

(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2014-515980

(P2014-515980A)

(43) 公表日 平成26年7月7日(2014.7.7)

(51) Int.Cl.
A61B 8/00 (2006.01)F I
A61B 8/00テーマコード (参考)
4C601

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2014-514850 (P2014-514850)
 (86) (22) 出願日 平成24年6月7日 (2012.6.7)
 (85) 翻訳文提出日 平成25年12月26日 (2013.12.26)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2012/041392
 (87) 国際公開番号 W02012/170714
 (87) 国際公開日 平成24年12月13日 (2012.12.13)
 (31) 優先権主張番号 61/494, 537
 (32) 優先日 平成23年6月8日 (2011.6.8)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/559, 647
 (32) 優先日 平成23年11月14日 (2011.11.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501149684
 ユニバーシティ オブ バージニア パテ
 ント ファウンデーション
 アメリカ合衆国22902バージニア州シ
 ャーロットビル、スウィート300、ウエ
 スト・メイン・ストリート250番
 (74) 代理人 100105957
 弁理士 恩田 誠
 (74) 代理人 100068755
 弁理士 恩田 博宣
 (74) 代理人 100142907
 弁理士 本田 淳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波アレイ用の分離可能なビーム形成

(57) 【要約】

超音波撮像装置または技術は、反射超音波エネルギーのサンプルの少なくとも近似を得ること、および組織領域内の撮像面の表示を構築することを含む。そのような装置または技術は、それぞれの集束位置に対してそれぞれ第1ラインのトランスデューサを介して得られる反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第1の和を別々に決定すること、および特定集束位置に対して反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第1の和の少なくとも一部の第2の和を別々に決定することを含み、第2の和は、超音波トランスデューサアレイにおける第2ラインのトランスデューサに対応する。少なくとも近似の複素サンプルの第1または第2の和を別々に決定することは、複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む。第2ラインのトランスデューサはトランスデューサ面におけるそれぞれの第1ラインに直交する。

【選択図】 図1

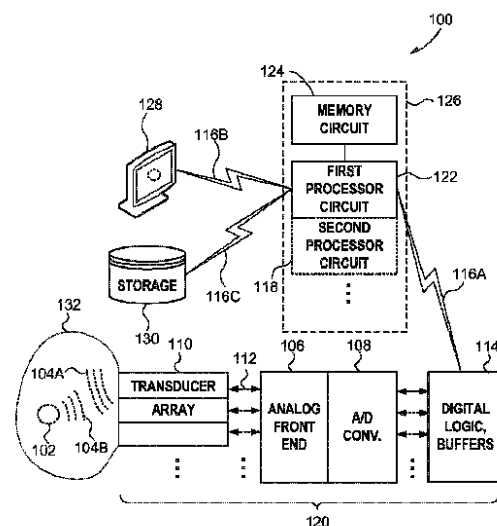


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トランスデューサ面を画定する二次元アレイに配設されかつ組織領域に超音波エネルギーを照射するように構成された複数のトランスデューサ素子を含む超音波トランスデューサアレイと共に使用するための超音波撮像システムであって、

反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを含めて前記超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報を取得し、前記反射超音波エネルギーを示す前記取得された情報を使用することを含めて前記組織領域内で撮像面の表示を構築するように構成されたプロセッサ回路を備え、

前記撮像面の表示の構築が、

10

特定集束位置を含む撮像面内のそれぞれの集束位置に対し、前記超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得られる反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和を別々に決定することであって、前記それぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた前記少なくとも近似の複素サンプルが、前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第 1 ラインに対する前記撮像面内の前記それぞれの集束位置のそれぞれ直交射影に対応する、前記第 1 の和を別々に決定すること、

前記撮像面内の前記特定集束位置に対し、前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を別々に決定することであって、前記第 2 の和が前記超音波トランスデューサアレイにおける第 2 ラインのトランスデューサに対応し、前記第 2 ラインのトランスデューサが前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第 1 ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列しかつ前記トランスデューサ面に対する前記撮像面内の前記特定集束位置の直交射影に対応する、前記第 2 の和を別々に決定すること、を含み、

20

前記少なくとも近似の複素サンプルの前記第 1 または第 2 の和を別々に決定することが、前記少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む、超音波撮像システム。

【請求項 2】

前記プロセッサ回路が、直接サンプル同相直交 (DSIQ) サンプリングを用いて前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを取得するように構成されている、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

30

【請求項 3】

前記超音波トランスデューサアレイと、

前記プロセッサ回路によって構築された前記組織領域内の面の表示の画像を示すように構成されたディスプレイと、を備え、

前記超音波トランスデューサアレイ、前記プロセッサ回路、および前記ディスプレイが、交流 (AC) 主電源から同時に得られる電力を必要とすることなく動作するように構成されたハンドヘルド組立体を構成する、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 4】

前記複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することが、それぞれの集束位置からそれぞれのトランスデューサ位置への幾何学的音響伝搬時間遅延の近似に対応する打ち切りテイラー級数展開を用いて、それぞれの位相回転ファクタを決定することを含み、

40

前記打ち切りテイラー級数展開が、それぞれの集束位置の直交射影を含むそれぞれの第 1 ラインを構成するそれぞれのトランスデューサを介して得たそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 1 組のそれぞれの位相回転と、前記超音波トランスデューサアレイに対する前記特定集束位置の直交射影に対応する前記第 2 ラインを構成するそれぞれのトランスデューサを介して得たそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 2 組のそれぞれの位相回転とに分離される、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 5】

前記プロセッサ回路が、C モード撮像面内の各集束位置に対し、

50

それぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得た反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和を別々に決定し、かつ

前記超音波トランスデューサアレイに対する前記 C モード撮像面内のそれぞれの集束位置の直交射影に対応する前記超音波トランスデューサアレイのそれぞれ第 2 ラインのトランスデューサに対応する、前記それぞれ第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を別々に決定する、

ことによって C モード表示を構築するように構成されている、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 6】

前記それぞれ第 1 の和を別々に決定することが、前記それぞれ第 1 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 1 アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含み、

前記第 2 の和を別々に決定することが、前記第 2 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 2 アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含む、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 7】

前記プロセッサ回路が、

前記組織領域内の第 1 特定深さにおける第 1 面の少なくとも一部分の第 1 C モード表示の少なくとも一部分を構築するように構成され、かつ

前記組織領域内の第 2 特定深さにおける第 2 面の少なくとも一部分の第 2 C モード表示の少なくとも一部分を構築するように構成されている、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 8】

前記プロセッサ回路が、前記第 1 および第 2 C モード表示からの情報を用いて前記組織内の C モード撮像面以外の特定面の表示を構築するように構成されている、請求項 7 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 9】

前記プロセッサ回路が、

前記反射超音波エネルギーの実時系列サンプルを取得することを含めて前記超音波トランスデューサアレイから前記反射超音波エネルギーを示す情報を取得するように構成され、かつ

前記実時系列サンプルの少なくとも一部の第 3 の和を決定することを含めて前記撮像面の表示を構築するように構成されており、

前記第 3 の和を決定することが、前記実時系列サンプルの少なくとも一部に特定の時間遅延を適用することを含む、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 10】

前記第 1 ラインが、前記超音波トランスデューサアレイによって画定される面内で前記第 2 ラインに直交する、請求項 1 に記載の超音波撮像システム。

【請求項 11】

トランスデューサ面を画定する二次元アレイに配設された複数のトランスデューサ素子を含む超音波トランスデューサアレイを使用する超音波撮像のための方法であって、前記超音波トランスデューサアレイが組織領域に超音波エネルギーを照射するように構成されており、当該方法が、

反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを含めて前記超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報を取得すること、

前記反射超音波エネルギーを示す前記取得された情報を使用することを含めて前記組織領域内で撮像面の表示を構築すること、を備え、

前記撮像面の表示を構築することが、

特定集束位置を含む撮像面内のそれぞれの集束位置に対し、前記超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得られる反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和を別々に決定することであ

10

20

30

40

50

って、前記それぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた前記少なくとも近似の複素サンプルが、前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第 1 ラインに対する前記撮像面内の前記それぞれの集束位置のそれぞれ直交射影に対応する、前記第 1 の和を別々に決定すること、

前記撮像面内の前記特定集束位置に対し、前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を別々に決定することであって、前記第 2 の和が前記超音波トランスデューサアレイにおける第 2 ラインのトランスデューサに対応し、前記第 2 ラインのトランスデューサが前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第 1 ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列しかつ前記トランスデューサ面に対する前記撮像面内の前記特定集束位置の直交射影に対応する、前記第 2 の和を別々に決定すること、を含み、

前記少なくとも近似の複素サンプルの前記第 1 または第 2 の和を別々に決定することが、前記少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む、方法。

【請求項 1 2】

直接サンプル同相直交 (DSIQ) サンプリングを用いて前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを取得することを備える請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

プロセッサ回路と前記超音波トランスデューサアレイとを備えたハンドヘルド組立体を用いて前記撮像面の表示を構築すること、

交流 (AC) 主電源から同時に得られる電力を必要とすることなく動作するように構成された前記ハンドヘルド組立体を使用して前記表示の画像をディスプレイ表示すること、を備える請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することが、それぞれの集束位置からそれぞれのトランスデューサ位置への幾何学的音響伝搬時間遅延の近似に対応する打ち切りテイラー級数展開を用いて、それぞれの位相回転ファクタを決定することを含み、

前記打ち切りテイラー級数展開が、それぞれの集束位置の直交射影を含むそれぞれの第 1 ラインを構成するそれぞれのトランスデューサを介して得たそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 1 組のそれぞれの位相回転と、前記超音波トランスデューサアレイに対する前記特定集束位置の直交射影に対応する前記第 2 ラインを構成するそれぞれのトランスデューサを介して得たそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 2 組のそれぞれの位相回転とに分離される、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

C モード撮像面の各集束位置に対し、

それぞれ第 1 ラインのトランスデューサを介して得た反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第 1 の和を別々に決定し、かつ

前記超音波トランスデューサアレイに対する前記 C モード撮像面内のそれぞれの集束位置の直交射影に対応する前記超音波トランスデューサアレイのそれぞれ第 2 ラインのトランスデューサに対応する、前記それぞれ第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を別々に決定する、

ことによって C モード表示を構築することを備える請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記それぞれ第 1 の和を別々に決定することが、前記それぞれ第 1 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 1 アポダイゼーション加重ファクタを用いることを含み、

前記第 2 の和を別々に決定することが、前記第 2 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 2 アポダイゼーション加重ファクタを用いることを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記組織領域内の第 1 特定深さにおける第 1 面の少なくとも一部分の第 1 C モード表示の少なくとも一部分を構築すること、

10

20

30

40

50

前記組織領域内の第2特定深さにおける第2面の少なくとも一部分の第2Cモード表示の少なくとも一部分を構築すること、を備える請求項11に記載の方法。

【請求項18】

前記第1および第2Cモード表示からの情報を用いて前記組織内のCモード撮像面以外の特定面の表示を構築することを備える請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記反射超音波エネルギーの実時系列サンプルを取得することを含めて前記超音波トランスデューサアレイから前記反射超音波エネルギーを示す情報を取得すること、

前記実時系列サンプルの少なくとも一部の第3の和を決定することを含めて前記撮像面の表示を構築すること、を備え、

前記第3の和を決定することが、前記実時系列サンプルの少なくとも一部に特定の時間遅延を適用することを含む、請求項11に記載の方法。

【請求項20】

前記第1ラインが、前記超音波トランスデューサアレイによって画定される面内で前記第2ラインに直交する、請求項11に記載の方法。

【請求項21】

ハンドヘルド組立体の一部分として含まれる少なくとも1つのプロセッサによって実行される命令を含むプロセッサ可読媒体であって、前記プロセッサによって当該命令が実行されたとき、前記ハンドヘルド組立体が、

前記ハンドヘルド組立体の一部分として含まれる超音波トランスデューサアレイであって、トランスデューサ面を含む二次元アレイに配設された複数のトランスデューサ素子を備え、組織領域に超音波エネルギーを照射するように構成された前記超音波トランスデューサアレイを制御して超音波エネルギーを発生または反射超音波エネルギーを受信させ、

直接サンプル同相直交(DSIQ)サンプリングを用いて前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを取得することを含めて前記超音波トランスデューサアレイから前記反射超音波エネルギーを示す情報を取得し、

前記反射超音波エネルギーを示す前記取得された情報を用いることを含めて前記組織領域内で撮像面の表示を構築し、

前記撮像面の表示の構築が、

特定集束位置を含む撮像面内のそれぞれの集束位置に対し、前記超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれ第1ラインのトランスデューサを介して得られる反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第1の和を別々に決定することであって、前記それぞれ第1ラインのトランスデューサを介して得られた前記少なくとも近似の複素サンプルが、前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第1ラインに対する前記撮像面内の前記それぞれの集束位置のそれぞれ直交射影に対応する、前記第1の和を別々に決定すること、

前記撮像面内の前記特定集束位置に対し、前記反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれ第1の和の少なくとも一部の第2の和を別々に決定することであって、前記第2の和が前記超音波トランスデューサアレイにおける第2ラインのトランスデューサに対応し、前記第2ラインのトランスデューサが前記トランスデューサ面内の前記それぞれ第1ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列しかつ前記トランスデューサ面に対する前記撮像面内の前記特定集束位置の直交射影に対応する、前記第2の和を別々に決定すること、を含み、

前記少なくとも近似の複素サンプルの前記第1または第2の和を別々に決定することが、前記少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む、プロセッサ可読媒体。

