(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5069022号
(P5069022)
(45)発行日　平成24年11月7日(2012.11.7)　(24)登録日　平成24年8月24日(2012.8.24)

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

請求項の数 8　外国語出願　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願2007-55150(P2007-55150)
(22)出願日　平成19年3月6日(2007.3.6)
(65)公開番号　特開2008-212441(P2008-212441A)
(43)公開日　平成20年9月18日(2008.9.18)
審査請求日　平成22年3月5日(2010.3.5)

(73)特許権者　390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデイ、リバーロード、１番
(74)代理人　100137545
弁理士　荒川　聡志
(74)代理人　100105588
弁理士　小倉　博
(74)代理人　100129779
弁理士　黒川　俊久
(72)発明者　ケネス・ウェイン・リグビー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、レッド・メープル・レーン、４エイ番

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波撮像で使用するための正確な時間遅延推定の方法及びシステム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
超音波システム（１０）のビーム形成時間遅延を補正する方法であって、
トランスジューサ素子（１８Ａ～１８Ｚ）のアレイを用いて対象を通過させる超音波エネルギービームを送信する工程であって、該トランスジューサ素子のそれぞれは送信ビーム時間遅延を伴った超音波エネルギービームを送信するように構成されている送信工程と、
受信ビーム形成時間遅延を伴って超音波エネルギービームを受信するように各トランスジューサ素子を構成して複数のエコー信号を受信する工程と、
各エコー信号及び各撮像方向ごとにビーム形成時間遅延誤差を推定する工程と、
各受信エコー信号の間の時間遅延を表す複素相関和、並びに１つまたは複数の受信エコー信号の総和を生成することによって送信及び受信ビーム形成時間遅延を補正する工程と、
前記補正した送信及び受信ビーム形成時間遅延を用いて対象の超音波画像を作成する工程と、
を含み、
前記補正工程はさらに、
正規化相関和を計算する工程と、
前記正規化相関和を撮像方向及びトランスジューサ素子方向にマッピングする工程と、

前記相関和を修正する工程と、
前記修正済み相関和を撮像方向及び送信素子全体にわたってフィルタ処理してフィルタ処理済み相関和を作成する工程と、
前記フィルタ処理済み相関和の位相を対応する時間遅延補正に変換する工程と、
前記時間遅延補正によってビーム形成時間遅延を補正する工程と、
を含む、
方法。
【請求項２】
前記修正工程は、
マッピングされた各相関和を信頼可能な相関和である、あるいは信頼不可の相関和であるとラベル付けする工程と、
信頼不可とラベル付けされた各相関和をある絶対値に設定する工程と、
を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記ラベル付け工程は、
各トランスジューサ素子及び撮像方向に対応するマッピングした各相関和の位相を計算する工程と、
各トランスジューサ素子及び撮像方向ごとに計算済み位相内の連続的に変動するパターンを決定する工程であって、該連続的に変動するパターンが存在するときに相関和は信頼可能であるとラベル付けされる決定工程と、
を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記ラベル付け工程はさらに、
素子方向での位相の微分の絶対値の和及び撮像方向での位相の微分の絶対値の和を第１のしきい値と比較する工程と、
位相微分の絶対値の前記計算された和が第１のしきい値を超えるときに相関和を信頼不可であるとラベル付けする工程と、
それぞれの撮像方向での信頼不可の相関和の量が第２のしきい値を超えるときに対応する撮像方向に関するマッピングした相関和のすべてを信頼不可であるとラベル付けする工程と、
を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項５】
前記ラベル付け工程は、画像処理アルゴリズムを用いて画像内のシグニチャを特定し、該特定したシグニチャに基づいてビーム形成器時間遅延誤差が信頼可能であるか信頼不可であるかをラベル付けする工程を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項６】
前記画像処理アルゴリズムは、
画像内で複数の関心領域を特定すること、
特定した各関心領域に関する統計パラメータを計算すること、
前記統計パラメータを適用し、前記推定したビーム形成器時間遅延誤差が信頼可能であるか信頼不可であるかをラベル付けすること、
を実行するように構成されている、請求項５に記載の方法。
【請求項７】
ビーム形成時間遅延を推定するための超音波システム（１０）であって、
あるパターンで配置された１組のアレイ素子を有するトランスジューサ・アレイ（１８）であって、該素子の各々は、送信モードの間では対象内に超音波エネルギービームを送信しかつ受信モードの間では該トランスジューサに当たった振動エネルギーに応答してエコー信号を発生させるように別々に動作可能であるトランスジューサ・アレイ（１８）と、
前記トランスジューサ・アレイと結合されていると共に、指向性の送信ビームが生成さ

れるように送信モードの間にそれぞれの送信ビーム形成時間遅延をもつ別々の送信信号パルスを前記アレイ素子のそれぞれに印加するように動作可能な送信器（２２）と、
前記トランスジューサ・アレイと結合されていると共に、対応する複数の受信信号が生成されるように受信モードの間に前記アレイ素子のそれぞれが発生させたエコー信号をサンプリングし前記各エコー信号サンプルに対して受信ビーム形成時間遅延を付加するように動作可能な受信器（２４）と、
各エコー信号及び各撮像方向ごとに到着時間誤差を推定して前記送信及び受信ビーム形成時間遅延を補正するように構成されたビーム形成器システム（２６）と、
超音波画像を作成するように構成された画像プロセッサ（３２）と、
を備え、
前記ビーム形成器システム（２６）はさらに、
各システムビーム形成チャンネル及び撮像方向ごとに相関和を生成すること、
正規化相関和を計算すること、
前記正規化相関和を撮像方向及びトランスジューサ素子順序に対してマッピングすること、
前記マッピングした相関和を修正すること、
前記修正済み相関和をフィルタ処理し、フィルタ処理済み相関和を生成すること、
前記フィルタ処理済み相関和の位相を計算すること、
フィルタ処理済み相関和の前記位相を補正時間遅延に変換すること、
前記補正時間遅延を用いて前記送信及び受信ビーム形成時間遅延を補正すること、
を実行するようにように構成されている、
超音波システム（１０）。
【請求項８】
前記ビーム形成器システムは、マッピングした各相関和を信頼可能な相関和である、あるいは信頼不可の相関和であるとラベル付けするように構成されている、請求項７に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、全般的には撮像システムに関し、またより具体的には超音波撮像システムにおいて時間遅延を推定し補正するための方法及びシステムに関する。
【背景技術】
【０００２】
超音波システムは、１組の波形を撮像対象内に送信するため並びに反射した１組の超音波信号を受信するために使用されるトランスジューサ素子のアレイを備える。所望の方向及び深度で所望の形状を有するように正味の送信波形を集束させるために、各波形は相対的時間遅延を伴って送出される。同様に、受信した各信号は、所望の方向及び深度に関する所望の形状を有する反射エネルギーに対するシステムの応答が最大化されるように個々に遅延させている。この遅延させた受信信号は加算かつ処理されて、撮像対象の画像が作成されて表示される。
【０００３】
この送信及び受信時間遅延（一括して、ビーム形成時間遅延と呼ぶ）は典型的には、既知の一定速度で音波が身体を通過して伝播することを前提として計算される。この前提が成り立たないと、送信及び受信の集束が劣化すると共に画像分解能及びコントラストの低下が生じることになる。
【０００４】
画質の低下を小さくするための一方法は、受信信号の相対的時間遅延の計測値に基づいてビーム形成時間遅延を調整することである。これらの相対的時間遅延は、受信ビーム形成遅延を適用した後に計測すると好都合である。既知で一定の音速の前提が正しければ、

遅延させた受信信号は時間的な整列がよくなる、すなわち到着時間誤差が小さくなる。この前提が正しくない場合、遅延させた受信信号の時間的な整列が悪くなる、すなわち到着時間誤差が大きくなる。到着時間誤差に対してビーム形成遅延を補正することによってその集束が改善されると共に、画像分解能及びコントラストが向上することになる。到着時間遅延誤差は、当技術分野でよく知られている幾つかの方法のうちの１つを用いて推定することができる。

