

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6469876号
(P6469876)

(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)

(51) Int.Cl. F I
A 6 1 B 8/08 (2006.01) A 6 1 B 8/08

請求項の数 12 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-539155 (P2017-539155)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(86) (22) 出願日	平成28年9月5日(2016.9.5)	(74) 代理人	110000888 特許業務法人 山王坂特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/076003	(72) 発明者	浅見 玲衣 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
(87) 国際公開番号	W02017/043442	(72) 発明者	田中 智彦 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
(87) 国際公開日	平成29年3月16日(2017.3.16)	(72) 発明者	川畑 健一 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株 式会社日立製作所内
審査請求日	平成29年10月23日(2017.10.23)		
(31) 優先権主張番号	特願2015-176044 (P2015-176044)		
(32) 優先日	平成27年9月7日(2015.9.7)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波撮像装置及び超音波信号処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

検査対象に接触し超音波を送受する超音波探触子と、当該超音波探触子に超音波信号を送信するとともに超音波探触子からの受信信号を受信する送受信部と、前記受信信号を処理する信号処理部と、を有し、

前記信号処理部は、複数回の送信に対応する複数の受信信号を用いて前記複数回の送信の間の前記検査対象の内部組織の変位及び/又は歪みを算出する弾性情報演算部を有し、

前記弾性情報演算部は、前記複数の受信信号の包絡線の相関を算出する相関演算部と、前記複数の受信信号に対し、包絡線の強度を補正する強度補正部と、前記相関演算部の演算結果と前記強度補正部により補正された複数の受信信号とを用いて、前記複数の受信信号の位相差を算出する位相差算出部と、を備え、前記位相差算出部が算出した位相差を用いて、前記変位及び/又は歪みを算出することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項2】

請求項1記載の超音波撮像装置であって、

前記強度補正部は、補正值として前記受信信号の振幅の逆数を用いることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項3】

請求項1記載の超音波撮像装置であって、

前記強度補正部は、補正值として、前記受信信号の振幅の最大値を、前記受信信号の振幅で除した値を用いることを特徴とする超音波撮像装置。

10

20

【請求項 4】

請求項 1 記載の超音波撮像装置であって、
前記強度補正部が用いる補正值の入力を受け付ける入力部をさらに備えることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 5】

請求項 1 記載の超音波撮像装置であって、
前記弾性情報演算部は、前記受信信号を構成する複数のサンプル点のデータのうち、振幅値が閾値を超えるサンプル点のデータを間引き処理する間引き部と、算出した前記変位及び / 又は歪みのうち値が欠落したデータを補間する補間部と、をさらに備えることを特徴とする超音波撮像装置。

10

【請求項 6】

請求項 5 記載の超音波撮像装置であって、
前記間引き部は、前記受信信号のサンプル点のデータを統計処理することにより求められた数値が閾値を超えるか否かを判定することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 7】

請求項 6 記載の超音波撮像装置であって、
前記間引き部は、前記受信信号の各サンプル点の振幅値と全サンプル点の平均値との差（絶対値）が閾値を超えるか否かを判定することを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 8】

請求項 5 記載の超音波撮像装置であって、
前記間引き部が用いる閾値を設定する入力部をさらに備えることを特徴とする超音波撮像装置。

20

【請求項 9】

請求項 1 又は 5 に記載の超音波撮像装置であって、
前記信号処理部は、前記受信信号について、中心となる周波数以外の成分を除去又は低減する帯域制限部をさらに備えることを特徴とする超音波撮像装置。

【請求項 10】

検査対象から取得した時間的に連続する複数フレームの超音波受信信号を処理して、前記検査対象の弾性情報を取得する超音波信号処理方法であって、
前記複数フレームの超音波受信信号のそれぞれの振幅を算出するステップと、
前記複数フレームの超音波受信信号の相関関数を求め、超音波受信信号の包絡線のピークのずれを算出するステップと、
前記複数フレームの超音波受信信号を、それぞれの振幅を用いて、強度補正するステップと、
前記包絡線のピークのずれと、強度補正後の前記複数フレームの超音波受信信号とを用いて前記複数フレームの超音波受信信号の位相差を算出するステップと、
前記位相差を用いて、前記複数フレームの超音波受信信号取得の際の時間推移における前記検査対象の変位を算出するステップと、
を含む超音波信号処理方法。

30

【請求項 11】

請求項 10 に記載の超音波信号処理方法であって、
前記強度補正するステップは、前記複数フレームの超音波受信信号に、振幅値の逆数をかけて強度補正することを特徴とする超音波信号処理方法。

40

【請求項 12】

請求項 10 に記載の超音波信号処理方法であって、
前記強度補正するステップの前に、前記超音波受信信号から、振幅値が所定の閾値を超えるデータ点を間引くステップを含み、
前記変位を算出するステップの前又は後に、値が欠損するデータ点を補間するステップを含むことを特徴とする超音波信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波撮像装置に関し、特に超音波撮像装置のエラストグラフィ技術に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波撮像装置は、超音波を生体内に送信し、反射波（エコー信号）を受信し、その強度と時間に応じて生体内の筋肉、内臓などの形態を画像化する装置である。超音波撮像装置では、この形態イメージングの他に、エコー信号の周波数シフトから血流イメージングや速度推定を行うドプラーイメージング、反射波生体内の硬さの違いを画像化するエラストグラフィなどの機能イメージングが可能である。

10

【0003】

エラストグラフィの手法には、大きく分けて二つある。一つは、収束超音波などの外部刺激によって生体内に局所変位を生成し、そこから伝搬するせん断波の伝搬速度を計測して、一定の仮定のもとに硬さを計算する手法である。もう一つは、対象部位に一定の応力を加えて歪ませ、応力を加える前と後のエコー信号から歪の大きさを推定し硬さの分布を推定する手法である。後者の手法（以下、この手法をエラストグラフィという）は、比較的計測が容易であり臨床上広く実用化されている。