【請求項22】

前記命令は、

前記反射超音波エネルギーの実時系列サンプルを取得することを含めて前記超音波トランスデューサアレイから前記反射超音波エネルギーを示す情報を取得すること、

10

20

30

40

50

前記実時系列サンプルの少なくとも一部の第3の和を決定することを含めて前記撮像面の表示を構築すること、

を前記ハンドヘルド組立体に行わせる命令を含み、

前記第3の和を決定することが、前記実時系列サンプルの少なくとも一部に特定の時間遅延を適用することを含む、請求項21に記載のプロセッサ可読媒体。

【請求項23】

前記第1ラインが、前記超音波トランスデューサアレイによって画定される面内で前記第2ラインに直交する、請求項20に記載のプロセッサ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、超音波撮像システムおよび方法、ならびにプロセッサ可読媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

医療診断用超音波は、とりわけ心臓、胎児、および乳房撮像において重要な役割を担う。例えば、超音波のリアルタイム性および電離放射線の欠如は、超音波を他の選択肢より魅力的にすることができる。残念ながら、高レベルの画像クラッタは特定の患者にとって重大な問題を提起することがあり得、回折効果は空間分解能を（例えば数百ミクロン程度に）制限することがあり得る。例えば、動的集束を使用して、予測された理論的回折限界に近づくことができる。一般的に利用可能な手法を用いると、そのような集束は、撮像システムのコストまたは複雑さを受け入れられないほど増大することがあり得る。

20

【0003】

一般的に、超音波の分解能限界は z/D にすぎないと想定される。ここで z は超音波の波長を表すことができ、 z は撮像対象の標的までの距離を表すことができ、 D は超音波トランスデューサに対応する開口サイズを表すことができる。したがって、分解能を改善するために少なくとも2つの手段を使用することができる。第一の手段として、動作周波数を増大し、それによって波長を低減することができる。そのような波長の低減は浅い深さではうまく働くが、関心領域の深さが増大するにつれて周波数依存減衰によって限定されることがあり得る。動作周波数が増大するにつれて、信号対雑音比（SNR）も、低すぎるため有用な画像を形成することができなくなるまで、低下することがあり得る。ある手法では、符号化励起によりこの効果を軽減することができるが、分解能とSNRとの間のトレードオフは依然として存在する。別の手法では、分解能は、撮像開口を少なくとも f ナンバ（例えば z/D ）が0.5にほぼ等しくなるまで拡大することによって、増大させることができる。開口の増大は概して有効であり得るが、開口をむやみに大きくすることはできない。

30

【0004】

過去10年間に、二次元（2D）アレイは研究上の好奇心から一般的な臨床用ツールへの進展を見た。2Dアレイの適用の大部分は、心臓病学における高速ボリューム取得にあった。そのような2Dアレイシステムは多くの能動素子を含むことができ、プローブ組立体内に集積回路を含むことができる。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一般的に、トランスデューサ素子の二次元アレイを含むことのできる超音波撮像装置は、何万ドルを超えるコストがかかり得る。そのような2Dアレイはサブアレイビーム形成技術を使用することができるが、そのような方法は一般的に分解能およびコントラストを理論的限界以下に制限する。携帯用電池式スキャナのような2Dアレイベーススキャナは、例えばチャンネル数、アレイサイズ、または計算要求の1つ以上の低減などを介して、商業的実現可能性を高めることができる。

【0006】

50

特に、２Ｄ超音波トランスデューサアレイは、そのようなビーム形成に関連する比較的高いチャネル数およびデータレートなどのため、重大なビーム形成計算上の課題を提起することがあり得る。そのような課題は、そのような２Ｄトランスデューサアレイが電池式ハンドヘルド装置の一部として含まれる場合には、電力効率要求のため、さらに厳しさを増すことがあり得る。本発明の発明者は、とりわけ２Ｄアレイビーム形成技術を２つの分離可能なラインアレイビーム形成演算に分解できることに気付いた。そのような「分離可能な」技術は、組織のボリュームなど、組織の指定領域のスキャンまたは画像再構成を実行するなどのため、周波数領域位相ベースのビーム形成（例えば集束）と共に使用することができる。そのような「分離可能な」技術は、他の手法と比較して計算要求を低減することができる。

10

【課題を解決するための手段】

【０００７】

一実施例では、超音波撮像システムは、例えば近接場の分離可能なビーム形成技術を用いて、組織領域の一部（例えばＣモード撮像面のような撮像面、または複数のＣモード表示から得た情報を用いて決定された任意の面）の表示を構築することができる。そのような技術は、遅延和（ＤＡＳ）ビーム形成手法、例えば品質を犠牲にして計算要求を軽減すること、位相回転ベースのビーム形成法の１つ以上を含むことができる。そのような位相回転ベースの技術は、直接サンプル同相直交（ＤＳＩＱ）サンプリングを用いて、複素エコーデータを近似することを含むことができる。特定の条件下で、分離不能な２Ｄ撮像と比較して、分離可能な技術を使用して最高２０倍のフレームレートの増大が可能である。

20

【０００８】

一実施例では、特定の時間遅延補間を使用すると、分離可能なＤＡＳ集束は、実用条件下で目立つ撮像劣化を生じない。ＤＳＩＱ技術を使用して集束した場合、多少の劣化を伴って同様の結果を得ることができるが、そのようなＤＳＩＱ集束をわずかな変更することにより、撮像コントラストを大幅に高めて、それをＤＡＳに匹敵させることができる。

【０００９】

一実施例では、超音波撮像装置または技術は、反射超音波エネルギーのサンプルの少なくとも近似の値を得ること、および組織領域内の撮像面の表示を構築することを含むことができる。そのような装置または技術は、それぞれの集束位置に対し、それぞれの第１ラインのトランスデューサを介して得られた反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第１の和を別々に決定すること、および特定の集束位置に対し、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第１の和の少なくとも一部の第２の和を別々に決定することを含むことができ、第２の和は超音波トランスデューサアレイにおける第２ラインのトランスデューサに対応する。少なくとも近似の複素サンプルの第１または第２の和を別々に決定することは、複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含むことができる。第２ラインのトランスデューサは、トランスデューサ面におけるそれぞれの第１ラインに対し直交することができる。

30

【００１０】

この概要は、本特許出願の対象の概要を提供するように意図されている。それは本発明の排他的または網羅的説明を提供すること意図するものではない。本特許出願に関するさらなる情報を提供するために、詳細な説明が含まれる。

40

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】超音波撮像システムの少なくとも一部分の一例を概略的に示す。

【図２】波形の複素表示を近似することのできる時間領域波形をサンプリングするなどのための方法などの技術の一例を概略的に示す。

【図３Ａ】分離不能な２Ｄ集束技術を含むことのできる一例を概略的に示す。

【図３Ｂ】図３Ｂにおいてそれぞれの第１ラインに沿って１組の第１ビーム形成和を決定すること、およびトランスデューサアレイ上で第１ラインと直交する第２ラインに沿って

50

指定された集束位置に対応する第 2 ビーム形成和を別個に決定することを含む、分離可能な集束技術を概略的に示す。

【図 3 C】図 3 B においてそれぞれの第 1 ラインに沿って 1 組の第 1 ビーム形成和を決定すること、およびトランスデューサアレイ上で第 1 ラインと直交する第 2 ラインに沿って指定された集束位置に対応する第 2 ビーム形成和を別個に決定することを含む、分離可能な集束技術を概略的に示す。

【図 4 A】非加重 S D A S 技術の場合について、それぞれの焦点深度に対応するシミュレート二乗平均平方根 (R M S) 位相誤差の例を概略的に示す。

【図 4 B】アポダイゼーション加重 S D A S 技術の場合について、それぞれの焦点深度に対応するシミュレート二乗平均平方根 (R M S) 位相誤差の例を概略的に示す。

【図 5 A】N D A S 技術について、窓正弦または B スプラインベースの補間技術を用いて、 $f / \# = 1.4$ で約 15 mm の深度で集束したそれぞれのシミュレートビームプロットの補間誤差を示す実証例を概略的に示す。

【図 5 B】S D A S 技術について、窓正弦または B スプラインベースの補間技術を用いて、 $f / \# = 1.4$ で約 15 mm の深度で集束したそれぞれのシミュレートビームプロットの補間誤差を示す実証例を概略的に示す。

【図 6】N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応するそれぞれのシミュレート点拡がり関数 (P S F) の実証例を概略的に示す。

【図 7】図 7 A ~ 図 7 F は、様々な指定焦点深度に対してシミュレーションすることができる、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応するそれぞれのシミュレートビームプロットの実証例を概略的に示す。

【図 8】図 8 A ~ 図 8 I は、低い f ナンバ、浅い焦点深度、および増大した励起パルス周波数をはじめとするより困難な撮像条件下で、N D A S、S D A S、および S D F 集束技術に対するシミュレート 2 D __ P S F を含むことができる実証例を概略的に示す。

【図 9】図 9 A ~ 9 F は、例えばシミュレート無反響嚢胞ファントムを含む F I E L D __ I I を用いた、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応するシミュレート C モード画像間の比較の実証例を概略的に示す。

【図 10】図 10 A ~ 図 10 D は、図 9 A ~ 図 9 F の実証例の C モード画像スライスと同様の様々な深さの C モード画像スライスから構築される、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応して得ることのできるシミュレート B モードスライス間の比較の実証例を概略的に示す。

【図 11】図 11 A ~ 図 11 F は、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応する実験的に得られた C モード画像スライス間の比較の実証例を概略的に示す。

【図 12 A】様々なビーム形成技術に対して得ることのできる、達成可能なフレームレート対開口寸法の比較の実証例を概略的に示す。

【図 12 B】様々なビーム形成技術に対して得ることのできる、達成可能なフレームレート対開口寸法の比較の実証例を概略的に示す。

【図 13】分離可能なビーム形成技術を含むことのできる方法のような技術を概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

図面は必ずしも縮尺通りに描かれておらず、図面における同様の符号は、異なる図中の同様の構成要素を表す。異なる文字添え字を有する符号は、同様の構成要素の異なる例を表す。図面は、限定のためではなく、例証として、本書に記載する様々な実施形態を概略的に示す。

【0013】

一般的に利用可能なビーム形成技術は、受信中に単一「ビーム」を形成するように、開口内の全チャネルから得た加重時間遅延エコー情報を合計することを含むことができる。ボリュームからエコー情報を (例えばアジマス、エレベーション、および時間 / 深さは

10

20

30

40

50

じめとする) 提供することのできる二次元(2D)アレイの場合、そのようなビーム形成は、空間フィルタリングまたは畳込み演算とみなすことができる。しかし、そのようなビーム形成の計算またはエネルギーコストは、数千個のチャネルを持つ2Dトランスデューサアレイに適用する場合、手が出せないほど高くなることもあり得る。例えば、ハンドヘルド電池式システムでは、そのようなシステムが再充電まで多時間寿命の電池に指定される場合、そのようなエネルギーコストは重要になることがあり得る。

【0014】

2Dトランスデューサアレイを含む超音波撮像システムのフレームリフレッシュレート(例えば「フレームレート」)を増加するために、様々な技術を使用することができる。フレームレートのそのような増加は、それに対応する1フレーム当たりの計算コストの低減に関連付けることができる。例えば、スパース2Dアレイ、合成開口法、送受信コアレイ(coarray)、部分開口法、平行ビーム形成、または平面波送信と限定回折受信ビーム集束のうちの1つ以上を使用することができる。別の手法では、相互接続の複雑さまたは計算コストを低減するためにトランスデューサ組立体に近接してまたは組立体内で部分集束を実行するために、2Dアレイによる診断用超音波撮像に、フェーズド2Dサブアレイ集束、または「マイクロ-ビーム形成」を使用することができる。

10

【0015】

本発明の発明者は、とりわけ、2Dビーム形成技術を分離した1Dラインアレイビーム形成技術に分解することができることに気付いた。それぞれの1Dビーム形成部分の結果を複数回再使用することによって、そのような「分離可能な」技術により計算効率を達成することができる。様々な周波数領域ビーム形成技術を分離可能な技術と共に使用することができ、例えば時間の次元で1DFFTを使用して狭帯域信号の遅延を実現すること、または一部のSONARボリューム撮像法のように、X-Y面で2DFFTを使用することを含むことができる。分離可能な手法はまた、例えばチャープゼータ変換(CZT)またはフレネル近似を使用して、近接場広帯域SONAR用途でも使用することができる。三次元(3D)超音波撮像では、分離可能な技術は、例えばパーソナルコンピュータ(PC)の多ノードクラスタに実装された、時系列1DFFT加速法の変形を使用することを含むことができる。PCのクラスタまたは幾つかのフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)を使用するそのような実時間3D超音波ビーム形成の実現は、主にシステムの性能を対象としているが、そのような技術は一般的に、完全サンプリング2Dアレイからエコー情報を得るように構成された電池式のハンドヘルドシステムで、実用的な実時間撮像を行うことはできない。