【０００５】

医用超音波撮像では、到着時間誤差の推定は高速、正確かつ確実でなければならない。さらに、推定ハードウェアの実現に要する追加的コストを最小限にすることが極めて望ましい。本明細書で使用する場合、到着時間誤差は２つの信号間の差と規定される。この到着時間誤差を処理して時間遅延補正値を取得し、次いでこれを適用してビーム形成時間遅延が補正される。

【０００６】

ビーム形成時間遅延は迅速に更新する必要があるため推定は高速であることが望ましい。というのは要求される補正値は撮像対象を基準としてトランスジューサが移動するに連れて変動するためである（この患者の上でのトランスジューサの動きは、オペレータが通常の走査手順の一部として行うことも、オペレータの手の若干の動きあるいは患者の動きや呼吸のためであることもある）。

【０００７】

画像分解能及びコントラストを向上させるため、並びに正しくない時間遅延補正値を用いたビーム形成時間遅延調整による画像の望ましくない劣化を回避するために、推定は正確であることが望ましい。到着時間誤差の推定値は幾つかの理由から不正確となることがある。例えば、複素相関和の位相を用いて到着時間誤差推定値を計算すると、この相関和に寄与する信号の相関が良くないことや、あるいはトランスジューサ内のある素子が故障してその出力信号が異常に雑音性であることがあり得る。あるトランスジューサ素子は、肋骨などの音響不透明性の障害物によって撮像対象からその素子が隠蔽されるために雑音性信号を発生させ、これによって到着時間誤差推定値の不正確さを生じさせることがある。時間遅延補正値を決定するためにこうした信頼できないすなわち雑音性の位相推定値の使用を許容することは望ましくない。というのは、こうした不正確な値によるビーム形成成績の劣化が、これより正確な値を用いた補正の恩恵を凌ぐことがあり得るためである。

【０００８】

さらに、到着時間誤差推定値のこうした誤差によって画像内にアーチファクトが導入されることがあり、これが正しくない診断や検査時間の延長につながる可能性がある。オペレータの大多数が時間遅延補正機能をルーチンで使用し、これにより画像分解能及びコントラストの向上の恩恵を得るためには、このアーチファクト発生率を十分に小さくしなければならない。

【０００９】

多くの用途では、人体の肋骨の間で（肋間によって）撮像する必要があるが、この撮像は（特に、所望の撮像走査面がそのトランスジューサを肋骨の全体的方向と垂直の向きに向けるように要求する場合に）トランスジューサの一部からの超音波の送信及び受信が肋骨によって阻止される可能性があるために困難となる可能性がある。さらに、肋骨に関連するシート状の筋肉は厚さ及び向きが不規則であり、これによってトランスジューサの位置において到着時間誤差が生じる。より正確な診断を可能にするためには、肋間性に撮像しながら高品質画像を作成することが望ましい。

【特許文献１】米国特許第５３８８４６１号（対応日本公表特許公報Ｈ０８－５０７９５１）

【特許文献２】米国特許第５５７０６９１号（対応日本公表特許公報Ｈ１０－５０７１０１）

【特許文献３】米国早期公開特許２００６－０００４２８７号（対応日本公開特許公報２００６－０１５１３８）

【非特許文献１】Xu et al. Time Delay Estimation Using Wavelet Transform for Pulsed-Wave Ultrasound. Annals of Biomedical Engineering. 23: p. 612-621. 1995.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

したがって超音波システムにおいて、システムのコスト及びサイズを最小限にしたままで到着時間誤差を正確かつ確実に推定し補償する方法及びシステムに対する要求が存在する。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

簡単に述べると、本発明の一態様では、超音波システムにおいてビーム形成時間遅延を補正する方法を提供する。本方法は、対象内に超音波エネルギービームを送信する工程を含む。この超音波エネルギービームはトランスジューサ素子アレイを用いて発生させており、また各トランスジューサ素子は送信ビーム形成時間遅延を伴って超音波エネルギーのパルスを送信するように構成されている。本方法はさらに、受信ビーム形成時間遅延を伴った超音波エネルギービームを受信するように各トランスジューサ素子を構成して複数のエコー信号を受信する工程と、各エコー信号及び各撮像方向ごとに到着時間誤差を推定する工程と、を含む。本方法はさらに、送信及び受信ビーム形成時間遅延を補正する工程と、この補正した送信及び受信ビーム形成時間遅延を用いて対象の超音波画像を作成する工程と、を含む。

【００１２】

別の実施形態では、ビーム形成時間遅延を推定するための超音波システムを提供する。本超音波システムは、あるパターンで配置された１組のアレイ素子を有するトランスジューサ・アレイであって、該素子の各々は、送信モードの間では対象内に超音波エネルギービームを送信しかつ受信モードの間では該トランスジューサに当たった振動エネルギーに応答してエコー信号を発生させるように別々に動作可能であるトランスジューサ・アレイを備える。本超音波システムは、トランスジューサ・アレイと結合されていると共に、指向性の送信ビームが生成されるように送信モードの間にそれぞれの送信ビーム形成時間遅延をもつ別々の送信信号パルスをアレイ素子のそれぞれに印加するように動作可能な送信器を含む。受信器はトランスジューサ・アレイと結合されていると共に、対応する複数の受信信号が生成されるように受信モードの間にアレイ素子のそれぞれが発生させたエコー信号をサンプリングし、各エコー信号サンプルに対して受信ビーム形成時間遅延を付加するように動作可能である。本システムはさらに、各エコー信号及び各撮像方向ごとに到着時間誤差を推定し該送信及び受信ビーム形成時間遅延を補正するように構成されたビーム形成器システムと、超音波画像を作成するように構成された画像プロセッサと、を含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１３】

本発明に関するこれらの特徴、態様及び利点、並びにその他の特徴、態様及び利点については、同じ参照符号が図面全体を通じて同じ部分を表している添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読むことによってより理解が深まるであろう。

【００１４】

図１は、本発明の一態様により実現させた超音波システム１０の一実施形態のブロック図である。本超音波システムは、収集サブシステム１２及び処理サブシステム１４からなる。収集サブシステム１２は、トランスジューサ・アレイ１８（複数のトランスジューサ・アレイ素子１８Ａ～１８Ｚからなる）と、送信／受信切り替え回路２０と、送信器２２と、受信器２４と、ビーム形成器システム２６と、を備える。処理サブシステム１４は、制御プロセッサ２８と、復調器３０と、画像モードプロセッサ３２と、走査変換器３４と、表示プロセッサ３６と、を備える。この表示プロセッサはさらに、画像を表示するためのモニタと結合されている。ユーザインタフェース４０は制御プロセッサ２８及び表示モニタ３８とインターフェース接続されている。この処理サブシステムはさらに、Ｗｅｂサー

バ４４及びリモート接続インタフェース４６を含むリモート接続サブシステム４２と結合されることがある。処理サブシステムはさらに、超音波画像データを受信するためにデータリポジトリ４８と結合されることがある。このデータリポジトリは画像ワークステーション５０と対話する。

【００１５】

本明細書で使用する場合、「ように動作可能な（ｏｐｅｒａｂｌｅ　ｔｏ）」、「ように構成された（ｃｏｎｆｉｇｕｒｅｄ　ｔｏ）」その他の表現は、各構成要素を記載の効果を提供するように協働可能とさせる構成要素間のハードウェアまたはソフトウェア接続に言及したものであり、またこれらの用語はさらに、与えられた入力信号に応答して出力を提供する手順を実行ようにプログラムされたアナログ式やディジタル式のコンピュータ、特定用途向けデバイス（例えば、特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ））などの電気的構成要素の動作機能に言及したものでもある。

【００１６】

このアーキテクチャ及びモジュールは、ディジタル信号プロセッサを有する回路基板などの専用のハードウェア素子とすることがあり、あるいは商用で市販のＰＣなど汎用のコンピュータやプロセッサ上で動作するソフトウェアとすることがある。この様々なアーキテクチャ及びモジュールは本発明の様々な実施形態に従って組み合わせることや分離させることができる。