【0004】

エラストグラフィにおいて、変形の前後に得たエコー信号から変形量を演算する手法として、複合自己相関法が知られている（非特許文献1、特許文献1）。この手法は、変形前後の連続する二つのエコー信号間で、折り返しの生じないゾーンを大まかに検出し、次に位相差により細かく変位を求めていく手法である。複合自己相関法は、ピクセル単位の大きな動きから、ピクセル未満の細かな動きまでを、比較的短時間の計算で求める手法であり、エラストグラフィに最も適した手法であるといえる。

20

【0005】

複合自己相関法の基本である自己相関法は、血流を見るためのドプラー法で用いられている方法であり、振幅・周波数が一定であるという仮定がある。しかし対象物に散乱があることが前提のエラストグラフィでは、必ず散乱による振幅の揺らぎと信号の広帯域化が生じ、振幅・周波数一定の仮定は現実的ではない。従って、自己相関法を基礎とする複合自己相関法も、細かな変位を求めるための位相差計算ステップで振幅の揺らぎの影響を受けやすい。このため、均一な硬さを持つべき生体組織においても、エコー強度の変化に対応するかのような模様が見えてしまう場合があるという問題がある。

30

【0006】

この問題を解決するために、特許文献2には、各相関演算が一定の窓幅を有していることに着目し、窓幅内の強度信号の情報を用いて重心位置を計算し、この重心位置を相関演算結果によって得られた変位の位置の補正に用いることが開示されている。しかしこの手法では、窓幅内で位相相関値を積算する際に与えられる振幅値の揺らぎのみが補正されるのであり、変位の計算そのものは補正されていない。また、補正の範囲が窓幅によって変わるために、積算時の補正の有効性は窓幅を広くした場合などに限られる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2008-136880号公報

【特許文献2】特開2012-130559号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】椎名毅他、複合自己相関法による実時間 Tissue Elasticity Imaging, J. Med. Ultrasonics Vol 26, No. 2 (1999)

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述したように、従来技術では、エラストグラフィに用いられる複合自己相関手法における課題、すなわち組織内散乱によって生じる反射エコー強度情報が位相差計算に影響を及ぼし、正しい演算結果が得られないという問題は解決されていない。一般的に、信号の広帯域化の問題を解決するために、空間フィルタを用いることが考えられるが、空間フィルタは、散乱体の大きさより優位に大きい構造物の硬さの違いを可視化する場合にしか有効ではない。散乱体と同程度の大きさの構造物の硬さの違いを可視化しようとするときには、空間フィルタで対処することはできない。

10

【0010】

本発明は、散乱体と同程度の大きさを持つ構造物についても、組織内散乱に起因する揺らぎが演算結果に与える影響を排除し、正しい演算結果を導出することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決する本発明の超音波撮像装置は、検査対象に接触し超音波を送受する超音波探触子と、当該超音波探触子に超音波信号を送信するとともに超音波探触子からの受信信号を受信する送受信部と、前記受信信号を処理する信号処理部と、を有し、前記信号処理部は、複数回の送信に対応する複数の受信信号を用いて前記複数回の送信の間の前記検査対象の内部組織の変位及び／又は歪みを算出する弾性情報演算部を有する。前記弾性情報演算部は、前記複数の受信信号の包絡線の相関を算出する相関演算部と、前記複数の受信信号に対し、包絡線の強度を補正する強度補正部と、前記相関演算部の演算結果と前記強度補正部により補正された複数の受信信号とを用いて前記複数の受信信号の位相差を算出する位相差算出部と、を備える。前記弾性情報演算部は、前記位相差算出部が算出した位相差を用いて、前記変位及び／又は歪みを算出する。

20

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、強度補正された信号から求めた位相差を加味して変位或いは歪みを算出するので、自己相関演算における信号強度に依存する演算誤差をなくことができ、正確な演算結果が得られる。

30

【0013】

その結果、エコー強度の揺らぎに影響されない、すなわち構造物に依存する情報劣化を防いだエラストグラフィを実現することができる。また強度補正は窓幅に関係なく行うことができるので、補正のために窓幅を広くするなどの処理を不要とし、高空間分解能を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明が適用される超音波撮像装置の全体概要を示す図。

【図2】第一実施形態の信号処理部の機能ブロック図。

【図3】第一実施形態の信号処理部の処理を示すフロー図。

40

【図4】相関演算部の処理を示すフロー図。

【図5】(a)、(b)は、それぞれ、入力部の例を示す図。

【図6】第二実施形態の弾性情報演算部の機能ブロック図。

【図7】第二実施形態の弾性情報演算部の処理を示すフロー図。

【図8】実施例及び比較例の歪み計算結果を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の超音波撮像装置の実施形態を説明する。

本実施形態の超音波撮像装置は、エラストグラフィ機能を備えた超音波撮像装置であって、検査対象に接触し超音波を送受する超音波探触子と、当該超音波探触子に超音波信号

50

を送信するとともに超音波探触子からの受信信号を受信する送受信部と、前記受信信号を処理する信号処理部と、を有し、信号処理部は、複数回の送信に対応する複数の受信信号を用いて前記複数回の送信の間の前記検査対象の内部組織の変位及び／又は歪みを算出する弾性情報演算部を有する。

【0016】

弾性情報演算部は、前記複数の受信信号の包絡線の相関を算出する相関演算部と、前記複数の受信信号に対し、包絡線の強度を補正する強度補正部と、前記相関演算部の演算結果と前記強度補正部により補正された複数の受信信号とを用いて、前記複数の受信信号の位相差を算出する位相差算出部と、を備え、前記位相差算出部が算出した位相差を用いて、前記変位及び／又は歪みを算出する。