20

30

【0016】

対照的に、本発明の発明者はまた、ボリュームおよび平面(例えばCモード)撮像のための分離可能なビーム形成器が、例えばアジマスおよびエレベーション方向(例えば、2次元トランスデューサアレイによって画定される平面内)の逐次1D畳込みを用いることを含めることができるなど、ハンドヘルドシステムを用いて実現できることにも気付いた。一手法では、例えば異なる時間遅延補間技術を含めることができるなど、分離可能な遅延和ビーム形成技術を使用することができる。別の手法では、例えば直接サンプル同相直交(DSIQ)サンプリング技術を使用することを含め、ハンドヘルド装置における電力効率のよいCモード撮像のために、2D集束技術を実現することができる。そのようなDSIQ技術は、各チャネルにおける完全時系列サンプリングを必要としないことによって、電力消費を大幅に低減することができる。実証例において、そのようなDSIQサンプリング技術は、一般的に利用可能なフロントエンドシステムの各チャネルの場合1チャネル当たり約数十ミリワットであるのに比較して、例えば3600チャネルのアナログフロントエンド全体で、消費電力をわずか約数十ミリワット(mW)とすることができる。DSIQサンプリング技術は、少なくとも部分的に時間遅延に対する近似のために位相回転を使用することから、一般的に制限された時間遅延分解能しか達成することができない。

40

【0017】

本発明の発明者は、とりわけ、「M×N」によって表すことのできる寸法を有する2D

50

焦点開口の場合、分離可能な集束が、例えば、アレイサイズとは関係なく、 40×40 の素子開口の場合、20倍の増加を生じるなど、分離不能な集束より「 $MN / (M + N)$ 」の速度増加を生み出すことができることに気付いた。このレベルの性能向上は、毎秒約30フレーム超の固有のフレームレート能力を、対応する1フレーム当たりの電力消費の低減を通して追加の電池寿命として回復することのできる、ハンドヘルド2Dアレイ超音波システムの場合に、顕著であると考えられる。

【0018】

図1は、超音波撮像システムを含むことのできるシステム100の一部分、およびシステム100を使用することのできる環境の一部分の例を概略的に示す。一実施例では、システム100は、第1プロセッサ回路122、メモリ回路124、ディスプレイ128、格納ユニット130、1つ以上のトランスデューサ110、例えばバス112を介してトランスデューサ110のアレイに結合されたアナログフロントエンド106、1つ以上のアナログデジタル(A/D)変換器108、および例えば1つ以上のバッファを含むデジタル論理回路114を含むことができる。図1では、メモリ回路124、第1プロセッサ回路122、または第2プロセッサ回路118のような1つ以上の追加プロセッサ回路の1つ以上を、コンピュータシステム126に含めることができる。そのようなコンピュータシステム126は、ハンドヘルドまたはタブレットコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、コンピュータサーバ、または1つ以上の汎用コンピュータもしくは例えば有線または無線通信リンク116Aを介してトランスデューサブロック120から超音波エコー情報を得るように構成されたような専用コンピュータの組合せを含むことができる。

10

20

【0019】

一実施例では、関心領域132は、第1標的102のような1つ以上の実際の標的を含むことができる。関心領域132は、例えば第1プロセッサ回路122の制御下で、例えばトランスデューサアレイ110によって提供されるエネルギーを用いて励起させること(例えば超音波を照射するなど)ができる。例えば、送信された超音波エネルギー104Aは関心領域132中を伝搬することができ、送信されたエネルギー104Aの一部分は、第1標的102のような1つ以上の標的によって散乱または反射して、エコー104Bをもたらすことができる。トランスデューサアレイ110は、エコー104Bの一部分を受信するように構成することができる。アナログフロントエンド回路106は、結果的に得られた変換エコー信号を処理するように、例えば受信したエコー104Bのコンディショニング、遅延、フィルタリング、位相回転、またはその他の処理を施すように、構成することができる。

30

【0020】

信号処理はさらに、例えばアナログデジタル変換器108の1つ以上を使用して、受信したエネルギーをアナログ信号表現からデジタル表現に変換することを含むことができる。アレイ例では、バス112、A/D変換器108、またはデジタル論理回路114の1つ以上が、トランスデューサのアレイ110に含まれるそれぞれのトランスデューサに対応するそれぞれのチャネルを含むことができる。例えば、トランスデューサのアレイ110内のトランスデューサは、それぞれのアナログデジタル変換器を含むアナログフロントエンド106のそれぞれの部分に結合することができ、あるいはそれぞれのデジタルバッファによってバッファリングすることができる。アレイ例では、(例えば単一送信内で、または複数の送信を跨いで)経時的に多重化するなど、例えば超音波トランスデューサ組立体120の構成を簡素化するために、アナログフロントエンド106の1つ以上の部分、1つ以上のアナログデジタル変換器108、またはデジタル論理回路を2つ以上のトランスデューサの間で共用することができる。

40

【0021】

一実施例では、格納ユニット130は、コンピュータシステム126のような汎用または専用コンピュータの一部として含めることができる。例えば、超音波エコー情報は、超音波トランスデューサ組立体120から得られ、例えば有線または無線通信リンク116

50

Cを介して格納ユニット130に転送されて、格納ユニット130に格納される。一実施例では、超音波エコー情報は、例えば標的102を示す表現を含む画像を再構成するように、処理することができる。そのような処理は、トランスデューサ組立体120を制御するために使用することのできるものと同じコンピュータシステム126を使用して行う必要はない。

【0022】

以下の実施例に含まれる1つ以上の技術は、とりわけ、例えば、メモリ回路124または格納ユニット130の1つ以上に格納された命令に対応して、システム100によって実行されるように、機械実装またはコンピュータ実装することができる。一実施例では、メモリ回路124または格納ユニット130の1つ以上が、例えば第1または第2プロセッサ122、118によって実行されたときに、以下の実施例に含まれる技術の1つ以上をシステムのプロセッサに実行させる命令を含む、プロセッサ可読媒体を含むことができる。

10

【0023】

一実施例では、トランスデューサアレイ110は、超音波エネルギーを用いて関心領域132に超音波を照射するように構成することができ、関心領域は組織領域（例えば乳房領域、睾丸領域、または1つ以上の他の部位）を含むことができる。そのような実証的組織撮像例では、標的102は、関心領域132における嚢胞または他の異質部分を表すことができる。そのような実証的組織撮像例では、反射エネルギーは超音波エコー104Bを含むことができ、それをデジタル化してエコーデータセットに変換し、コンピュータシステム126に提供することができる。例えば、コンピュータシステム126は次いで、例えばディスプレイ128を使用して画像として表示するなど、表示（例えば、Cモード表示または1つ以上の他の表示）を構築することができる。

20

【0024】

実証例において、第1プロセッサ回路122は、テキサスインスツルメンツ社（米国テキサス州ダラス）から市販されているような、携帯電話クラスの「オープンマルチメディアアプリケーションプラットフォーム」（OMAP）3530マイクロプロセッサを含むことができる。アレイ110は、分離不能なDAS法を使用した場合の16Hzから分離可能なDAS法の場合の255Hzまで、かつ分離不能なDSIQ法の場合の11Hzから分離可能なDSIQ法の場合の193Hzまで増大する、1Cモードスライス当たりのフレームレートをもたらすように、例えば40×40アパーチャを使用して集束させることのできる、60×60のチャネルアレイを含むことができる。この実証例では、1フレーム当たりのエネルギー使用量は、分離不能なDAS法対分離可能なDAS法では1フレーム当たり75ミリジュール（mJ）から4.8mJ/フレームに、かつ分離不能なDSIQ法対分離可能なDSIQ法では107mJ/フレームから6.3mJ/フレームに低減させることができる。一般的に、特定の条件下で、そのような分離可能な技術は、匹敵するデータサイズで2D高速フーリエ変換ベース（FFT）の集束を1.64倍向上させることもできる。したがって、本発明の発明者は、分離不能なまたはFFTだけをベースとする技術を用いた場合と比較して、分離可能な技術が、2Dアレイを持つハンドヘルド装置のフレームレートおよび電池寿命を著しく改善できることに気付いた。

30

40

【0025】

図2は、波形208の複素表示を近似することのできる時間領域波形208のサンプリングの方法200のような技術の一実施例を概略的に示す。そのような波形208は、2Dアレイに含まれる1つ以上の超音波トランスデューサから得たエコー情報に対応することができる。本発明の発明者は、とりわけ、直接サンプル同相/直交（DSIQ）サンプリングを、例えば携帯型ハンドヘルド2Dアレイ超音波システムを用いてCモード撮像表示を構築するための効率的な位相ベースの集束技術の一部として含めることができることに気付いた。DSIQサンプリング技術では、第1サンプルの時間に対応する（例えば特定深さからの反射エネルギーがトランスデューサに到達する時間に対応する）往復伝搬遅延を有する特定深さのスライスに対応して、例えば第1サンプルおよび4分の1周期だけ

50

遅延した第2サンプルを備えたそれぞれの対を1つ以上を含むなど、1対以上のサンプルを得ることができる。例えば、そのようなDSIQサンプリング技術は、平面波送信に回答して、特定の関心時間I1に（例えば特定の撮像深さに従って）、次いで、図2の例に示すように、送信波形208中心周波数の4分の1周期Q1、1周期I2、および1と4分の1周期Q2のような1つ以上のさらなる遅延時に、特定群のトランスデューサからサンプルを同時に得ることを含むことができる。

【0026】

図2の実証例では、これは、狭帯域の想定に従って、例えば位相回転ベースの集束に使用するため、複素復調ベースバンド信号の実部および虚部を近似することのできる、1チャンネル当たり2対のサンプルを提供することができる。1つ以上の他の位相回転ベースのビーム形成器を使用することができる。しかし、DSIQのスパースサンプリングは、高チャンネル数のハンドヘルド撮像システムに適している。

【0027】

Cモード撮像用の分離可能な集束技術の性能は、例えば分離可能な遅延和(SDAS)技術または分離可能なDSIQ集束(SDF)技術をはじめとするそのような分離可能な技術を、対応する分離不能な遅延和(NDAS)および分離不能なDSIQ集束(NDF)技術と比較することによって評価することができる。FFTベースの2DアレイのDSIQ集束の計算性能も、分離可能なDSIQ集束と相対的に評価することができる。

【0028】

NDAS法を使用する2Dアレイ超音波システムでは、焦点のトランスデューサ面への射影を中心に横方向に配設されたより大きいアレイのM×N受信開口からの信号を、例えば単一ビーム形成出力値を形成するために、加算前に遅延または加重することができる。

【0029】

これは、位置(p, q)のアレイ素子の下の領域の空間で、位置(X, Y, Z_f)の点に時間遅延集束する場合、方程式(1)ないし(3)に表すことができる。表現x(i)およびy(j)は開口素子の座標(i, j)を表すことができ、「k」は波数2πf_c/cを表すことができ、R_{xy}(i, j)は開口素子(i, j)から焦点までの距離を表すことができ、τ_{xy}(i, j)は関連伝搬時間遅延を表すことができ、A(i, j)は開口に対するアポダイゼーション(apodization)関数を表すことができ、s(i, j, t - τ_{xy}(i, j))はτ_{xy}(i, j)だけ遅延した開口素子(i, j)からの時間信号を表すことができる。加算出力F_{xy}(p, q, t)は、例えば包絡線検出または他の処理の後など、t = 0で評価することのできる時系列を表す。

【0030】

位相回転ベースの集束のような別の手法では、焦点開口のそれぞれの素子s(i, j)に対し、複素サンプルを得ることができる。次いで、方程式(5)のように加算する前に、伝搬位相またはアポダイゼーションの1つ以上を組み込むなど、方程式(4)からC(i, j)によって表すことのできる複素加重を適用することができる。

【0031】

【数1】

$$R_{XY}(i, j) = Z_f + \sqrt{(X - x(i))^2 + (Y - y(j))^2 + Z_f^2}$$

【0032】

【数2】

$$\tau_{XY}(i, j) = R_{XY}(i, j)/c$$

【0033】

10

20

30

40

【数 3】

$$F_{XY}(p, q, t) = \sum_{i=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \sum_{j=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} A(i, j) s(p-i, q-j, t - \tau_{XY}(i, j))$$

【0034】

【数 4】

$$C(i, j) = A(i, j) e^{-jkR_{XY}(i, j)}$$

10

【0035】

【数 5】

$$F_{XY}(p, q) = \sum_{i=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \sum_{j=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} C(i, j) s(p-i, q-j)$$

図3Aは、分離不能な2D集束技術300Aを含むことのできる実施例を概略的に示す。図3Aの実施例では、一連のP点でアジマス方向（例えば陰影を付けた通り）に集束するように、 $M \times N$ 個の焦点開口304を（例えば「X」の方向などに）平行移動することができる。特定の集束位置306などの一点における集束は、 $M \times N$ の「遅延」および和演算を含むことができ、ここで「遅延」は実時間遅延、または時間遅延の位相回転ベースの近似値とすることができる。各々の場合に開口アポダイゼーションも適用することができる。 $P \times Q$ 個の焦点の特定面302のCモード表示の構築は、 $(MNPQ)$ 遅延和演算の積を含むことができる。そのようなNDAS集束技術は空間フィルタリングまたは畳込み演算と解釈することができる。方程式(5)を使用して、位相回転ベースの技術を2D複素畳込み演算と解釈することができる。

20

【0036】

図3Bおよび3Cは、図3Bにおけるそれぞれの第1ラインに沿った1組の第1ビーム形成和300Bを決定すること、および第2ラインに沿った特定の集束位置に対応する第2ビーム形成和300Cを別個に決定することを含むような、分離可能な集束技術を概略的に示す。第1および第2ラインは、（例えば、トランスデューサアレイによって画定される面内で互いに直交することのできるトランスデューサのそれぞれのラインに対応して）開口によって画定される面上で互いに直交する。

