

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-533031

(P2017-533031A)

(43) 公表日 平成29年11月9日(2017.11.9)

(51) Int.Cl.
A61B 8/08 (2006.01)F I
A61B 8/08テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2017-523369 (P2017-523369)
 (86) (22) 出願日 平成27年10月28日 (2015.10.28)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年5月29日 (2017.5.29)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/057825
 (87) 国際公開番号 W02016/069750
 (87) 国際公開日 平成28年5月6日 (2016.5.6)
 (31) 優先権主張番号 62/072,167
 (32) 優先日 平成26年10月29日 (2014.10.29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 510264187
 メイヨ フォンデーション フォー メデ
 ィカル エジュケーション アンド リサ
 ーチ
 アメリカ合衆国 ミネソタ州 55905
 、ローチェスター、ファースト ストリ
 ート エスイー 200
 (74) 代理人 100134832
 弁理士 瀧野 文雄
 (74) 代理人 100060690
 弁理士 瀧野 秀雄
 (74) 代理人 100070002
 弁理士 川崎 隆夫
 (74) 代理人 100165308
 弁理士 津田 俊明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサの連続振動による超音波エラストグラフィのための方法

(57) 【要約】

超音波トランスデューサの連続振動による超音波エラストグラフィによる対象物の画像化方法が教示される。超音波トランスデューサと直接接触するアクチュエータは、トランスデューサを軸方向に連続的に振動させ、組織内にせん断波を誘起させ、リアルタイムのせん断波画像化を可能にする。トランスデューサの軸方向動きは、組織のせん断波画像を汚染し抑制されなければならない。従って、トランスデューサの動きによって生じるせん断波アーチファクトを補正するいくつかの方法がさらに教示される。

【選択図】 図 1

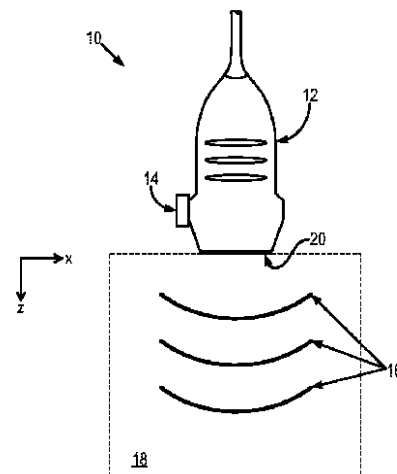


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

トランスデューサを有する超音波システムを使用して対象物の機械的特性を測定する方法であって、

- a) 前記トランスデューサに結合された少なくとも 1 つのアクチュエータを用いて、トランスデューサに連続振動を提供するステップと、
 - b) 前記トランスデューサの前記連続振動によって対象物に少なくとも 1 つのせん断波を誘起させるステップと、
 - c) 前記トランスデューサを使用して対象物からせん断波データセットを取得するステップと、
 - d) 前記せん断波データセットを補正することによって、動き補正されたせん断波データセットを生成して、前記トランスデューサの前記連続振動に関連する動きアーチファクトを除去するステップと、
 - e) 前記動き補正されたせん断波データセットを処理して、前記対象物の機械的特性を計算するステップと、を含む
- 対象物の機械的特性を測定する方法。

10

【請求項 2】

前記対象物の機械的特性が計算されるステップ e) において、せん断波速度、せん断波減衰、せん断弾性率、せん断粘度、貯蔵弾性率、損失弾性率、ヤング率、機械的緩和時間、及び分散の少なくとも 1 つを含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 3】

前記ステップ d) は、前記せん断波データセットからせん断波動き信号を抽出し、瞬時における前記せん断波動き信号の平均を計算し、他の全ての瞬時で前記せん断波動き信号から前記平均を差し引くステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ステップ d) は、

前記せん断波データセットにフーリエ変換を適用して k 空間データセットを生成するステップと、

前記 k 空間データをフィルタリングするステップと、

前記逆フーリエ変換を前記フィルタリングされた k 空間データセットに適用して、前記動き補正されたせん断波データセットを生成する

請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 5】

前記 k 空間データセットをフィルタリングするステップが、前記 k 空間データセットに帯域通過フィルタを適用するステップを含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記ステップ d) は、前記取得されたせん断波データセットにローカル周波数推定を適用することによって前記動き補正されたせん断波データセットを生成するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記ステップ d) は、前記せん断波データセット内の正常に静止している目標を識別するステップと、前記正常に静止している目標の動きを推定するステップと、請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 8】

前記ステップ d) は、前記せん断波データセットに空間勾配を適用することによって前記動き補正せん断波データセットを生成するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ステップ a) の前記アクチュエータがボイスコイルアクチュエータである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

50

前記ステップ c) が、パルスエコー超音波を用いて前記少なくとも 1 つの誘導せん断波を迅速にサンプリングするステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記取得せん断波データセットはせん断波データセット間の時間遅延が補正された、請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記時間遅延の補正は、前記時間波形データセットに時間補間を適用することを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記時間遅延の補正は、等価正弦波サイクルを有するように前記せん断波データセットをシフトすることを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記時間遅延の補正は、前記せん断波データセットを共通時間グリッドにパラメータ的に適合させることを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記トランスデューサに提供される前記連続振動が複数の周波数を含み、前記ステップ e) が、前記せん断波データセットを処理して前記対象物の周波数依存特性を解決することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記ステップ e) は、時間次元に沿って帯域通過フィルタを用いて、機械的特性が計算される前記連続振動の前記複数の周波数のうちの少なくとも 1 つを選択するステップを含む、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