10

【0017】

以下、本実施形態の超音波撮像装置の構成を、図1を参照して説明する。図1に示す超音波撮像装置は、主な要素として、検査対象（例えば人体）100の表面に接触して超音波を送受する超音波探触子（以下、単に探触子という）10、探触子10に超音波信号を送信するとともに、検体対象からの超音波を受波した探触子10が出力する超音波信号（受信信号）を受信する送受信部20、受信信号を処理し、BモードやMモードなど検査対象の画像を作成したり、検査対象の内部組織の弾性情報などを計算する信号処理部30、送受信部20や信号処理部30に処理や制御に必要な情報を操作者が入力するための入力部40、信号処理部30で作成された画像その他の情報を表示する表示部50、及び装置全体を制御する制御部60を備えている。

20

【0018】

探触子10は、セラミック素子等の、電気信号と音響信号との変換を行うトランスデューサ素子を有し、検査対象内の二次元或いは三次元の領域に超音波パルスを照射するとともに、領域からの反射波であるエコー信号を受信する。二次元或いは三次元の領域に超音波を照射するための走査方式としては、機械走査方式及び電子走査方式があり、そのいずれを採用してもよいが、ここでは複数のトランスデューサ素子を二次元方向に配列した電子走査方式の探触子10を例に説明する。一つの超音波パルスの反射波を探触子10の各トランスデューサ素子が受信した信号は、一つのフレームデータとして扱われる。即ち一つのフレームデータは、超音波の送受信方向に沿った複数ラインのRF信号から構成される。

30

【0019】

送受信部20は、探触子10に対し送信パルス用電気信号を送出する送信ビームフォーマ（BF）21、検査対象からの反射波である超音波（音響信号）を受信した探触子10が送受する電気信号を受信しRFデータを生成する受信ビームフォーマ（BF）23、及び、送受信の切り替えを行う送受信制御部25を備えている。

【0020】

送受信部20の動作は通常の超音波撮像装置と同様であり、簡単に説明すると次のとおりである。まず送信BF21から送信パルス用電気信号が、図示を省略したデジタルアナログ（D/A）変換器を経て探触子10に送られ、探触子10から検査対象に向かって超音波（音響信号）が発信される。検査対象の内部を伝搬する過程で反射した音響信号が、探触子10に受信され、電気信号に変換され、不図示のA/D変換器を経て、受信データとして受信BF23に送られる。受信BF23は、複数の素子で受信した信号に対して、送信BFが送信時に掛けた時間遅延を考慮した加算処理を行う。加算処理後の受信信号は、その後、不図示の補正部で減衰補正等の処理がなされた後、RFデータとして信号処理部30に送られる。この送受信部20の動作は送受信制御部25が制御する。

40

【0021】

信号処理部30は、受信BF23が出力するRFデータから、複素RFデータを生成する直交検波部31と、バッファとしてフレームデータ（ここでは複素RFデータ）を蓄積するメモリ部32と、RFデータから振幅を算出する振幅演算部33と、時間的に連続する2フレーム分の複素RFデータを用いて、自己相関演算や歪み算出等を行う弾性情報演

50

算部 3 4 と、RF データを用いて超音波の照射の断層画像を生成する断層画像生成部 3 5 と、弾性情報演算部 3 4 で算出した歪み等の弾性情報や断層画像生成部 3 5 が作成した断層画像などを用いて表示部 5 0 に表示させる表示画像を作成する表示画像作成部 3 6 と、を備えている。また図 1 には示していないが、連続して収集した RF 信号の周波数シフトからドプラー速度などを算出するドプラー演算部などを備えることもできる。

【 0 0 2 2 】

直交検波部 3 1 は、送受信制御部 2 5 にプリセットされていた送信・受信パラメータ或いは入力部 4 0 を介して任意に設定された値に基づき、RF データから複素 RF データを生成する。

【 0 0 2 3 】

メモリ部 3 2 は、フレームデータを一時的に蓄積するものである。本実施形態の超音波撮像装置によりエラストグラフィを行う場合、メモリ部 3 2 は、時間的に連続する二つのフレームデータを蓄積する。時間的に連続する二つのフレーム分のデータを蓄積した後、超音波の送受信方向に沿った特定のラインのデータを、二つのフレーム分を一組として後段の演算部等に渡す。

【 0 0 2 4 】

振幅演算部 3 3 は、複素 RF データより信号の振幅値を計算し、弾性情報演算部 3 4 と断層画像生成部 3 5 に送る。弾性情報演算部 3 4 は、公知の複合自己相関演算を基礎として、修正された手法により、検査対象内部の所望の構造の変位や歪みを算出する。弾性情報演算部 3 4 の詳細は後述する。

【 0 0 2 5 】

断層画像生成部 3 5 は、図示を省略するが、普及している超音波撮像装置で一般的に用いられているゲイン制御、対数圧縮などのポストプロセス処理を行う処理部を有し、振幅演算部 3 3 から送られる振幅情報に対し適切な前処理を行って、検査対象内部の形態を示す断層画像を生成する。

【 0 0 2 6 】

表示画像作成部 3 6 は、図示を省略したスキャンコンバータやシネメモリを含み、断層画像生成部 3 5 が作成した断層画像と弾性情報演算部 3 4 から出力される弾性情報とをもとに、カラスケールの調整、画像の重畳の調整などを行い、ビデオデータを作成し、表示部 5 0 に送り、表示部 5 0 に表示させる。

【 0 0 2 7 】

制御部 6 0 は、装置本体内のデータフローや各要素の動作の制御を行う。送受信を制御する送受信制御部 2 5 が制御部を兼ねることも可能である。

【 0 0 2 8 】

入力部 4 0 は、信号処理部 3 0 や制御部 6 0 の処理に必要な指令やパラメータ等の数値を操作者が入力するための装置で、キーボード、マウス、タッチパネル等の 1 ないし複数の入力装置からなる。表示部 5 0 は、超音波画像、弾性情報及びその他の付帯情報、例えば患者 ID や撮影日時などを表示するための表示装置である。表示部 5 0 は GUI を表示させて入力部 4 0 として機能させることも可能である。