【００１７】

収集サブシステム１２において、トランスジューサアレイ１８は対象物１６と接触状態にある。このトランスジューサアレイは、送信／受信（Ｔ／Ｒ）切り替え回路２０に結合させている。Ｔ／Ｒ切り替え回路２０は、送信器２２の出力及び受信器２４の入力と結合させている。受信器２４の出力はビーム形成器２６に対する入力である。ビーム形成器２６はさらに送信器２２の入力及び復調器３０の入力に結合させている。

【００１８】

処理サブシステム１４において、復調器３０の出力は画像モードプロセッサ３２の入力と結合させている。制御プロセッサは、画像モードプロセッサ３２、走査変換器３４及び表示プロセッサ３６とインタフェース接続している。画像モードプロセッサ３２の出力は走査変換器３４の入力と結合させている。走査変換器３４の出力は表示プロセッサ３６の入力と結合させている。表示プロセッサ３６の出力はモニタ３８と結合させている。

【００１９】

超音波システム１０は対象物１６の選択領域内に超音波エネルギーを送信し、対象物から後方散乱されたエコー信号を受信し処理して画像の作成及び表示を行う。

【００２０】

超音波エネルギーの送信ビームを作成させるために、制御プロセッサ２８はビーム形成器２６に対して、トランスジューサアレイ１８の表面位置のある点から所望のステアリング角度で所望形状のビームを生成させる送信パラメータを発生させるコマンドデータを送っている。この送信パラメータはビーム形成器２６から送信器２２に送られる。送信器２２はこの送信パラメータを用い、Ｔ／Ｒ切り替え回路２０を介してトランスジューサアレイ１８に送ろうとする送信信号を適正にエンコードする。この送信信号は互いに対してあるレベル及び時間遅延に設定されて、トランスジューサアレイ１８の個々のトランスジューサ素子に提供される。この送信信号は、時間遅延及びレベルの関係が同じ超音波を放出させるようにトランスジューサ素子を励起させる。その結果、例えば超音波ジェルを用いてトランスジューサアレイ１８を対象物と音響結合させたときに、走査線に沿った走査面内部の対象物内に超音波エネルギーの送信ビームが形成される。この処理のことを電子走査と呼んでいる。

【００２１】

トランスジューサアレイ１８は双方向トランスジューサである。対象物内に超音波を送信すると、この超音波は対象物内部の組織や血液試料によって後方散乱される。トランスジューサアレイ１８は、その音波を戻した組織までの距離並びにその音波が戻された位置

のトランスジューサアレイ１８の表面に対する角度に応じて、この後方散乱されたエコー信号を様々な時点で受信する。このトランスジューサ素子は後方散乱されたエコー信号に応答し、この後方散乱エコー信号からの超音波エネルギーを電気信号に変換する。

【００２２】

この受信電気信号は、Ｔ／Ｒ切り替え回路２０を経由して受信器２４に至る。受信器２４は、この受信信号を増幅しかつディジタル化すると共に、利得補償などの別の機能を提供する。ディジタル化された受信信号は、各トランスジューサ素子が様々な時点で受信した後方散乱音波に対応すると共に、後方散乱音波の振幅及び到着時間情報を保持している。

【００２３】

このディジタル化受信信号はビーム形成器システム２６に送られる。制御プロセッサ２８はコマンドデータをビーム形成器システム２６に送っている。ビーム形成器システム２６は、走査線に沿って送信された直前の超音波ビームのステアリング角度に典型的に対応するステアリング角度でトランスジューサアレイ１８の表面上のある点から発せられる受信ビームを形成させるためにこのコマンドデータを使用する。

【００２４】

ビーム形成器システム２６は、制御プロセッサ２８からのコマンドデータの命令に従って時間遅延、振幅重み付け及び加算を実行し、対象内部の走査面内の走査線に沿ったサンプルボリュームに対応する受信ビーム信号を生成することによって、適当な受信信号に対する操作を行っている。ビーム形成器システムはさらに、時間遅延及び振幅重みを調整して収差性組織層によって導入される誤差を補正する収差（ａｂｅｒｒａｔｉｏｎ）アルゴリズムを含む。この波形自体を修正してその収差を補正することも同様に可能である。

【００２５】

この受信ビーム信号は処理サブシステム１４に送られる。復調器３０はこの受信ビーム信号に対して復調を実行し、走査面内部のサンプルボリュームに対応するＩ及びＱの復調データ値の対が生成される。復調されたデータは、画像を作成するように構成させた画像モードプロセッサ３２に転送される。画像モードプロセッサ３２はパラメータ推定技法を用いて復調データから走査シーケンス形式で撮像パラメータ値を作成する。この撮像パラメータは、例えばＢモード、Ｍモード、カラー速度モード、スペクトルドプラモード、組織速度撮像モードなど可能な様々な撮像モードに対応するパラメータを備えることがある。撮像パラメータ値は走査変換器３４に送られる。走査変換器３４は、走査シーケンス形式から表示形式に変換することによってパラメータデータを処理する。この変換には、パラメータデータに対して補間演算を実行し表示画素データを表示形式で作成することを含む。

【００２６】

さらにこの画像プロセッサは、画像処理アルゴリズムを用いて画像内の所望のフィーチャを検出する。次いで、画像処理アルゴリズムが検出したこれらのフィーチャを用いて、ビーム形成時間遅延の計算方法すなわち実施方法が変更される。例えば画像プロセッサは、あるエリアの補正値をマスキング除去することがあり、あるいは画像から導出した情報に基づいて様々な推定技法から選択することがある。具体的な一実施形態では、ビーム形成時間遅延を迅速に計算するために反復式収差補正アルゴリズムが実現される。画像は幾つかの領域に分割され、先ず第１の領域で開始し画像内の第１のビームが発射される。後続の領域の発射の間に、この第１の領域からのデータが回収されて処理される。こうした技法は、次のフレームでビームを発射する前に処理のための時間を見越している。

【００２７】

走査変換された画素データは表示プロセッサ３６に送られ、走査変換画素データに対する最終的な任意の空間または時間フィルタ処理の実行、走査変換画素データに対するグレイスケールまたは色相の付与、並びにモニタ３８上に表示するためのディジタル画素データのアナログデータへの変換が行われる。ユーザ４０はモニタ３８上に表示されたデータに基づいてビーム形成器システム２６と対話する。

【００２８】
上述したように、ビーム形成器システム２６は受信信号に対して時間遅延演算を実行する。ビーム形成器システムが受信信号内のビーム形成時間遅延を推定し補正する方式を図２を参照しながらさらに詳細に記載する。
【００２９】
図２は、適応可能なビーム形成器システム２６の一実施形態のブロック図である。このビーム形成器システム２６は、マルチプレクサ２７を介してトランスジューサ・アレイ１８のトランスジューサ素子１８Ａ～１８Ｚから受信信号を受信するように表している。これらのトランスジューサ素子は対象の選択領域内に超音波エネルギーを送信するためにも使用される。このビーム形成器システム２６の各ブロックについて以下でさらに詳細に記載する。
【００３０】
ビーム形成遅延６２は、ビーム形成器遅延素子６２Ａ～６２Ｚを含む。各遅延素子は、対応するトランスジューサ素子１８Ａ～１８Ｚから受信した受信信号内に遅延を導入する。時間遅延させた受信信号は加算器６４に提供され時間遅延した受信信号の和が生成される。
【００３１】
時間遅延受信信号の和は複素フィルタ６８に提供され、複素ビーム和信号が生成される。この複素ビーム和信号は図２に示すように相関器プロセッサ７０に提供される。相関器プロセッサ７０は、複数の相関器プロセッサ７０Ａ～７０Ｚを含む。各相関器プロセッサは、遅延素子６２Ａ～６２Ｚからビーム和信号と遅延させた受信信号とを受信する。
【００３２】
各相関器プロセッサの出力は複素相関和と呼ばれる複素数である。複素相関和の位相は、各受信信号とビーム和信号の間の推定時間遅延に比例する。
【００３３】
各相関器プロセッサからの相関和は、１つのビーム形成チャンネル及び撮像走査線ビームに対応する。各相関器プロセッサからの相関和は、相関和プロセッサ７４に提供される。この相関和は次式で表すことができる
【００３４】
【数１】

