、前記第2の反射基本波成分の奇数次高調波成分とのうち1以上をさらに含み、

前記第5の成分は、前記第2の反射基本波成分の偶数次高調波をさらに含む

ことを特徴とする請求項5に記載の超音波診断装置。

【請求項 7】

前記位相制御部は、さらに前記第1の成分の位相を制御して第6の成分を生成することで、前記第3の成分と前記第6の成分との振幅が最大となる時刻を同一とし、

前記合成部は、前記第1の成分に替えて前記第6の成分を用いて前記合成受信信号を生成する

ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の超音波診断装置。

40

【請求項 8】

前記反射基本波成分の高調波成分の劣化前の波形である復元高調波成分を、前記反射基本波成分を用いて推定して生成する推定部をさらに備え、

前記位相制御部は、前記第2の成分のうち前記反射基本波成分の高調波成分を前記復元高調波成分に置き換えた第7の成分の位相を制御することで前記第3の成分を生成し、

前記合成部は、前記第1の成分に代えて、前記第1の成分のうち前記反射基本波成分の高調波成分を前記復元高調波成分に置き換えた第8の成分を用いて前記合成受信信号を生

50

成する

ことを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 9】

前記合成部は、前記合成受信信号を生成する際、前記反射基本波に対応する第 9 の成分と、前記反射基本波成分の高調波成分に対応する第 10 の成分との合成比を制御する

ことを特徴とする請求項 2 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 10】

前記合成部は、前記受信信号に対応する前記反射超音波の発生源の深さに応じて、前記第 9 の成分に対する前記第 10 の成分の合成比を変更する

ことを特徴とする請求項 9 に記載の超音波診断装置。

10

【請求項 11】

前記第 9 の成分に対する前記第 10 の成分の前記合成比は、前記受信信号に対応する前記反射超音波の発生源が所定の深さより浅い場合は、前記発生源が深くなるほど大きくなり、前記発生源が前記所定の深さより深い場合は、前記発生源が深くなるほど小さくなる

ことを特徴とする請求項 10 に記載の超音波診断装置。

【請求項 12】

前記合成受信信号を前記送信信号に基づいて時間軸方向に圧縮してパルス圧縮信号を生成するパルス圧縮部をさらに備え、

前記画像生成部は、前記合成受信信号に代えて前記パルス圧縮信号に基づいて前記画像を生成する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

20

【請求項 13】

前記第 1 の成分と前記第 3 の成分とのそれぞれを前記送信信号に基づいて時間軸方向に圧縮し、第 1 パルス圧縮信号と第 2 パルス圧縮信号とを生成するパルス圧縮部をさらに備え、

前記合成部は、前記第 1 の成分と前記第 3 の成分とに替えて、前記第 1 パルス圧縮信号と前記第 2 パルス圧縮信号とを合成して前記合成受信信号を生成する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

【請求項 14】

前記位相制御部は、前記第 2 の成分に含まれる各周波数成分について位相を $\pi/2$ だけ変更する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の超音波診断装置。

30

【請求項 15】

超音波探触子を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を被検体内に送信し、

前記超音波探触子が受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成し

前記受信信号から、1 以上の周波数成分を含む第 1 の成分と、前記第 1 の成分とは異なる第 2 の成分とを分離し、

前記第 1 の成分と前記第 2 の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、前記第 2 の成分の位相を制御して第 3 の成分を生成し、

前記第 1 の成分と前記第 3 の成分とを合成して合成受信信号を生成する

ことを特徴とする超音波信号処理方法。

40

【請求項 16】

前記第 1 の成分と前記第 2 の成分のうち、一方は、前記基本波成分と周波数帯が一致する反射基本波成分を含む第 4 の成分であり、他方は、前記反射基本波成分の偶数次高調波成分を含む第 5 の成分である

ことを特徴とする超音波信号処理方法。

【請求項 17】

50

前記第4の成分は、前記基本波成分の奇数次高調波成分をさらに含むことを特徴とする請求項16に記載の超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波診断装置および超音波信号処理方法に関し、特に、超音波の送受信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波診断装置は、超音波パルス反射法により生体内情報を取得し、断層像として表示する医療用画像機器である。X線や放射線等を用いる他モダリティに比べて、安価で被曝の危険性がなく、リアルタイム性に優れる特徴を生かして、その活用領域を拡げつつある。

10

この超音波診断装置において、画質を向上させるためのさまざまな工夫がなされており、例えば、THI (Tissue Harmonic Imaging) と呼ばれる技術が用いられている。THIでは、超音波が生体組織内を伝搬する際に生じる非線形成分、具体的には、高調波成分を抽出して画像化する手法である。THIは、生体組織そのものの画像化に用いられるほか、強い高調波成分を発生する超音波造影剤と組み合わせて造影画像を生成する用途にも用いることができる。高調波成分は基本波成分より周波数が高いため、多重反射や低周波ノイズ等の影響を受けにくく、また、不要なサイドローブ成分が小さいため、高S/N比の信号を得ることができる。さらに、例えば、特許文献1や特許文献2に開示されているように、次数の異なる複数の高調波を用いたり、さらに周波数の異なる2つの基本波に対応する和周波または差周波を用いたりすることで、信号の広帯域化による信号品質の向上が図られている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-298620号公報

【特許文献2】特開2010-42048号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

基本波成分より周波数が高い成分を用いるもう一つの利点として、超音波のパルスの時間長（以下、パルス長と略記する）を短縮することで距離分解能を向上することが可能であることが挙げられる。しかしながら、高調波成分は基本波成分が伝搬する際に生じるものであるため、基本波成分と高調波成分とでパルス長はほぼ変わらない。したがって、引用文献1に開示されているような単純に高調波成分を用いる方法では、パルスの時間長が基本波と変わらないため、距離分解能を向上させることができない。

【0005】

パルス長を短縮する方法として、特許文献2に開示されているように、時間と共に周波数が変化（掃引）する信号（いわゆる「チャープ信号」）を送受信し、相関処理によるパルス圧縮を用いる方法がある。しかしながら、超音波周波数を掃引するためにはアナログ処理が必要であるため、回路の複雑化、高コスト化を招く問題がある。

40

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、単純な処理によって実現可能であり、かつ、信号の広帯域化と距離分解能の向上を両立させた超音波診断装置および超音波信号処理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様に係る超音波診断装置は、超音波探触子を用いて超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて画像を生成する超音波診断装置であって、前記超音波

50

探触子を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、前記超音波探触子が受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成する受信部と、前記受信信号から、1以上の周波数成分を含む第1の成分と、前記第1の成分とは異なる第2の成分とを分離する分離部と、前記第1の成分と前記第2の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、前記第2の成分の位相を制御して第3の成分を生成する位相制御部と、前記第1の成分と前記第3の成分とを合成し、合成受信信号を生成する合成部と、前記合成受信信号に基づいて画像を生成する画像生成部とを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

上述した構成により、第1の成分と、第2の成分とが相互作用により強めあうため合成受信信号のピークが急峻化し、実質的なパルス長を短縮して距離分解能を向上させることができる。さらに、受信信号の初期状態において第1の成分と第2の成分との間で位相が揃っている必要がないため、第1の成分及び第2の成分として、受信信号中に含まれる、複数の異なる周波数成分を用いることができ、信号の広帯域化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1に係る超音波診断装置1のブロック図である。

【図2】実施の形態1に係る超音波診断装置1の動作を示すフローチャートである。

【図3】実施の形態1に係る送受信イベントの動作を示すフローチャートである。

【図4】(a)は、実施の形態1に係る送信パルスの波形例である。(b)は、実施の形態1に係る送信パルスの波形例である。

【図5】(a)は、実施の形態1に係る合成受信信号の波形例である。(b)は、実施の形態1に係る合成受信信号の波形例である。

【図6】変形例1に係る超音波診断装置1Aのブロック図である。

【図7】変形例1に係る超音波診断装置1Aの動作を示すフローチャートである。

【図8】(a)は、変形例2に係る送信信号パルスの帯域の例である。(b)は、変形例2に係るデジタル受信信号の帯域の例である。

【図9】(a)は、実施の形態1に係る分離部51、位相制御部52、合成部53のそれぞれが処理対象とする成分を示した模式図である。(b)、(c)、(d)は、それぞれ、変形例3に係る分離部、位相制御部、合成部のそれぞれが処理対象とする成分を示した模式図である。

【図10】実施の形態2に係る超音波診断装置4のブロック図である。

【図11】実施の形態2に係る送受信イベントの動作を示すフローチャートである。

【図12】実施の形態2および実施の形態3に係る参照信号の例である。

【図13】実施の形態3に係る超音波診断装置5のブロック図である。

【図14】実施の形態3に係る送受信イベントの動作を示すフローチャートである。

【図15】実施の形態4に係る超音波診断装置6のブロック図である。

【図16】実施の形態4に係る送受信イベントの動作を示すフローチャートである。

【図17】実施の形態4に係る推定補正の模式図である。

【図18】実施の形態5に係る超音波診断装置7のブロック図である。

【図19】実施の形態5に係る送受信イベントの動作を示すフローチャートである。

【図20】(a)は、合成部53における基本波成分と非線形成分の合成比の例を示す模式図である。(b)は、被検体内の深さと非線形成分の発生レベルとの関係を示す模式図である。(c)は、被基本波成分と非線形成分とのそれぞれの減衰率と、被検体内の深さとの関係を示す模式図である。(d)は、基本波成分と非線形成分とのそれぞれの信号レベルと、被検体内の深さとの関係を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

発明を実施するための形態に至った経緯

10

20

30

40

50

発明者は、THIによる信号の広帯域化による信号品質の向上と、高周波の信号を用いることによる距離分解能の向上との両立をさせるために種々の検討を行った。

THIでは、高調波成分を抽出して画像化する。高調波成分は基本波成分より周波数が高いため、多重反射や低周波ノイズ等の影響を受けにくく、また、不要なサイドローブ成分が小さいため、高S/N比の信号を得ることができる。また、基本波成分より周波数が高いため送信ビームを狭窄化しやすいため、方位分解能が高いという特徴がある。

【0010】

一方で、発明者は、高調波成分を単に用いるだけでは、距離分解能を向上させることができない課題を見出した。これは、距離分解能は超音波のパルス長に依存するためである。一般には超音波パルスの周波数が高いほど距離分解能が向上するが、これは、波数が同一であれば、周波数が高いほどパルス長が短くなるからである。しかしながら、高調波成分においては、周波数が対応する基本波成分より高いものの、パルス長自体は、基本波成分のパルス長と変わらない。そのため、THIの距離分解能は、基本波成分を画像化した場合の距離分解能より大きく向上しない。そこで、発明者は、高調波成分を用いた上で、パルス長を短縮する技術について検討を行った。

10

【0011】

パルス長を短縮する既存技術としては、例えば、特許文献2に開示されているように、相関処理を用いたパルス圧縮技術が挙げられる。特許文献2では、高調波成分を高調波の次数ごとに分離し、2次高調波、3次高調波、4次高調波、5次高調波のそれぞれをパルス圧縮して結果を合成している。しかしながら、この技術では、送信パルスとしてチャープ信号を用いている。チャープ信号の生成には周波数掃引のためのアナログ処理が必要となるため、特許文献2に開示の方法では、回路の複雑化、高コスト化を招くこととなってしまう。

20

【0012】

そこで、発明者は、受信信号において複数の異なる周波数成分を合成することでピークを急峻化し、それによりパルス長を短縮することを検討した。例えば、特許文献1では、周波数の異なる2つの基本波を送信波として用い、かつ、送信超音波における基本波間の位相を制御することで、反射超音波において、一方の基本波に対応する2次高調波と、基本波間の差周波または和周波とを強め合うように合成している。しかしながら、これらの技術では、例えば、基本波成分と2次高調波成分とを強め合うように、または、3次高調波と和周波とを強め合うように、などの条件で合成することができない。これは、特許文献1で行っているような送信超音波の位相制御では、差周波または和周波と、偶数次高調波群(2次高調波、4次高調波、...)との間の位相を一致させることはできるが、偶数次高調波群と、基本波成分および奇数次高調波群(3次高調波、5次高調波、...)との間の位相を一致させることができないからである。つまり、基本波成分と2次高調波成分とを互いに強め合わせることができない。そこで、発明者は、送信信号の位相ではなく、受信信号の各成分の位相を制御することで受信信号の各成分を強め合わせ、ピークを急峻化してパルス長を短縮するという着想を得た。

30

【0013】

以下、実施の形態に係る超音波診断装置および超音波信号処理方法について図面を用いて詳細に説明する。

40

実施の形態1

実施の形態1に係る超音波診断装置1のブロック図を図1に示す。超音波診断装置1は、送信信号生成部10、送信部20、切替部30、受信部40、分離部51、位相制御部52、合成部53、整相加算部60、超音波画像生成部70、表示制御部80を備える。なお、送信信号生成部10、送信部20、切替部30、受信部40、分離部51、位相制御部52、合成部53、整相加算部60は、超音波信号処理回路50を構成する。また、切替部30には超音波探触子2が、表示制御部80には表示部3が、それぞれ接続可能に構成されている。図1は超音波診断装置1に超音波探触子2、表示部3がそれぞれ接続された状態を示している。