【 0 0 2 9 】

上述した超音波撮像装置の構成において、一部の要素、例えば、送受信制御部 2 5、制御部 6 0 (送受信制御部 2 5 を含む場合もある)、及び信号処理部 3 0 (特に各種演算や画像生成の機能)は、中央処理装置 (CPU) や GPU (Graphics Processing Unit) とメモリを備えるコンピュータシステムによって実現可能であり、その機能は CPU 或いは GPU に組み込まれた或いは CPU 或いは GPU が外部から読み込んだソフトウェアで実現できる。またこれら要素の一部の機能は、ASIC や FPGA などのハードウェアに置き換えることも可能である。

【 0 0 3 0 】

超音波撮像装置でエラストグラフィを行う場合、検査対象の表面に接触させる探触子 1 0 を、所定の方向、例えば超音波の照射方向と平行な方向の圧力を加える。そして圧力を

10

20

30

40

50

加える前と後の二つのフレームデータを取得し、これらのデータ間の演算によって、圧力によって生じた検査対象内部の構造体の変位を算出し、さらに変位から歪みや弾性率などの諸量を弾性情報として算出する。本実施形態の超音波撮像装置は、変位及び歪みを算出する手法として複合自己相関法を基本とする、新たな手法を採用する。この手法を実現するための、信号処理部 30 の構成、特に弾性情報演算部 34 の構成を以下説明する。

【0031】

弾性情報演算部 34 は、図 2 の機能ブロック図に示すように、強度補正部 341、相関演算部 343、歪計算部 345、ポストプロセス部 347 を有している。歪計算部 345 は、位相差算出部 345a と歪算出部 345b を含む。また必須ではないが、RF 信号の帯域を中心周波数近傍に制限する帯域制限部 349 を備えることができる。

10

【0032】

強度補正部 341 は、弾性情報演算部 34 に入力された二つの RF データに対し、振幅演算部 33 が算出した振幅を用いた補正を行う。二つの RF データは、圧力印加前後に取得された受信データである。強度補正部 341 は、これら二つの RF データを、振幅（強度）の影響を受けない位相情報を含む RF データに補正する。

【0033】

相関演算部 343 は、複合自己相関法の第一段階の処理、すなわち包絡線の相関を用いて折り返し（エイリアシング）の生じない範囲を確定する処理を行う。歪計算部 345 は、相関演算部 343 の演算結果と強度補正部 341 で補正された RF データとを用いて、複合自己相関法の第二段階である位相差の算出を行うとともに（位相差算出部 345a の機能）、位相差を用いて変位や歪等の諸量を算出する（歪算出部 345b の機能）。ポストプロセス部 347 は、歪量の階調化やカラーマッピングなどを行う。

20

【0034】

次に図 3 のフローを参照して、信号処理部 30 の動作の詳細を説明する。

信号処理部 30 に入力される信号、すなわち受信 BF 23 で整相加算された RF 信号 300 は、次式（1）のように表すことができる。

【数 1】

$$x(t) = A(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi(t)) \quad (1)$$

式中、A は振幅値、 f_0 は基本周波数、 ϕ は位相を表す。

30

【0035】

直交検波部 31 は、信号処理部 30 に入力された RF 信号を複素 RF 信号に変換する（S301）。変換された複素 RF 信号（QI 信号ともいう）は、それぞれ、式（2）、（3）で表される。

【数 2】

$$I(t) = \frac{1}{2} A(t) \cos \phi(t) \quad (2)$$

【数 3】

$$Q(t) = \frac{1}{2} A(t) \sin \phi(t) \quad (3)$$

40

【0036】

振幅演算部 32 は、これら複素 RF 信号 I、Q から次式（4）により振幅値 A を算出する（S302）。

【数 4】

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (4)$$

【0037】

50

算出された振幅値 A は、断層画像生成部 35 において断層画像の生成に用いられるとともに、後述する弾性情報演算部 34 の強度補正部 341 で R F 信号の強度補正に用いられる。

【0038】

次に弾性情報演算部 34 は、一方で相関演算部 343 による演算を行って複合自己相関法の第一段階に相当する処理を行い (S303)、二つの R F 信号の包絡線の相関からエイリアシングを生じない範囲、即ち大雑把な位相差の範囲を確定する。また他方で複素 R F 信号に対し強度補正部 341 で強度補正を行った後、補正後複素 R F 信号の位相差を算出する (S304 ~ S306)。

【0039】

相関演算部 343 が行う演算 (S303) は、詳しくは非特許文献 1 に記載されているので、ここではその概略を、図 4 を参照して説明する。

【0040】

まず二つのフレームの複素 R F 信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ のうち一方、例えば信号 $y(t)$ について参照信号 (基本周波数の信号) の周期 T の半整数倍 ($n/2$ 倍) だけシフトした信号 $y(t - nT/2)$ と、信号 x との相互相関関数 R_{xy} を求める (S401)。この相互相関関数は、包絡線 (即ち $A(t)$) の自己相関関数と見做すことができ、その位相 (位相差) は次式 (5) で表される。

[数 5]

$$\begin{aligned} \phi(t; n) &= \phi_0(t - nT/2) \\ &= \phi(t; 0) - n \end{aligned} \quad (5)$$

【0041】

式中、 $\phi(t; n)$ は二つのフレーム間の圧縮による時間推移である。変位量が小さい場合には、 $\phi(t; 0)$ は、包絡線の自己相関関数の実部 Q_{xy} と虚部 I_{xy} とから次式 (6) により求められる位相 $\phi(t; 0)$ と等しい。

[数 6]

$$\begin{aligned} \phi(t; 0) &= \arctan(I_{xy} / Q_{xy}) \\ \phi(t; 0) &= \phi(t; 0) \end{aligned} \quad (6)$$

【0042】

しかし、位相差が大きい場合 ($|\phi| > \pi/2$) には、折り返し (エイリアシング) を生じ、 ϕ は Q_{xy} 、 I_{xy} から一意に求めることはできない。そこで整数 n のうち、エイリアシングを生じない整数 m を求める。このため、まず式 (7) により $x(t)$ と $y(t - nT/2)$ の相関関数の絶対値 $C(t; n)$ を計算し (S402)、 C が最大となる n を m とする (S403)。