トランスデューサを有する超音波システムを用いて対象物の機械的特性を測定する方法であって、

a) 前記トランスデューサに結合された少なくとも 1 つのアクチュエータを用いて、前記トランスデューサに連続振動を提供するステップと、

b) 前記トランスデューサの連続振動によって対象物に少なくとも 1 つのせん断波を誘起させるステップと、

c) 前記トランスデューサを使用して前記対象物からせん断波データセットを取得するステップと、

d) 前記せん断波データセットを処理して、前記対象物の機械的特性を計算するステップと、を含む対象物の機械的特性を測定する方法。

【請求項 1 8】

前記ステップ d) は、前記せん断波データセットに対してローカル周波数推定を行うステップを含む、請求項 1 7 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願への相互参照]

本出願は、2014 年 10 月 29 日に提出された米国仮特許出願第 62 / 072,167 号「METHOD FOR ULTRASOUND ELASTOGRAPHY THROUGH CONTINUOUS VIBRATION OF AN ULTRASOUND TRANSDUCER」の権益を主張する。

[連邦支援研究に関する言及]

本発明は、国立衛生研究所によって与えられた DK082408 に基づく政府の支援によってなされた。政府は本発明に一定の権利を有する。

本発明は、超音波エラストグラフィによる組織の機械的特性の決定に関する。より詳細には、本発明は、超音波トランスデューサの連続振動を利用するエラストグラフィ方法に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

弾性及び剛性などの組織の機械的特性は、組織の健康状態と密接に関連している。例えば、線維性及び癌性の組織はしばしば健康な組織の剛性よりも高い剛性を有する。従って、組織の機械的特性を非侵襲的に測定することができるエラストグラフィ方法は、肝線維症病期分類及び癌診断などの大きな医療用途を含む。

【 0 0 0 3 】

せん断波は組織に導入され得、せん断波伝搬パラメータは、組織の機械的特性を定量的に評価するのに測定されて用いられる。これらのパラメータに、群伝播速度、減衰、せん断弾性率、せん断粘度、貯蔵弾性率、損失弾性率、ヤング率、機械的緩和時間、及び周波数依存伝播パラメータが含まれ得る。

10

【 0 0 0 4 】

現在のエラストグラフィ方法は、長時間、典型的には数 1 0 0 マイクロ秒の焦点を合わせた、又は焦点を合わせない超音波「プッシュ」ビームからの超音波放射力を必要として、組織の機械的特性の定量的測定のために組織内にせん断波を生成する。しかし、超音波放射力によって生成されたせん断波は、通常、非常に微弱で、これらの方法の侵入の深さが限定される。さらに、プッシュビームは、高電圧で数 1 0 0 の超音波サイクルの送信を必要とし、超音波スキャナ及びトランスデューサの送信回路にとって非常に苛酷な要求となる。

【 0 0 0 5 】

その結果、この方法は、プッシュビームの送信をサポートすることができる大容量送信回路を備えたハイエンド超音波スキャナに限定される。さらに、連続測定の更新頻度は、組織又は超音波トランスデューサが過度に加熱されないよう、リアルタイム B モード撮像と比較して非常に低く、典型的には 1 H z 未満である。このように更新頻度が低いため、せん断波画像化を用いるだけで異常な剛性を有する病変を見つけることは困難になる、というのは、B モード画像化においていくつかの病変が健康な組織であるかのように見える場合があるからである。

20

【 0 0 0 6 】

組織のせん断波が外部の機械的振動によって生成されることも可能である。例えば、F i b r o s c a n (登録商標) (E c h o s e n s ; P a r i s , F r a n c e) として市販されている過渡エラストマ装置では、過渡的な「パンチ」を有する機械的アクチュエータによって超音波トランスデューサを振動させ、機械的アクチュエータは、トランスデューサから離れて近くの組織に移動する過渡的なせん断波を生成できる。このせん断波は、剛性の定量化のために、パルスエコーモードで同じ超音波トランスデューサによって検出され得る。

30

【 0 0 0 7 】

しかしながら、F i b r o s c a n (登録商標) デバイスは、2 D エラストグラフィ画像を作成することができず、スキャンガイドンスとしてリアルタイム B モード画像を提供することができない。また、F i b r o s c a n (登録商標) 装置は、エラストグラフィ測定値を連続的に更新することができない。むしろ、新たな測定のために別の過渡的なせん断波を生成するために、使用者がボタンを押すことによって取得シーケンスを再度活性化しなければならない。

40

【 0 0 0 8 】

連続振動は、組織内に連続的なせん断波を発生させて、せん断波が常に組織内に存在するようにすることができる。このアプローチは、エラストグラフィ測定値の連続的な更新を潜在的に容易にすることができ、例えば、収縮中の筋肉の硬さの一時的な変化を捕捉するのに有用である。連続振動を特徴とする 1 つのシステムでは、ハンドヘルド振動器が超音波トランスデューサに隣接して配置されて、トランスデューサによって測定される連続振動及びせん断波を生成する。このシステムは実現可能であっても、この方法では、使用者は両手を使用する必要があり、片方で振動器を保持し、片方でトランスデューサを保持する。この要件のために、このシステムの臨床的価値は大きく制限され、典型的な臨床診

50

療では、超音波トランスデューサを片手で操作し、患者を走査しながら超音波スキャナを他方で制御する。

【0009】

追加のシステムでは、超音波トランスデューサの2つの側に配置された異なる周波数を有する2つの振動源から生成されたクロール波が、エラストグラフィ測定に使用されている。この方法はまた、2つの振動源を試験対象物と接触させて保持するために余分な固定具を必要とし、したがって、臨床的实施において不都合である。

【0010】

従って、望ましいのは、手術中に両手を練習することを使用者に要求することなく組織へ連続的な機械的振動を誘発することができるシステムを有することである。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、超音波トランスデューサを介して画像化される対象物内への連続的な機械的振動を誘発する超音波エラストグラフィ用の方法を教示することにより、上記の欠点を克服する。