50

【0014】

超音波探触子2は、例えば、一次元方向に配列された複数の振動子（不図示）を有する。各振動子は、例えば、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）により構成される。超音波探触子2は、送信部20で生成された電気信号（以下、「素子駆動信号」と呼ぶ）を超音波に変換する。超音波探触子2は、超音波探触子2の振動子側外表面を被検体の皮膚表面など表面に接触させた状態で、複数の振動子から発せられる複数の超音波からなる超音波ビームを被検体内の測定対象に向けて送信する。そして、超音波探触子2は、測定対象からの複数の反射超音波を受信し、複数の振動子によりこれら反射超音波をそれぞれ電気信号（以下、「素子受信信号」と呼ぶ）に変換し、素子受信信号を切替部30に供給する。

【0015】

送信信号生成部10は、素子駆動信号を生成するための送信信号を生成する回路である。送信信号生成部10は、基本波成分である所定の周波数帯、例えば、4MHzを中心周波数とするパルス信号を生成する。ここで、パルス信号とは、原則として正弦波（余弦波）であり、かつ、連続波ではなく1～数周期程度の有限長の信号である。なお、送信信号生成部10は、さらに、高調波成分に対応する、基本波成分に対して整数倍の周波数を有するパルス信号を生成し、基本波成分のパルス信号と合成して出力してもよい。

【0016】

送信部20は、振動子ごとに遅延時間を設定することで、送信信号に基づく超音波ビームのフォーカシングやステアリングを行う回路である。具体的には、超音波ビームの送信タイミングについて振動子毎に遅延時間を設定する。そして、送信信号生成部10が生成した送信信号を遅延時間だけ遅らせることで、素子駆動信号を振動子ごとに生成する。素子駆動信号は、例えば、超音波探触子2を構成する各振動素子から送出される送信超音波が送信フォーカス点に同時に届く焦点波となるように生成される、振動素子ごとにタイミングの異なるパルス状の電気信号である。または、素子駆動信号は、例えば、超音波探触子2を構成する各振動素子から送出される送信超音波が特定の向きに進行する平面波となるように生成される、振動素子ごとにタイミングを揃えた、または、振動子列の一方の端から他方の端まで固定ピッチで段階的に動作タイミングをずらした、パルス状の電気信号であってもよい。

【0017】

切替部30は、素子駆動信号で駆動させる超音波探触子2の振動子を選択し、選択した振動子と送信部20とを接続する。また、切替部30は、素子受信信号を生成させる超音波探触子2の振動子を選択し、選択した振動子と受信部40とを接続する。

受信部40は、反射超音波に基づく素子受信信号のそれぞれについて、増幅した後A/D変換を行い、デジタル受信信号に変換する。

【0018】

分離部51は、デジタル受信信号を周波数帯ごとに分離し、基本波成分を合成部53に、非線形成分を位相制御部52に、それぞれ出力する回路である。ここで、非線形成分とは、基本波成分以外の成分を指し、具体的には高調波成分である。または、分離部51は、非線形成分のうち、ピークのタイミングが基本波成分と同一である成分を基本波と同様に合成部53に出力してもよい。または、例えば、分離部51は、基本波成分および非線形成分のうちピークのタイミングが基本波成分と同一である成分を位相制御部52に、非線形成分の残りの成分を合成部53に、それぞれ出力するとしてもよい。周波数帯ごとの分離は、例えば、バンドパスフィルタを用いて行うことができる。または、周波数帯ごとの分離は、後述するフェイズインバージョン法を用いた後にバンドパスフィルタを用いるとしてもよい。

【0019】

位相制御部52は、分離部51が出力した非線形成分について、ピークのタイミングが基本波成分と同一になるように、すなわち、ピークを示す位相が基本波成分と同一となるように、基本波成分の位相、非線形成分の位相のうち一方または両方を制御する回路である。詳細は後述する。

10

20

30

40

50

合成部 5 3 は、分離部 5 1 が出力した基本波成分と、位相制御部 5 2 が出力した非線形成分とをタイミングを合わせて所定の合成比により合成し合成受信信号を生成する回路である。合成部 5 3 は、合成比に従って、基本波成分と非線形成分のうち一方または両方を増幅し、増幅後の、基本波成分と非線形成分を加算する。

【 0 0 2 0 】

整相加算部 6 0 は、合成受信信号に整相加算を行って、音響線信号を生成する回路である。送信超音波が焦点波である場合、反射超音波に基づく音響線信号は、送信超音波が通過した領域の一部である、送信フォーカス点およびその近傍を含む、着目領域を素子列方向に分割した領域に対して生成される。したがって、送信超音波が焦点波である場合、着目領域全体の音響線信号を得るため、送信フォーカス点を素子列方向に移動させながら、送信超音波の送信と反射超音波の受信が繰り返し行われる。一方、送信超音波が平面波である場合、送信超音波は着目領域全体に行き渡るように送信され、着目領域全体の音響線信号が反射超音波に基づいて生成される。

10

【 0 0 2 1 】

超音波画像生成部 7 0 は、1 枚の断層画像を構築する上で必要な複数の音響線信号に対して包絡線検波、対数圧縮による輝度変換を行い、直交座標系への座標変換を行うことで B モード画像信号を生成する回路である。

表示制御部 8 0 は、超音波画像生成部 7 0 が生成した B モード画像信号を表示部 3 に画像として表示させる回路である。

20

【 0 0 2 2 】

表示部 3 は、表示制御部 8 0 に接続される画像表示装置であり、例えば、液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイ等である。

送信信号生成部 1 0、送信部 2 0、切替部 3 0、受信部 4 0、分離部 5 1、位相制御部 5 2、合成部 5 3、整相加算部 6 0、超音波画像生成部 7 0、表示制御部 8 0 はそれぞれ、例えば、FPGA (Field Programmable Gate Array)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などのハードウェアにより実現される。なお、これらのうち 2 以上を単一の要素として構成してもよく、例えば、超音波信号処理回路 5 0 を単一の FPGA で構成してもよい。なお、これらの一部または全部は、単一の FPGA、または、ASIC で実現されてもよい。また、これらは、それぞれ個別に、または、2 以上を 1 まとめとして、メモリと、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphic Processing Unit) などのプログラマブルデバイスとソフトウェアで実現されてもよい。

30

【 0 0 2 3 】

< 動作 >

実施の形態 1 に係る超音波診断装置 1 の動作について説明する。図 2 は、超音波診断装置 1 の動作を示すフローチャートである。

まず、送信信号生成部 1 0 において送信信号を生成する (ステップ S 1 0)。図 4 (a) に、送信パルスの波形例を示す。図 4 (a) の送信パルス 2 0 1 は、1 周期分の基本波成分のみからなる。なお、図 4 (b) に示すように、送信パルスは、基本波成分と同時に開始され同時に終了する、基本波成分に対して整数倍の周波数のパルス、例えば、2 倍パルス 2 0 2 と 3 倍パルス 2 0 3 をさらに含んでもよい。このとき、基本波成分に対して奇数倍の周波数のパルスについては基本波とピークのタイミングが一致するように生成することが好ましい。なお、送信パルスの時間長は基本波成分の 1 周期分でなく、例えば、基本波成分の 2 周期分などほかの長さでもよいが、基本波成分の 1 周期分以上であることが好ましい。

40

【 0 0 2 4 】

次に、送受信イベントの実施を行う (ステップ S 2 0)。ここで、送受信イベントとは、送信信号に基づいて超音波を被検体に送信し、反射超音波に基づく信号処理を行う一連の処理のことを指す。図 3 は送受信イベントの詳細を示すフローチャートである。以下、

50

図 3 に基づいて送受信イベントに係る超音波診断装置 1 の動作について説明する。

まず、送信部 20 が送信ビームフォーミングを行う (ステップ S 2 1)。具体的には、上述したように、超音波ビームの送信タイミングについて振動子毎に遅延時間を設定し、送信信号を遅延時間だけ遅らせることで、素子駆動信号を振動子毎に生成する。送信部 20 は、切替部 30 を介して、生成した素子駆動信号を超音波探触子 2 の対応する各振動子に送出する。

【0025】

次に、超音波探触子 2 より被検体内に超音波ビームを送信する (ステップ S 2 2)。具体的には、上述したように、超音波探触子 2 の各振動子が自身に対応する素子駆動信号を超音波に変換することで、送信フォーカス点で焦点が合うように、超音波ビームが被検体内に送出される。

これにより、送出された超音波ビームが被検体内を伝搬し、その際、生体組織の非線形性により、様々な次数の高調波成分が発生する。また、超音波ビームに高調波と同じ周波数成分のパルスが含まれている場合には、当該パルスと高調波成分とが相互に強めあう。超音波ビームと、被検体内で発生した高調波成分は、生体組織の音響インピーダンスの境界等により反射し、反射超音波として超音波探触子 2 に到達する。

【0026】

次に、超音波探触子 2 が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する (ステップ S 2 3) 具体的には、上述したように、超音波探触子 2 の各振動子がそれぞれ反射超音波を電気信号に変換し、その電気信号を素子受信信号として、切替部 30 を介して受信部 40 に送出する。

次に、受信部 40 が素子受信信号をデジタル受信信号に変換する (ステップ S 2 4)。具体的には、受信部 40 は、素子受信信号を増幅、A / D 変換してデジタル受信信号に変換する。

【0027】

次に、分離部 51 が、デジタル受信信号を基本波成分と非線形成分とに分離する (ステップ S 2 5)。具体的には、バンドパスフィルタを用いて、デジタル受信信号を、基本波成分、2 次高調波成分、3 次高調波成分、...、に分離する。分離部 51 は、基本波成分を合成部 53 に、非線形成分を構成する各高調波成分を位相制御部 52 に、それぞれ出力する。

【0028】

次に、位相制御部 52 が、非線形成分に対して位相制御を行う (ステップ S 2 6)。位相制御部 52 は、2 次高調波成分、3 次高調波成分、...、のそれぞれのピークのタイミングが基本波成分と揃うように、位相を調整する。具体的には、奇数次高調波群 (3 次高調波成分、5 次高調波成分、...) はそのまま出力し、偶数次高調波群 (2 次高調波成分、4 次高調波成分、...) についてはそれぞれ位相を $\pi/2$ だけ遅らせる。なお、ここでは、位相を調整する方法として、遅らせる位相に相当する時間分だけ遅延を行う。例えば、8 MHz の高調波成分の位相を $\pi/2$ だけ遅らせる方法として、 $\{1 / (8 \times 10^6)\} \times 1 / 4 = 31.25 \times 10^{-9}$ 、すなわち、31.25 ns だけ遅延させる。

【0029】

次に、合成部 53 は、位相制御がなされた後の非線形成分と、基本波とを合成し、合成受信信号を生成する (ステップ S 2 7)。具体的には、基本波と、非線形成分とを、所定の合成比により合成する。これにより、図 5 に示すように、ピークのタイミングが合った基本波と非線形成分とが合成されるため、ピークが急峻化し、実質的なパルス幅 (例えば、半値全幅) が圧縮されることになる。図 5 (a) は基本波と 2 次高調波、図 5 (b) は基本波と 2 次 ~ 4 次高調波を合成する場合を示している。

【0030】

次に、整相加算部 60 は、合成受信信号に対して整相加算を施し、音響線信号に変換する (ステップ S 80)。整相加算部 60 は、音響線信号を生成する対象である領域内の各観測点について、観測点からの受信タイミングが同一となるように合成受信信号各々に遅

10

20

30

40

50

遅処理を行い、遅延後の合成受信信号を加算することで音響線信号を生成する。ここでは、観測点は、送信フォーカス点および送信フォーカス点と深さだけが異なる点、またはその近傍である。

【0031】

以上で、1回の送受信イベントを終了する。図2に戻って続きを説明する。

次に、Bモード画像を生成すべき着目領域全体に対して音響線信号を取得したか否かを判断する(ステップS30)。音響線信号を取得していない領域がある場合には、超音波ビームが送信される位置を変更し、ステップS20の送受信イベントを再度実施して音響線信号の生成を行う。一方、Bモード画像を生成すべき着目領域全体に対して音響線信号が生成されている場合は、ステップS40に進む。

10

【0032】

次に、超音波画像生成部70は、着目領域全体の音響線信号に対して、包絡線検波、対数圧縮による輝度変換、直交座標系への座標変換を行い、Bモード画像を生成する(ステップS40)。

最後に、表示制御部80は、超音波画像生成部70が生成したBモード画像を表示部3に表示させる(ステップS50)。

【0033】

<まとめ>

上記構成により、相関処理によるパルス圧縮を行うことなく、合成受信信号のピークを急峻化させ、実質的にパルス幅を狭窄化することが可能となる。そのため、生成するBモード画像の距離分解能を改善させることが可能となる。