【数 7】

$$C(t; n) = \frac{|R_{xy}(t; n)|}{\sqrt{R_{xx}(t; 0)R_{yy}(t; n)}} \quad (7)$$

$$m = \max\{n | C(t; n)\}$$

【0043】

これにより $n = m$ の場合は、 $\phi(t; m) = \phi(t; m)$ が成り立ち、位相 (即ち信号 x 、 y の位相差) が求められることになる。

【0044】

他方、強度補正部 341 は、図 3 のステップ S302 で得られた振幅値 A を補正に用いて、直交検波前の R F 信号を補正する (S304)。具体的には振幅値 A の逆数 ($1/A$) を強度補正係数 (補正值) とし、直交検波前の R F 信号に A の逆数 ($1/A$) を掛ける。強度補正係数として、振幅の逆数を用いる代わりに、一つの振幅の最大値 A_{max} を基準点とし、基準点に対する振幅の大きさの逆数 (A_{max}/A) を用いてもよい。強度補正係数は、上述した ($1/A$) 或いは (A_{max}/A) を予め設定していてもよいし、操

10

20

30

40

50

作者が入力部 40 (例えば図 5 に示すような GUI) を介して、いずれかを選択する、あるいはこれらに適当な係数をかけた値を入力するようにしてもよい。図 5 (a) は強度補正係数を入力する例、(b) は規定値を選択する例を示している。

【0045】

なお、(1/A) を用いて強度補正した場合、信号の S/N が低い部分ではノイズの拡大が顕著になる。これを防止するために、予め、補正前の RF 信号に対し狭帯域な周波数フィルタを用いた演算処理を行い、中心となる周波数以外の成分を除く、もしくは重み付けフィルタなどによって中心周波数以外の成分を低減する、などの処理を行うことが好ましい。このようなフィルタを用いた演算処理は、上述した帯域制限部 349 にて実現される。

10

【0046】

次いで補正後の RF 信号を直交検波部 31 で直交検波し、補正後の複素 RF 信号を得る (S305)。直交検波後の補正複素 RF 信号 (QI 信号) は式 (8)、(9) で表される。

【数 8】

$$\begin{aligned} I_x^{corr}(t) &= \frac{1}{2} \cos(\phi t) \\ I_y^{corr}(t) &= \frac{1}{2} \cos(\phi t + \Phi) \end{aligned} \quad (8)$$

20

【数 9】

$$\begin{aligned} Q_x^{corr}(t) &= \frac{1}{2} \sin(\phi t) \\ Q_y^{corr}(t) &= \frac{1}{2} \cos(\phi t + \Phi) \end{aligned} \quad (9)$$

式中、QI 信号の下付文字 x、y は、それぞれ第一フレーム、第二フレームのデータであることを示す。

【0047】

式 (8)、(9) からわかるように、補正後の複素信号は振幅値の影響を受けない。位相差算出部 345a は、二つのフレームの RF 信号について求めた補正後複素 RF 信号の複素積から、前掲の式 (6) の $Q \times y$ 、 $I \times y$ を求め、それらの「arctan」を用いて位相 (位相差) を算出する (S306)。

30

【0048】

次に歪計算部 345 (歪算出部 345b) は、ステップ S303 で相関演算部 343 が求めた「m」と、ステップ S306 で求めた位相差を用いて、二つのフレーム間で生じた変位を算出する (S307)。変位 (t) は次式 (10) により求められる。

【数 10】

$$\begin{aligned} \delta(t) &= \left\{ \frac{\psi(t;0) \cdot \lambda}{4\pi} \right\} \\ &= \left\{ m + \frac{\Phi(t;m)}{\pi} \right\} \times \frac{\lambda}{4} \end{aligned} \quad (10)$$

40

式中、 λ は参照信号の波長である。

【0049】

次いで、上述した変位 δ を用いて対象となる場所での局所的な組織の歪量を算出する (S308)。歪み S は変位を深さ方向 (超音波の照射方向) に微分することにより求められる。即ち歪み S は次式 (11) で与えられる。

【数 1 1】

$$S(t) = \frac{d\delta(t)}{dt} \quad (11)$$

【0050】

具体的な算出方法としては、例えば、各サンプリング点の変位の差をサンプリング点間隔で割ることにより、深さ方向に沿った各点の歪みを計算することができる。

【0051】

ポストプロセス部 347 は、2つの連続するフレームから得られた歪値の代表値とばらつきから、歪値を階調化或いはカラーマッピングする(5309)。階調化或いはカラーマッピングした歪値は、例えば、断層画像生成部 35 が生成した断層画像上に重畳されて表示部 50 に表示させることができる。

10

【0052】

本実施形態によれば、複合自己相関法の位相差を求める計算において、強度補正を行った信号を用いることにより、散乱による振幅の揺らぎの影響をなくし、正確に位相差を算出することができる。また本実施形態における信号の強度補正は、窓幅の影響を受けない。従って補正のための窓幅を広くするなどの処理を不要とし、空間分解能を犠牲にすることなく補正を行うことができる。

【0053】

<第二実施形態>

20

本実施形態の超音波撮像装置は、上述した第一実施形態の超音波撮像装置の信号処理部 30 の弾性情報演算部 34 に、信号の間引き処理及び補間を行う機能を追加したことが特徴である。即ち、本実施形態の弾性情報演算部は、受信信号を構成する複数のサンプル点のデータのうち、振幅値が閾値を超えるサンプル点のデータを間引き処理する間引き部と、算出した前記変位及び/又は歪みのうち値が欠落したデータを補完する補間部と、をさらに備える。