【0012】

本発明の一態様によれば、トランスデューサを有する超音波システムを使用して対象物の機械的特性を測定する方法が提供される。この方法は、トランスデューサに結合された少なくとも1つのアクチュエータを使用して、トランスデューサに連続振動を提供するステップを含む。少なくとも1つのせん断波が、トランスデューサの連続振動によって対象物に誘導される。せん断波データセットがトランスデューサを使用して対象物からを取得され、動き補正せん断波データセットが、せん断波データセットを補正してトランスデューサの連続振動に関連する動きアーチファクトを除去することによって生成される。次に、動き補正されたせん断波データセットが処理されて、対象物の機械的特性が計算される。

20

【0013】

本発明の上記及び他の態様及び利点は、以下の説明から明らかになるであろう。説明では、本発明の一部を形成する添付の図面を参照し、本発明の好ましい実施形態を例示として示す。このような実施形態は、必ずしも本発明の全範囲を示すものではなく、したがって、本発明の範囲を解釈するための特許請求の範囲及び請求項を参照する。

30

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】超音波トランスデューサの連続振動を実施して対象物にせん断波を誘起する例示的な超音波システムのブロック図である。

【図2】連続的に振動している超音波トランスデューサを用いてせん断波データを取得しトランスデューサの連続振動動作の影響を補正するための例示的な方法のステップを示すフローチャートである。

【図3】平均技術の減算を用いて動き損傷(motion-corrupted)を受けたせん断波データを補正する方法の一例のステップを示すフローチャートである。

40

【図4】k空間フィルタリング技術を使用して、動き損傷せん断波データを補正する方法の一例のステップを示すフローチャートである。

【図5】例示的なk空間フィルタリング技術を図示した図である。

【図6】低周波推定技術を用いて動き損傷を受けたせん断波データを補正する方法の一例のステップを示すフローチャートである。

【図7】正常に静止している目標からトランスデューサの動きを推定する技法を使用して、動き損傷を受けたせん断波データを補正する方法の一例のステップを示すフローチャートである。

【図8】複数の異なる超音波ビームセットの例である。

【図9】超音波ビームセットのタイミングの一例を示す図である。

50

【図 10】もともと異なる正弦サイクルのせん断波を等価正弦サイクルにシフトさせる例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本開示は、超音波トランスデューサの連続振動を使用して被験体にせん断波を生成する、超音波エラストグラフィによって組織の機械的特性を識別するシステム及び方法を提供する。超音波トランスデューサの連続振動によって誘発される動きアーチファクトを除去するためのいくつかの方法も提供される。

【0016】

まず、図 1 を参照すると、対象物 20 にせん断波を誘起するための例示的なシステム 10 が示されている。このシステムでは、トランスデューサ 12 はアクチュエータ 14 によって機械的に振動し、トランスデューサ 12 を軸方向（例えば、図 1 の z 方向）に振動する。一例として、アクチュエータ 14 は、ボイスコイルアクチュエータのような機械的アクチュエータとすることができる。トランスデューサ 12 が軸方向に移動するにつれて、せん断波 16 が対象物 18 内に誘起される。また、せん断波 16 は、圧縮波のモード変換から生成することもできる。次に、生成されたせん断波 16 は、パルスエコーモードで動作する同じ超音波トランスデューサ 12 によって検出され、対象物の機械的特性の定量的測定が行われる。

【0017】

アクチュエータ 14 は、超音波トランスデューサ 12 に結合される。一例として、アクチュエータ 14 は、トランスデューサ 12 の外面に直接取り付けることができる。例示目的のために、アクチュエータ 14 は、図 1 のトランスデューサ 12 の一方の側に取り付けられる。しかしながら、いくつかの用途では、アクチュエータをトランスデューサ 12 と同軸に整列させて、トランスデューサの動きが、最小の横方向及び方位角動きで軸方向であるようにすることが好ましい場合がある。この構成により、別個の振動源が必要なくなり、従って、片手操作に便利である。振動は、測定の連続的な更新を可能にするのに連続的であることが好ましい。

【0018】

超音波トランスデューサ 12 は、所望の撮像用途に応じて超音波のビーム軸に沿って軸方向に又は他の方向に振動させることができる。せん断波検出に使用される超音波システムは、単一の A ライン、平行ビーム形成による複数の A ライン、又は例えば Verasonics（登録商標）超音波スキャナにおいてなされるように、平面波撮像及びソフトウェアビーム形成を用いての 2D 領域又は 3D 体積全体、を検出するように動作し得る。

【0019】

アクチュエータ 14 によって超音波トランスデューサ 12 に印加される連続振動は複数の周波数を含むことができ、したがって、検出されたせん断波は対象の周波数依存特性を解決するように処理することができる。例えば、処理は、時間次元に沿って帯域通過フィルタを使用して一度に 1 つの周波数のみを選択してもよく、その後の処理は、あたかも単一の振動周波数でデータが収集されたのと同様である。多周波数振動は、分散分析のための収集を高速化し得る。連続振動及び連続せん断波の検出及び処理により、エラストグラフィ測定値が実質的にリアルタイムで連続的に更新され得る。

【0020】

振動がトランスデューサ 12 の活性化面 20 に垂直である場合など、トランスデューサ 12 が軸方向に振動している場合、トランスデューサ 12 の動きは、対象物 18 で検出されたせん断波信号を汚染することになる。超音波の動き検出は、トランスデューサ 12 を移動しない基準座標として使用するのでこの信号汚染は存在するのであって、トランスデューサ 12 が外部振動で振動しているときはこの仮定は成立しない。検出されたせん断波から機械的特性を適切に測定するために、したがって、アクチュエータ 14 によって誘発されるトランスデューサ 12 の動きを補正する必要がある。