$$\sum_{r=r1}^{r2} B^{*}(r)s(r)$$

（式１）
上式において、Ｂ＊（ｒ）はビーム和信号の複素共役を意味しており、またｓ（ｒ）はチャンネル信号である。「Ｂ」と「ｓ」はその両方をベースバンド信号若しくは解析信号とすることがあり、あるいは「Ｂ」をベースバンド若しくは解析信号としかつ「ｓ」を実信号とすることがある。この和は相関レンジサンプル「ｒ１」から「ｒ２」にわたって計算される。
【００３５】
相関和プロセッサはさらに、別の２つの信号を入力として受信し、これを用いて相関和を正規化することがある。一実施形態では、その入力信号はビーム和信号の大きさの２乗値とチャンネル信号の大きさの２乗値とである。ビーム和信号の大きさの２乗値は相関レンジサンプルにわたって加算されており、これは次式で表される。
【００３６】

【数２】

$$\sum_{r=r1}^{r2}|B(r)|^2$$

（式２）

同様に、チャンネル信号の大きさの２乗値が相関レンジサンプルにわたって加算されており、これは次式で表される。

【００３７】

【数３】

$$\sum_{r=r1}^{r2}|s(r)|^2$$

（式３）

代替的な一実施形態では、ビーム和信号の大きさの総和とチャンネル信号の大きさの総和が相関和プロセッサ７４に提供される。ビーム和信号の大きさの総和は次式で表される。

【００３８】

【数４】

$$\sum_{r=r1}^{r2}|B(r)|$$

（式４）

同様に、チャンネル信号の大きさの総和は次式で表される。

【００３９】

【数５】

$$\sum_{r=r1}^{r2}|s(r)|$$

（式５）

相関和プロセッサは、各ビーム形成チャンネル及びビームごとに上述の入力信号を用いて１組のビーム形成時間遅延補正値を生成する。この時間遅延補正値は次いで、ビーム形成時間遅延に適用される。

【００４０】

図３は、相関和プロセッサ７４がビーム形成遅延を発生させる一方法を表した流れ図である。本方法の各工程を以下でさらに詳細に記載する。

【００４１】

工程７８では、相関和プロセッサがビーム形成チャンネル及び撮像走査線ビームの幾つかまたは全部に関する正規化相関和を計算する。この正規化相関和「Ｃ」は次の（式６）のように表される。

【００４２】
【数６】

$$C = \frac{\sum_r B^*(r)s(r)}{\sqrt{\sum_r |B(r)|^2 \sum_r |s(r)|^2}}$$

（式６）

（式６）は「Ｂ」と「ｓ」の両方がベースバンド信号である場合、並びに「Ｂ」と「ｓ」の両方が解析信号である場合に適用される。「Ｃ」の大きさは０と１の間の範囲にある。「Ｃ」の大きさは「Ｂ」が「ｓ」に比例するときに１である。「Ｂ」がベースバンド若しくは解析信号であり、かつ「ｓ」が実信号であるときは、「Ｃ」の大きさはゼロと２の平方根の逆数値との間の範囲にある。別の実施形態では、その正規化相関和「Ｃ」は次の（式７）のように表される。

【００４３】
【数７】

$$C = \frac{N\sum_r B^*(r)s(r)}{\sum_r |B(r)| \sum_r |s(r)|}$$

（式７）

上式において、「Ｎ」は総和を計算する際のレンジサンプル数である。（式７）は、（式６）を用いて計算される正規化相関和に対する近似値であり、この方がディジタルハードウェアでの計算をより簡単にすることができる。（式６）はＮ個のサンプルx_1、x_2、．．．、x_Nに対する標準偏差の定義である

【００４４】
【数８】

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}$$

を用いて（式７）に変換することが可能であり、これは次の（式８）のように整理することができる。

【００４５】
【数９】

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{N} x_i^2} = \sqrt{1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}}\left(\frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)$$

（式８）

上式において、μはＮ個のサンプルx_iの平均値

【００４６】

【数１０】

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

である。
（式８）内の係数
【００４７】
【数１１】

$$\sqrt{1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}}$$

は所与の統計分布に関する定数である。ｘ＝｜ｓ｜を用いると、（式８）によって（式６）が（式７）に変換される（実信号とスペックル様の複素信号のいずれかの振幅を記述する統計分布に関する次数１の定数係数は無視しており、また以下で記載する相関和処理において関心があるのは相関和の相対的ノルム（ｒｅｌａｔｉｖｅ　ｎｏｒｍ）だけであるため棄却することができる）。
【００４８】
工程８０では、ビーム及びトランスジューサ素子を基準として正規化相関和が序列にマッピングされる。多くのシステムでは、トランスジューサ・アレイ内の素子の数はビーム形成チャンネルの数より多い。例えば、１Ｄの直線的及び曲線的なトランスジューサ・アレイは１９２個の素子を有することがあるが、典型的にはビーム形成チャンネル数が１２８個の超音波システムに接続されている。チャンネルと素子の間の接続は、各ビーム方向ごとにトランスジューサ素子の部分組を選択するための１組のプログラム可能な多重化スイッチを介して実現される。
【００４９】
「ｎＲｏｗ」の横列と「ｎＣｏｌ」の縦列を備えた多重横列トランスジューサ・アレイ内の素子は、「ｒｏｗ＝０、１、から（ｎＲｏｗ－１）まで」で表される横列指標と「ｃｏｌ＝０、１から（ｎＣｏｌ－１）まで」で表される縦列指標とによってラベル付けされる。別法として、トランスジューサ・アレイ１８内の素子は素子番号「ｅｌ」（ここで、ｅｌは「ｃｏｌ」＋「ｒｏｗ」×「ｎＣｏｌ」に等しい）によってラベル付けされる。
【００５０】
工程８２では、マッピングした相関和を修正し、信頼不可の時間遅延推定値の影響を最小化させる。信頼不可の時間遅延推定値は、正しくないあるいは異常に雑音性である可能性が高いと特定できる推定値であると規定される。相関和プロセッサは、各素子及びビームごとに相関和が信頼可能であるか信頼不可であるかにラベル付けする「ｍａｓｋ［ｅｌ，ｂｍ］」で表されるマスクを構築する。その相関和の位相が信頼不可の到着時間誤差推定値である素子を特定することによって、実際に推定される到着時間誤差の堅牢性及び確度が向上する。相関和を信頼可能であるまたは信頼不可であるとラベル付けする方式については、図４を参照しながら以下でさらに詳細に記載する。
【００５１】
図３の工程８２について続けると、マスク内のすべての項目を先ずゼロに設定する（このゼロは、信頼可能な相関和を特定するために選択される任意値である）。信頼不可の各相関和ごとに、「ｍａｓｋ［ｅｌ，ｂｍ］」が第２の任意値である１に設定される。さらに、所与のビームに関する信頼不可の素子の数がある指定されたしきい値を超えると、当該ビームに関する「ｍａｓｋ」内のすべての項目が１に設定される（これについては、図

７でさらに詳細に記載することにする）。最後に「ｍａｓｋ」内で１になっている各項目ごとに、その対応する相関和が、（式９）に示すように振幅を不変としたままでその位相をゼロに設定することによって修正される。