その他の構成及び動作は第一実施形態と同様であるので、以下、第二実施形態に特徴的な部分を説明する。

【0054】

本実施形態の超音波撮像装置の弾性情報演算部 34 の機能ブロック図を図 6 に示す。図 6 において、図 2 と同じ要素は同じ符号で示し、重複する説明は省略する。図示するように、本実施形態の弾性情報演算部 34 は、間引き部 342、強度補正部 341、相関演算部 343、歪計算部 345、補間部 346、及び、ポストプロセス部 347 を有している。本実施形態の弾性情報演算部 34 は、第一実施形態の弾性情報演算部 34 に対し、間引き部 342 と補間部 346 が追加されている。本実施形態においても、RF 信号の帯域を中心周波数近傍に制限する帯域制限部 349 を備えていてもよい。

30

【0055】

間引き部 342 は、強度補正部 341 による補正に先立って、信号処理部 30 に入力した受信信号(RF 信号)から振幅が所定の閾値を超えるデータを間引く処理を行う。信号処理部 30 に入力される受信信号は、A/D 変換器により所定のサンプリング周波数でサンプリングされたデジタル信号であり、デジタル信号の各サンプル点のデータはそれぞれが振幅値を持つ。間引き部が各サンプル点のデータの振幅値を閾値と比較し、閾値を超えると、そのサンプル点の振幅値をブランク或いはゼロにする。

40

【0056】

間引き部 342 における間引き処理によって演算に用いるデータに欠損がある。これに起因して、その後の演算結果にはデータの欠損を生じる。補間部 346 は、このような演算結果の欠損データを補間する。例えば、歪計算部 345 が算出する変位或いは歪値には、間引き部 342 で間引いたサンプル点に対応するデータ点の欠損がある。補間部 346 は、これらデータ点の欠損を補間する。

【0057】

50

以下、本実施形態における弾性情報演算部34の処理の詳細を、図7を参照して説明する。図7において、図4と同じ処理は同じ符号で示し、詳しい説明は省略する。

【0058】

まず振幅演算部33が、受信RF信号に直交検波して得た複素RF信号Q、Iを用いて振幅計算する(S301、S302)。次いで相関演算部343が、複合自己相関法の第一段階の包絡線相関計算を行う(S303)。それと並行して、強度補正部341が直交検波前のRF信号を用いて強度補正を行う(S310)。

【0059】

強度補正(S310)では、図6に示すように、まず、ステップS302で求めた振幅(各サンプル点の振幅)について、あらかじめ統計処理によって高周波のノイズ等を除去する。具体的には、まず一定の範囲のサンプル点について振幅値の平均値と標準偏差を算出する(S311)。次いで、各サンプル点の振幅値と平均値との差(絶対値)が一定の閾値以内かを判断する(S312)。閾値としては例えば標準偏差の整数倍の値を用いる。振幅値と平均値との差が所定の閾値を超えている場合には、間引き部342がそのサンプル点を間引き、以降の補正処理から除く(S313)。この間引き処理を行った後、強度補正部341はRF信号に補正值として例えば振幅値の逆数を掛けて強度補正を行う(S314)。

【0060】

なお間引き処理を行う際の統計処理の手法として、上記説明では振幅値の平均値と標準偏差を用いた場合を説明したが、マハラビノス距離を用いて振幅信号の外れ値を計算する手法などを採用してもよい。また統計処理に先立って、中心周波数の2倍以上の高周波ノイズを、ローパスフィルタを用いて取り除いておいてもよい。なお間引き部342が間引きの判断に用いる閾値は、所定の統計処理の手法に応じて予め設定していてもよいし、操作者が入力部40(例えば図5に示すようなGUI)を介して、統計処理の手法を選択するようにしてもよい。図5(a)は間引き閾値を入力する例、(b)は規定値に設定或いは規定値を選択する例を示している。

【0061】

このように強度補正した後のRF信号を直交検波して、複素RF信号を取得し(S305)、位相差を算出すること(S306)は第一実施形態と同じである。ただしステップS306で求めた位相差は値がないデータ点を含んでいる。

【0062】

次いでステップS303の演算結果とステップS306で求めた位相差を用いて、前掲の式(10)により変位を算出し(S307)、さらに歪値を算出する(S308)。算出された歪値は、補正処理のステップにおいて所定のデータ点の信号値を間引いたデータを用いているので、値がないデータ点を含んでいる。そこで補間部346で、この値がないデータ点の歪値を補間する(S315)。補間の方法は、線形補間、スプライン補間などの公知の手法を用いることができる。

【0063】

その後、歪値を階調化やカラーマッピングし、表示部50に表示される画像データを得る(S309)ことは第一実施形態と同様である。

なお図7では、補間処理(S315)を歪値算出処理(S308)後に行う場合を例示したが、原理的には補間処理を強度補正後、位相差検出前に行うことも可能である。但し、歪値算出ステップで誤差を顕在化させないためには、その後に行うことが好ましい。

【0064】

第一実施形態におけるRF信号の強度補正(S304)において、単純に信号の振幅値の逆数を掛けた場合には、S/Nが低い部分ではノイズの拡大が顕著になるが、本実施形態によれば、予めノイズが拡大するデータを間引いておき、歪値演算後に不足するデータを補間することにより、連続性があり且つノイズの影響を排除した弾性情報が得られる。なお本実施形態においても、第一実施形態と同様に、強度補正に先立って、狭帯域な周波数フィルタを用いた演算処理を行い、中心となる周波数以外の成分を除く、もしくは重み

10

20

30

40

50

付けフィルタなどによって中心周波数以外の成分を低減する、などの処理（帯域制限部 349 の機能）を行ってもよいことは言うまでもない。

【実施例】

【0065】

二つのフレームのRF信号を用いて歪計算のシミュレーションを行った。RF信号として、正弦波を用い、サンプリング周波数の1/8の周波数のキャリア波形に、1/42の周波数の変調をかけた波形と、その波形に1%歪を与えた波形とを作成し、これら二つの波形を連続する二つのフレームの信号とした。歪値は、第一実施形態の手法に従い、二つのRF信号の包絡線の相互相関を行う演算とRF信号の強度補正後に位相差を算出する処理とを行うことで算出される変位から算出した。また比較例として、RF信号の強度補正を行うことなく、従来の複合自己相関法により歪値を算出した。