【0021】

10

20

30

40

50

図 2 を参照すると、せん断波を生成するための動力源として超音波トランスデューサの連続振動を使用する超音波エラストグラフィの例示的な方法が示されている。この方法は、ステップ 202 に示すように、トランスデューサを連続的に振動させることによって、被験者に連続振動を印加しながら、被検体の画像を超音波システムで取得するステップを含む。画像の取得に続いて、ステップ 204 に示すように、取得画像を処理してトランスデューサの動きを補正するのが望ましい。このトランスデューサの動きアーチファクトを除去するためのいくつかの方法を以下に説明する。画像の補正に続いて、ステップ 206 に示すように、画像化される対象の機械的特性が計算される。計算され得る機械的特性の例には、せん断波速度、せん断波減衰、せん断弾性率、せん断粘度、貯蔵弾性率、損失係数、ヤング率、機械的緩和時間、及び分散を含む。

10

【0022】

対象物の画像の最初の取得に続いて、この画像はトランスデューサの動きに対して補正されなければならないと述べた。図 3 を参照すると、トランスデューサの動きを補正する 1 つの例示的な方法は、ステップ 302 に示されるように、最初に、取得された画像からのせん断波動き信号の抽出を必要とする。次に、ステップ 304 に示すように、せん断波動き信号の平均が計算される。次に、ステップ 306 に示すように、全ての瞬時 (time instance) において平均せん断波動きをせん断波動き信号から差し引いて補正された画像を生成する。

【0023】

この方法の一例では、1次元 (1D) アレイトランスデューサが 100 Hz で振動している。トランスデューサの動きは、2次元画像化平面内の全てのピクセルにおいて、検出された全てのせん断波に 100 Hz の信号を追加する。任意の所与の時間において、トランスデューサの動きは、これらのピクセルに適用される一様なオフセット値である。

20

【0024】

従って、所与の瞬時におけるトランスデューサの動きは、その時点で検出されたせん断波の動きの平均を、2D 撮像エリア全体内の全てのピクセルから減算することによって緩和することができる。このタイプの処理は、画像化の過程の全ての時点で繰り返して、トランスデューサの動きアーチファクトを完全に抑制できる。

【0025】

この方法は、2次元画像形成領域のサイズに対してせん断波長が小さいことを前提としている。この仮定により、汚染されたトランスデューサの動きではない真のせん断波の動きが 2D 画像化領域内でゼロ値である、という付加的な仮定が導かれる。

30

【0026】

トランスデューサ動き干渉を抑制する別の方法は、k 空間フィルタリングを利用する。図 4 を参照すると、そのような方法の一例のステップを示すフローチャートが示されている。初期画像を取得した後、ステップ 402 に示すように、画像をフーリエ変換して k 空間データのセットを生成する。この k 空間データは、ステップ 404 に示すように、不要なデータを抑制するためにフィルタリングされる。次に、ステップ 406 に示すように、逆フーリエ変換を適用することによって、空間データが動き補正画像に変換される。

【0027】

この方法の一例を図 5 を参照して説明する。前の方法で説明したのと同じ 1D トランスデューサの例を使用すると、任意の所与の瞬時における検出されたせん断波動きは、空間領域内の 2D 画像 $u(x, z)$ であると考えることができる。従って、図 2 のステップ 202 に示すように、トランスデューサが連続的に振動している間に、超音波トランスデューサで画像が取得される。この画像において、 u は組織の運動であり、トランスデューサの連続振動に応答する組織の変位、速度、又は加速度が含まれ得る。次いで、フーリエ変換を適用して、画像を空間領域から周波数領域に変換する。一例として、 $u(x, z)$ の 2 つの空間次元に沿ったフーリエ変換は、周波数領域すなわち動きの代表 $U(k_x, k_z)$ の k 空間を生成する。座標 (k_x, k_z) を有する k 空間の所与のピクセルについて、k 空間の原点までの距離

40

50

【数 1】

$$k_r = \sqrt{k_x^2 + k_z^2}$$

は、そのピクセルの空間周波数を表す。空間（ x 、 z ）領域でのトランスデューサの動きを特徴付ける値は非常に大きく、従って非常に小さい k_r 値を有するピクセルによって表される。

【0028】

次に、上限及び下限の k_r を設定することによって、 k 空間データをフィルタリングして、トランスデューサによって引き起こされるノイズの無いデータセットを提供する。一例として、 k 空間データは、以下のようにフィルタリングすることができる。 k_l の下限は、 $k_r < k_l$ を有する全てのピクセルがゼロに設定されるように設定され得る。黒画素を用いてゼロに設定された画素を表現すると、このプロセスは、図 5 の小さな黒色の円によって示される。同様に、 $k_r > k_u$ を有する全てのピクセルがゼロに設定されるように k_u の上限を設定することができ、これは、白色ドーナツの外側の黒色領域によって示される。このプロセスは、超音波スペックル（ultrasound speckles）に起因する $u(x, z)$ の「ソルト・ペッパー」（salt and pepper）ノイズを抑制するのに非常に有効である。

【0029】

実際には、 k_l 及び k_u 制限を適用するのに、 k 空間データを帯域通過フィルタリングする。ステップ関数の代わりに円滑な遷移をこれら制限で適用して、ギブス（Gibbs）のリングング効果を減少させる。フィルタを定義するために適用される上限と下限を使用して、フィルタ処理されたデータセットが作成される。その後、フィルタリングされたデータに逆フーリエ変換を適用してデータを（ x 、 z ）空間領域に戻すことができる。新しく補正された画像は、トランスデューサの動きとせん断波のスペックルノイズの両方が抑制された所望のエラストグラフィの読みを提供する。