【００５２】

【数１２】

$$C' = |C|$$

（式９）

上式において、Ｃは修正を受ける複素相関和であり、またＣ’は修正後の相関和である。

【００５３】

工程８４では、修正済み相関和の実数部と虚数部がフィルタ処理される。一実施形態では、素子指標全体にわたって適用される１次元、リアル、対称型の低域通過フィルタと、ビーム指標全体にわたって適用される１次元、リアル、対称型の別の低域通過フィルタとが使用される。これらのフィルタの長さは、相関和の位相の空間的分散が必要以上に抑制されずに相関和の位相の分散を低減できるように選択される。一実施形態では、三角係数（ｔｒｉａｎｇｕｌａｒ　ｃｏｅｆｆｉｃｉｅｎｔｓ）を有するフィルタが使用される。三角フィルタはその周波数応答が負にならないフィルタの一例である。時間遅延補正アルゴリズムの安定した演算のためには、その素子及びビーム指標全体にわたるフィルタの空間周波数応答の符号が変更されてはならない。このアルゴリズムは、ビーム形成時間遅延を修正して到着時間誤差を強制的にゼロにする負帰還を有する１つの系の挙動をしている。フィルタのいずれかの空間周波数応答の符号が変わると、符号の変化に伴ってそのフィードバックが負から正に切り替わると共に、正の帰還がアルゴリズムに対して、幾つかの空間周波数における到着時間誤差を抑制ではなく増幅させることになる。一実施形態では、三角フィルタの幅はビームフィルタではビーム１３個分であり素子フィルタでは素子５個分である。

【００５４】

工程８６では、フィルタ処理済み相関和の位相が計算され、次いでこれが時間遅延補正値に変換される。この時間遅延補正値は相関和の位相を係数２πｆ（ここで「ｆ」は受信した超音波信号の公称中心周波数である）で割り算することによって得られる。

【００５５】

到着時間誤差ではなく複素相関和をフィルタ処理することの利点は、到着時間誤差推定値の大きさが±πより大きな位相変化に相当する場合（すなわち、到着時間誤差が±１／（２ｆ）より大きい場合）に、到着時間誤差推定値の確度が大幅に改善されることである。こうしたケースでは、－πから＋πまでのレンジ内にある相関和の位相が「折り返され（ｗｒａｐ）」図４に示すように＋πに近いある値から－πまで、またこの逆方向にジャンプする。

【００５６】

図４、図５及び図６は、トランスジューサ・アレイの各トランスジューサ素子（「ｘ軸」上）をこれに対するそれぞれの相関和位相（「ｙ軸」上）と一緒に表示しているグラフである。実線は、１８Ｅ近傍の領域及び１８Ｍ～１８Ｑ近傍の領域に見られるような幾つかの素子に関する１／（２ｆ）と比べてより大きい滑らかに変動する到着時間誤差に対応する理想的な相関和の位相である。図４内の実線の円はわずかな量のノイズを付加した後のこの理想的な相関和の位相である。図５内の実線の円は、雑音性相関和の位相に対する低域通過フィルタの結果である。図５から分かるように、その位相が折り返された領域の近傍にある所望の位相（実線）に関して得られる近似はよくない。図６は、雑音性相関和を低域通過フィルタし、これに続いて相関和の位相を計算した結果を表している。図６から分かるように、真の位相（実線）との一致がかなり向上している。

【００５７】

図３について続けると、工程８８では、時間遅延補正値から上下方向及びアジマス方向に関するビームステアリング項が推定されて除去される。ステアリング項が除去されて画像の幾何学的歪みを最小化すると、これが（例えば、画像内の幾つかの対象のサイズが重要である場合に）誤診断につながる可能性がある。さらに、レンジ内での補正ビームのシフトを最小化するために平均時間遅延補正値をゼロとする制約や、送信ビームの集束深度に対するシフトを最小化しかつ動的に集束させた受信ビームに対して加える集束シフトを最小化するために時間遅延補正内にパラボリック項を存在させないという制約など別の制約が時間遅延に対して課せられることがある。

【００５８】

工程９０では、時間遅延補正値が素子順からチャンネル順にマッピングされる。この時間遅延補正値は図２に示すようにビーム形成遅延６２Ａ～６２Ｚに提供される。一実施形態では、その時間遅延補正値は各音響フレームに加えられる。

【００５９】

図３の工程８２で記載したように、相関和プロセッサは各相関和を信頼可能であるあるいは信頼不可であるとラベル付けするように構成されている。図７は、相関和プロセッサによって各相関和の信頼性を決定する方式を表した流れ図である。

【００６０】

到着時間誤差の発生源（すなわち、収差導入層）は空間的に滑らかに変動するものと仮定している。したがって、真の時間遅延補正値（観測された相関和の位相に比例する）は、所与のビームに関してトランスジューサ全体での変動が小さく、またトランスジューサ内の所与の素子に関してビーム方向での変動が小さいと見なせる。逆に、信頼不可の素子とは、トランスジューサ全体で、あるいは所与のトランスジューサ素子に関するビーム方向でその位相の変動が小さくない素子である。トランスジューサの上下方向及びアジマス方向の寸法全体に及ぶ素子に細分割されている２次元トランスジューサでは、位相の平滑度は一般に、ビーム方向に加えてトランスジューサの両寸法方向にわたって評価されることになる。幾つかの状況では、トランスジューサ寸法のうちの１つの方向だけで位相の平滑度を評価することが適当であることがある。これには、微分を計算するハードウェアまたはソフトウェア及び以下で記載するフィルタの複雑さが軽減されるという利点がある。以下では、「素子方向」という用語の解釈は、簡略化実施形態における単一のトランスジューサ寸法方向を意味することも、一般的な実施形態における両方の寸法方向を意味することもある。

【００６１】

工程９２では、相関和の位相が計算される。素子方向での位相の微分及びビーム方向での微分に対して近似が計算される。一実施形態では、この近似は最近傍値の差を用いた離散的微分である。工程９４では、素子指標全体にわたって位相の離散的微分が計算される。工程９６では、ビーム指標全体にわたって位相の離散的微分が計算される。工程９８では、素子方向での位相の離散的微分の絶対値とビーム方向での位相の離散的微分の絶対値とが各素子及びビームごとに足し合わされる。

【００６２】

工程１００では、離散的微分の絶対値の和が素子方向での低域通過フィルタ処理によって平滑化される。工程１０２では、微分の絶対値の和がビーム方向での低域通過フィルタ処理によって平滑化される。このフィルタ処理は、ノイズを拡大する傾向がある微分を取る処理によって導入されるゆらぎを低下させるために実行される。一実施形態では、近隣の値の対が足し合わされる。２点式低域通過フィルタの出力は、２点式離散的微分が生成する半サンプルシフトが補償されるように配列させることが可能である。

【００６３】

工程１０４では、位相微分のフィルタ処理された和がユーザ指定の第１のしきい値と比較される。一実施形態では、その第１のしきい値は約５ラジアンである。フィルタ処理された和のうちの第１のしきい値より大きい各項目ごとに、マスク内の対応する項目が１に設定され、その相関和は当該素子及びビームに関して信頼不可であるとマーキングされる

。

【００６４】

同様に、前の工程において所与のビーム方向に関して信頼不可とマーキングされた相関和が第２のしきい値を超えるときは、当該ビーム方向にあるすべての素子に関する相関和は信頼不可であるとマーキングされる。この第２のしきい値も同様にユーザによって指定される。一実施形態では、その第２のしきい値はビーム形成チャンネルの数の半分である。その推定時間遅延補正値のかなりの数が信頼不可であるようなビームを特定することによって、妨害する肋骨やトランスジューサの対象との接触不良によってその画像が音響的シャドウとなった領域を含む場合でもアーチファクトの導入が回避される。こうした状況では送信ビーム及び受信ビームがかなり劣化している。これらのビームでは、基準信号が劣化したまたは歪んだビーム和信号となるため、素子のすべてに関する相関和が信頼不可である可能性が高い。素子のうち有効開口内にある大部分が信頼不可の相関和を有すると特定された場合、残りの相関和を補正値として利用すると画像の改善ではなく画像の劣化に至ることが多い。