10

【0066】

結果を図8に示す。図8中、左上の波形は、作成したRF信号、左下の波形は、信号強度補正を行った後の波形である。また右側は算出した歪値（歪分布）を示す図で、上が信号強度補正を行わない場合（比較例）、下が信号強度補正を行った場合（実施例）である。それぞれ、正解値を二点鎖線で示している。

【0067】

図8の結果からわかるように、強度補正を行わないRF信号から算出した歪は正解値からの逸脱が大きく、また変調揺らぎに対応した揺らぎが見られるのに対し、強度補正を行ったRF信号では、算出した歪の大きな逸脱が見られない。

20

【産業上の利用可能性】

【0068】

本発明によれば、精度のよい弾性情報を得ることができ、有効な診断情報を提供しうる超音波撮像装置が提供される。具体的な効果の例として、血管内プラークの内部性状の可視化など、1mm程度の分解能が必要とされる細かな構造物の性状診断や、初期ステージにある小さな腫瘍の検出が可能になる。

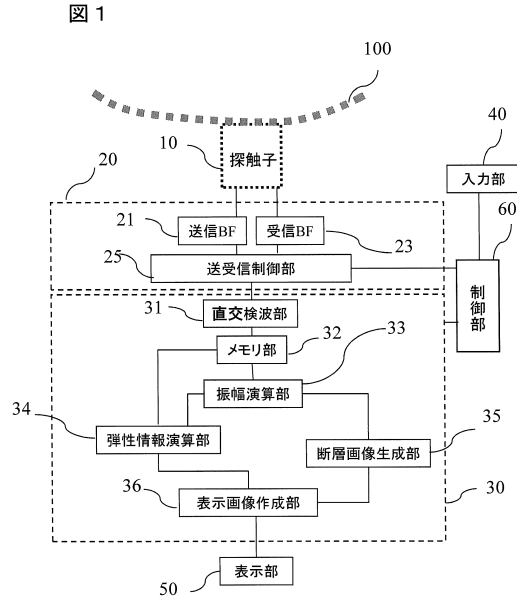
【符号の説明】

【0069】

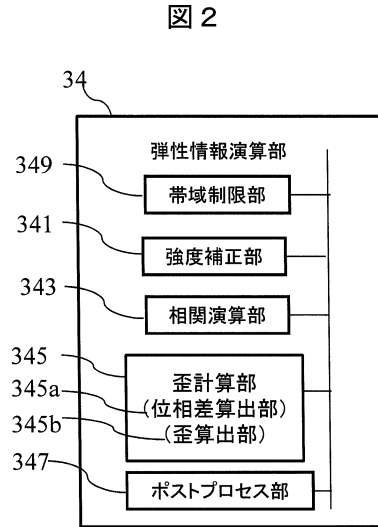
10・・・超音波探触子、20・・・送受信部、21・・・送信ビームフォーマ、23・・・受信ビームフォーマ、25・・・送受信制御部、30・・・信号処理部、31・・・直交検波部、32・・・メモリ部、33・・・振幅演算部、34・・・弾性情報演算部、35・・・断層画像生成部、36・・・表示画像作成部、50・・・表示部、40・・・入力部、341・・・強度補正部、342・・・間引き部、343・・・相関演算部、345・・・歪計算部、345a・・・位相差算出部、345b・・・歪算出部、346・・・補間部、347・・・ポストプロセス部、349・・・帯域制限部。