20

なお、非線形成分が合成受信信号のピークを急峻化できないほど小さい場合には、S/N比の向上などのTHIの利点を享受できないものの、基本波成分のみを用いてBモード画像を生成できる。即ち、THIでは画像化できない領域を、基本波成分を用いて画像化することができる。したがって、深度等の条件に応じて、高周波超音波によるS/N比および分解能の向上と、低周波超音波によるペネトレーション性の向上とを適宜切替える、いわゆる周波数コンパウンドの効果も享受することができる。

【0034】

変形例1

実施の形態1では、非線形成分の抽出に際してバンドパスフィルタを用いる場合について説明した。これに対し、本変形例では、フェイズインバージョン法(「パルスインバージョン法」とも呼ぶ)を用いて非線形成分を抽出する場合について説明する。

30

<構成>

図6に変形例1に係る超音波診断装置1Aのブロック図を示す。なお、図1と同じ構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

【0035】

超音波診断装置1Aは、フェイズインバージョン法を用いて非線形成分を抽出するための、送信信号生成部10Aと信号記憶部41と分離部51Aを備えることに特徴があり、それ以外は超音波診断装置1と同じ構成である。なお、送信信号生成部10A、送信部20、切替部30、受信部40、信号記憶部41、分離部51A、位相制御部52、合成部53、整相加算部60は超音波信号処理回路50Aを構成する。

40

【0036】

信号記憶部41は、1回の送受信イベントに係る複数のデジタル受信信号を記憶する記憶媒体であり、具体的には、メモリ等で実現される。

分離部51Aは、フェイズインバージョン法によりデジタル受信信号から、偶数次高調波群と、基本波成分及び奇数次高調波群とを分離した後、各成分に分離する回路である。詳細は後述する。

【0037】

<動作>

変形例1に係る超音波診断装置の動作について説明する。図7は、変形例1に係る超音

50

波診断装置の動作を示すフローチャートである。なお、図2、図3と同じ動作については同じステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。

まず、送信信号生成部10Aにおいて送信信号を生成する(ステップS210)。ここで、送信信号生成部10Aは、2つの送信信号を生成する。1番目の送信信号は、実施の形態1で説明したような、図4(a)または図4(b)に示される送信パルスである。一方、第2の送信信号は、基本波、および、基本波に対して奇数倍の周波数のパルスの位相を反転させたパルスである。すなわち、図4(a)の第1の送信パルスに対しては、送信パルス201の位相を反転させた送信パルスである。また、図4(b)の第1の送信パルスに対しては、送信パルス201と3倍パルス203の位相を反転させた送信パルスである。このとき、基本波に対して偶数倍の周波数のパルス、例えば、2倍パルス202の位相は反転させない。

10

【0038】

次に、送受信イベント(ステップS260)を実施する。

まず、第1の送信パルスを用いて超音波の送受信を行う(ステップS220)。そして、送信部20が送信ビームフォーミングを行う(ステップS21)。次に、超音波探触子2より被検体内に超音波ビームを送信する(ステップS22)。次に、超音波探触子2が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する(ステップS23)。次に、受信部40が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する(ステップS24)。生成したデジタル受信信号は、信号記憶部41に格納される(ステップS230)。

【0039】

20

次に、第2の送信パルスを用いて超音波の送受信を行う(ステップS240)。まず、送信部20が送信ビームフォーミングを行う(ステップS21)。次に、超音波探触子2より被検体内に超音波ビームを送信する(ステップS22)。次に、超音波探触子2が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する(ステップS23)。次に、受信部40が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する(ステップS24)。生成したデジタル受信信号は、分離部51Aに出力される。

【0040】

第1の送信パルスと第2の送信パルスの両方を用いて超音波の送受信を終えたのち(ステップS25でYes)、分離部51Aが、デジタル受信信号を基本波成分と非線形成分とに分離する(ステップS250)。まず、分離部51Aは、信号記憶部41より、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号を読み出す。次に、分離部51Aは、同一の振動子から得た、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号と第2の送信パルスで得たデジタル受信信号との間で加減算を行う。基本波の位相を反転させた場合、基本波成分および奇数次高調波群の位相は反転するが、偶数次高調波群の位相は反転しない。したがって、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号と第2の送信パルスで得たデジタル受信信号とを加算すると、基本波成分および奇数次高調波群は互いに位相が反転しているため打ち消し合い、互いに位相が一致している偶数次高調波群だけが得られる。また、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号から第2の送信パルスで得たデジタル受信信号を減算すると、偶数次高調波群は位相が一致しているため打ち消し合い、互いに位相が反転している基本波成分および奇数次高調波群だけが得られる。このようにして得られた偶数次高調波群と、基本波成分および奇数次高調波群とのそれぞれに対してバンドパスフィルタを用いることで、偶数次高調波群を2次高調波成分、4次高調波成分、...、に、基本波成分および奇数次高調波成分を基本波成分、3次高調波成分、5次高調波成分、...、に、それぞれ分離することができる。分離部51Aは、基本波成分を合成部53に、非線形成分として各高調波成分を位相制御部52に、それぞれ出力する。

30

40

【0041】

次に、位相制御部52が、非線形成分に対して位相制御を行う(ステップS26)。

次に、合成部53は、位相制御がなされた後の非線形成分と、基本波とを合成し、合成受信信号を生成する(ステップS27)。

次に、整相加算部60は、合成受信信号に対して整相加算を施し、音響線信号に変換す

50

る（ステップ S 2 8）。

【 0 0 4 2 】

次に、Bモード画像を生成すべき着目領域全体に対して音響線信号を取得したか否かを判断する（ステップ S 3 0）。音響線信号を取得していない領域がある場合には、超音波ビームが送信される位置を変更し、ステップ S 2 6 0 の送受信イベントを繰り返して音響線信号の生成を行う。一方、Bモード画像を生成すべき着目領域全体に対して音響線信号が生成されている場合は、ステップ S 4 0 に進む。

【 0 0 4 3 】

次に、超音波画像生成部 7 0 は、着目領域全体の音響線信号に対して、包絡線検波、対数圧縮による輝度変換、直交座標系への座標変換を行い、Bモード画像を生成する（ステップ S 4 0）。

最後に、表示制御部 8 0 は、超音波画像生成部 7 0 が生成した B モード画像を表示部 3 に表示させる（ステップ S 5 0）。

【 0 0 4 4 】

<まとめ>

上記構成により、周波数が隣接する 2 つの成分、例えば、基本波成分と 2 次高調波成分との間で帯域が重複していても、一方が基本波成分であるか奇数次高調波群に属しており、他方が偶数次高調波群に属していれば、他の成分が残存しないように、かつ、帯域を損失することなく、特定の 1 成分を分離することができる。そのため、基本波成分と 2 次高調波成分との間で、および / または、2 次高調波と 3 次高調波との間で、帯域と重複している状態でも、帯域を損失することなく各成分を抽出でき、品質の高い合成受信信号を得ることができる。

【 0 0 4 5 】

変形例 2

実施の形態 1 および変形例 1 では、基本波成分を 1 つしか用いない場合について説明した。これに対し、本変形例では、基本波成分を複数用いる場合について説明する。

図 8 に、送信超音波パルスと受信超音波の帯域を示す。図 8 (a) に示されるように、送信超音波パルスは、周波数 f_1 の基本波 3 0 1 と、周波数 f_2 の基本波 3 0 2 とを含む。なお、送信超音波パルスは、基本波 3 0 1 と基本波 3 0 2 とのピークのタイミングを合わせるように送信することが好ましい。一方、受信超音波は、図 8 (b) に示されるように、周波数 f_1 の基本波成分 3 1 1 と周波数 f_2 の基本波成分 3 2 1 に加え、周波数 $2 f_1$ の 2 次高調波成分 3 1 2、周波数 $2 f_2$ の 2 次高調波成分 3 2 2、周波数 $f_2 - f_1$ の差周波成分 3 3 1、周波数 $f_1 + f_2$ の和周波成分 3 3 2 などが含まれる。基本波 3 0 1 と基本波 3 0 2 とピークのタイミングが合っている場合には、これらのうち、基本波群 3 4 0 に属する基本波成分 3 1 1、基本波成分 3 2 1 はピークのタイミングが一致している。また、偶数次高調波群 3 5 0 に属する 2 次高調波成分 3 1 2、2 次高調波成分 3 2 2 はピークのタイミングが一致している。さらに、差周波成分 3 3 1、和周波成分 3 3 2 は、いずれも偶数次高調波群 3 5 0 に属する 2 次高調波成分 3 1 2、2 次高調波成分 3 2 2 とピークのタイミングが一致している。すなわち、差周波成分 3 3 1 と和周波成分 3 3 2 とを、偶数次高調波群 3 5 0 に属しているとみなすことができる。したがって、基本波 3 0 1 と基本波 3 0 2 とピークのタイミングが合っている場合、周波数帯が重複している差周波成分 3 3 1、2 次高調波成分 3 2 2、基本波成分 3 2 1 において、差周波成分 3 3 1 と 2 次高調波成分 3 2 2 は相互に強め合っている。一方で、基本波群 3 4 0 と偶数次高調波群 3 5 0 とではピークのタイミングが一致しないため、基本波成分 3 2 1 は差周波成分 3 3 1 と 2 次高調波成分 3 2 2 とのいずれに対しても位相が一致せず強め合うことがない。

【 0 0 4 6 】

そこで、実施の形態 1 または変形例 1 と同じ構成により、分離部で偶数次高調波群 3 5 0 に属する 2 次高調波成分 3 1 2、2 次高調波成分 3 2 2、差周波成分 3 3 1、和周波成分 3 3 2 を取り出し、これらそれぞれの位相を位相制御部で制御する。これにより、基本波群 3 4 0 と偶数次高調波群 3 5 0 とでピークのタイミングを一致させることができるの

で、ピークを急峻化させることが可能となる。

【0047】

<まとめ>

上記構成により、周波数が異なる任意の2つの成分を強めあわせることでピークの急峻化を図ることができ、超音波の利用効率の向上と信号品質の向上を両立させることができる。

変形例3

実施の形態1および変形例1、2では、分離部が基本波成分を合成部へ出力して非線形成分を構成する各成分を位相制御部へ出力し、位相制御部が非線形成分のうち偶数次高調波成分のみ位相制御する場合について説明した。これに対し、変形例3では、位相制御の対象となる成分およびその制御方法に関する他の実施形態について説明する。

10

【0048】

図9は、周波数分離および位相制御の対象とする成分を示す模式図である。なお、図9(a)~(d)および以下の説明で示す各成分はあくまでも例示であり、記載の周波数成分以外の偶数次高調波成分および奇数次高調波成分をさらに使用としてもよいし、記載の偶数次高調波成分および奇数次高調波成分の一部のみを使用としてもよい。

図9(a)は、実施の形態1および変形例1、2で説明した分離及び位相制御の構成である。この構成では、分離部51は、基本波411をそのまま合成部53へ出力し、非線形成分である2次高調波412、3次高調波413、4次高調波414、5次高調波415、差周波成分416、和周波成分417を位相制御部52へ出力する。位相制御部52は、奇数次高調波群はそのまま透過し、偶数次高調波群に対して位相制御を行う。すなわち、3次高調波413、5次高調波415は位相制御部52をそのまま透過する。その一方で、位相制御部52は2次高調波412、4次高調波414、差周波成分416、和周波成分417のそれぞれの位相を制御し、位相制御後の2次高調波422、4次高調波424、差周波成分426、和周波成分427を合成部53へ出力する。合成部53は、基本波成分と、奇数次高調波群と、位相制御後の偶数次高調波群の各成分を合成し、合成受信信号を生成する。

20

【0049】

図9(b)は、他の実施形態に係る分離及び位相制御の構成である。この構成では、分離部51Bは、基本波411および奇数次高調波群に属する3次高調波413、5次高調波415をそのまま合成部53Bへ出力し、非線形成分のうち偶数次高調波群に属する2次高調波412、4次高調波414、差周波成分416、和周波成分417を位相制御部52Bへ出力する。すなわち、基本波成分および奇数次高調波群の各成分は互いにピークのタイミングが揃っているため、合成部53Bに直接出力される。位相制御部52Bは、受信した偶数次高調波群に属する、2次高調波412、4次高調波414、差周波成分416、和周波成分417のそれぞれの位相を制御し、位相制御後の2次高調波422、4次高調波424、差周波成分426、和周波成分427を合成部53Bへ出力する。合成部53Bは、基本波成分および奇数次高調波群と、位相制御後の偶数次高調波群の各成分を合成し、合成受信信号を生成する。このようにすることで、位相制御の必要のない奇数次高調波群を分離部51Bから直接出力することができる。さらに、分離部51Bは、基本波成分および奇数次高調波群を基本波成分、3次高調波成分、5次高調波成分、といった各成分に分離せず、基本波成分および奇数次高調波群を混合したまま合成部53Bへ出力するとしてもよい。この構成により、分離部51Bは、偶数次高調波群のみを透過しないフィルタを適用した信号をそのまま合成部53Bへ出力することが可能となる。特に、分離部51Bが変形例1で示したフェイズインバージョン法を用いる場合、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号と第2の送信パルスで得たデジタル受信信号との間で減算して得られた基本波成分および奇数次高調波群をそのまま合成部53Bへ出力してよい。この場合、基本波成分および奇数次高調波群の帯域の一部を損失するようなバンドパスフィルタを使用する必要がなく、帯域損失の機会を滅失させることができる。