【0030】

この方法では、連続振動の時間周波数を f とすると、 k 空間帯域通過フィルタリングは、 f / k_u よりも低いまたは f / k_l よりも高い速度のせん断波が抑制されるように、本質的に、せん断波データに速度制限を適用することである。せん断波速度の生物学的範囲は、通常、異なる組織について知られているので、これは、適切な k_l 及び k_u 限界を選択するのに役立つ。

【0031】

ここで図 6 を参照すると、ローカル周波数推定（LFE）が使用されるトランスデューサの動きを補正する別の例示的な方法のステップを示すフローチャートが例示される。ローカル周波数推定は、せん断波の伝搬速度を計算するために、単一周波数高調波のせん断波の局在波長を推定する磁気共鳴エラストグラフィ（MRE）で広く使用されている方法である。図 2 のステップ 202 における画像取得後、ステップ 602 に示されるように、画像にローカル周波数推定が適用され、ステップ 604 に示すように、結果の画像が空間的にフィルタリングされて画像にまだ存在するノイズが抑制される。

【0032】

例えば、所与の瞬時ににおける 2D のせん断波動き画像に適用された場合、ローカル周波数推定は局所的な画像勾配を追跡して局所的なせん断波波長を推定することができる。従って、ローカル周波数推定は、トランスデューサの動きによる 2D せん断波画像の均一なバックグラウンドオフセットに影響されない。

【0033】

その結果、入力せん断波データがトランスデューサの動きによって汚染された場合、ローカル周波数推定は正しいせん断波速度推定値を与え得る。しかしながら、ローカル周波数推定は、せん断波データにおけるスペックルノイズに敏感であり、低減されたせん断波長を与えることがある。従って、データにスペックルノイズがある場合には、せん断波速

度が過小評価される。従って、ガウス平滑化空間フィルタのような空間（ x 、 z ）領域における k 空間フィルタリング又は他の平滑化方法を使用して、ローカル周波数推定処理が行われる前にスペckルノイズを抑圧することができる。

【0034】

図7に、トランスデューサの動きを抑制する別の例示的な方法のプロセスフローを表示するフローチャートを示す。この方法では、ステップ702に示すように、実質的に静止していることが知られる標的又は構造が、初期画像内で識別される。一例として、静止標的又は構造は、実質的に静止していることが知られている骨などの解剖学的標的又は構造で有り得る。画像の取得に続いて、ステップ704に示すように、通常静止している標的又は構造の動きの推定が行われる。

10

【0035】

識別された目標は通常静止しているので、その動きの推定値は、連続的に振動するトランスデューサによって誘導される動きの推定値として使用することができる。従って、トランスデューサの動きの補正は、識別された目標の動きの推定値に基づいて行うことができる。せん断波画像化領域が、骨などの静止している即ち動いていないことが知られている目標を含む場合、超音波トランスデューサによって見られるこれらの目標の動きは、トランスデューサの振動によって引き起こされることが知られている。従って、ステップ706に示すように、そのような目標での動きが、全てのピクセルでの動きから差し引かれて、トランスデューサの動きを補正できる。

【0036】

20

画像からトランスデューサの動きを除去する別の例の方法では、取得された画像に空間勾配が適用される。空間勾配操作は、所与の瞬時に於ける1D、2D、又は3D空間せん断波データに適用されて、トランスデューサの動きを除去できる。トランスデューサの動きは、全ての空間次元にわたって比較的均一であることが知られているため、空間勾配操作によって抑制される。

【0037】

トランスデューサの動きに加えて、連続振動はまた、様々な用途に望ましくない定在波パターンを生成することがある。方向性フィルタリングを利用して、せん断波を単方向波に分離することができる。これらの単方向波は次いで、せん断波速度推定に対するローカル周波数推定又は飛行時間法（time-of-flight method）によって処理され得る。さらに、直接反転も使用されて、 k 空間フィルタリング又は指向性フィルタリングによって処理されたせん断波フィールドから組織の機械的特性を計算することができる。

30

【0038】

いくつかの実施形態では、パルスエコー超音波によるせん断波場の迅速なサンプリングを実施しながら、ステップ202で取得された画像が取得される。以下の例では、2D空間せん断波検出が利用されるが、しかし、本開示で教示される方法は、空間において3次元に容易に拡張され得ることが理解されるべきである。

【0039】

高速サンプリングの一例として、高調波のせん断波が、せん断波の振動周波数の何倍かで2D領域にわたってサンプリングされる。例えば、高調波のせん断波は、その振動周波数の10倍（50Hzなど）でサンプリングすることができる。ハイエンドの従来の超音波画像化システムでは、平行ビームフォーミングを使用して1つのトランスミッションから複数のAラインを画像化できる。

40

【0040】

図8に示すように、 N 個の超音波ビーム $\{S1, \dots, SN\}$ 802が、それぞれ M 個のビーム $\{B1, \dots, BM\}$ 804であり、並列に形成される。ビームセット802は、画像化される2D領域全体をカバーするために使用される。ビームセット802が10kHzのパルス繰返し周波数（PRF）で順次検出される $\{S1, \dots, SN\}$ と仮定する。このプロセスは、10kHz/ N の周期で繰り返され得る。従って、 N が20の場合、各ビーム位置で500Hzの有効サンプリング周波数を可能にする。

50

【 0 0 4 1 】

図 9 に示すように、四角 9 0 2 は、ビームセット $S_1 \sim S_N$ によってカバーされる位置での超音波検出の瞬時を表す。各ビームセットは、500 Hz のパルス繰返し周波数でサンプリングされるが、隣接するビームセット間に 100 マイクロ秒の時間シフトがある。せん断波エラストグラフィ再構成では、異なるビームセット間のこの小さな時間遅延を考慮する必要がある。この遅延問題を修正する方法はいくつかあるが、それらについては以下で説明する。