30

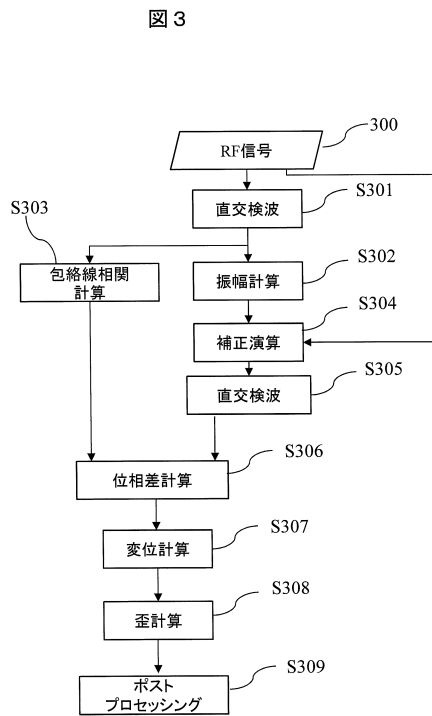
【図1】



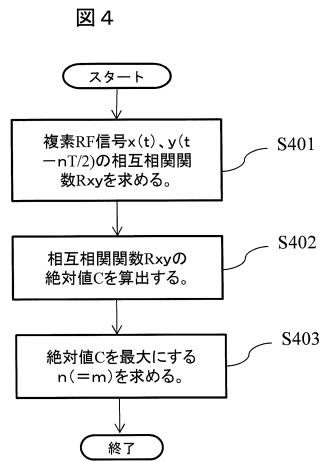
【図2】



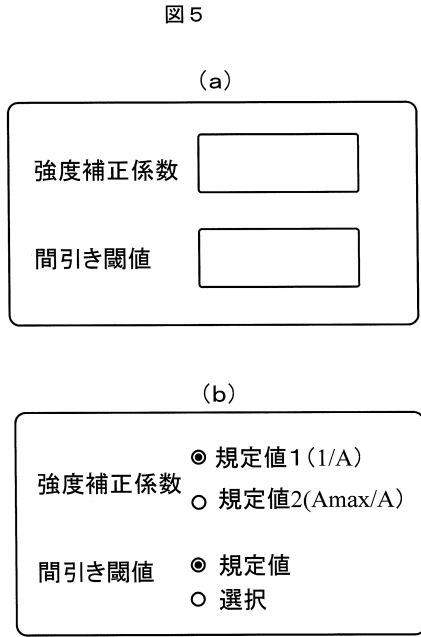
【図3】



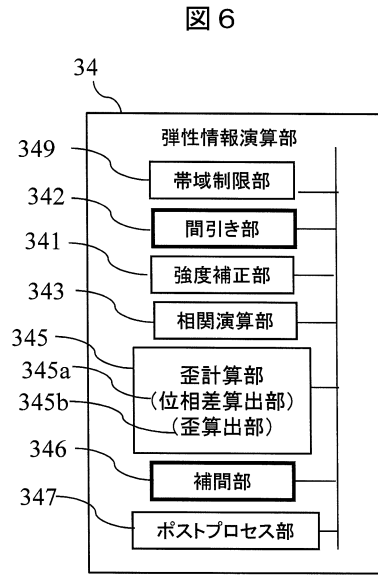
【図4】



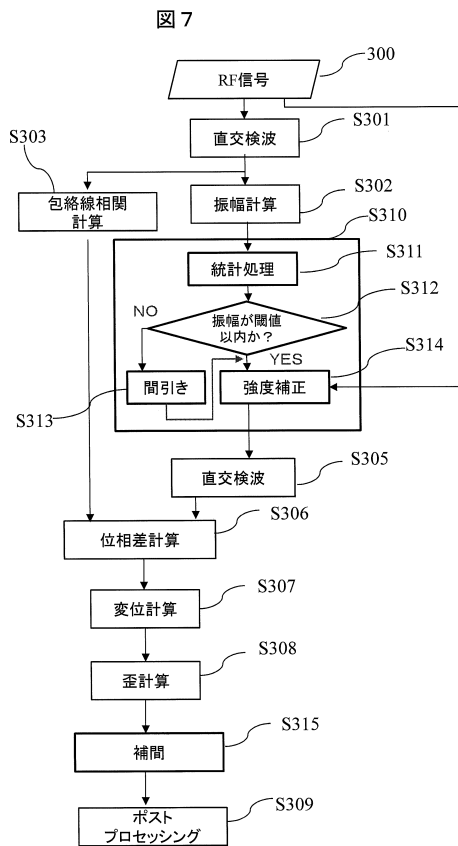
【図5】



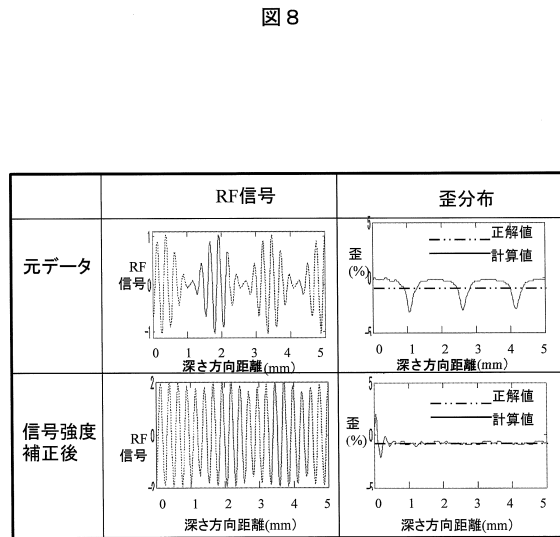
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

審査官 宮川 哲伸

(56)参考文献 特開2012-130559(JP,A)
特開2008-136880(JP,A)
特開2004-057652(JP,A)
国際公開第2004/010872(WO,A1)

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

专利名称(译)	超音波撮像装置及び超音波信号処理方法		
公开(公告)号	JP6469876B2	公开(公告)日	2019-02-13
申请号	JP2017539155	申请日	2016-09-05
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立製作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立製作所		
当前申请(专利权)人(译)	株式会社日立製作所		
[标]发明人	浅見玲衣 田中智彦 川畑健一		
发明人	浅見 玲衣 田中 智彦 川畑 健一		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/08		
FI分类号	A61B8/08		
优先权	2015176044 2015-09-07 JP		
其他公开文献	JPWO2017043442A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

在超声波成像装置的弹性成像中，当通过自相关方法计算弹性信息时，消除了由组织内散射引起的波动对计算结果的影响，并且导出了正确的计算结果。为此，超声成像设备具有弹性信息计算单元，其使用对应于多个传输的多个接收信号计算在多个传输期间待检查的内部组织的位移和/或失真。 ，计算多个接收信号的包络的相关性的相关计算单元，校正多个接收信号的包络强度的强度校正单元，相关计算单元的计算结果和强度校正单元并且，相位差计算单元通过使用多个接收信号计算多个接收信号之间的相位差，并使用由相位差计算单元计算的相位差来计算位移和/或失真。

(19) 日本国特許庁(JP)	(12) 特許公報(B2)	(11) 特許番号 特許第6469876号 (P6469876)
(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)	(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)	
(51) Int. Cl. A 6 1 B 8 / 0 8 (2006.01) F 1 A 6 1 B 8 / 0 8		
請求項の数 12 (全 15 頁)		
(21) 出願番号 特願2017-539155 (P2017-539155)	(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所	
(86) (22) 出願日 平成28年9月5日(2016.9.5)	東京都千代田区丸の内一丁目6番6号	
(88) 国際出願番号 PCT/JP2016/076903	(74) 代理人 110000888 特許業務法人 山王坂特許事務所	
(87) 国際公開番号 W02017/043442	(72) 発明者 浅見 玲衣 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内	
(87) 国際公開日 平成29年3月16日(2017.3.16)	田中 智彦 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内	
(87) 審査請求日 平成29年10月23日(2017.10.23)	(72) 発明者 川畑 健一 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内	
(31) 優先権主張番号 特願2015-176044 (P2015-176044)		
(32) 優先日 平成27年9月7日(2015.9.7)		
(33) 優先権主張国 日本国(JP)		
最終頁に続く		
(54) 【発明の名称】 超音波撮像装置及び超音波信号処理方法		