30

40

【0050】

50

図9(c)は、他の実施形態に係る分離及び位相制御の構成である。この構成では、分離部51Cは、偶数次高調波群に属する2次高調波412、4次高調波414、差周波成分416、和周波成分417をそのまま合成部53Cに出力し、基本波411、および、奇数次高調波群に属する3次高調波413、5次高調波415を位相制御部52Cに出力する。すなわち、図9(b)の構成とは逆に、偶数次高調波群の位相を制御せず、基本波成分および奇数次高調波群に属する各成分のそれぞれの位相を、ピークのタイミングが偶数次高調波群の各成分と一致するように制御する。具体的には、例えば、基本波成分と、奇数次高調波群に属する各成分の位相をそれぞれ、 $\pi/2$ だけ進める制御を行う。位相制御部52Cは、受信した基本波411、3次高調波413、5次高調波415の位相を制御し、位相制御後の基本波431、3次高調波433、5次高調波435を合成部53Cに出力する。合成部53Cは、偶数次高調波群と、位相制御後の基本波成分および奇数次高調波群の各成分とを合成し、合成受信信号を生成する。このようにすることで、位相制御の必要のない偶数次高調波群を分離部51Cから直接出力することができる。このとき、図9(b)の構成と同様に、分離部51Cは、偶数次高調波群を各成分に分離せず混合したまま合成部53Cに出力するとしてもよい。この構成により、分離部51Cは、基本波成分および奇数次高調波群を透過しないフィルタを適用した信号をそのまま合成部53Cに出力することが可能となる。特に、分離部51Cが変形例1で示したフェイズインバージョン法を用いる場合、第1の送信パルスで得たデジタル受信信号と第2の送信パルスで得たデジタル受信信号との加算で得られた偶数次高調波群をそのまま合成部51Cに出力してよい。この場合、偶数次高調波群の帯域の一部を損失するようなバンドパスフィルタを使用する必要がなく、帯域損失の機会を滅失させることができる。

10

20

【0051】

図9(d)は、他の実施形態に係る分離及び位相制御の構成である。この構成では、分離部51Dは、基本波411と、非線形成分のうち奇数次高調波成分である3次高調波413、5次高調波415を位相制御部52Dに出力し、非線形成分のうち偶数次高調波成分である2次高調波412、4次高調波414、差周波成分416、和周波成分417を位相制御部52Dに出力する。すなわち、全ての成分が、位相制御部に出力される。位相制御部52Dは、受信したすべての成分に対して位相制御を行う。ここで、基本波成分および奇数次高調波成分の位相の制御量と、偶数次高調波成分の位相の制御量との調整を行うことで、基本波成分および奇数次高調波成分と、偶数次高調波成分とのピークのタイミングを合わせる。例えば、基本波成分および奇数次高調波成分のそれぞれの位相を $\pi/4$ だけ進ませ、偶数次高調波成分のそれぞれの位相を $\pi/4$ だけ遅らせることで、基本波成分および奇数次高調波成分と、偶数次高調波成分とのピークのタイミングを合わせることができる。なお、位相の制御量は上述の例に限られず、例えば、基本波成分および奇数次高調波成分のそれぞれの位相を $\pi/3$ だけ進ませ、偶数次高調波成分のそれぞれの位相を $2\pi/3$ だけ遅らせる、または、基本波成分および奇数次高調波成分のそれぞれの位相を $\pi/2$ だけ進ませ、偶数次高調波成分のそれぞれの位相の制御量は0とする(すなわち、位相制御せずそのまま出力する)、など、基本波成分および奇数次高調波成分と、偶数次高調波成分とのピークのタイミングが合う限りにおいて任意に選択してよい。位相制御部52Dは、位相制御後の基本波成分である基本波411と、位相制御後の奇数次高調波成分、すなわち、基本波441、3次高調波443、5次高調波445と、位相制御後の偶数次高調波成分、すなわち、2次高調波442、4次高調波444、差周波成分446、和周波成分447とを合成部53Dに出力する。合成部53Dは、位相制御後の全ての成分を合成し、合成受信信号を生成する。

30

40

【0052】

実施の形態2

実施の形態1では、パルスの狭窄化により距離解像度を向上させる構成について説明した。これに対し、実施の形態2は、さらにパルス圧縮を行うことで、距離分解能の向上効果をさらに高める構成であることを特徴とする。

< 構成 >

50

図 10 に実施の形態 2 に係る超音波診断装置 4 のブロック図を示す。なお、図 1 と同じ構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

【0053】

超音波診断装置 4 は、合成受信信号に対してパルス圧縮を行うパルス圧縮部 90 を備え、合成受信信号に対してさらにパルス圧縮を行うことに特徴があり、それ以外は超音波診断装置 1 と同じ構成である。なお、送信信号生成部 10、送信部 20、切替部 30、受信部 40、分離部 51、位相制御部 52、合成部 53、パルス圧縮部 90、整相加算部 60 は、超音波信号処理回路 50E を構成する。

【0054】

パルス圧縮部 90 は、合成部から合成受信信号を受け取り、参照信号との間で相関処理を行って時系列信号を生成し、整相加算部 60 に出力する回路である。ここで、参照信号とは、送信信号生成部 10 が生成する送信パルスの基本波成分に、ピークのタイミングが一致するように、周波数が基本波成分の整数倍である成分を加えたものである。パルス圧縮部は、合成受信信号と参照信号との時差と、合成受信信号と参照信号との相互相関値とを対応付け、時系列信号として出力する。

【0055】

<動作>

実施の形態 2 に係る超音波診断装置 4 の動作について説明する。超音波診断装置 4 の動作は、送受信イベントの内容が異なることに特徴があり、送受信イベント以外の動作は超音波診断装置 1 と同様である。以下、送受信イベントについて説明する。図 11 は超音波診断装置 4 における送受信イベントの動作を示すフローチャートである。なお、図 3 と同じ動作については同じステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。

【0056】

まず、送信部 20 が送信ビームフォーミングを行う（ステップ S21）。

次に、超音波探触子 2 より被検体内に超音波ビームを送信する（ステップ S22）。

次に、超音波探触子 2 が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する（ステップ S23）。

次に、受信部 40 が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する（ステップ S24）。

【0057】

次に、分離部 51 が、デジタル受信信号を基本波成分と非線形成分とに分離する（ステップ S25）。

次に、位相制御部 52 が、非線形成分に対して位相制御を行う（ステップ S26）。

次に、合成部 53 は、位相制御がなされた後の非線形成分と、基本波とを合成し、合成受信信号を生成する（ステップ S27）。

【0058】

次に、パルス圧縮部 90 は、合成受信信号と参照信号との間で相関処理を行って時系列信号を生成し、整相加算部 60 に出力する（ステップ S310）。上述したように、相関処理で用いる参照信号は、送信信号生成部 10 が生成する送信パルスの基本波成分に、ピークのタイミングが一致するように、周波数が基本波成分の整数倍である成分を加えたものである。具体的には、図 12 に示すように、送信信号と同じ基本波パルス 401 に、周波数が基本波成分の整数倍である 2 倍パルス 402、3 倍パルス 403 を加えたものである。なお、2 倍パルス 402、3 倍パルス 403 のピークのタイミングは基本波パルス 401 のピークのタイミングと同一である。なお、参照信号はさらに 4 倍パルス、5 倍パルス、...、を含んでいてもよい。パルス圧縮部 90 は、合成受信信号と参照信号との時間差を変更しながら、合成受信信号と参照信号との相互相関値を算出する。最後に、相互相関値を合成受信信号と参照信号との時間差に関連付けて時系列信号を生成し、時系列信号を整相加算部 60 に出力する。

【0059】

最後に、整相加算部 60 は、時系列信号に対して整相加算を行うことで、音響線信号を

10

20

30

40

50

生成する（ステップ S 3 2 0）。

なお、ここでは、各成分への分離および位相制御は実施の形態 1 と同様であるとしたが、変形例 1、2、3 の構成を適用してもよい。例えば、フェイズインバージョン法で各成分の分離をしてもよいし、奇数次の高調波成分を直接、合成部 5 3 に出力してもよい。また、基本波成分および奇数次高調波群のみ、あるいは、偶数次高調波群と基本波成分および奇数次高調波群との両方、を位相制御の対象としてもよい。

【 0 0 6 0 】

< まとめ >

上記構成により、パルスを急峻化させ実質的なパルス長を短縮した合成受信信号に対してさらに相関処理によるパルス圧縮が行えるため、パルスの圧縮効果をさらに高めることができる。したがって、距離解像度をさらに確実に向上させることができる。

10

実施の形態 3

実施の形態 2 では、複数周波数成分の合成によりパルスの狭窄化を行い、さらに相関処理によるパルス圧縮を行うことで、距離分解能の向上効果をさらに高める構成を説明した。これに対し、実施の形態 3 では、位相制御の後に相関処理によるパルス圧縮を行ってから合成を行う場合について説明する。

【 0 0 6 1 】

< 構成 >

図 1 3 に実施の形態 3 に係る超音波診断装置 5 のブロック図を示す。なお、図 1 と同じ構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

20

超音波診断装置 5 は、分離部 5 1 が出力する基本波成分および位相制御部 5 2 が出力する位相制御後の非線形成分のそれぞれに対してパルス圧縮を行うパルス圧縮部 9 1 を備え、圧縮後の各成分を合成することに特徴があり、それ以外は超音波診断装置 1 と同じ構成である。なお、送信信号生成部 1 0、送信部 2 0、切替部 3 0、受信部 4 0、分離部 5 1、位相制御部 5 2、パルス圧縮部 9 1、合成部 5 3、整相加算部 6 0 は、超音波信号処理回路 5 0 F を構成する。

【 0 0 6 2 】

パルス圧縮部 9 1 は、分離部 5 1 から基本波成分を、位相制御部 5 2 から位相制御後の非線形成分をそれぞれ受け取り、そのそれぞれに対して参照信号との間で相関処理を行って時系列信号を生成し、合成部 5 3 に出力する回路である。ここで、参照信号は、送信信号生成部 1 0 が生成する送信パルスの基本波成分、または、基本波成分とピークのタイミングが一致し周波数が基本波成分の整数倍である成分のうち、相関処理の対象となる成分と周波数が同じものである。つまり、基本波成分に対しては、送信信号生成部 1 0 が生成する送信パルスの基本波成分を参照信号として用い、2 次高調波成分に対しては、送信信号生成部 1 0 が生成する送信パルスとピークのタイミングが一致し周波数が基本波成分の 2 倍である成分を参照信号として用いる。パルス圧縮部は、各成分と参照信号との時差と、合成成分と参照信号との相互相関値を時系列成分信号として出力する。

30

【 0 0 6 3 】

< 動作 >

実施の形態 3 に係る超音波診断装置 5 の動作について説明する。超音波診断装置 5 の動作は、送受信イベントの内容が異なることに特徴があり、送受信イベント以外の動作は超音波診断装置 1 と同様である。以下、送受信イベントについて説明する。図 1 4 は超音波診断装置 5 における送受信イベントの動作を示すフローチャートである。なお、図 3 と同じ動作については同じステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。

40

【 0 0 6 4 】

まず、送信部 2 0 が送信ビームフォーミングを行う（ステップ S 2 1）。

次に、超音波探触子 2 より被検体内に超音波ビームを送信する（ステップ S 2 2）。

次に、超音波探触子 2 が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する（ステップ S 2 3）。

次に、受信部 4 0 が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する（ステップ

50

S 2 4)。

【 0 0 6 5 】

次に、分離部 5 1 が、デジタル受信信号を基本波成分と非線形成分とに分離する（ステップ S 2 5 ）。

次に、位相制御部 5 2 が、非線形成分に対して位相制御を行う（ステップ S 2 6 ）。

次に、パルス圧縮部 9 1 は、基本波成分および位相制御後の非線形成分のそれぞれに対して相関処理を行って時系列成分信号を生成し、合成部 5 3 に出力する（ステップ S 4 1 0 ）。ここで、参照信号としては、送信信号生成部 1 0 が生成する送信パルスの基本波成分、または、基本波成分とピークのタイミングが一致し周波数が基本波成分の整数倍である成分のうち、相関処理の対象となる成分と周波数が同じものを用いる。具体的には、基本波成分に対しては、図 1 2 に示すように、送信信号と同じ基本波パルス 4 0 1 を用いる。また、2 次高調波成分に対しては、2 倍パルス 4 0 2 を、3 次高調波成分に対しては、同様に 3 倍パルス 4 0 3 を用いる。パルス圧縮部 9 1 は、基本波成分および位相制御後の非線形成分のそれぞれと、対応する参照信号との時間差を変更しながら相互相関値を算出する。最後に、成分ごとに相互相関値を合成受信信号と参照信号との時間差に関連付けて時系列成分信号を生成し、時系列成分信号を合成部 5 3 に出力する。