30

【0037】

分離可能な2Dアレイは一般的に、 $R_{XY}(i, j)$ を近似的に $R_X(i) + R_Y(j)$ によって表すことができるように、 $R_{XY}(i, j)$ によって表すことのできる伝搬距離を2つの成分 $R_X(i)$ および $R_Y(j)$ に分解することを含むことができる。同様に、アポダイゼーション加重 $A(i, j)$ は積 $A_X(i)A_Y(j)$ によって近似することができる。そのような近似は、 $M \times N$ の開口に対する遅延および加重演算の回数を、分離不能な例における (MN) から分離可能な例における $(M+N)$ に低減することができる。例えば、素子が開口内の N 個の異なるエレベーション位置にあるときに、1つの素子に対する M 回の可能な固有のアジマス方向の遅延または加重を再使用することができ、逆の場合も同じである。エレベーションおよびアジマスという用語は、トランスデューサアレイまたは開口によって画定される面に対し直交方向の距離を表すことのできる深さ方向と比較して、トランスデューサアレイまたは開口によって画定される面内のそれぞれ直交する次元を指すことができる。

40

【0038】

図3Bおよび図3Cに示された分離可能な技術は $M \times N$ の開口304を含むことができ、それを使用してアジマス方向（例えば陰影を付けた通り）にP点のラインに集束することができ、それをQ個のエレベーションラインの各々に対し繰り返して、完全な $P \times Q$ の

50

表示 3 0 2 (例えば組織内の特定面の C モード撮像表示) を形成することができる。

【 0 0 3 9 】

例えば、図 3 B では、一連の P 個の部分的集束出力は、それぞれの第 1 の部分的ビーム形成和をもたらすように、特定位置 3 0 6 のような P 個のそれぞれのアジマス方向の集束位置を網羅するように開口を平行移動しながら、 $R_y(j)$ に対応する遅延および $B(j)$ の加重を加えて $1 \times N$ のエレベーション方向の開口 3 0 8 を加算することによって形成される。

【 0 0 4 0 】

一実施例では、図 3 B の例に示すように、それぞれのアジマス方向の集束位置に対する第 1 の部分的ビーム形成和を決定した後、図 3 C の例に示すように開口が P 個のアジマス方向の位置を平行移動するときに、 $R_x(i)$ に対応する遅延または $A(i)$ の遅延の 1 つ以上を用いて、 $M \times 1$ の開口 3 1 0 を使用して、アジマス方向の和 (例えば別個の第 2 の和) を形成することができる。

10

【 0 0 4 1 】

例えば、図 3 B の例からの N 個の遅延加重された値の第 1 の部分 and は、第 2 の和で M 回再使用することができる。このようにして、異なるエレベーション方向の位置で Q 個の同様のラインに対し、一連の P 個の集束点を決定することができ、そのような分離可能な集束プロセスのための遅延、加重、および累算演算を $PQ(M+N)$ によって表すことができる。そのような技術は、第 1 ラインのトランスデューサ (または開口内の素子) に対応する第 1 の和を別々に決定すること、およびそれぞれの第 1 ラインに直交する第 2 ラインのトランスデューサ (または開口内の素子) に対応する第 2 の和を決定する際にそのような第 1 の和を再使用することを含むことができる。そのような分離可能な技術は、分離不能な技術と比較して計算コストを $(M+N)/MN$ 分の 1 に低減することができる。

20

【 0 0 4 2 】

【数 6】

$$r_{XY} = \sqrt{Z_f^2 + \Delta X^2 + \Delta Y^2} = Z_f \sqrt{1 + \frac{\Delta X^2}{Z_f^2} + \frac{\Delta Y^2}{Z_f^2}}$$

【 0 0 4 3 】

30

【数 7】

$$\sqrt{1+b} = 1 + \frac{1}{2}b - \frac{1}{8}b^2 + \frac{1}{16}b^3 \dots \quad b = \frac{\Delta X^2}{Z_f^2} + \frac{\Delta Y^2}{Z_f^2}$$

【 0 0 4 4 】

【数 8】

$$r_{XY} = Z_f \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta X^2}{Z_f^2} + \frac{\Delta Y^2}{Z_f^2} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta X^2}{Z_f^2} + \frac{\Delta Y^2}{Z_f^2} \right)^2 \dots \right)$$

40

【 0 0 4 5 】

【数 9】

$$r_X = Z_f \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta X^2}{Z_f^2} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta X^2}{Z_f^2} \right)^2 \dots \right)$$

【 0 0 4 6 】

【数 1 0】

$$\tau_Y = Z_f \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Y^2}{Z_f^2} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\Delta Y^2}{Z_f^2} \right)^2 \dots \right)$$

方程式 (1) の幾何学的遅延 $R_{X,Y}(i,j)$ は、 $R_X(i)$ および $R_Y(j)$ によって表される分離可能な成分に分解することができ、 $R_{X,Y}(i,j)$ の最右項は、方程式 (6) で X,Y と書き直すことができる。ここで x 次元および y 次元の差はそれぞれ X および Y によって表すことができる。一実施例では、方程式 (6) のテイラー級数展開を方程式 (7) および (8) で表すことができる。そのような式の最初の 2 項はフレネル近似として処理することができ、方程式 (9) および (10) において、 X および Y は方程式 (6) のテイラー展開を表すことができるが、 X および Y はそれぞれ零に設定される。

【0047】

X および Y の 3 項テイラー展開のそのような和は、追加の定数 Z_f および X,Y の第 3 項の分離不能な X,Y 成分を除いて、 X,Y の 3 項展開とほぼ同一とすることができる。したがって、 $R_{X,Y}(i,j)$ は、方程式 (11) および (12) を使用して $R_X(i) + R_Y(j)$ に近似することができる。ここで $R_Y(j)$ における $a - Z_f$ 項は、そのままでは和 $R_X(i) + R_Y(j)$ に現れる余分な定数を削除するために使用することができる。方程式 (13) は、結果的に得られるアジマス方向およびエレベーション方向の伝搬時間遅延 $R_X(i)$ および $R_Y(j)$ を表すことができ、それは同様に、 $R_{X,Y}(i,j)$ が $R_X(i) + R_Y(j)$ に近似することができることを満たすことができる。

【0048】

【数 1 1】

$$R_X(i) = Z_f + \sqrt{(X - x(i))^2 + Z_f^2}$$

【0049】

【数 1 2】

$$R_Y(j) = -Z_f + \sqrt{(Y - y(j))^2 + Z_f^2}$$

【0050】

【数 1 3】

$$\tau_X(i) = R_X(i)/c, \quad \tau_Y(j) = R_Y(j)/c$$

方程式 (14) および (15) における遅延和の実現のために、分離可能な集束技術の遅延、加重、および加算ステップを表すことができる。加算出力 $F_{X,Y}(p,q,t)$ は、包絡線検出後に $t = 0$ で評価することのできる時系列を表すことができる。別の手法では、例えば位相回転ベースの集束技術を使用する場合、2 つの分離可能な集束ステップは、実数値時間遅延ではなく複素値乗算 (例えば大きさおよび位相両方の情報を含む) を用いることを含む、方程式 (16) および (17) に表すことができる。

【0051】

【数 1 4】

$$F_X(p,q,t) = \sum_{i=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} A_X(i) s(p-i, q, t - \tau_X(i))$$

【0052】

10

20

30

40

50

【数 1 5】

$$F_{XY}(p, q, t) = \sum_{j=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} A_Y(j) F_X(p, q - j, t - \tau_Y(j))$$

【0 0 5 3】

【数 1 6】

$$F_X(p, q) = \sum_{i=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} A_X(i) e^{-jkR_X(i)} s(p - i, q)$$

10

【0 0 5 4】

【数 1 7】

$$F_{XY}(p, q) = \sum_{j=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} A_Y(j) e^{-jkR_Y(j)} F_X(p, q - j)$$

サンプルデータ全体にわたって 2 D 面を移動しながらの焦点開口 3 0 4 のそれぞれの 2 D 加算は、畳込みを表すことができる。例えば $N \times N$ サイズの 2 D 畳込みは、畳込みの定理、2 D __ F F T および対応する逆 F F T (I F F T) を用いて計算することができる。それぞれの 2 D __ F F T は、 $O(N \log(N))$ の持続時間を費やす X および Y 次元それぞれに対する「N」回の 1 D __ F F T に対応して、 $O(N^2 \log(N))$ 回で決定することができる。しかし、巡回畳込み問題を回避するために一般的にゼロパディングが使用され、そのような二重領域（時間領域および周波数領域）データ表現はメモリ要求を増大し、プロセッサ回路だけの L 1 キャッシュ能力を使用しかつ一般的により遅い主メモリの頻繁なアクセスを含むそのような F F T ベースの技術の実現を妨げる。加えて、固定小数点演算を使用する場合、F F T ベースの畳込みは著しい丸め誤差を導くことがあり得、それは F F T の長さと共に増大する。

20

【0 0 5 5】

〔シミュレーションおよび実験で得られた結果を含む実施例〕

30

様々な実証例で、実験的に得られたデータおよびシミュレーションによるデータは、表 1 のアレイパラメータを使用することができる。

【0 0 5 6】

【表 1】

超音波トランスデューサアレイパラメータの実証例

特性	値	単位
アレイサイズ	6 0 × 6 0	素子
ピッチ	3 0 0	μ m
中心周波数	5	M H z
周期 (D S I Q)	4	該当せず
周期 (D A S)	2	該当せず

40

分離不能な遅延和 (N D A S) および分離可能な遅延和 (S D A S) 集束技術は、少なくとも部分的に M A T L A B (マサチューセッツ州ナティック、マスワークス社) を用いて実現することができる。一実施例では、そのような技術に、8 サンプルハミング窓制限関数または三次 B スプラインベースの方法のような、2 種類の時間遅延補間を使用するこ

50

とができる。一般的に、三次 B スプライン補間は、それぞれの個別補間のために 4 タップ有限インパルス応答 (FIR) フィルタを適用する前に、それぞれの受信チャネル時系列を上り、次いで下って 2 タップ無限インパルス応答 (IIR) フィルタを操作することによって実現することができる。

【0057】

限られた範囲で、受信チャネルより多くの時間遅延演算が存在し得るので、B スプライン技術は、8 タップ窓正弦演算の約 2 倍の速度にすることができ、対応する補間誤差は 3.5 デシベル (dB) ないし 5.5 dB 低減される。

【0058】

NDAS 集束のような実証例では、方程式 (3) からの 2D 時間遅延プロファイルを使用して、 $N \times N \times L$ の畳込みカーネルを形成することができ、整数サンプルオフセットと共に窓正弦 ($L = 8$) または B スプライン補間 ($L = 4$) を使用して、それぞれ $N \times N$ の垂直時系列で時間遅延を実現する。次いで、そのようなカーネルを、 60×60 のアレイからのボリュームデータの空間変形 3D 畳込みに使用して、集束 RF 出力を生成することができる。

【0059】

実証例において、例えば SDAS 集束の場合、例えば方程式 (11) ないし (13) に従って、 $1 \times N \times L$ のアジマス集束カーネルおよび $N \times 1 \times L$ のエレベーション集束カーネルを使用し、一緒に畳み込んで NDAS の実証例と同様の集束のための効果的カーネルを形成することができる。

【0060】

分離不能な DSIQ 集束 (NDF) 技術および分離可能な DSIQ 集束 (SDF) 技術もまた、MATLAB (マサチューセッツ州ナティック、マスワークス社) で実現し、1 チャンネル当たり 4 つの実サンプルに作用して複素サンプルの近似を得ることができる。例えばそのようなサンプルは、 $t = f_c / c$ とした場合、 $s_1 = t_0$, $s_2 = t_0 + \Delta t / 4$, $t_3 = t_0 + \Delta t$, $s_4 = t_0 + 5 \Delta t / 4$ によって表すことのできる特定の時間間隔で得ることができ、 t_0 はアレイから特定の焦点深度への往復伝搬時間を表すことができる。4 分の 1 周期だけ離れている 1 素子当たりの最初の 2 つのサンプルは、第 1 複素サンプル (例えばコヒーレント復調を使用して得られた複素サンプルを近似する) の実部および虚部としてそれぞれ処理することができる。次の 2 つのサンプルは同様に、第 2 複素サンプルを近似することができる。次いで、それぞれのチャネルにつき 2 つの複素サンプルそれぞれの加重位相回転を用いるなどして、1 つ以上の特定時間遅延を周波数領域で実現することができる。

【0061】

それぞれのチャネルからのそれぞれ 1 組の第 1 複素サンプルは、1 組の第 2 複素サンプルとは別個に集束することができ、その結果を加算することができる。このようにして、第 1 または第 2 複素サンプルに関して幾何学的波形中心への時間的近接性を考慮しながら、それぞれ独立した複素集束カーネルを第 1 または第 2 複素サンプルデータセットにそれぞれ使用することができる。それぞれの開口素子 (i, j) に加重関数を使用して、最終出力を理想的または特定時間遅延に最も近い複素サンプルの方向にバイアスすることができる。

【0062】

例えば、2 つの複素サンプルの距離にほぼ等しい半値幅 (FWHM) を含むガウス関数を使用して、最も近い複素サンプルの方向に強くバイアスしながら加重を円滑に変化させるために使用することができる。これを方程式 (18) に表すことができ、ここで $w_{s_i, j}$ は複素サンプル加重を表すことができ、 t_3 は複素サンプル時間を表すことができ、 $\Delta t (i, j)$ は対応する開口素子 (i, j) の幾何学的目標時間遅延を表すことができ、 k は加重のための特定の FWHM を達成するために選択された定数を表すことができる。