【００６５】

ビーム形成到着時間誤差はさらに、画像処理アルゴリズムを用いて信頼不可であるとラベル付けすることも可能である。一実施形態では、不良の補正推定値に関連付けされた「シグニチャ」を検出するように画像が処理される。本明細書で使用する場合、「シグニチャ」という用語は画像内にある関連するビーム形成時間遅延推定値の信頼性または確度に関連付けされた特定可能な任意のフィーチャを意味している。こうした「シグニチャ」は局所的統計パラメータ、組織の特性、解剖学構造に対する位置などの様々な形態とすることがある。

【００６６】

図８は、画像データを用いて信頼不可のビーム形成到着時間誤差を特定するための一方法を表した流れ図である。図示した方法は、局所的統計量を用いて時間遅延補正値の信頼性を推定する。工程１０５では、画像内の関心領域に関する統計パラメータがビーム和または画像データを用いて推定される。統計パラメータは、平均輝度、標準偏差、高次モーメント、分布の形状に関連するパラメータ、並びに具体的なある統計分布がどの程度良好に実際のデータを記述しているかを定量化している良度指数（ただし、これらに限らない）を含むことがある。

【００６７】

工程１０６では、統計パラメータが画像全体または期間全体にわたってフィルタ処理されて統計パラメータの推定を向上させる。別法として、より大きな領域にわたって統計パラメータを推定することが可能である。推定領域のサイズまたはフィルタ処理の量は、パラメータを位置特定する必要性及び推定値の得られる品質に基づいて計算される。工程１０７では、フィルタ処理した統計パラメータを使用し、時間遅延補正値の推定に役立つ統計特性の組を有しない領域をラベル付けする。工程１０８では、ラベル付けされた領域を時間遅延推定値における使用から除外する。工程１０９では、推定値が棄却されたり保持されたりする対象の小さな孤立領域が存在しないことを保証するためのチェックが実施される。こうした領域が存在する場合、これらの領域は新たなアーチファクトの導入を回避するために局所的補間によって排除される。これらの領域に対するラベル付けは図７の工程１０４で記載したマスク内に組み込むことが可能である。

【００６８】

ある種の時間遅延推定アルゴリズムは完全に成長したスペックルの領域において最も適当に動作することが当業者に知られている。スペックル領域からの複素信号の振幅はレイリー分布と呼ばれる統計分布を有する。１組の信号振幅がレイリー分布によって適度に良好に記述されるか否かを決定することが可能である。本明細書で使用する場合、関心領域（ＲＯＩ）とはその相関和の計算の対象となる１組のビーム及びレンジサンプルを意味している。そのＲＯＩ内の信号振幅がレイリー分布によって適当に記述されない場合、統計分布が概ねレイリー分布となるまでＲＯＩを移動させるかＲＯＩサイズを変更することが

できる。隣接するビームからなるある小さい組に関して信号振幅の近似的レイリー分布を包含する領域を全く見出せない場合は、その到着時間誤差は、周囲の到着時間誤差推定値を用いて設定した値に関して補間することも可能である。ＲＯＩのサイズ及び位置に加えて、位相微分しきい値などの到着時間推定で使用される別のパラメータを調整することが可能である。

【００６９】

上述したように、組織タイプは様々な組織特徴付け技法を用いて特定することが可能である。ある組織タイプが到着時間誤差の推定に対してより役立つ特性を有していれば、到着時間誤差を推定する関心領域は、画像からの統計情報に基づいてこの領域まで移動させることが可能である。こうした組織タイプの一例は肝臓であり、それは肝臓がスペックル様散乱体からなる大きな領域を包含するのが一般的であるためである。同様に、ある具体的な組織タイプが到着時間誤差の推定に適さないと分かっていれば、この組織を画像内で検出できても、対応する正しくない到着時間誤差推定値は適用する必要はない。スペックル様でない、したがって到着時間誤差に対する多くの推定方法に適さない組織タイプの一例は横隔膜である。

【００７０】

血管その他の無エコー領域は、画像内に顕著なシグニチャが存在する例である。図９は、関心領域１２０及び血管１２２を表した領域の画像である。血管１２２のサイズは、ＲＯＩ１２０のすべてまたは大部分が血管の内部に来るようなサイズである。血液からのエコーは周囲の組織１２４に関するエコーと比べてかなり小さい。その結果、到着時間誤差の推定値を提供する当該ＲＯＩ１２０からの音波エネルギーはかなり小さい。周囲の組織１２４は送信ビームのサイドローブの形でエネルギーを反射していると共に、その得られる信号は無エコー血液から反射された信号と比べてより大きい。したがって周囲の組織１２４は「高輝度」ターゲットのオフ軸の役割をしており、時間遅延補正の推定値は補正されたビームを血管の辺縁方向にステアリングしたり、送信ビーム及び受信ビームのサイドローブを成長させる傾向がある。こうしたケースでは、ＲＯＩ１２０が血管内や無エコー領域内に存在するか否かを決定するために画像が使用される。画像からのこの情報を用いると、サイドローブの成長や血管の辺縁方向へのステアリングによってアーチファクトが生じるのを回避するようなアルゴリズムを作成することが可能である。

【００７１】

図１０は、関心領域が血管の近傍や血管内に位置するか否かを検出するためのアルゴリズムを記述した流れ図である。工程１１０では、各ビームについてその関心領域全体にわたる平均信号振幅「A_i」が計算される。この平均振幅は対数圧縮した振幅データの平均値とすることや、線形振幅データの平均値とすることが可能である。この平均値は、走査変換したデータから計算することや、走査変換前の生データから計算することが可能である。工程１１１では、画像内の「Ｎ」個のビームのそれぞれについて「Ｍ」個のビームにわたる領域平均値「L_i」を計算することが可能である。領域平均値は「A_i」値の単純平均とすることが可能であり、あるいは空間重み付き平均値とすることが可能である。平均化領域の長さ「Ｍ」は、画像データの関数であることがあり、また固定とすることやユーザによる選択式とすることがある。

【００７２】

工程１１２では、あるビームに関する関心領域は、「A_i」が少なくともある指定のしきい値だけL_iより小さい場合に血管内部にあるものと見なされる。こうしたビームは「ｄａｒｋ」とラベル付けされる（無エコー領域は一般に黒い画素を用いて表示されるため）。このしきい値は、血管の中心に位置するビームが「ｄａｒｋ」とラベル付けされるように設定される。しかしこのやり方では、血管の辺縁が画像（特に、未補正の画像）内で明（ｌｉｇｈｔ）から暗（ｄａｒｋ）への急峻な遷移でないため、ビームのうち血管の内部にあるが辺縁の近傍にあるようなビームが「ｄａｒｋ」とラベル付けされないことがことが多い。こうした状況におけるアーチファクトを回避するために、ラベル付けされた領域の周りにある近隣のビームもラベル付けされる。工程１１３では、「ｄａｒｋ」と特定

されたビームの前方「ｎ」個のビームと後方「ｎ」個のビームも「ｄａｒｋ」とラベル付けされる。「ｎ」は正しくない到着時間推定を有していない領域内での補正の有効性が低下することと、正しくない推定到着時間誤差のために生じるアーチファクトを回避することとの間での折衷によって選択される。工程１１４では、相関和を信頼可能または信頼不可であるとラベル付けする図７の工程１０４に記述したマスク内にこの「ｄａｒｋ」とラベル付けされたビームが組み入れられる。

【００７３】

正しくない到着時間誤差推定値を生成する傾向がある画像内のフィーチャの別の例は、極めて高輝度のターゲット、すなわち音波の強反射体である。図１１は、ＲＯＩ１２８の直ぐ外側に位置した高輝度の散乱体１２６を表している。高輝度散乱体の一例は、典型的には周囲の組織と比べてかなり輝度が高くなる横隔膜である。高輝度散乱体がＲＯＩの直ぐ外側に位置していると、送信ビームのサイドローブに関連する音波がこの高輝度散乱体で反射し、ＲＯＩからの受信信号に顕著な寄与を及ぼすことになる。高輝度ターゲット１２６から反射されたサイドローブ音響エネルギー１３２は、主ビーム経路内の組織１２８から反射される音波１３０とほとんど同じ大きさである。幾つかのケースでは、そのサイドローブ・エネルギーは関心領域から反射される音波より大きい。