10

【 0 0 6 6 】

合成部 5 3 は、時系列成分信号を合成し、合成時系列信号を生成する（ステップ S 4 2 0 ）。

最後に、整相加算部 6 0 は、合成時系列信号に対して整相加算を行うことで、音響線信号を生成する（ステップ S 4 3 0 ）。

20

なお、ここでは、各成分への分離および位相制御は実施の形態 1 と同様であるとしたが、変形例 1、2、3 の構成を適用してもよい。例えば、フェイズインバージョン法で各成分の分離をしてもよいし、奇数次の高調波成分を直接、合成部 5 3 に出力してもよい。また、基本波成分および奇数次高調波群のみ、あるいは、偶数次高調波群と基本波成分と奇数次高調波群との両方、を位相制御の対象としてもよい。

【 0 0 6 7 】

< まとめ >

上記構成により、ピークのタイミングが一致するように位相を制御した基本波成分および各高調波成分のそれぞれを相関処理によりパルス圧縮するため、基本波成分および各高調波成分信号から生成される各時系列成分信号のピークのタイミングが一致する。そのため、合成時系列信号のピークが急峻化する。したがって、パルスの圧縮効果を大きく高めることができ、距離解像度をさらに確実に向上させることができる。

30

【 0 0 6 8 】

実施の形態 4

実施の形態 1 では非線形成分に対して位相制御のみを行う構成を、実施の形態 2、3 では位相制御後に相関処理を行ってパルス圧縮を行う構成を説明した。これに対し、実施の形態 4 では、非線形成分の波形を推定補正してから位相制御を行う場合について説明する。

【 0 0 6 9 】

< 構成 >

図 1 5 に実施の形態 4 に係る超音波診断装置 6 のブロック図を示す。なお、図 1 と同じ構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

40

超音波診断装置 6 は、基本波成分を用いて非線形成分の波形を推定補正する推定部 1 0 0 を備えることに特徴があり、それ以外は超音波診断装置 1 と同じ構成である。なお、送信信号生成部 1 0、送信部 2 0、切替部 3 0、受信部 4 0、分離部 5 1、推定部 1 0 0、位相制御部 5 2、合成部 5 3、整相加算部 6 0 は、超音波信号処理回路 5 0 G を構成する。

【 0 0 7 0 】

推定部 1 0 0 は、分離部 5 1 から基本波成分と非線形成分とをそれぞれ受け取り、基本

50

波成分を用いて非線形成分の波形を推定補正し、補正後の非線形成分を位相制御部 5 2 に出力する回路である。推定部 1 0 0 は、非線形成分のそれぞれについて、例えば、ベイズ統計による推定処理を施す。より具体的には、ウィーナ・フィルタ (Wiener Filter) などのノイズの逆フィルタを用いることで、基本波成分から非線形成分の推定補正を行う。

【0071】

<動作>

実施の形態 4 に係る超音波診断装置 6 の動作について説明する。超音波診断装置 6 の動作は、送受信イベントの内容が異なることに特徴があり、送受信イベント以外の動作は超音波診断装置 1 と同様である。以下、送受信イベントについて説明する。図 1 6 は超音波診断装置 6 の送受信イベントの動作を示すフローチャートである。なお、図 3 と同じ動作については同じステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。

10

【0072】

まず、送信部 2 0 が送信ビームフォーミングを行う (ステップ S 2 1)。

次に、超音波探触子 2 より被検体内に超音波ビームを送信する (ステップ S 2 2)。

次に、超音波探触子 2 が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する (ステップ S 2 3)。

次に、受信部 4 0 が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する (ステップ S 2 4)。

【0073】

20

次に、分離部 5 1 が、デジタル受信信号を基本波成分と非線形成分とに分離する (ステップ S 2 5)。

次に、推定部 1 0 0 は、分離部 5 1 から基本波成分と非線形成分とをそれぞれ受け取り、基本波成分を用いて非線形成分の波形を推定補正し、補正後の非線形成分を位相制御部 5 2 に出力する (ステップ S 5 1 0)。推定補正は、被検体内から反射された非線形成分がデジタル受信信号となるまでの間における劣化を劣化フィルタの適用とみなし、デジタル受信信号の非線形成分に逆フィルタを適用することで行われる。図 1 7 に模式図を示す。例えば、劣化前の超音波に相当する仮想デジタル受信信号 5 0 1 が、劣化フィルタ h により、デジタル受信信号 5 1 1 になったとする。このとき、仮想デジタル受信信号 5 0 1 とデジタル受信信号 5 1 1 をそれぞれフーリエ変換した仮想周波数軸信号 5 1 1 と周波数軸信号 5 1 2 を想定すると、仮想周波数軸信号 5 1 1 が劣化フィルタ H により周波数軸信号 5 1 2 になったと想定できる。したがって、周波数軸信号 5 1 2 に、劣化フィルタ H の逆フィルタであるウィーナ・フィルタ M を適用すれば、仮想周波数軸信号 5 1 1 が得られる。具体的には、推定部 1 0 0 は、基本波成分と非線形成分との合成信号をフーリエ変換し、非線形成分の劣化モデルから劣化フィルタ H の逆フィルタであるウィーナ・フィルタ M を算出して適用、非線形成分の帯域のみを逆フーリエ変換して取り出すことで推定再生する。

30

【0074】

次に、位相制御部 5 2 が、推定補正された非線形成分に対して位相制御を行う (ステップ S 2 6)。

40

次に、合成部 5 3 は、位相制御がなされた後の非線形成分と、基本波とを合成し、合成受信信号を生成する (ステップ S 2 7)。

最後に、整相加算部 6 0 は、合成受信信号に対して整相加算を施し、音響線信号に変換する (ステップ S 2 8)。

【0075】

なお、ここでは、各成分への分離および位相制御は実施の形態 1 と同様であるとしたが、変形例 1、2、3 の構成を適用してもよい。例えば、フェイズインバージョン法で各成分の分離をしてもよい。また、推定部 1 0 0 で推定補正された非線形成分のうち、奇数次の高調波成分を直接、合成部 5 3 に出力してもよい。また、推定部 1 0 0 で推定補正された非線形成分のうち、基本波成分および奇数次高調波群のみ、あるいは、偶数次高調波群

50

と基本波成分および奇数次高調波群との両方、を位相制御の対象としてもよい。なお、基本波成分および奇数次高調波群を位相制御の対象とする場合は、分離部 5 1 は推定部 1 0 0 と位相制御部 5 2 とに基本波成分を出力するとしてもよいし、または、分離部 5 1 は推定部 1 0 0 にのみ基本波成分を出力し、推定部 1 0 0 は、基本波成分を透過、または、推定再生時に基本波成分の帯域についても逆フーリエ変換を行って生成しなおすとしてもよい。さらに、推定部 1 0 0 で推定補正された奇数次高調波群と偶数次高調波群のうち位相制御の対象としない側については、奇数次高調波群全体または偶数次高調波群全体を合成した状態で合成部 5 3 に出力するとしてもよい。

【 0 0 7 6 】

また、実施の形態 2 または 3 を適用し、合成受信信号、または、位相制御後（位相制御の対象でない成分は推定再生後）の各成分について相関処理によるパルス圧縮を行ってもよい。

< まとめ >

上記構成により、非線形成分が推定再生により信号品質を劣化させない範囲で回復処理されるため、信号品質を保ったまま非線形成分を増幅することができる。そのため、ノイズを増幅させることなくパルスの圧縮効果を大きく高めることができ、品質劣化を伴うことなく距離解像度を大きく向上させることができる。

【 0 0 7 7 】

実施の形態 5

実施の形態 1 ~ 4 および各変形例ではデジタル受信信号に対して成分分離および位相制御を行って合成受信信号または合成時系列信号を生成し、合成受信信号または合成時系列信号を整相加算して音響線信号を生成する場合について説明した。これに対し、実施の形態 5 では、デジタル受信信号を整相加算して音響線信号を生成してから、音響線信号に対して成分分離および位相制御を行って合成受信信号を生成する場合について説明する。

【 0 0 7 8 】

< 構成 >

図 1 8 に実施の形態 5 に係る超音波診断装置 7 のブロック図を示す。なお、図 1 と同じ構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

超音波診断装置 7 は、受信部 4 0 の後、分離部 5 1 H の前に整相加算部 6 0 を備えることに特徴があり、それ以外は超音波診断装置 1 と同じ構成である。なお、送信信号生成部 1 0、送信部 2 0、切替部 3 0、受信部 4 0、整相加算部 6 0、分離部 5 1 H、位相制御部 5 2 H、合成部 5 3 H は、超音波信号処理回路 5 0 H を構成する。

【 0 0 7 9 】

分離部 5 1 H、位相制御部 5 2 H、合成部 5 3 H は、デジタル受信信号の各成分に替えて音響線信号の各成分の分離、位相制御、合成をすることに特徴があり、それ以外はそれぞれ分離部 5 1、位相制御部 5 2、合成部 5 3 と同様の構成である。

< 動作 >

実施の形態 5 に係る超音波診断装置 7 の動作について説明する。超音波診断装置 7 の動作は、送受信イベントの内容が異なることに特徴があり、送受信イベント以外の動作は超音波診断装置 1 と同様である。以下、送受信イベントについて説明する。図 1 9 は超音波診断装置 7 の送受信イベントの動作を示すフローチャートである。なお、図 3 と同じ動作については同じステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。

【 0 0 8 0 】

まず、送信部 2 0 が送信ビームフォーミングを行う（ステップ S 2 1）。

次に、超音波探触子 2 より被検体内に超音波ビームを送信する（ステップ S 2 2）。

次に、超音波探触子 2 が被検体内から得た反射超音波を素子受信信号に変換する（ステップ S 2 3）。

次に、受信部 4 0 が素子受信信号のそれぞれをデジタル受信信号に変換する（ステップ S 2 4）。

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

次に、整相加算部 60 は、デジタル受信信号に対して整相加算を施し、音響線信号を生成する（ステップ S 6 2 8）。

次に、分離部 51 H が、音響線信号を基本波成分と非線形成分とに分離する（ステップ S 6 2 5）。

次に、位相制御部 52 H が、推定補正された非線形成分に対して位相制御を行う（ステップ S 6 2 6）。

【0082】

最後に、合成部 53 H は、位相制御がなされた後の非線形成分と、基本波とを合成し、合成音響線信号を生成する（ステップ S 6 2 7）。

なお、ここでは、各成分への分離および位相制御は実施の形態 1 と同様であるとしたが、変形例 1、2、3 の構成を適用してもよい。例えば、フェイズインバージョン法で各成分の分離をしてもよいし、奇数次の高調波成分を直接、合成部 53 H に出力してもよい。また、基本波成分および奇数次高調波群のみ、あるいは、偶数次高調波群と基本波成分および奇数次高調波群との両方、を位相制御の対象としてもよい。

【0083】

また、実施の形態 2 または 3 を適用し、合成音響線信号、または、位相制御後（位相制御の対象でない成分は分離後）の各成分について相関処理によるパルス圧縮を行ってもよい。

また、実施の形態 4 を適用し、非線形成分の推定再生を行ってもよい。

<まとめ>

上記構成により、基本波成分と非線形成分の分離、非線形成分の位相調整、基本波成分と位相調整後の非線形成分との合成をデジタル受信信号ごとではなく音響線信号ごとに行えばよくなるため、演算処理量を削減することができる。

【0084】

実施の形態に係るその他の変形例

(1) 各実施の形態および各変形例では、送信超音波ビームにおいて、フォーカス型のビームフォーミングを行う場合について説明した。しかしながら、例えば、送信超音波ビームを平面波として送出し、1度の送信に対して着目領域全域の音響線信号を生成するとしてもよい。この場合、1枚の B モード画像のデータを生成するために必要な送受信イベントの回数を削減し、B モード画像のフレームレートを向上させることができる。なお、送信ビームフォーミングおよび受信ビームフォーミングは上述の場合に限られず、合成開口法など、任意のビームフォーミングを用いてもよい。

【0085】

(2) 変形例 2 では周波数帯の異なる 2 つの基本波成分を用いる場合について説明した。しかしながら、例えば、周波数の異なる 3 以上の基本波成分を用いるとしてもよい。

また、実施の形態 2 ~ 4 において、変形例 2 と同様に 2 以上の基本波成分を用いてもよく、例えば、差周波や和周波を相関処理でパルス圧縮してもよいし、推定再生を行ってもよい。