【0063】

10

20

30

40

50

【数 18】

$$w_s(i, j) = e^{-k(t_s - t(i, j))^2}, k = -4 \ln(0.5) f_c^2 / \lambda^2$$

シミュレーションまたは実験的に得られた結果を含む実証例では、f ナンバに基づいて $N \times N$ の集束開口を想定することができる。NDFの実施例では、2つの複素サンプルのために、放射対称性のアポダイゼーションおよび方程式(18)によって表すことのできる素子毎の開口加重を含め、方程式(1)、(4)、および(5)を使用して、特定の焦点深度に対し、複素集束係数の $N \times N$ のアレイを計算することができる。

【0064】

10

実証例では、MATLAB関数「conv2」を使用して、倍精度浮動小数点演算を用いてインプレース2D複素畳込みを実行することができる。分離不能な2D__DSIQ集束開口の位相は、分離可能な集束技術の二乗平均平方根位相誤差を計算するための基準位相として使用することができる。開口シェーディングを考慮に入れて、位相誤差の重大さの指示を与えるために、アポダイゼーション加重後のRMS位相誤差を計算することができる。

【0065】

20

SDF集束の場合、それぞれ $1 \times N$ および $N \times 1$ の次元を含み、方程式(11)ないし(13)によって表される、アジマス集束およびエレベーション集束の集束ベクトルを、 $A_x(i)$ および $A_y(j)$ の両方に使用されるのと同じアポダイゼーション窓を使用して生成することができる。2つの1D集束ベクトルと一緒に畳み込んで、外積を表すことのできる $N \times N$ の畳込みカーネルを形成することができ、それを最終画像表示の合成前に第1および第2組の複素サンプルに独立して適用することができる。SDF技術の場合、方程式(18)によって表される加重を x および y 次元に適用して、NDFに使用される $N \times N$ の積開口加重を生成することができる。

【0066】

30

実証例では、FIELD__IIソフトウェアを使用し、表1に示すパラメータを使用し、1物理トランスデューサ素子当たり 2×2 のモデル化トランスデューサ素子を含み、特定帯域幅を含むガウス窓送信パルスを使用して、少なくとも部分的に1つ以上の技術のシミュレーションを実行することができる。FIELD__IIでは、アーチファクトを回避するために、中心周波数の128倍のサンプルレートを使用することができる。そのようなシミュレーションの出力は、実際に達成可能なハードウェアシステムの性能をシミュレーションするために、ビーム形成前に約40MHzにダウンサンプリングすることができる。分離可能なビーム形成器の撮像性能を分離不能な同等物と比較するために、シミュレートPSFおよびビームプロット、ならびにシミュレーションおよび実験による無反響嚢胞画像を生成することができる。無反響嚢胞画像については、方程式(19)を使用してコントラストノイズ比(CNR)を計算することができる。式中 μ および σ は、添え字で示す通り特定病変または背景エリアの画像の対数尺度の平均および標準偏差を表すことができる。

【0067】

40

【数 19】

$$CNR = (\mu_{\text{lesion}} - \mu_{\text{bgnd}}) / (\sigma_{\text{lesion}} + \sigma_{\text{bgnd}})^{1/2}$$

実験的に得た情報は、図1の実施例または参照によってその内容全体を本書に援用する米国特許第7,699,776号の実施例など、本書における様々な実施例で一般的に論じるハードウェア構成を用いて得ることができる。例えば、携帯用の電池駆動式システムは、ハードウェアまたは表1の実施例における取得パラメータを含む集積化2Dトランスデューサを含むことができる。そのような組立体は重量を例えば約170グラム未満にすることができ、送信事象後の特定時間間隔中にそれぞれの素子から同時に超音波エコー情

50

報を得るために、2Dトランスデューサアレイに取り付けられた1つ以上のそれぞれのカスタムフロントエンドICフリップチップを含むことができる。

【0068】

実験的に得る情報のために、4サイクル、5MHzの送信パルスを使用することができる。そのようなパルスの後に、40MHzのサンプルクロックを使用して、特定期間に1素子当たり4つのサンプルを捕捉することができる（例えばDSIQサンプリング技術の場合）。それぞれのCモード表示からの情報を集約することによって、組織領域の特定の面に対応する画像（またはファントム）を得ることができる。例えば、異なる撮像深さに対応する、順次取得したCモード画像面からのそれぞれのスライスを積み重ねて、実験的に得るBモード画像を構築することができる。このようにして、組織の特定ボリューム領域に対応するエコー情報を得ることができる。

10

【0069】

15mmの深さに直径10mmの無反響シリンダを含む、CIRS050型（米国バージニア州ノーフォーク、CIRS社）のような近接場超音波ファントムを模倣する組織を、実験的に得られる情報のための標的として使用することができる。

【0070】

表2の第1列の例にある、または図1の実施例に関連して上述したOMAP3530「スマートフォン」向きプロセッサ回路を使用して、それぞれ分離不能または分離可能バージョンの遅延和（NDAS、SDAS）およびDSIQ集束（NDF、SDF）を実行するための計算時間を、種々の開口サイズに対して測定することができる。計算のエネルギーコストは、例えばDC3.3ボルト（VDC）の供給電力を使用する、OMAPプロセッサおよび関連電力管理集積回路（PMIC）の測定電流消費の積分を使用して決定することができる。

20

【0071】

OMAPプロセッサ回路を使用して実験的に得られる情報の場合、単一命令複数データ（SIMD）アセンブリ命令を使用するための内部ループ最適化の有無に拘わらず、「-O3」コード最適化レベルを使用するGNU「gcc」コンパイラでコンパイルされた、16ビットの符号付整数データ型を使用して、1つ以上の技術を「C」プログラミング言語で実現することができる。実証例では、そのようなSIMD命令を使用して、例えば4つの積和演算を平行して実行することができる。実験的に得られる情報の場合、報告された「計算時間」は、ボリューム収束画像の単一Cモードスライスを集束（例えば決定）するための時間を表すことができる。

30

【0072】

三次Bスプライン補間を使用する遅延和集束技術を含む実証例の場合、これは、 $N \times N$ カーネルにより 60×60 アレイの4つの別々のスカラ2D畳込みを実行する時間を表すことができる。DSIQベースの収束を含む実証例の場合、そのような「計算時間」は、 $N \times N$ カーネルにより 60×60 アレイの2つの複素2D畳込みを実行する時間を表すことができる。そのような時間計算は、現実的な使用事例を示すキャッシュ使用量を得るために2つの入力データセットを交互に繰り返して、100回の実行を平均することができる。

40

【0073】

別の例示的实施形態では、畳込みを使用する分離可能な2D集束の性能は、（例えば表2の第2列の例に示す）インテルCore™i5ラップトッププロセッサ回路で倍精度複素浮動小数点データに作用するMATLABを用いて（例えば「fft2」および「conv2」内蔵関数を用いて）実現される、FFTベースの2D畳込みに匹敵することができる。

【0074】

【表 2】

1つ以上の分離可能なビーム形成技術を実現する際に使用可能なプロセッサ回路の実証例

プロセッサ	OMAP™3530	Core™ i5
製造者	テキサスインスツルメンツ社	インテル社
システム	Gumstix Overo (登録商標) (www.gumstix.org)	15" Macbook Pro (登録商標) (アップル社 (Cupertino, CA, USA))
アーキテクチャ	ARM	IA32/64
型名	Cortex A8	Arrandale (携帯)
コア	ARM+C64 DSP (未使用)	2
プロセッサ クロック	720MHz	2.4GHz
L 1 メモリ	16KB (I)+16KB (D)	32 KB (I)+32KB (D)/core
L 2 メモリ	256KB	256KB/core
L 3 メモリ	該当せず	3 MB
主メモリアクセス	166MHz/32bit	1066MHz/64bit
通常電力	1W	35W (熱的仕様)

10

20

図 4 A および図 4 B は、図 4 A には非加重 S D A S 技術について、図 4 B にはアポダイゼーション加重 S D A S 技術について、それぞれの焦点深度に対応するシミュレーションによる二乗平均平方根 (R M S) 位相誤差の実証例を概略的に示す。そのような位相誤差は、f ナンバ ($f / \#$) を 0.8 から 3.0 まで変化させて、5 ミリメートル (mm)、15 mm、および 25 mm の焦点深度に対しシミュレーションしたものである。一般的に、図 4 B の実証例に示す通り、約 1.0 を超える $f / \#$ および約 15 mm 以下の焦点深度では、アポダイゼーション加重 R M S 位相誤差を約 1 / 32 サイクル未満とすることができる。

30

【0075】

図 5 A および図 5 B は、図 5 A には N D A S 技術について、図 5 B には S D A S 技術について、窓正弦または B スプラインベースの補間技術を用いて、 $f / \# = 1.4$ で約 15 mm の深度で集束したそれぞれのシミュレートビームプロットの補間誤差を示す実証例を概略的に示す。

【0076】

図 6 は、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応するそれぞれのシミュレート点拡がり関数 (P S F) の実証例を概略的に示す。そのようなエレベーション方向 アジマス方向 P S F はそれぞれ、 $f / \# = 1.4$ 、15 mm の焦点深度、65 dB の対数表示範囲、D A S 例には 2 サイクル送信、または D S I Q 例には 4 サイクル送信を使用して、分離不能または分離可能バージョンそれぞれの遅延和 (N D A S、S D A S) および D S I Q 集束 (N D F、S D F) に対して得ることができる。

40

【0077】

図 7 A ないし図 7 F は、様々な集束深さに対してシミュレーションすることのできる、N D A S、S D A S、N D F、および S D F ビーム形成技術に対応するそれぞれのシミュレートビームプロットの実証例を概略的に示す。図 7 A および図 7 B は、 $f / \# = 1.4$ および 5 mm の焦点深度に対応して得ることのできるビームプロットのシミュレーションを含む。図 7 C および図 7 D は、 $f / \# = 1.4$ および 15 mm の焦点深度に対応して得ることのできるビームプロットのシミュレーションを含む。図 7 E および図 7 F は、 $f /$

50

= 1.4 および 2.5 mm の焦点深度に対応して得ることのできるビームプロットのシミュレーションを含む。

【0078】

図 8 A ないし図 8 I は、NDAS、SDAS、および SDF 集束技術について、低い f ナンバ、浅い焦点深度、および増大した励起パルス周波数を含むより困難な撮像条件下でのシミュレーションによる 2DPSF を含むことのできる実証例を概略的に示す。例えば、図 8 A ないし図 8 C は、 $f/\# = 0.8$ 、焦点深度 = 5 mm、中心周波数 = 5 MHz の場合に得ることのできるシミュレーションによる PSF を示す。

【0079】

図 8 D ないし図 8 F は、 $f/\# = 1.0$ 、焦点深度 = 10 mm、中心周波数 = 5 MHz の場合に得ることのできるシミュレーションによる PSF を示す。図 8 G ないし図 8 I は、 $f/\# = 1.4$ 、焦点深度 = 15 mm、中心周波数 = 7 MHz の場合に得ることのできるシミュレーションによる PSF を示す。

【0080】

図 9 A ないし図 9 F は、FIELD__II を用いて得ることのできる、NDAS、SDAS、NDF、および SDF ビーム形成技術に対応する、シミュレート無反響嚢胞ファントムを含むシミュレート C モード画像間の比較の実証例を概略的に示す。図 9 A および図 9 B は、図 9 A では NDAS ビーム形成技術を用いてシミュレーションすることのできる、無反響嚢胞に対応する C モード表示のそれぞれの実証例を含む。図 9 C は、それぞれ図 9 A および図 9 B の y 次元に対しシミュレーションすることのできる RMS 値のプロファイルを概略的に示す。

【0081】

図 9 D および図 9 E は、図 9 D では SDAS ビーム形成技術を用いてシミュレーションすることのできる、無反響嚢胞の C モード表示のそれぞれの実証例を含む。図 9 F は、それぞれ図 9 D および図 9 E の y 次元に対しシミュレーションすることのできる RMS 値のプロファイルを概略的に示す。

【0082】

図 9 A ないし図 9 F の実証例では、無反響嚢胞は約 1.5 mm の深さに 10 mm の直径を含むようにシミュレーションすることができ、C モード表示は、 $f/\# = 1.4$ 、約 1.5 mm の焦点深度、および 50 dB の対数表示範囲を含むそれぞれのビーム形成器を用いて得ることができる。白色の四角は、コントラストノイズ比 (CNR) を推定するために使用したエリアを表すことができる。無反響シリンダの中心で C モードスライスを使用して、図 9 A ないし図 9 E に示した NDAS、SDAS、SDF、および NDF 集束の実証例について、コントラストノイズ比 (CNR) を計算し、それぞれ約 4.06 dB、約 4.02 dB、約 3.96 dB、および約 3.91 dB の値を得た。別の例示的实施形態では、4 サイクル送信パルスを使用してシミュレーションした NDAS および SDAS 嚢胞は、非理想的 4 サイクルパルスを使用したときなどに、DAS が DSIQ より低いコントラストをもたらすことができ得ることを反映して、3.64 dB および 3.53 dB の推定 CNR をもたらすことができる。

【0083】

図 10 A ないし図 10 D は、図 9 A ないし図 9 F の実証例の C モード画像スライスと同様の様々な深さの C モード画像スライスから、ただし 35 dB の対数表示範囲および 4 サイクル送信パルスを使用して構築された、NDAS、SDAS、NDF、および SDF ビーム形成技術に対応して得ることのできるシミュレート B モードスライス間の比較の実証例を概略的に示す。