【 0 0 4 2 】

ビームセット間の時間遅延を補正する方法の一例では、時間補間が適用される。例えば、10 kHz に割り当てられた時間補間では、各ビームの時間グリッドは整列して同期され得る。補間された点は、図 9 の塗りつぶしされた円 9 0 4 によって表される。単一の周波数での連続振動によって生成されたせん断波は、本質的に、各ピクセルにおいて周期的な正弦波対時間を提供する。

10

【 0 0 4 3 】

ビームセット間の時間遅延を補正する別の例の方法では、等価正弦サイクルを有する一組の波を提供するように、せん断波をシフトさせる。撮像すべき 2 D 領域が大きい場合には、上記のように、2 D 領域の全てのビームセットが 1 回の連続した検出でサンプリングされる場合、各ピクセル PRF/N における実効サンプリング周波数は低すぎる。この問題を解決するために、ビームセットは、図 8 に示すように、複数のゾーンに分割し、各ゾーンは十分に高い実効サンプリング周波数で、上記の方法で検出され得る。

20

【 0 0 4 4 】

効果的なサンプリングを提供するために、ゾーンは、一度に 1 つのゾーンで順次撮像されることができる。図 10 を参照すると、ゾーン 1 は第 1 の正弦サイクルにわたって検出され、黒丸は検出瞬時を表し、ゾーン 2 は第 2 正弦サイクルにわたって検出され、灰色の円は検出瞬時を表し、ゾーン 3 は第 3 の正弦サイクルにわたって検出され、白丸は検出瞬時を表す。せん断波信号は正弦波と周期的であるため、ゾーン 2 とゾーン 3 の信号はゾーン 1 と同じ正弦波にシフトされ得る。

【 0 0 4 5 】

このプロセスを介して、整列されかつ高い実効サンプリング周波数を有する全てのゾーンのせん断波信号が生成されている。あるいは、1 つの大きなゾーンを使用して 2 D 画像領域全体をカバーすることができ、全てのビームセットで検出されたせん断波を同じ正弦波にシフトさせて、シフトなしで存在するサンプリング周波数よりも高い実効サンプリング周波数を得ることができる。ここで教示されるシフト方法は、正弦波周期全体の整数だけシフトすることができることに留意されたい。上記で教示された時間補間方法は、同じ正弦サイクル内の追加の整列のためにさらに使用され得る。

30

【 0 0 4 6 】

ビームセット間の時間遅延を補正する追加の例示的な方法では、せん断正弦波信号は、コモンタイムグリッド (common time grid) にパラメトリックに適合される。再び図 10 の左側を参照すると、個々のビームセットがサンプリングされる実際の時間は、異なる正弦波サイクルにわたって分散する可能性があることに留意されたい。正弦波の周波数とサンプルの実際のタイミングが分かっているので、正弦波をサンプルに整合させることができ、各ビームでの正弦波の振幅と位相の推定を行うことができる。

40

【 0 0 4 7 】

この推定に続いて、推定された振幅及び位相パラメータを使用して正弦波モデルから任意の時間における動きを計算することができる。このプロセスでは、全てのビームの時間グリッドはコモンタイムグリッドに合わせ得る。各ビームセットの元のサンプリングされた時間ポイントが不均一に離間することがあり、個々の時点間のギャップを有する複数のサイクルにわたり散乱される場合があるので、このアプローチは柔軟性があることが分かる。

【 0 0 4 8 】

50

上記の教示は、例示のための１Ｄアレイトランスデューサ及び２Ｄせん断波検出を使用する。この方法は、１Ｄ、２Ｄ、及び３Ｄのせん断波検出能力を有する単一素子トランスデューサ、１Ｄアレイトランスデューサ、２Ｄ機械走査トランスデューサ、及び２Ｄアレイトランスデューサに適用できることに留意されたい。

【 ０ ０ ４ ９ 】

本発明を１つ又は複数の好ましい実施形態に関して説明したが、明らかに述べられている以外の多くの等価物、代替物、変形物及び改変が可能であり、本発明の範囲内であることを理解されたい。

【 図 １ 】

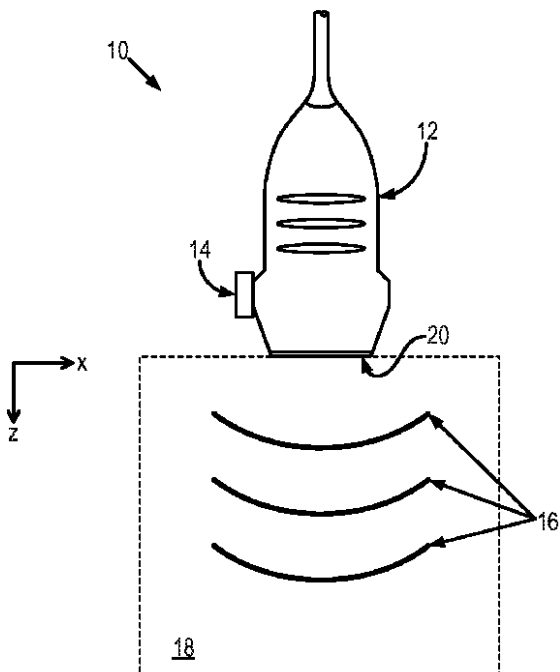
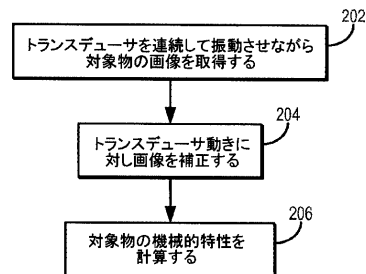
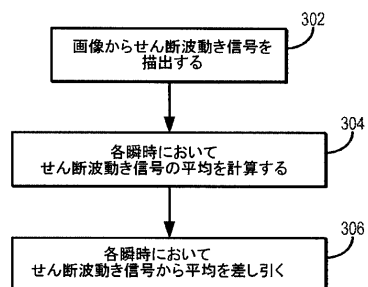