【0086】

(3) 各実施の形態および各変形例では、超音波診断装置は 1 つの B モード画像を生成するとしたが、例えば、複数の B モード画像を連続生成するとしてもよく、さらに、表示部が B モード画像を動画として表示してもよい。また、生成した B モード画像を記憶媒体や他の装置に出力するとしてもよいし、音響線信号を記憶媒体や他の装置に出力するとしてもよい。

【0087】

(4) 実施の形態 1、2、4 および各変形例では、合成部は基本波成分と非線形成分とを所定の合成比により合成するとしたが、非線形成分と基本波成分との合成比を常時固定ではなく、例えば、非線形成分の比率を条件に応じて変化させてもよい。この構成により、パルス急峻化の効果をさらに強めることができる。このとき、非線形成分と基本波成分との合成比は、単純に、深さが大きくなるほど非線形成分の比を大きくするとしてもよい

10

20

30

40

50

。この構成により、どの深さにおいてもパルス急峻化の効果を得ることができる。または、例えば、周波数が高い成分ほど比率が高くなるように、合成比を設定するとしてもよい。この構成により、パルス急峻化の効果を強めることができる。または、例えば、図20(a)のような合成比601を用いてもよい。合成比601では、深度が所定の深さ D_s のときに非線形成分の比率を高く、深度が所定の深さ D_s より小さいとき、または大きいときには、基本波成分の比率を高くしている。これは、以下の理由による。図20(b)に、非線形成分の発生レベルと深さとの関係を示す。非線形成分は超音波の伝搬によって発生するため、関係611に示すように、非線形成分の発生レベルは深さが大きくなるほど多くなる。一方、図20(c)に、深さと伝搬時減衰率の関係を示す。一般に、伝搬による減衰は周波数が高いほど大きくなる。非線形成分は基本波成分より周波数が高いため、基本波成分における深さと減衰率との関係が関係621に示されるとすると、非線形成分では関係622に示すように、深さが大きくなるほどより大きく減衰することになる。この2つの要因の複合により、基本波成分と非線形成分の信号レベルと深さとの関係は、図20(d)に示すような関係となる。図20(d)において、関係631は基本波成分の信号レベルと深さとの関係、関係632は非線形成分の信号レベルと深さとの関係を示している。基本波成分は超音波探触子2から送信された超音波の基本波成分が反射したものであり伝搬によって発生するものではないため、伝搬による減衰のみを考慮すればよく、単純に反射点の深さが増すほど信号レベルが低下することとなる。一方、非線形成分については、次のような傾向となる。浅部では、減衰率は小さいものの非線形成分の発生レベル自体が小さいため、深度が小さくなるほど非線形成分の信号レベルが小さくなる。一方、深部においては、非線形成分の発生レベルは大きいものの減衰率が大きいため、深度が大きくなるほど非線形レベルの信号が小さくなる。これらに対し、深さ D_s の付近においては、非線形レベルの発生率が小さすぎず、かつ、減衰率が大きすぎないため、非線形成分の信号レベルが最大化する。結果として、非線形成分の信号レベルは、深度が深さ D_s に近づくほど大きく、遠ざかるほど小さくなる。そこで、基本波成分と非線形成分との合成比を、非線形成分の信号レベルが大きい場合に非線形成分の合成比を高め、非線形成分の信号レベルが小さい場合に基本波成分の合成比を高めるように設定する。なぜならば、非線形成分の信号レベルが大きい場合に非線形成分の合成比を高めるとパルス狭窄化の効果がより高まる半面、非線形成分の信号レベルが小さい場合に非線形成分の合成比を高くすると、雑音混入による信号品質劣化が顕著となる可能性があるからである。したがって、深度が所定の深さ D_s の付近では非線形成分の合成比を高くし、深度が所定の深さ D_s から遠ざかるほど非線形成分の合成比を低下させることが好ましく、図20(a)のような合成比601を用いることができる。なお、合成比は図20(a)の合成比601に限られず、例えば、深度が所定の深さ D_s の付近では基本波成分に対する非線形成分の合成比を x 、それ以外では基本波成分に対する非線形成分の合成比を y ($x > y$)としてもよいし、さらに、 $y = 0$ としてもよい。

10

20

30

40

50

【0088】

また、実施の形態3において、合成部は時系列成分信号を合成するとしたが、例えば、時系列成分信号のそれぞれに対して同様に重みづけを行ってもよい。このとき、上述した基本波成分と非線形成分との合成比を、基本波成分を圧縮した時系列成分信号と、非線形成分を圧縮した時系列成分信号とのそれぞれの重みづけ係数に適用することができる。

また、図20の説明では、深度に応じて基本波成分と非線形成分の合成比を変化させる構成としたが、当該合成比を変化させる条件は、深度のみに限らず、診断部位やその他の要因に応じて変化させても良い。

【0089】

(5)実施の形態2では合成受信信号に対して相関処理によるパルス圧縮、実施の形態3では基本波成分及び各非線形成分のそれぞれに対して相関処理によるパルス圧縮を行う場合について説明した。しかしながら、例えば、偶数次高調波群の各成分を位相制御した後相関処理によるパルス圧縮を行う一方、基本波成分および奇数次高調波成分については合成した状態に対して相関処理によるパルス圧縮を行い、その結果を合成するとしても

よい。または逆に、基本波成分および奇数次高調波群の各成分を位相制御した後に相関処理によるパルス圧縮を行う一方、偶数次高調波成分については合成した状態に対して相関処理によるパルス圧縮を行い、その結果を合成するとしてもよい。または、偶数次高調波群の各成分を位相制御した後にそれらを合成し、合成後の偶数次高調波群全体に対して相関処理によるパルス圧縮を行う一方、基本波成分および奇数次高調波群については合成した状態に対して相関処理によるパルス圧縮を行い、その結果を合成するとしてもよい（当然、偶数次高調波群と基本波成分および奇数次高調波群とを入れ替えてもよい）。

【0090】

(6) 各実施の形態および各変形例では、超音波探触子2は、一次元方向に配列された複数の振動子を有するとしたが、例えば、コンベックス型であってもよいし、振動子が二次元方向に配列されていてもよい。また、超音波探触子2は、切替部30、送信部20、受信部40の全部または一部を内蔵しているとしてもよい。

また、超音波探触子2、表示部3は超音波診断装置に接続可能に構成されているとしたが、超音波診断装置に内蔵されていてもよい。

【0091】

(7) 各実施の形態および各変形例は、構成の一例を示したものであり、各実施の形態および各変形例を自在に組み合わせてよい。例えば、変形例2や実施の形態2~4において、分離部51は、変形例1と同様にフェイズインバージョン法により基本波成分と非線形成分とを分離してもよい。また、実施の形態2~4において、変形例2と同様に、周波数の異なる2以上の基本波を用い、差周波と和周波のうち一方または両方を、非線形成分と同様に処理してもよい。さらに、実施の形態4と実施の形態2または3とを組み合わせ、推定部100で推定再生した非線形成分または非線形成分を含む合成受信信号に対してパルス圧縮を行ってもよい。

【0092】

(8) 各実施の形態および各変形例に係る超音波診断装置は、その構成要素の全部又は一部を、1チップ又は複数チップの集積回路で実現してもよいし、コンピュータのプログラムで実現してもよいし、その他どのような形態で実施してもよい。例えば、分離部・位相制御部・合成部を1チップで実現してもよいし、送信信号生成部のみを1チップで実現し、超音波変換部等を別のチップで実現してもよい。

【0093】

集積回路で実現する場合、典型的には、LSI (Large Scale Integration) として実現される。ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。

また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路、又は汎用プロセッサで実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA (Field Programmable Gate Array) や、LSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なりコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。

【0094】

さらには、半導体技術の進歩、又は派生する別技術により、LSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然その技術を用いて機能ブロックの集積化を行ってもよい。

また、各実施の形態および各変形例に係る超音波診断装置は、記憶媒体に書き込まれたプログラムと、プログラムを読み込んで実行するコンピュータとで実現されてもよい。記憶媒体は、メモリカード、CD-ROMなどいかなる記録媒体であってもよい。また、本発明に係る超音波診断装置は、ネットワークを経由してダウンロードされるプログラムと、プログラムをネットワークからダウンロードして実行するコンピュータとで実現されてもよい。

【0095】

(9) 以上で説明した実施の形態は、いずれも本発明の好ましい一具体例を示すものである。実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、工程、工程の順序などは一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、実施

10

20

30

40

50

の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない工程については、より好ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。

【0096】

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

さらに、超音波診断装置においては基板上に回路部品、リード線等の部材も存在するが、電氣的配線、電気回路について当該技術分野における通常の知識に基づいて様々な態様を実施可能であり、本発明の説明として直接的には無関係のため、説明を省略している。尚、上記示した各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示したものではない。

10

【0097】

補足

(1) 実施の形態に係る超音波診断装置は、超音波探触子を用いて超音波を被検体に対して送受信し、反射超音波に基づいて画像を生成する超音波診断装置であって、前記超音波探触子を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を前記被検体内に送信する送信部と、前記超音波探触子が受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成する受信部と、前記受信信号から、1以上の周波数成分を含む第1の成分と、前記第1の成分とは異なる第2の成分とを分離する分離部と、前記第1の成分と前記第2の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、前記第2の成分の位相を制御して第3の成分を生成する位相制御部と、前記第1の成分と前記第3の成分とを合成し、合成受信信号を生成する合成部と、前記合成受信信号に基づいて画像を生成する画像生成部とを備えることを特徴とする。

20

【0098】

また、実施の形態に係る超音波信号処理方法は、超音波探触子を用いて、基本波成分を含むパルス状の送信信号を送信超音波に変換し前記送信超音波を被検体内に送信し、前記超音波探触子が受信した前記被検体からの反射超音波に基づいて受信信号を生成し、前記受信信号から、1以上の周波数成分を含む第1の成分と、前記第1の成分とは異なる第2の成分とを分離し、前記第1の成分と前記第2の成分とで振幅が最大となる時刻が同一となるように、前記第2の成分の位相を制御して第3の成分を生成し、前記第1の成分と前記第3の成分とを合成して合成受信信号を生成することを特徴とする。

30

【0099】

上記構成により、第1の成分と、第2の成分とが相互作用により強めあうため合成受信信号のピークが急峻化し、実質的なパルス長を短縮して距離分解能を向上させることができる。さらに、受信信号の初期状態において第1の成分と第2成分との間で位相が揃っている必要がないため、第1の成分及び第2の成分として、受信信号中に含まれる、複数の異なる周波数成分を用いることができ、信号の広帯域化を図ることができる。

【0100】

(2) また、上記(1)の超音波診断装置または超音波信号処理方法は、前記第1の成分と前記第2の成分のうち、一方は、前記基本波成分と周波数帯が一致する反射基本波成分を含む第4の成分であり、他方は、前記反射基本波成分の偶数次高調波成分を含む第5の成分である、としてもよい。

40

上記構成により、反射基本波成分と、非線形成分である偶数次高調波成分とのうち、一方を第1の成分、他方を第2の成分として利用することができる。

【0101】

(3) また、上記(1)または(2)の超音波診断装置または超音波信号処理方法は、前記送信信号は、前記基本波成分と、前記基本波成分のM倍(Mは2以上の整数)の周波数を有する成分とを含む、としてもよい。

上記構成により、基本波成分の伝搬により発生する非線形成分と、基本波成分のM倍の周波数を有する成分の反射波とを強め合わせることができ、非線形成分の信号強度を向上させることができる。

50

【0102】

(4) また、上記(2)～(3)の超音波診断装置または超音波信号処理方法は、前記第4の成分は、前記反射基本波成分の奇数次高調波成分をさらに含む、としてもよい。

上記構成により、非線形成分である奇数次高調波成分を、第1の成分と第2の成分のうち反射基本波成分を含む側としてさらに用いることができる。

(5) また、上記(2)～(4)の超音波診断装置は、前記送信信号は、前記基本波成分とは周波数が異なる第2の基本波成分をさらに含み、前記第5の成分は、前記基本波成分と前記第2の基本波成分との間の和周波成分、差周波成分のうち1以上を含む、としてもよい。

【0103】

上記構成により、周波数が異なる2つの基本波成分の一方と、和周波成分および/または差周波成分とから合成受信信号を生成することができる。

(6) また、上記(5)の超音波診断装置は、前記第4の成分は、前記第2の基本波成分に対応する第2の反射基本波成分と、前記第2の反射基本波成分の奇数次高調波成分のうち1以上をさらに含み、前記第5の成分は、前記第2の反射基本波成分の偶数次高調波をさらに含む、としてもよい。

【0104】

上記構成により、周波数が異なる2つの基本波成分に対して、各基本波成分に対応する反射基本波成分、奇数次高調波成分のうち任意の1以上と、和周波成分、差周波成分、および、各基本波成分に対応する偶数次高調波成分のうち任意の1以上とを、それぞれ、第1の成分と第2の成分のうち一方と他方として利用することができる。