【００７４】

一実施形態では、画像内に高輝度ターゲットが検出されると、この高輝度散乱体の近傍にある収差体（ａｂｅｒｒａｔｏｒ）の推定値を無視し、その領域に関する補正値は周囲にある未影響の推定値から補間される。別の実施形態では、ＲＯＩのサイズのレンジを大きくし高輝度散乱体の影響を低下させている。

【００７５】

画像処理アルゴリズムは、補正値を適用した後に現れる画像内で不連続性を検出するために用いられることがある。同様に、画像処理アルゴリズムによって画像のうちの輝度の改善、より急峻な境界、及びより適正な統計分布をもつ領域を検出し、これらの補正値を正しい可能性がより高いとラベル付けすることも可能である。各領域内の推定値の信頼度を定量化することによって、各領域にわたる相関和に対する重み付けフィルタを使用することが可能となり、これによって信頼可能な相関和と比較した信頼不可の相関和による寄与が低下することになる。

【００７６】

トランスジューサに対する組織の動きを決定し定量化するために画像が使用されることもある。トランスジューサまたは組織が動くと、到着時間誤差のパターンもトランスジューサ全体にたわってシフトする。到着時間誤差パターンの計測とビーム形成時間遅延の補正の間にかなりの時間間隔が存在する場合、このシフトのために、そのビーム形成チャンネルに対してビーム形成時間遅延補正値が正しく適用されなくなり、これにより画像の改善が最適に至らない結果となる可能性がある。到着時間誤差パターンのシフトを推定することによって、シフトの補償が可能となる。

【００７７】

上述した発明は、フィルタ処理前に相関和を正規化することによって得られる確度の向上を含め幾つかの利点を有する。複素相関和の振幅は相関させる２つの信号間の類似性の１つの尺度である。フィルタ処理工程の前に相関和を正規化することが、信頼不可の相関和と比べて信頼可能な相関和に対してより大きな重みを置かせることになる。正規化を用いないと例えば、その信号は極めて大きいが雑音性であるような素子による素子フィルタ処理済み相関和に対する寄与が、その信号は小さいが素子に対する時間遅延推定値が信頼可能であるような近隣の素子と比べてより大きくなる。同様に、輝度が異常に大きいが雑音性であるビームによるフィルタ処理済み相関和に対する寄与も、時間遅延推定値が信頼可能である近隣のビームと比べてより大きくなる。

【００７８】

本方法は相関和の正規化によって「不感性の（ｄｅａｄ）」あるいは極めて雑音性のトランスジューサ素子の寄与を最小化しており、これは雑音性のチャンネル信号ではビーム

和信号との相関が小さくなることに由来する。したがって、不感性や雑音性のトランスジューサ素子に関する、あるいは不感性や雑音性のシステムチャンネルに関する検出や補償に要する追加的な処理またはハードウェアが最小化される。

【００７９】

上述した方法はさらに、雑音性位相に関する簡単な推定器を用いて雑音性位相の領域を厳正に無視しており、これにより計算のために複雑で高価なハードウェアを要することなく画像アーチファクトの導入が最小化される。図１２は一例として雑音性位相推定の領域及びデータマスクを表しているが、ここではデータマスクは、その推定値が信頼可能であることを示すように０となる素子１８Ｉと１８Ｑの間の雑音性領域内にある素子のうちの２つを適正に特定できていない。図１３は、信頼不可であるとマーキングされた（すなわち、データマスクが１である）素子に関する相関和を相関和の振幅によって置き換え、引き続きこの相関和をフィルタ処理した結果を表している。雑音性相関和のうちの２つは修正されていないが、フィルタ処理済みで修正済みの相関和の位相は望みの通りに雑音性領域全体にわたってゼロに近い。

【００８０】

本発明は、信頼可能な到着時間推定値が利用可能なビームとその到着推定値が信頼不可であるようなビームとの間で滑らかな補間を行い、これによってこれら領域間での画像上に邪魔になる境界や不連続性が導入されるのが回避される。図１４は、ある素子に関する相関和位相をビーム番号の関数として表した図である。１８Ｉ～１８Ｑの近傍のビームはこの例では信頼不可であるとマーキングされると共に、その相関和の位相がゼロに設定されて、振幅が保持される。フィルタ処理後の位相を図１５に表している。その位相は、雑音性領域の左側境界の近くにおいてゼロまで滑らかに低下し、また雑音性領域の左側境界の近くにおいてゼロから滑らかに増加している。同じ滑らかな補間はこれらのビームのすべての素子に対して実施されており、これによって補正済みビームと未補正ビームの間の画像上での遷移が滑らかとなる。

【００８１】

本発明のある種の特徴についてのみ本明細書において図示し説明してきたが、当業者によって多くの修正や変更がなされるであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の真の精神の範囲に属するこうした修正や変更のすべてを包含させるように意図したものであることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【００８２】

【図１】本発明の一態様に従って実現させた超音波システムの一実施形態のブロック図である。

【図２】本発明の一態様によるビーム形成器システムの一実施形態のブロック図である。

【図３】到着時間誤差を推定し時間遅延補正値を生成する一方法を表した流れ図である。

【図４】トランスジューサ素子とそのそれぞれの複素相関和の位相との比較を表したグラフである。

【図５】トランスジューサ素子とそのそれぞれの複素相関和の位相との比較を表したグラフである。

【図６】トランスジューサ素子とそのそれぞれの複素相関和の位相との比較を表したグラフである。

【図７】複素相関和をラベル付けする一方法を表した流れ図である。

【図８】画像データを用いて相関和をラベル付けする一方法を表した流れ図である。

【図９】関心領域の近傍における血管の存在を表している組織の画像である。

【図１０】関心領域の近傍における血管の存在を検出するための一方法を表した流れ図である。

【図１１】関心領域の近傍における高輝度の散乱体の存在を表している組織の画像である。

【図１２】トランスジューサ・アレイ内のトランスジューサ素子に関する複素相関和位相

及び対応するデータマスクを表したグラフである。
【図１３】トランスジューサ・アレイ内のトランスジューサ素子に関する複素相関和位相及び対応するデータマスクを表したグラフである。
【図１４】トランスジューサ・アレイ内のトランスジューサ素子に関する複素相関和位相及び対応するデータマスクを表したグラフである。
【図１５】トランスジューサ・アレイ内のトランスジューサ素子に関する複素相関和位相及び対応するデータマスクを表したグラフである。
【符号の説明】
【００８３】
１０　超音波システム
１２　収集サブシステム
１４　処理サブシステム
１６　撮像対象
１８　トランスジューサ・アレイ
１８Ａ～１８Ｚ　トランスジューサ素子
２０　Ｔ／Ｒ切り替え回路
２２　送信器
２４　受信器
２６　ビーム形成器システム
２８　制御プロセッサ
３０　復調器
３２　画像モードプロセッサ
３４　走査変換器
３６　表示プロセッサ
３８　モニタ
４０　ユーザインタフェース
４２　リモート接続サブシステム
４４　Ｗｅｂサーバ
４６　インタフェース
４８　データリポジトリ
５０　撮像ワークステーション
６２　ビーム形成器遅延
６２Ａ～６２Ｚ　ビーム形成器遅延素子
６４　加算器
６８　複素フィルタ
７０　相関器プロセッサ
７０Ａ～７０Ｚ　相関器プロセッサ
７４　相関和プロセッサ
１２０　関心領域
１２２　血管
１２４　組織
１２６　高輝度の散乱体
１２８　関心領域
１３２　サイドローブ・エネルギー