FIG. 1

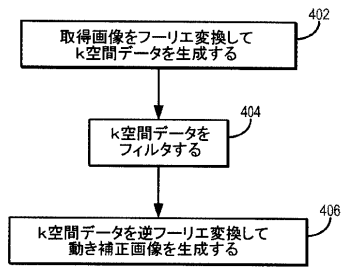
【 図 ２ 】



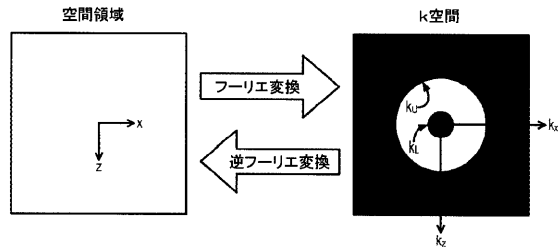
【 図 ３ 】



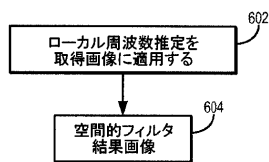
【図 4】



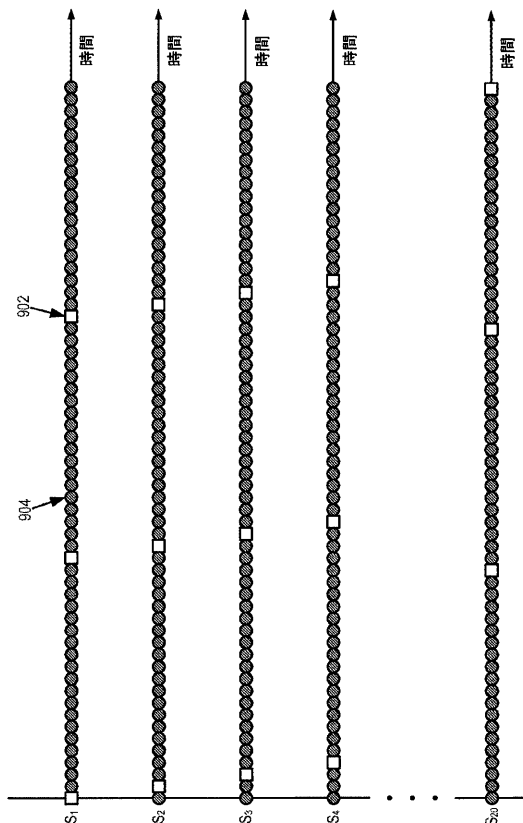
【図 5】



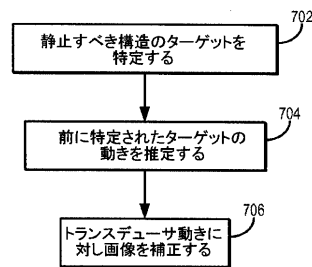
【図 6】



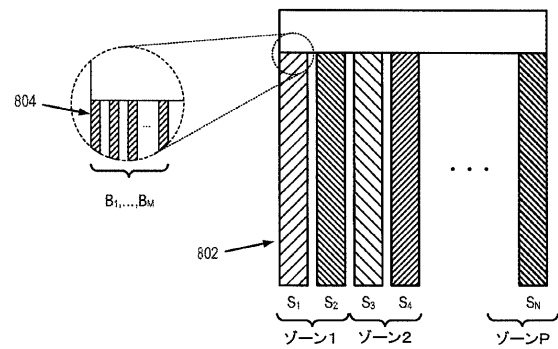
【図 9】



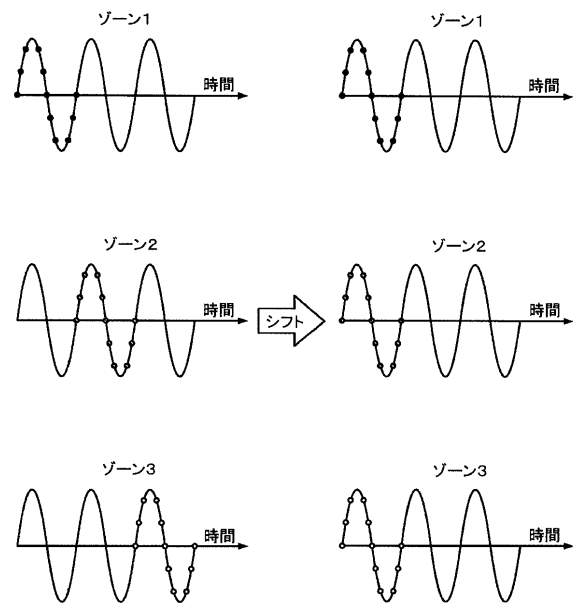
【図 7】



【図 8】



【図 10】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2015/057825

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - A61B 8/00 (2015.01) CPC - A61B 8/00 (2015.10) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																							
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - A61B 8/00 (2015.01) CPC - A61B 8/00, 8/08, 8/463, 8/4281; G01S 15/899 (2015.10) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC: 600/407, 437, 438, 439, 442, 443, 444, 446, 459 (Keyword delimited) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Orbit, Google Patents, Google Scholar, Google Search terms used: ultrasound, transducer, actuator, coil, exciter, electromagnetic, wave, signal, shear, vibration, oscillate, fourier, data, mean, average, mechanical, property, characteristic, correct, adjust, modify, calculate, speed, attenuate, disperse, viscosity																							
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>US 8,734,350 B2 (GREENLEAF et al.) 27 May 2014 (27.05.2014) entire document</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 6,511,427 B1 (SLIWA JR. et al.) 28 January 2003 (20.01.2003) entire document</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 2012/0269414 A1 (ZHA et al.) 25 October 2012 (25.10.2012) entire document</td> <td>4, 5, 16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014/0147013 A1 (SHANDAS et al.) 29 May 2014 (29.05.2014) entire document</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 8,602,994 B2 (ZHENG et al.) 10 December 2013 (10.12.2013) entire document</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7,785,259 B2 (ZHENG et al.) 31 August 2010 (31.08.2010) entire document</td> <td>1-18</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	US 8,734,350 B2 (GREENLEAF et al.) 27 May 2014 (27.05.2014) entire document	1-18	Y	US 6,511,427 B1 (SLIWA JR. et al.) 28 January 2003 (20.01.2003) entire document	1-18	Y	US 2012/0269414 A1 (ZHA et al.) 25 October 2012 (25.10.2012) entire document	4, 5, 16	A	US 2014/0147013 A1 (SHANDAS et al.) 29 May 2014 (29.05.2014) entire document	1-18	A	US 8,602,994 B2 (ZHENG et al.) 10 December 2013 (10.12.2013) entire document	1-18	A	US 7,785,259 B2 (ZHENG et al.) 31 August 2010 (31.08.2010) entire document	1-18