(7) また、上記(1)～(6)の超音波診断装置は、前記位相制御部は、さらに前記第1の成分の位相を制御して第6の成分を生成することで、前記第3の成分と前記第6の成分との振幅が最大となる時刻を同一とし、前記合成部は、前記第1の成分に替えて前記第6の成分を用いて前記合成受信信号を生成する、としてもよい。

【0105】

上記構成により、第1の成分と第2の成分の双方を位相制御の対象とすることで、より好適な位相制御の実施が可能となる。

(8) また、上記(2)～(7)の超音波診断装置は、前記反射基本波成分の高調波成分の劣化前の波形である復元高調波成分を、前記反射基本波成分を用いて推定して生成する推定部をさらに備え、前記位相制御部は、前記第2の成分のうち前記反射基本波成分の高調波成分を前記復元高調波成分に置き換えた前記第7の成分の位相を制御することで前記第3の成分を生成し、前記合成部は、前記第1の成分に代えて、前記第1の成分のうち前記反射基本波成分の高調波成分を前記復元高調波成分に置き換えた第8の成分を用いて前記合成受信信号を生成する、としてもよい。

【0106】

上記構成により、高調波成分を、品質を維持したまま信号レベルを大きくすることが可能となり、合成受信信号のピークをさらに急峻化することができ、距離分解能をより確実に高めることが可能となる。

(9) また、上記(2)～(8)の超音波診断装置は、前記合成部は、前記合成受信信号を生成する際、前記反射基本波に対応する第9の成分と、前記反射基本波成分の高調波成分に対応する第10の成分との合成比を制御する、としてもよい。

【0107】

上記構成により、より好適に高調波成分を利用することが可能となり、信号品質の劣化を抑止しつつ、合成受信信号のピークをさらに急峻化して距離分解能を高めることが可能となる。

(10) また、上記(9)の超音波診断装置は、前記合成部は、前記受信信号に対応する前記反射超音波の発生源の深さに応じて、前記第9の成分に対する前記第10の成分の合成比を変更する、としてもよい。

【0108】

10

20

30

40

50

上記構成により、高調波成分の減衰や信号レベルを考慮に入れたうえで効率的に合成受信信号のピークを急峻化することができ、合成受信信号の品質を保ったまま距離分解能を高めることが可能となる。

(11) また、上記(10)の超音波診断装置は、前記第9の成分に対する前記第10の成分の合成比は、前記受信信号に対応する前記反射超音波の発生源が所定の深さより浅い場合は、前記発生源が深くなるほど大きくなり、前記発生源が前記所定の深さより深い場合は、前記発生源が深くなるほど小さくなる、としてもよい。

【0109】

上記構成により、高調波成分の信号レベルが大きい所定の深さ周辺においては、高調波の割合を大きくして合成受信信号のピーク急峻化の効果を大きくできる一方で、高調波成分の信号レベルが小さい所定の深さから遠い領域については、高調波成分の割合を小さくして高調波成分に含まれる雑音による合成受信信号の品質劣化を抑制することができる。

(12) また、上記(1)～(11)の超音波診断装置は、前記合成受信信号を前記送信信号に基づいて時間軸方向に圧縮してパルス圧縮信号を生成するパルス圧縮部をさらに備え、前記画像生成部は、前記合成受信信号に代えて前記パルス圧縮信号に基づいて前記画像を生成する、としてもよい。

【0110】

上記構成により、パルス圧縮により合成受信信号のピークをさらに急峻化することができ、距離分解能をより確実に高めることが可能となる。

(13) また、上記(1)～(6)の超音波診断装置は、前記第1の成分と前記第3の成分とのそれぞれを前記送信信号に基づいて時間軸方向に圧縮し、第1パルス圧縮信号と第2パルス圧縮信号とを生成するパルス圧縮部をさらに備え、前記合成部は、前記第1の成分と前記第3の成分とに替えて、前記第1パルス圧縮信号と前記第2パルス圧縮信号とを合成して前記合成受信信号を生成する、としてもよい。

【0111】

上記構成により、第1パルス圧縮信号と前記第2パルス圧縮信号のピークのタイミングを合わせることができ、距離分解能をより確実に高めることが可能となる。

(14) また、上記(1)～(12)の超音波診断装置は、前記位相制御部は、前記第2の成分に含まれる各周波数成分について位相を $\pi/2$ だけ変更する、としてもよい。

上記構成により、位相制御の演算量を削減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0112】

本発明に係る超音波診断装置、超音波信号処理方法は、複雑な回路を必要とせず、非線形成分を用いてS/N比と距離分解能との向上を図ることができる。また、非線形成分が受信できない領域では基本波成分による画像化が可能となり、医療診断機器等において利用条件に左右されない高い適応性を持つ。

【符号の説明】

【0113】

- 1、1A、4、5、6、7 超音波診断装置
- 2 超音波探触子
- 3 表示部
- 10、10A 送信信号生成部
- 20 送信部
- 30 切替部
- 40 受信部
- 41 信号記憶部
- 50、50A、50E、50F、50G、50H 超音波信号処理回路
- 51、51A、51B、51C、50D、50H 分離部
- 52、52B、52C、52D、52H 位相制御部
- 53、53B、53C、53D、53H 合成部