【0084】

図 11 A ないし図 11 F は、NDAS、SDAS、NDF、および SDF ビーム形成技術に対応する実験的に得られた C モード画像スライス間の比較の実証例を概略的に示す。実験ボリュームデータは、CIRS ファントムの 1.5 mm の深さにある直径 10 mm の無反響シリンダ上に配置された、他の実施例で論じた 60 × 60 を含むハンドヘルドシステ

10

20

30

40

50

ムから得ることができる。図 9 A ないし図 9 F の実施例と同様に、白色の四角はコントラストノイズ比 (CNR) を推定するために使用されたエリアを表すことができる。無反響シリンダの中心で C モードスライスを使用して、実験的に得られる情報のためにコントラストノイズ比 (CNR) を推定した。対応する CNR 値はそれぞれ約 2 . 0 6 d B、約 2 . 0 3 d B、約 2 . 4 0 d B、および約 2 . 3 1 d B であった。

【 0 0 8 5 】

図 1 2 A および図 1 2 B は、様々なビーム形成技術に対して得ることのできる、達成可能なフレームレート対開口寸法の比較の実証例を概略的に示す。表 2 の例 2 つの異なるハードウェアプラットフォームを使用して、NDAS、SDAS、NDF、および SDF の実行時間を比較することができる。図 1 2 A は、OMAPTM 3 5 3 0 プロセッサにおける内部ループ SIMD 最適化を含むビーム形成技術の「C」実装によって、実験的に達成された C モード撮像フレームレートを概略的に示す。図 1 2 A の実証例では、SDAS および NDAS のフレームリフレッシュレートは、分離不能な技術と対比して分離可能な技術を使用することによって、約 1 5 . 6 倍の加速係数に対応して、4 0 × 4 0 の開口の場合、2 5 4 . 8 H z および 1 6 . 3 H z を達成することができる。

【 0 0 8 6 】

図 1 2 A の実証例では、1 6 . 9 倍の加速に対応して、SDF および NDF のフレームリフレッシュレートは、1 9 2 . 8 H z および 1 1 . 3 9 H z を達成することができる。図 1 2 B は、MATLAB の CoreTM i 5 プロセッサに実装した場合の、NDF、SDF、および 2 D __ F F T ベースの集束技術の性能の比較の実証例を概略的に示す。2 0 × 2 0 および 4 0 × 4 0 の開口サイズに対する 2 D __ F F T 法と比較して、SDF アルゴリズムはそれぞれ 2 . 1 2 および 1 . 6 4 の加速を達成することができる。

【 0 0 8 7 】

NDAS、SDAS、NDF、および SDF 技術は、4 0 × 4 0 の集束開口を使用し、OMAP ハードウェアプラットフォームに内部ループ SIMD 最適化と共に「C」で実装したときに、それぞれ約 7 5 . 0 m J / フレーム、4 . 8 m J / フレーム、1 0 7 . 2 m J / フレーム、および 6 . 3 m J / フレームの推定エネルギーコストをもたらすことができる。

【 0 0 8 8 】

図 1 3 は、分離可能なビーム形成技術 1 3 0 0 を含むことのできる方法のような技術を概略的に示す。1 3 0 2 で、技術 1 3 0 0 は、組織領域から反射された超音波エネルギーを示す情報を、超音波トランスデューサアレイから得ることを含むことができる。そのような情報は、複素サンプリング技術 (例えばコヒーレント復調) を使用して、または少なくとも近似の複素サンプルを提供する 1 つ以上の技術、例えば D S I Q サンプリング技術を使用して、得ることができる。技術 1 3 0 0 は、複素サンプルの少なくとも一部に特定の位相回転を適用することを含むことができる。超音波アレイは、上述または下述する事例に記載されたハンドヘルド装置または他の装置の一部として含まれる、2 次元平面を画定するアレイを含むことができる。

【 0 0 8 9 】

技術 1 3 0 0 は、組織領域の特定の面の表示 (例えば C モード表示または他の平面) のような、超音波を照射した組織領域の一部分の表示を構築することを含むことができる。そのような構築は、1 3 0 4 で、それぞれの集束位置に対し、超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれの第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルの第 1 の和を別々に決定することを含むことができ、それぞれの第 1 ラインのトランスデューサを介して得られる少なくとも近似の複素サンプルは、撮像面内のそれぞれの集束位置のトランスデューサ面内のそれぞれの第 1 ライン上へのそれぞれの直交射影に対応する。

【 0 0 9 0 】

そのような構築は、1 3 0 6 で、撮像面内の特定の集束位置に対し、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を

10

20

30

40

50

別々に決定することを含むことができ、第2の和は、超音波トランスデューサアレイ内の第2ラインのトランスデューサに対応する。第2ラインのトランスデューサは、トランスデューサ面内のそれぞれの第1ラインの軸線とは異なる軸線（例えば直交軸線）に沿って整列することができ、撮像面内の特定の集束位置のトランスデューサ面上への直交射影に対応する。

【0091】

分離可能な2Dビーム形成は他の技術と比較して撮像性能が著しく劣化しなければ、有用であり得る。図4Aおよび図4Bの実証例は、分離可能な集束によるRMS位相誤差が、開口アポダイゼーション関数により加重した場合にずっと低くなるが、約1.4より低いfナンバでは、劇的に増大することを一般的に示す。実際に、個々の素子の角感度は、1.0より低いfナンバの使用を阻止することがあり得る。実証例では、 $f/\#$ が約1.4以上、焦点深度が約25mm以下の動作領域の場合、加重RMS位相誤差を5度未満にすることができ、集束品質に著しい影響を与えないと考えられる。

10

【0092】

一般的に、最初にX方向に、次いでY方向に加えられる遅延は、累積誤差を生じることがある。図5Aおよび5Bに示した通り、8タップによる窓正弦時間遅延補間、分離可能な遅延和集束に対し著しいビームプロットの劣化を導入することがあり得る。対照的に、本発明の発明者は、とりわけ、三次Bスプライン補間では最小限の劣化が導入されるだけであり、また名目上、8タップの正弦補間の2倍の速さも達成できることに気付いた。

20

【0093】

図6および図7Aないし図7Fに示したシミュレーションによるビームプロットおよびPSFは、分離可能バージョンの遅延和およびDSIQ集束が劣化を、分離不能な集束に比べて最小限に止めることができることを一般的に示す。分離可能な技術を使用すると、シミュレーションによる嚢胞のCNRは、2サイクル送信遅延和の場合、約4.06dBから4.02dBに低減することができ、4サイクル送信DSIQの場合、約3.96dBから約3.91dBに低減することができる。そのような低減は、依然として著しい計算または電力の節約をもたらしながら、非常にわずかな、おそらく感知すらできないコントラストの低下を提示することがあり得る。加えて、遅延和およびDSIQのコントラスト間の差は同様に微小であり得る。例えば、2つのDSIQ複素サンプルに適切な加重を加えることにより、主ローブおよび副ローブの外側のPSFエネルギーを著しく低減することができ、遅延和コントラストに接近するが、主ローブの幅がわずかに広くなり、分解能がわずかに低下する。

30

【0094】

実験的に得られた嚢胞のCNR値は、分離可能な技術が、分離不能な技術に匹敵するコントラストを提供できることを一般的に示す。シミュレーションと比較して実験によるCNRの大きさの差は、アレイの表面全体における分散位相欠陥（控えめに約14ナノ秒（ns）のRMS遅延と推定される）の存在に起因すると考えられる。理論に束縛されることなく、それは電極に使用することのできる粘性銀エポキシのためであると考えられる。遅延和集束は、2サイクル送信パルスと対比して4サイクル送信パルスを使用したために、DSIQと比較してCNRが劣化した。

40

【0095】

一般的に、理論に束縛されることなく、分離可能な集束の分解は、低いfナンバ、（例えば波面曲率の増大による）極度の近接場、および図8Aないし図8Fの実証例に示すようにグレーティングローブが激しくなり得る動作周波数の条件では、性能が最悪になり得ると考えられる。そのような条件で、分離可能な遅延和技術は依然として、分離不能な遅延和と比較して劣化は最小限に止めることができる。遅延和と比較したときに、分離可能なDSIQ集束は一般的に、高い動作周波数のグレーティングローブ条件でより顕著な劣化を示すが、他の構成における性能は一般的に受け入れられる。

【0096】

分離可能な集束性能は、撮像条件下で、少なくとも部分的に（分離可能な）フレネル近

50

似によって支配することができる。例えば、この形の平方根の展開は、方程式(7)の「b」項が比較的小さい場合、より急速に収束することができる。変数「b」は、方程式(20)を使用して、システムで使用されるfナンプに關係付けることができ、 $f/\# = 1.0$ のとき、それは約0.354となる。現実的な開口の場合、そのような級数は急速に収束することができ、展開における後方の項の有意性は急速に低下し得る。

【0097】

【数20】

$$b = \left(\sqrt{2} \frac{X^2}{Z_f^2} \right), f = \frac{Z_f}{2X} \therefore b = \sqrt{2} \frac{1}{4f^2} = \frac{1}{2\sqrt{2}f^2}$$

10

展開における第3項の分離不能な部分 $2(X^2 - Y^2 / Z_f^2)$ は、開口の隅では、分離可能な部分 $(X^2 / Z_f^2 + Y^2 / Z_f^2)$ と比較して有意であり得る。しかし、開口の隅は、アポダイゼーション加重または素子の指向性のため、実効感度が低下することがあり得るので、そのような近似誤差は軽減することができると考えられる。

【0098】

部分開口技術も、平面波送信、受信専用集束と共に使用することができる。しかし、激しいグレーティングローブは、そのような部分開口技術の撮像性能を劣化させることがあり得る。

【0099】

20

一般的に、2Dビーム形成演算を2つの分離可能な1Dラインアレイビーム形成演算(例えば第1組の和、および第1組の和を使用する第2組の和)に分解することにより、近接場広帯域3D超音波撮像の性能を桁外れに向上させることができる。そのような3D技術は、アジマス次元に変動「時間遅延」を適用し、それに続いてアジマス方向に遅延したデータに対し、エレベーション次元に作用するさらなる「時間遅延」を適用することを含むことができる。例えばDSIQ集束例の場合のように「時間遅延」が位相回転である場合、逐次複素乗算に2つの遅延を適用することができる。

【0100】

しかし、補間演算を使用して最高数十個までのサンプルを時系列で遅延サンプリングする場合、エレベーション集束の前に、アジマス集束ステップによって完全な遅延時系列履歴を一般的に生成することができる。遅延和集束の場合、補間は整数オフセットで短FIRフィルタを用いて適用することができるが、遅延和に適用される分離可能な方法は一般的に、第1の1D集束ステップによって生成することのできる全時系列を含む。ボリューム集束の場合、これは軸線方向次元のオーバーサンプリングを表し、分離可能な分解による性能向上を減じることがあり得るので、ボリューム撮像モードの場合、分離可能な方法には、軸方向の画像サンプリングと比較して、遅延和を使用することが望ましい。

30

【0101】

対照的に、分離可能なDSIQは、特定の軸線方向平面間隔でボリュームデータを集束して、単一Cモードスライスを生離して形成することができる。電力が制限されたハンドヘルド装置の場合、DSIQは、多時間電池寿命で(例えばAC主電源を必要とすることなく)実時間撮像に2Dアレイを使用する効果的な方法になり得る。エネルギー効率のよいビーム形成に加えて、DSIQサンプリング技術を使用するフロントエンドASICは、低デューティサイクル動作モードを使用して、消費電力を非常に少なくすることができる。

40

【0102】

一般的に利用可能な常時オンの超音波アナログフロントエンド集積回路、例えばテキサスインスツルメンツ社のAFE5807(40MHzで88mW/チャンネル、12ビットADC)またはアナログ装置AD9278(同じく40MHzで88mW/チャンネル、12ビットADC)と比較して、典型的なDSIQフロントエンドは、Cモード撮像用に3600個のチャンネルを全部動作させるために、約30フレーム/秒で1チャンネル当たり1

50

3.8 μWm 以下、または1フレーム当たり約1.6 mJを消費することができる。これは常時オンのフロントエンドの電力の1/6000未満、および分離可能なDSIQビーム形成器の処理の典型的なエネルギーコスト(7.5 mJ)の約1/5を表すことができる。

【0103】

分離可能な2D集束は、分離不能な集束と比較して、 $(M+N)/2$ の計算コストの削減をもたらすことができると考えられる。ここでMおよびNは、素子数単位の集束開口寸法である。40×40の開口の実証例では、約20倍の顕著な高速化が予測される。実験的に得られた速度増加は、OMAPプロセッサ回路のコンパイルコードにSIMD最適化を使用して、それぞれ遅延和およびDSIQ集束の場合の予測値の57%~87%および61%~89%の範囲であった。対照的に、非SIMD時の性能の予測値との相違は、遅延和の場合でわずか8%、DSIQ集束の場合で4%である。理論には束縛されないが、これは、SIMD命令を使用して2~3倍の速度増加がもたらされた場合、ループオーバーヘッドが小さい開口の性能の障害になることを意味すると考えられる。