【図１】

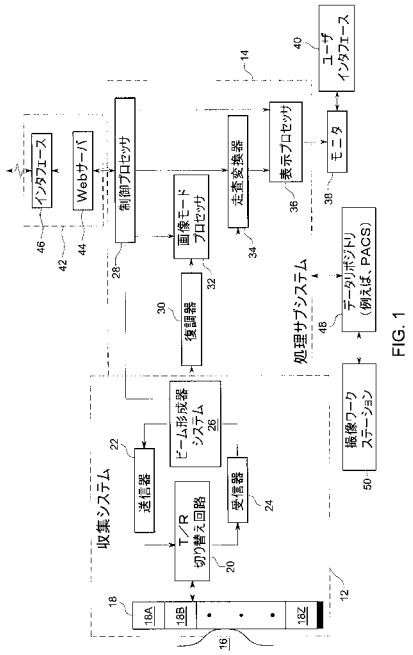

FIG. 1

【図２】

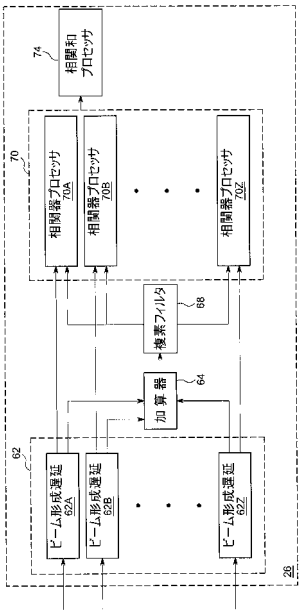

FIG. 2

【図３】

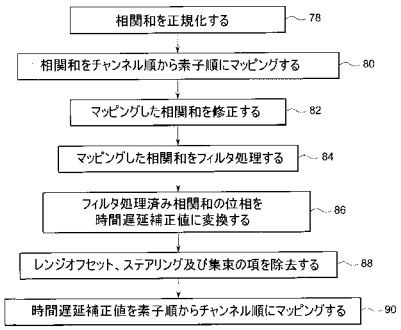

FIG. 3

【図５】

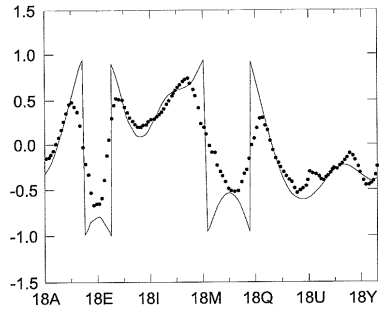

FIG. 5

【図４】

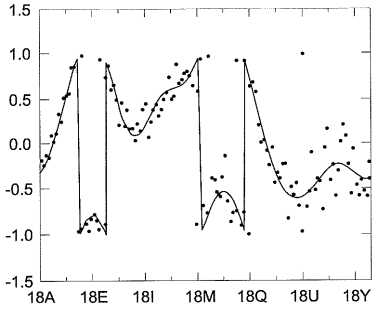

FIG. 4

【図６】

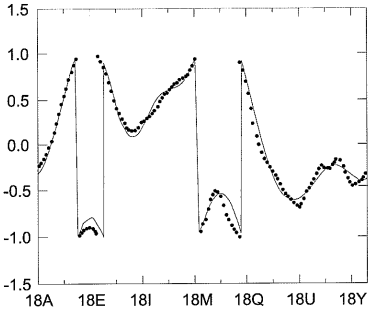

FIG. 6

【図７】

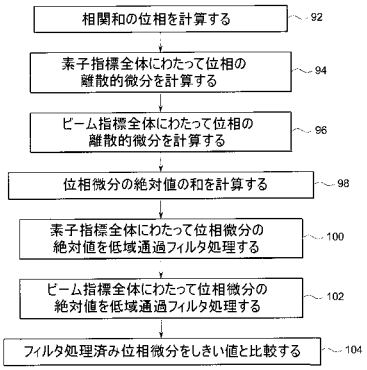

FIG. 7

【図８】

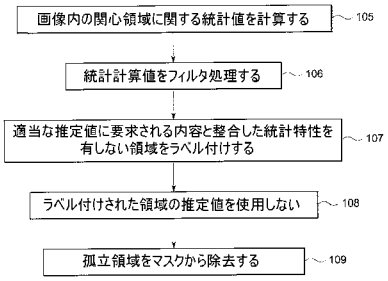

FIG. 8

【図９】

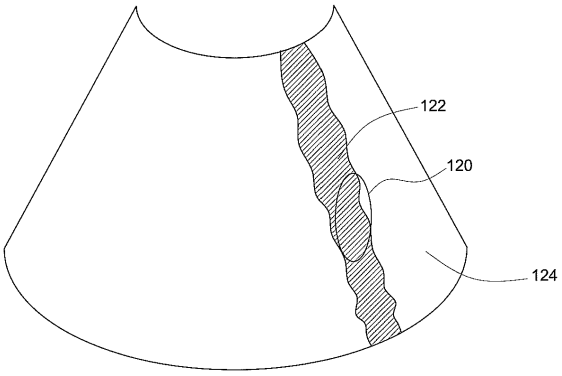

FIG. 9

【図１０】

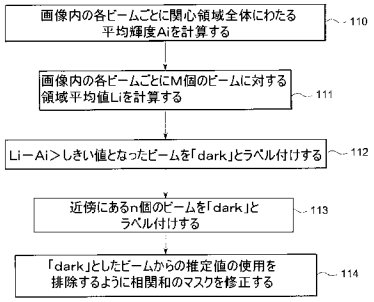

FIG. 10

【図１１】

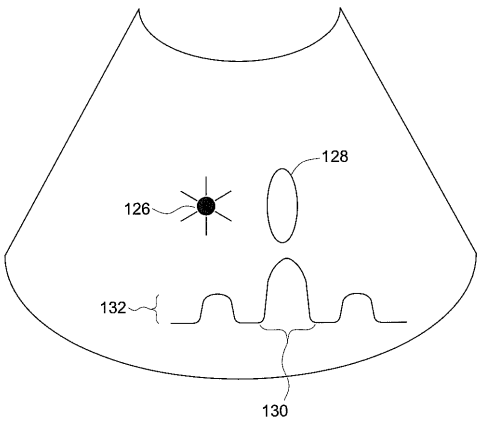

FIG. 11

【図１２】

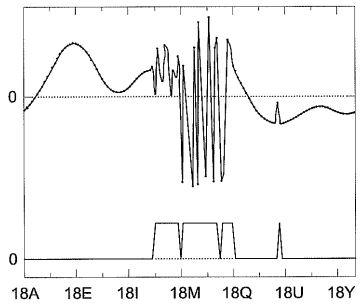

FIG. 12

【図１３】

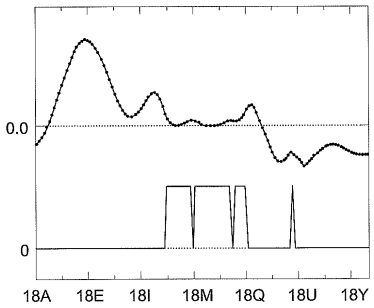

FIG. 13

【図１４】

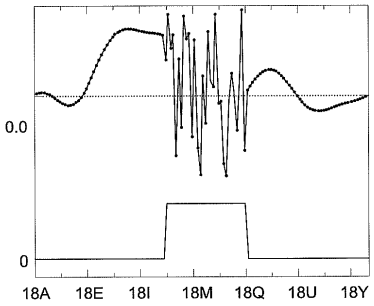

FIG. 14

【図１５】

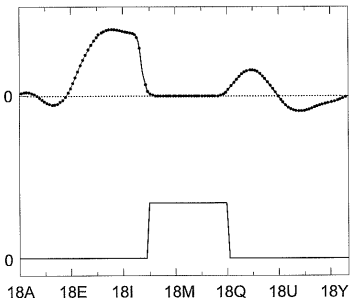

FIG. 15

フロントページの続き

(72)発明者　クリストファー・ロバート・ハザード
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、グランド・ブールヴァード、２１２１番

審査官　冨永　昌彦

(56)参考文献　特開２００６－０１５１３８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ａ６１Ｂ　　８／００