10

20

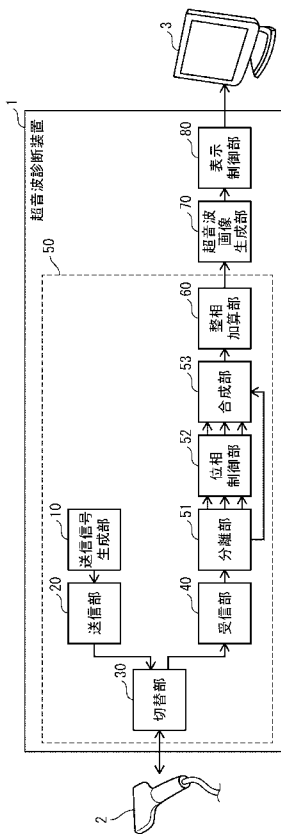
30

40

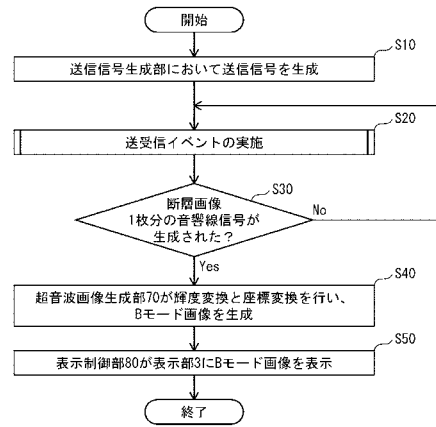
50

- 60 整相加算部
- 70 超音波画像生成部
- 80 表示制御部
- 90、91 パルス圧縮部
- 100 推定部

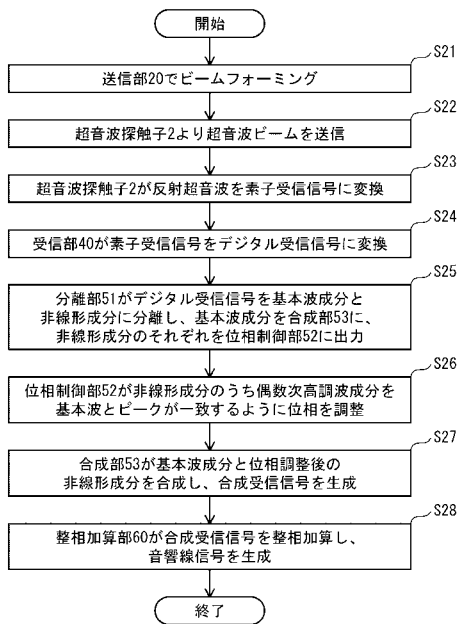
【 図 1 】



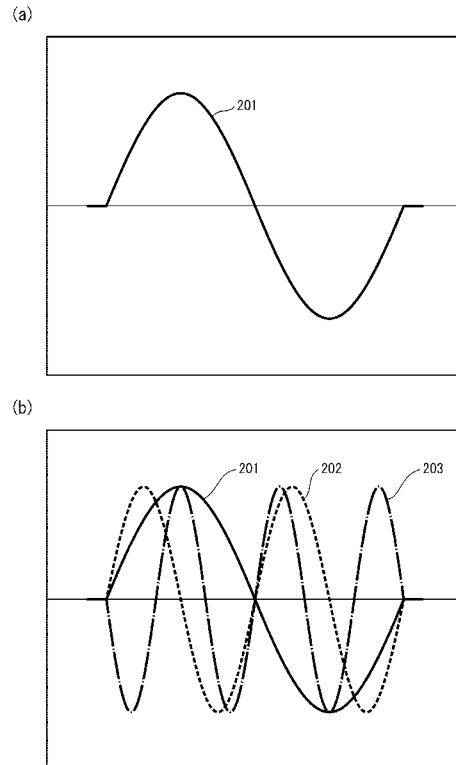
【 図 2 】



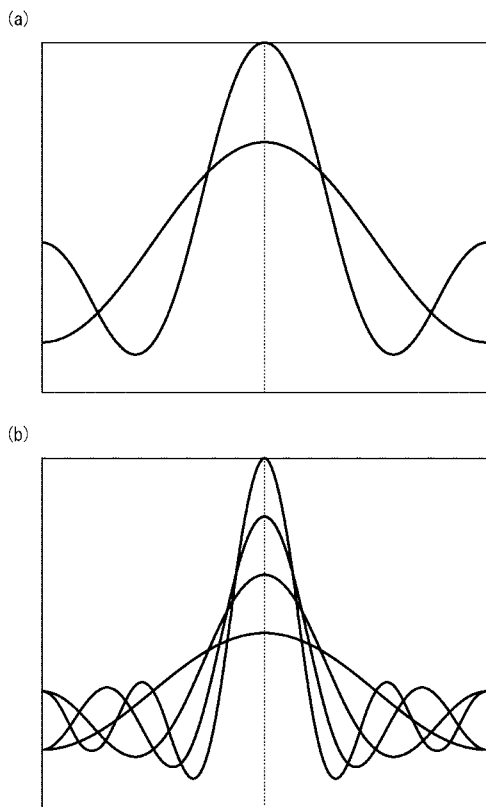
【 図 3 】



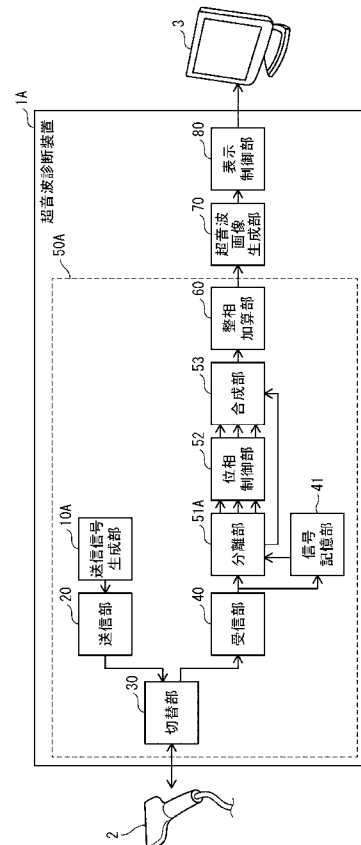
【 図 4 】



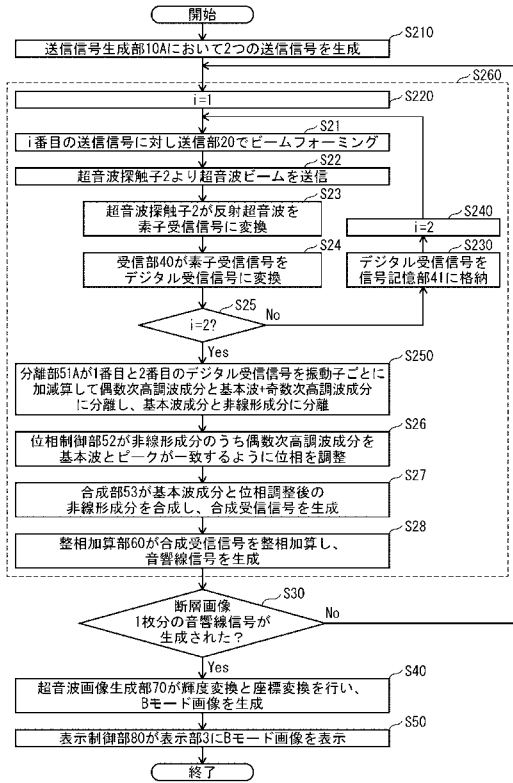
【 図 5 】



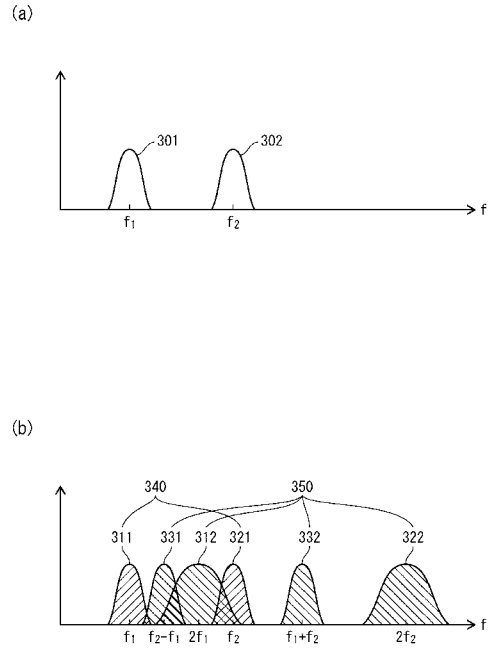
【 図 6 】



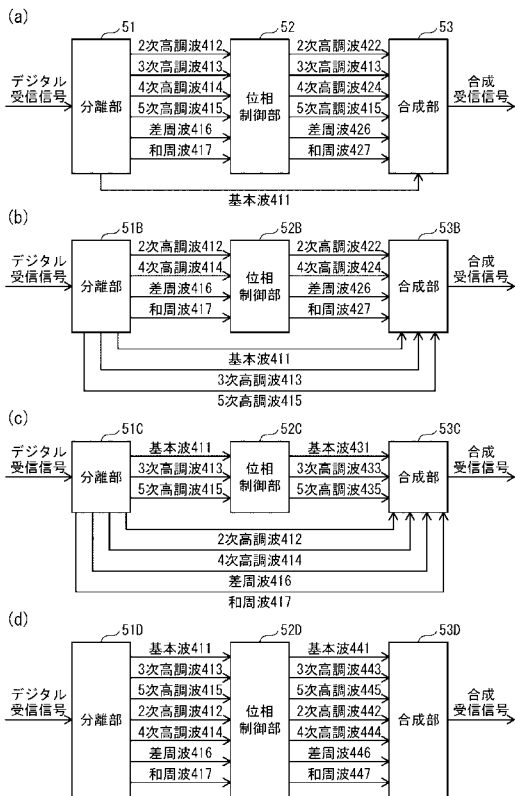
【図7】



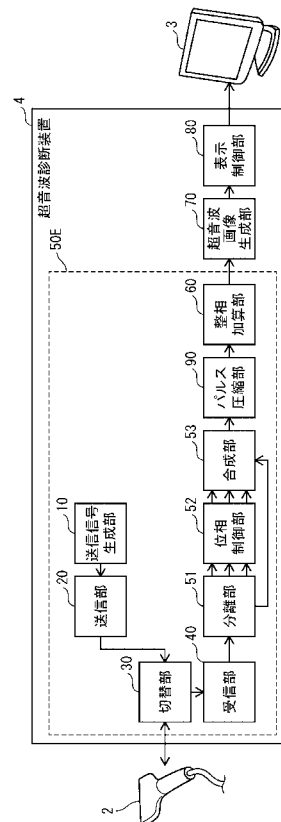
【図8】



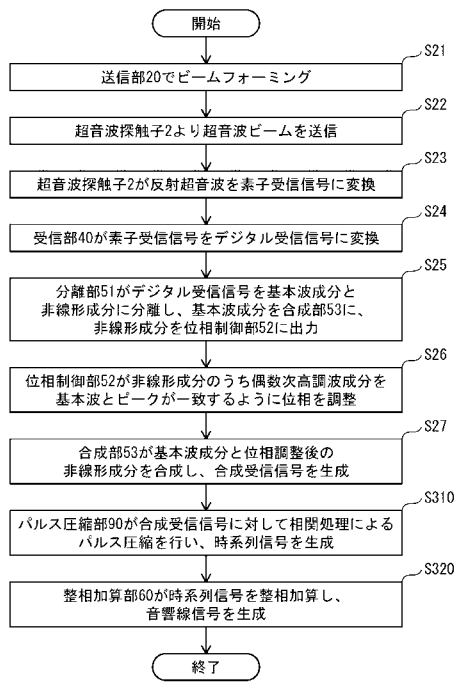
【図9】



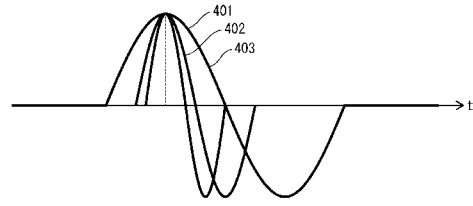
【図10】



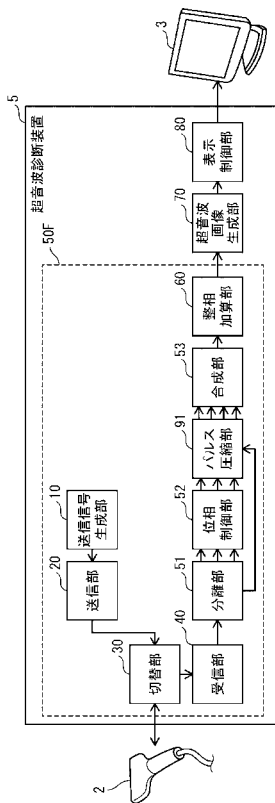
【 図 1 1 】



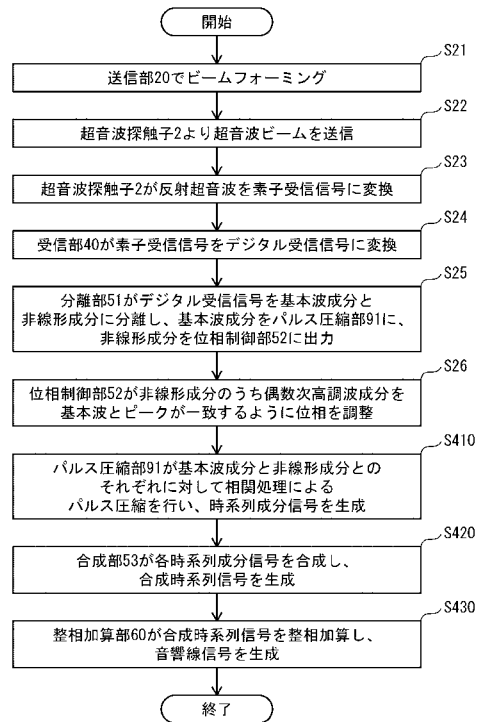
【 図 1 2 】



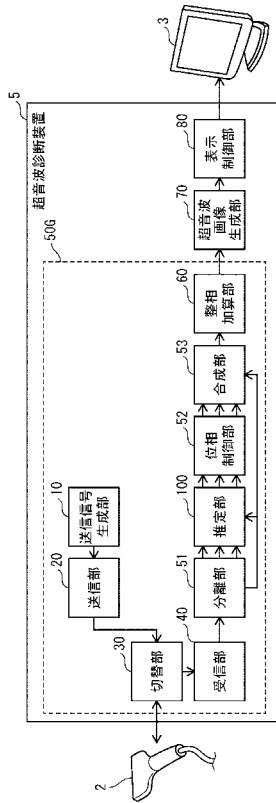
【 図 1 3 】



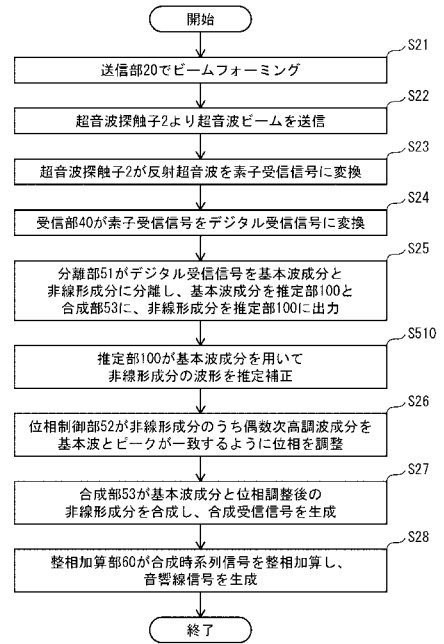
【 図 1 4 】



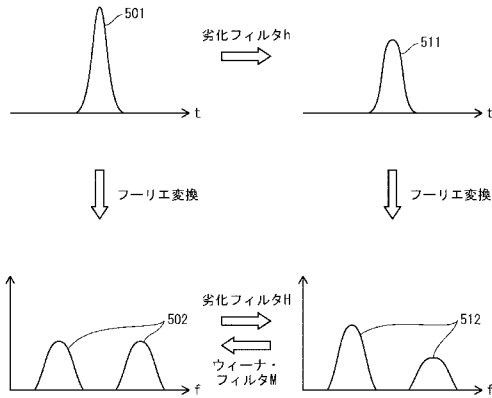
【図15】



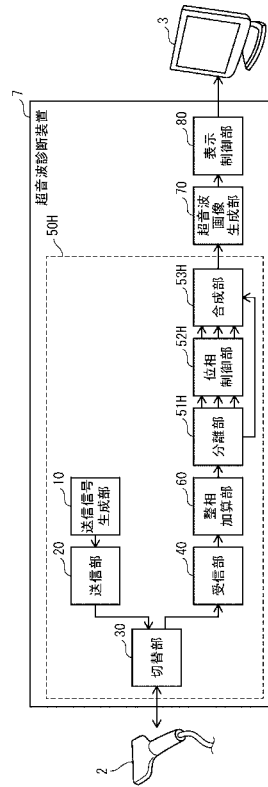
【図16】



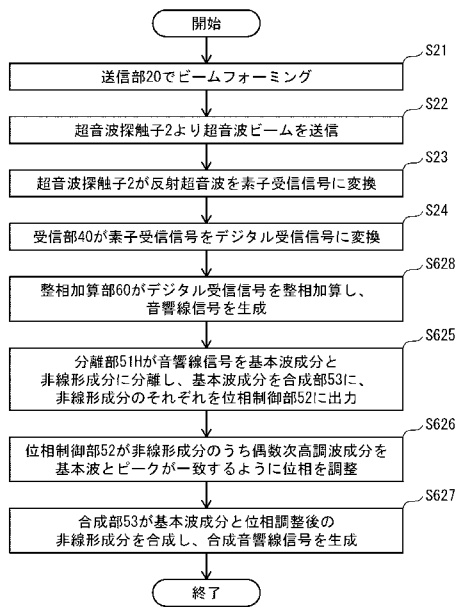
【図17】



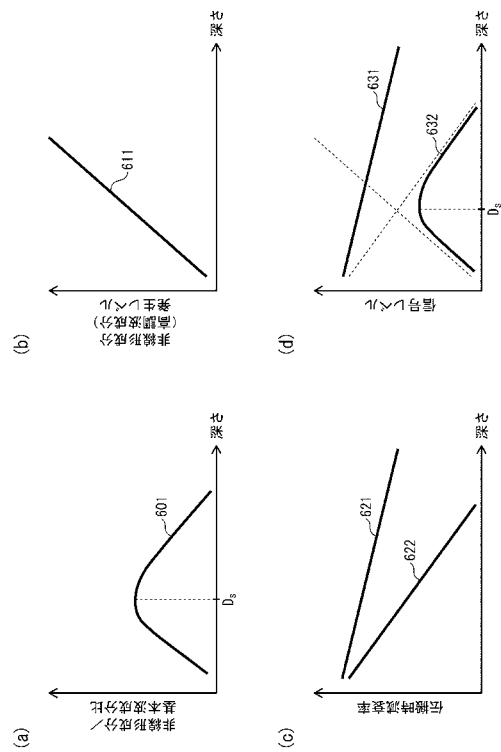
【図18】



【図19】



【図20】



专利名称(译)	超声波诊断装置和超声波信号处理方法		
公开(公告)号	JP2017136235A	公开(公告)日	2017-08-10
申请号	JP2016019655	申请日	2016-02-04
[标]申请(专利权)人(译)	柯尼卡株式会社		
申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	布施優		
发明人	布施 優		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/4483 A61B8/461 A61B8/5207 A61B8/54 G01S7/52038 G01S7/52046 G01S15/8961		
FI分类号	A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/EE01 4C601/EE04 4C601/JB03 4C601/JB28 4C601/JB36 4C601/JB45 4C601/LL13		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种超声波诊断装置和超声波信号处理方法，该方法可以通过简单的过程实现，同时实现宽带信号和改善的距离分辨率。
 解决方案：超声波探头2将包括基波分量的脉冲形传输信号转换为发射超声波，将发射超声波发射到对象中，以及超声波探头基于从对象接收的反射超声产生接收信号，并且包括一个或多个频率分量的第一分量和与第一分量不同的第二分量与接收信号分离，相位控制单元52，用于控制第二分量的相位以产生第三分量，使得第一分量和第二分量之间的幅度变为最大的时间相同，1个分量和第三个分量，并产生组合的接收信号。 点域1