【0104】

実証例では、MATLABにおける倍精度データに対するFFTベースの2D畳込みはSDFと比較して、20×20の開口では2.12倍遅くなり、40×40の開口では1.64倍遅くなった。短い(32~64素子)の1D開口の場合、FFTベースの1D畳込みは計算コストが非FFTの1D畳込みに匹敵することができる。2D畳込みの場合、FFT法の計算コストは一般的に $O(N^2 \log(N))$ に増大し得るが、分離可能な2D集束のコストは一般的に $O(N^2)$ から $O((N+N)N^2)$ または $O(2N^3)$ に増大し得る。理論に束縛されることなく、FFTベースの集束に関連するゼロパディングまたは(SDF集束と比較して)著しく高いメモリ使用量は、特定のデータサイズに対する分離可能な方法の性能上の利点を説明すると考えられる。分離可能な技術のそのような速度上の利点は、ハンドヘルド電池駆動式装置に使用される可能性が高い、より小さいL1キャッシュメモリを持つプロセッサですべて顕著になり得ると考えられる。FFT法はFPGA、専用DSPまたはASICを用いて増強することができるが、FFTベースの2D畳込みによって示唆される性能の向上は必ずしも、ハンドヘルド装置に適した低電力プロセッサで達成されるわけではない。

【0105】

分離可能な2Dビーム形成は、シミュレーションおよび実験的に得られた囊胞のCNR値によって示される、撮像品質に対し最小限の効果を有することができる。累積補間誤差が撮像性能を劣化するのを防止するために、高品質補間器をDASビーム形成に使用することができる。DSIQベースのサンプリング技術は、2つの複素サンプル面を取り込み、適切に加重した場合に、DASのそれに近いコントラストレベルを達成することができる。DSIQによる主ローブ幅および副ローブレベルは一般的にDASより劣るが、分離可能なDSIQを使用して、任意の軸線方向サンプリングによるCモード画像またはボリューム画像を形成することができる。対照的に、分離可能な遅延和は、ボリューム画像を形成するときに、2段階集束プロセスのため追加的軸線方向サンプリングが制約され、大きい性能改善を達成することができる。

【0106】

[付記および実施例]

実施例1は、対象物(例えば装置、方法、行為を実行するための手段、または装置によって実行されたときに装置に行為を実行させることのできる命令を含む装置可読媒体)を含みまたは使用することができ、例えば超音波トランスデューサアレイと共に使用するための超音波撮像システムを含みまたは使用することができ、超音波トランスデューサアレイは、トランスデューサ面を画定する二次元アレイに配設されかつ組織領域に超音波エネルギーを照射するように構成されたトランスデューサ素子を含み、システムは、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを含めて反射超音波エネルギーを示す情報を得ると共に、反射超音波エネルギーを示す得られ

10

20

30

40

50

た情報を使用して組織領域内の撮像面の表示を構築するように構成されたプロセッサ回路を備え、特定の集束位置を含む撮像面内のそれぞれの集束位置について、超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれの第1ラインのトランスデューサを介して得た反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第1の和を別々に決定することを含み、それぞれの第1ラインのトランスデューサから得た少なくとも近似の複素サンプルは、トランスデューサ面内のそれぞれの第1ラインに対する撮像面内のそれぞれの集束位置のそれぞれの直交射影に対応し、かつ撮像面内の特定の集束位置に対し、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第1の和の少なくとも一部の第2の和を別々に決定することを含み、第2の和は超音波トランスデューサアレイにおける第2ラインのトランスデューサに対応し、第2ラインのトランスデューサはトランスデューサ面内のそれぞれの第1ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列しかつトランスデューサ面に対する撮像面内の特定の集束位置の直交射影に対応し、少なくとも近似の複素サンプルの第1または第2の和を別々に決定することは、少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む。

【0107】

実施例2は実施例1の対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせ、直接サンプル同相直交(DSIQ)サンプリングを用いて反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得るように構成されたプロセッサ回路を任意選択的に含むことができる。

【0108】

実施例3は、実施例1または2の一方または任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせ、超音波トランスデューサアレイと、プロセッサ回路によって構築された組織領域内の面の表示画像を示すように構成されたディスプレイとを任意選択的に含むことができ、超音波トランスデューサアレイ、プロセッサ、およびプロセッサは交流(AC)主電源から同時に得られる電力を必要とすることなく、動作するように構成されたハンドヘルド組立体を備える。

【0109】

実施例4は、実施例1ないし3のうちの1つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせ、サンプルの少なくとも一部を位相回転することを任意選択的に含むことができる。それぞれの集束位置からそれぞれのトランスデューサ位置までの幾何学的音響伝搬時間遅延の近似に対応する打ち切りテイラー級数展開を使用して、それぞれの位相回転ファクタを決定することを含み、打ち切りテイラー級数展開は、それぞれの集束位置の直交射影を含むそれぞれの第1ラインを含むそれぞれのトランスデューサを介して得られたそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第1組のそれぞれの位相回転と、トランスデューサアレイに対する特定集束位置の直交射影に対応する第2ラインを含むそれぞれのトランスデューサを介して得られたそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第2組のそれぞれの位相回転とに分離される。

【0110】

実施例5は、実施例1ないし4のうちの1つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせ、Cモード撮像面における各集束位置に対しそれぞれの第1ラインのトランスデューサを介して得られた反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第1の和を別々に決定し、かつトランスデューサアレイに対するCモード撮像面におけるそれぞれの集束位置の直交射影に対応する超音波アレイにおける第2ラインのトランスデューサに対応する、それぞれの第1の和の少なくとも一部のそれぞれの第2の和を別々に決定することによって、Cモード表示を構築するように構成されたプロセッサ回路を任意選択的に含むことができる。

【0111】

実施例6は、実施例1ないし5のうちの1つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは該対象物と組み合わせ、それぞれの第1ラインに対応して指定されたそれぞれの第1アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含めてそれぞれの第1の

10

20

30

40

50

和を別々に決定すること、および第 2 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 2 アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含めて第 2 の和を別々に決定することを任意選択的に含むことができる。

【0112】

実施例 7 は、実施例 1 ないし 6 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは該対象物と組み合わせて、組織領域内の第 1 特定深さの第 1 面の少なくとも一部分の第 1 C モード表示の少なくとも一部分を構築するように構成され、かつ組織領域内の第 2 特定深さの第 2 面の少なくとも一部分の第 2 C モード表示の少なくとも一部分を構築するように構成されたプロセッサ回路を任意選択的に含むことができる。

【0113】

実施例 8 は、実施例 7 の対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、第 1 および第 2 C モード表示からの情報を使用して、組織内の C モード撮像面以外の特定の面の表示を構築することを任意選択的に含むことができる。

【0114】

実施例 9 は、実施例 1 ないし 8 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物とくみあわせて、反射超音波エネルギーの実時系列のサンプルを得ることを含めて、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報を得るように構成されたプロセッサ回路を任意選択的に含むことができ、プロセッサ回路は、実時系列のサンプルの少なくとも一部の第 3 の和を決定することを含めて撮像面の表示を構築するように構成され、第 3 の和の決定は、実時系列のサンプルの少なくとも一部に特定時間遅延を適用することを含む。

【0115】

実施例 10 は、実施例 1 ないし 9 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、トランスデューサアレイによって画定される平面内の第 2 ラインに直交する第 1 ラインを任意選択的に含むことができる。

【0116】

実施例 11 は、実施例 1 ないし 10 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは該対象物と組み合わせて、対象物（例えば装置、方法、行為を実行するための手段、または機械によって実行されたときに機械に行為を実行させることのできる命令を含む機械可読媒体）を含むことができ、例えばトランスデューサ面を画定する二次元アレイに配設されたトランスデューサ素子を備えた超音波トランスデューサアレイを使用して超音波撮像を含むことができ、超音波トランスデューサアレイは、組織領域に超音波エネルギーを照射するように構成され、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報を得ることを含み、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを含み、組織領域内の撮像面の表示を構築し、反射超音波エネルギーを示す得られた情報を使用することを含み、撮像面における特定集束位置を含むそれぞれの集束位置に対し、超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれの第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第 1 の和を別々に決定することを含み、それぞれの第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた少なくとも近似の複素サンプルは、トランスデューサ面内のそれぞれの第 1 ラインに対する撮像面内のそれぞれの集束位置のそれぞれの直交射影に対応し、撮像面内の特定集束位置に対し、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第 1 の和の少なくとも一部の第 2 の和を別々に決定することを含め、第 2 の和は超音波トランスデューサアレイにおける第 2 ラインのトランスデューサに対応し、第 2 ラインのトランスデューサは、トランスデューサ面内のそれぞれの第 1 ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列し、かつトランスデューサ面に対する撮像面内の特定集束位置の直交射影に対応し、少なくとも近似の複素サンプルの第 1 または第 2 の和を別々に決定することは、少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む。

【0117】

実施例 12 は実施例 11 の対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に、該対象物と組み合わせて、直接サンプル同相直交 (DSIQ) サンプリングを用いて、反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを任意選択的に含むことができる。

【0118】

実施例 13 は、実施例 11 または 12 の一方または任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、プロセッサ回路およびトランスデューサアレイを備えたハンドヘルド組立体を用いて画像面表示を構築し、かつハンドヘルド組立体を用いて表示画像を示すことを任意選択的に含むことができ、ハンドヘルド組立体は、交流 (AC) 主電源から同時に得られる電力を必要とすることなく動作するように構成される。

【0119】

実施例 14 は、実施例 11 ないし 13 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、打ち切りテイラー級数展開 (truncated Taylor series expansion) を用いて、それぞれの集束位置からそれぞれのトランスデューサ位置までの幾何学的音響伝搬遅延時間の近似に対応する、それぞれの位相回転ファクタを決定することを含めて、サンプルの少なくとも一部を位相回転することを任意選択的に含むことができ、打ち切りテイラー級数展開は、それぞれの集束位置の直交射影を含むそれぞれの第 1 ラインを含むそれぞれのトランスデューサを介して得られたそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 1 組のそれぞれの位相回転と、トランスデューサアレイに対する特定集束位置の直交射影に対応する第 2 ラインを含むそれぞれのトランスデューサを介して得られたそれぞれの少なくとも近似の複素サンプルに対応する第 2 組のそれぞれの位相回転とに分離される。

【0120】

実施例 15 は、実施例 11 ないし 14 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、C モード撮像面の各集束位置に対し、それぞれの第 1 ラインのトランスデューサを介して得られた反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第 1 の和を別々に決定すること、およびトランスデューサアレイに対する C モード撮像面のそれぞれの集束位置の直交射影に対応する超音波アレイのそれぞれの第 2 ラインのトランスデューサに対応するそれぞれの第 1 の和の少なくとも一部のそれぞれの第 2 の和を別々に決定することを含むことによって、C モード表示を構築することを任意選択的に含むことができる。

【0121】

実施例 16 は、実施例 11 ないし 15 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、それぞれの第 1 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 1 アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含めてそれぞれの第 1 の和を別々に決定すること、および第 2 ラインに対応して指定されたそれぞれの第 2 アポダイゼーション加重ファクタを使用することを含めて第 2 の和を別々に決定することを任意選択的に含むことができる。

【0122】

実施例 17 は、実施例 11 ないし 16 のうちの 1 つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは該対象物と組み合わせて、組織領域内の第 1 特定深さの第 1 面の少なくとも一部分の第 1 C モード表示の少なくとも一部分を構築し、かつ組織領域内の第 2 特定深さの第 2 面の少なくとも一部分の第 2 C モード表示の少なくとも一部分を構築することを任意選択的に含むことができる。

【0123】

実施例 18 は実施例 17 の対象物を含むことができ、あるいは該対象物と組み合わせて、第 1 および第 2 C モード表示から得られた情報を使用して組織内の C モード撮像面以外の特定の面の表示を構築することを任意選択的に含むことができる。

【0124】

実施例 19 は、実施例 11 ないし 18 のうちの 1 つまたはいずれかの組合せの対象物を

10

20

30

40

50

含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、反射超音波エネルギーの実時系列のサンプルを得ることを含めて、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーの情報を得ること、および実時系列のサンプルの少なくとも一部の第3の和を決定することを含めて、撮像面の表示を構築することを任意選択的に含むことができ、第3の和の決定は、実時系列のサンプルの少なくとも一部に特定時間遅延を適用することを含む。

【0125】

実施例20は、実施例11ないし19のうちの1つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、トランスデューサアレイによって画定される面無しの第2ラインに直交する第1ラインを任意選択的に含むことができる。

10

【0126】

実施例21は、実施例1ないし20のうちの1つまたは任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、対象物（例えば装置、方法、行為を実行するための手段、または機械によって実行されたときに機械に行為を実行させることのできる命令を含む機械可読媒体）を含むことができ、例えばハンドヘルド組立体の一部として含まれる少なくとも1つのプロセッサによって実行されたときに、ハンドヘルド組立体の一部として含まれる超音波トランスデューサアレイをハンドヘルド組立体に制御させて、超音波エネルギーを発生させるか反射超音波エネルギーを受信させる命令を含むプロセッサ可読媒体を含むことができ、超音波トランスデューサアレイはトランスデューサ面を含む二次元アレイに配設されたトランスデューサ素子を備え、超音波トランスデューサアレイは、組織領域に超音波エネルギーを照射し、直接サンプル同相直交(DSIQ)サンプリングを使用して反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルを得ることを含めて、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報を得、かつ特定集束位置を含む撮像面におけるそれぞれの集束位置に対し、超音波トランスデューサアレイにおけるそれぞれの第1ラインのトランスデューサを介して得られた反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第1の和を別々に決定することを含め、反射超音波エネルギーを示す得られた情報を使用することを含めて、組織領域内の撮像面の表示を構築するように構成され、それぞれの第1ラインのトランスデューサを介して得られた少なくとも近似の複素サンプルは、トランスデューサ面内のそれぞれの第1ラインに対する撮像面内のそれぞれの集束位置のそれぞれの直交射影に対応し、撮像面内の特定集束位置に対し反射超音波エネルギーの少なくとも近似の複素サンプルのそれぞれの第1の和の少なくとも一部の第2の和を別々に決定し、第2の和は超音波トランスデューサアレイにおける第2ラインのトランスデューサに対応し、第2ラインのトランスデューサはトランスデューサ面内のそれぞれの第1ラインの軸線とは異なる軸線に沿って整列し、かつトランスデューサ面に対する撮像面内の特定集束位置の直交射影に対応し、少なくとも近似の複素サンプルの第1または第2の和を別々に決定することは、少なくとも近似の複素サンプルの少なくとも一部を位相回転することを含む。