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
Y	US 8,734,350 B2 (GREENLEAF et al.) 27 May 2014 (27.05.2014) entire document	1-18																					
Y	US 6,511,427 B1 (SLIWA JR. et al.) 28 January 2003 (20.01.2003) entire document	1-18																					
Y	US 2012/0269414 A1 (ZHA et al.) 25 October 2012 (25.10.2012) entire document	4, 5, 16																					
A	US 2014/0147013 A1 (SHANDAS et al.) 29 May 2014 (29.05.2014) entire document	1-18																					
A	US 8,602,994 B2 (ZHENG et al.) 10 December 2013 (10.12.2013) entire document	1-18																					
A	US 7,785,259 B2 (ZHENG et al.) 31 August 2010 (31.08.2010) entire document	1-18																					
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.																							
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																							
Date of the actual completion of the international search 22 December 2015		Date of mailing of the international search report 19 JAN 2016																					
Name and mailing address of the ISA/ Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774																					

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100110733
弁理士 鳥野 正司

(74)代理人 100115048
弁理士 福田 康弘

(72)発明者 チェン シガオ
アメリカ合衆国 ミネソタ州 5 5 9 0 2 - 1 6 8 9 ローチェスター レッドウッド レーン
サウスウェスト 1 6 0 5

(72)発明者 グリーンリーフ ジェイムズ エフ
アメリカ合衆国 ミネソタ州 5 5 9 0 2 - 3 2 4 3 ローチェスター フォース ストリート
サウスウェスト 6 0 0 アpartment 1 0 1

(72)発明者 メレマ ダニエル シー
アメリカ合衆国 ミネソタ州 5 5 9 0 6 - 4 0 6 8 ローチェスター ノーザン ハイツ ドラ
イヴ ノースイースト 6 4 0

(72)発明者 ソン ペンフェイ
アメリカ合衆国 ミネソタ州 5 5 9 0 1 - 5 6 2 3 ローチェスター ナインス ストリート
ノースウェスト 3 8 1 6 ユニット シー

Fターム(参考) 4C601 DD19 DD23 EE04 EE11 GB03 JB28 JB49 JB51

专利名称(译)	通过超声换能器的连续振动进行超声弹性成像的方法		
公开(公告)号	JP2017533031A	公开(公告)日	2017-11-09
申请号	JP2017523369	申请日	2015-10-28
[标]申请(专利权)人(译)	梅约医学教育与研究基金会		
申请(专利权)人(译)	梅奥电话庸天的医学教育和研究		
[标]发明人	チェンシガオ グリーンリーフジェイムズエフ メレマダニエルシー ソンペンフェイ		
发明人	チェン シガオ グリーンリーフ ジェイムズ エフ メレマ ダニエル シー ソン ペンフェイ		
IPC分类号	A61B8/08		
CPC分类号	A61B8/5207 A61B8/14 A61B8/4444 A61B8/4483 A61B8/485 A61B8/5269 A61B8/5276 G01S7/52022 G01S7/52042 G01S7/52077		
FI分类号	A61B8/08		
F-TERM分类号	4C601/DD19 4C601/DD23 4C601/EE04 4C601/EE11 4C601/GB03 4C601/JB28 4C601/JB49 4C601/JB51		
代理人(译)	泷野秀雄 川崎孝雄 津田俊明 福田 康弘		
优先权	62/072167 2014-10-29 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

教导了一种通过超声弹性成像在超声换能器的连续振动下对物体成像的方法。与超声换能器直接接触的致动器使换能器沿轴向连续振动，从而在组织中产生剪切波，从而实现实时剪切波成像。换能器的轴向运动必须污染并抑制组织的剪切波图像。因此，进一步教导了补偿由换能器运动引起的剪切波伪像的一些方法。[选型图]图1

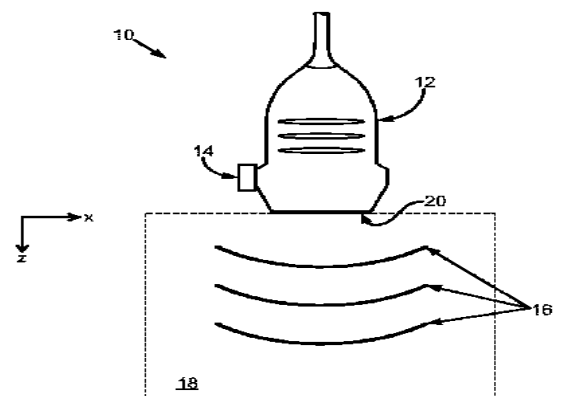


FIG. 1