20

30

【0127】

実施例22は実施例21の対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、反射超音波エネルギーの実時系列のサンプルを得ることを含めて、超音波トランスデューサアレイから反射超音波エネルギーを示す情報をハンドヘルド組立体に入手させ、かつ実時系列のサンプルの少なくとも一部の第3の和を決定することを含めて撮像面の表示を形成させる命令を任意選択的に含むことができ、第3の和の決定は、実時系列のサンプルの少なくとも一部に特定時間遅延を適用することを含む。

40

【0128】

実施例23は、実施例21または実施例22の一方または任意の組合せの対象物を含むことができ、あるいは任意選択的に該対象物と組み合わせて、トランスデューサアレイによって画定される平面内の第2ラインに直交する第1ラインを任意選択的に含むことができる。

50

【0129】

実施例24は、実施例1ないし23のいずれか1つ以上のいずれかの部分またはいずれかの部分の組合せを含むことができ、あるいは任意選択的に該部分と組み合わせ、実施例1ないし23の関数のいずれか1つ以上を実行するための手段、または機械によって実行されたときに実施例1ないし23の関数のいずれか1つ以上を機械に実行させる命令を含む機械可読媒体を含むことができる対象物を含むことができる。これらの非限定実施例の各々は自立することができ、あるいは他の実施例の1つ以上と様々に置換しまたは組み合わせ併合することができる。

【0130】

上記説明は、詳細な説明の一部を形成する添付の図面への参照を含む。図面は、例証として、本発明を実施することのできる特定の実施形態を示す。本明細書ではこれらの実施形態を「実施例」ともいう。そのような実施例は、図示または記載した以外の要素を含むことができる。しかし、本発明者らは、図示または記載された要素だけを設けた実施例も意図している。さらに、本発明者らはまた、特定の実施例（またはそれらの態様の1つ以上）に関連して、または本明細書に図示または記載した他の実施例（またはそれらの態様の1つ以上）に関連して、図示または記載した要素（またはこれらの態様の1つ以上の）任意の組合せまたは置換を使用する実施例も意図している。

10

【0131】

本明細書と参照によって本明細書に援用したいずれかの文書との間に矛盾した用法が存在する場合、本明細書の用法が優先する。

20

本明細書に記載した方法例は、少なくとも部分的に機械実装またはコンピュータ実装することができる。一部の実施例は、上記実施例に記載された方法を実行するために電子装置を構成するように動作可能な命令が符号化されたコンピュータ可読媒体または機械可読媒体を含むことができる。そのような方法の実装は、マイクロコードのようなコード、アセンブリ言語コード、高水準言語コード等のようなコードを含むことができる。そのようなコードは、様々な方法を実行するためのコンピュータ可読命令を含むことができる。コードはコンピュータプログラム製品の一部を形成することがある。さらに、一実施例では、コードは実行中または他の時間に1つ以上の揮発性、非一時的、または不揮発性の有形コンピュータ可読媒体に有形に格納することができる。これらの有形のコンピュータ可読媒体の例として、ハードディスク、着脱可能な磁気ディスク、着脱可能な光ディスク（例えばコンパクトディスクおよびデジタルビデオディスク）、磁気カセット、メモリカードまたはメモリスティック（商標）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、読取り専用メモリ（ROM）等を挙げることができるが、これらに限定されない。

30

【0132】

上記説明は例証として意図されており、限定ではない。例えば上記の実施例（またはその1つ以上の態様）を、互いに組み合わせ使用することができる。当業者は、上記説明を検討した上で他の実施形態を使用することができる。要約書は、特許請求の範囲または意味を解釈または制限するために使用されないという理解の下で提出する。また、上記の詳細な説明の部分で、開示を合理化するために、様々な特徴をグループにまとめることができる。これは、請求されずに開示される特徴がいずれかの請求項に不可欠であることを意図するものであると解釈すべきではない。むしろ、発明の対象物は、開示した特定の実施形態の全ての特徴より少ないところに存する。したがって、各請求項は別個の実施形態として自立しており、以下の特許請求の範囲はこれにより実施例または実施形態として詳細な説明に組み込まれ、そのような実施形態を様々に組み合わせまたは置換して互いに併合できることが企図される。本発明の範囲は、そのような特許請求の範囲に権利が付与される均等物の全範囲と共に、添付の特許請求の範囲に関連して決定されるべきである。

40

【図 3 A】

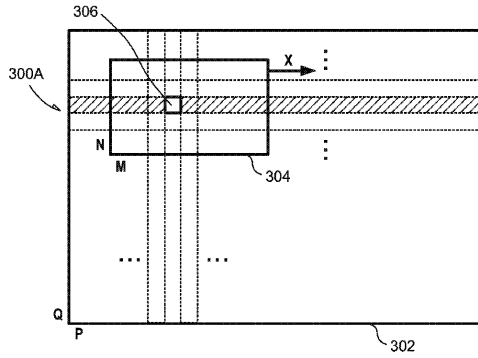


FIG. 3A

【図 3 B】

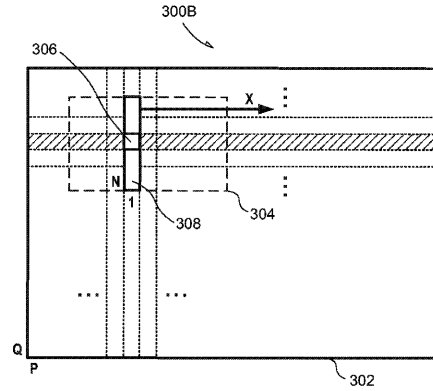


FIG. 3B

【図 3 C】

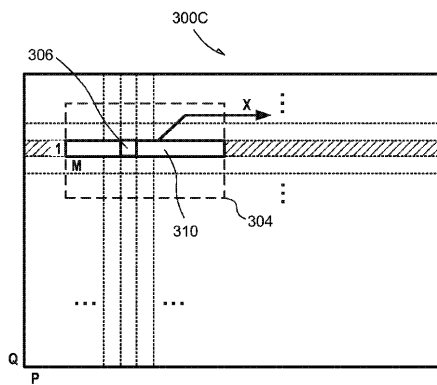


FIG. 3C

【図 6】

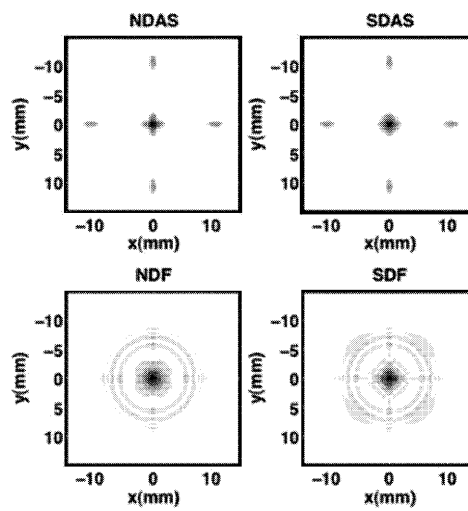


FIG. 6

【図 8 A - 8 C】

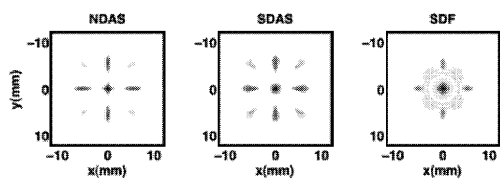
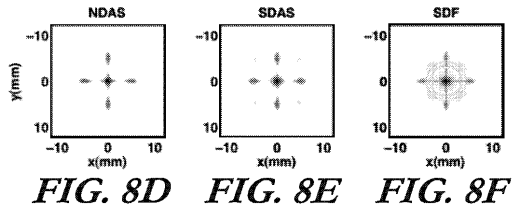


FIG. 8A

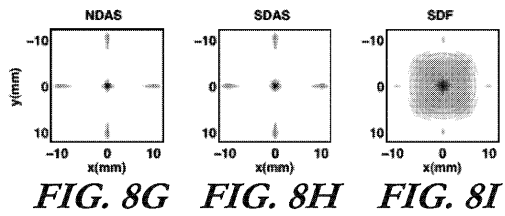
FIG. 8B

FIG. 8C

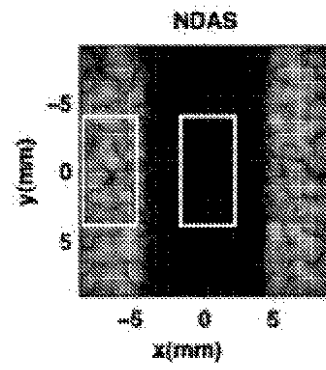
【 図 8 D - 8 F 】



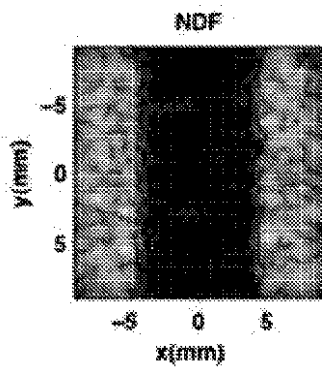
【 図 8 G - 8 I 】



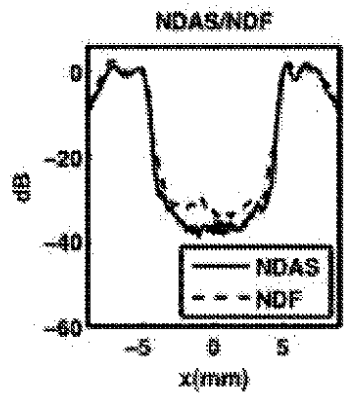
【 図 9 A 】



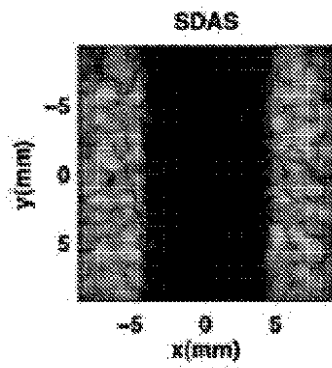
【 図 9 B 】



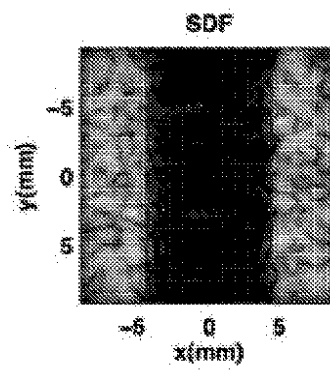
【 図 9 C 】



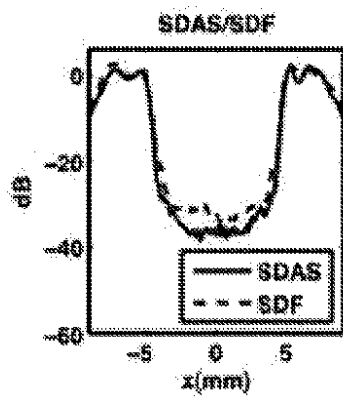
【図 9 D】

*FIG. 9D*

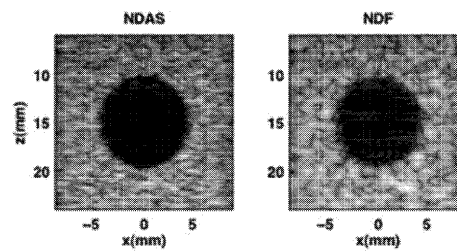
【図 9 E】

*FIG. 9E*

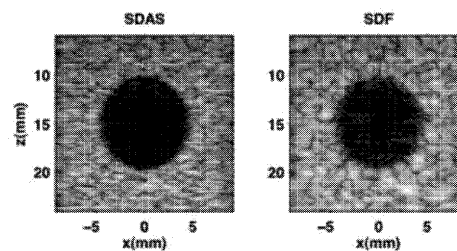
【図 9 F】

*FIG. 9F*

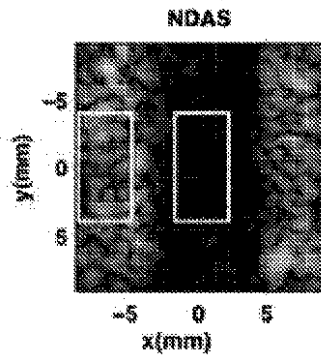
【図 10 A - 10 B】

*FIG. 10A**FIG. 10B*

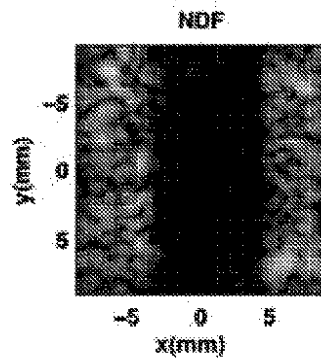
【図 10 C - 10 D】

*FIG. 10C**FIG. 10D*

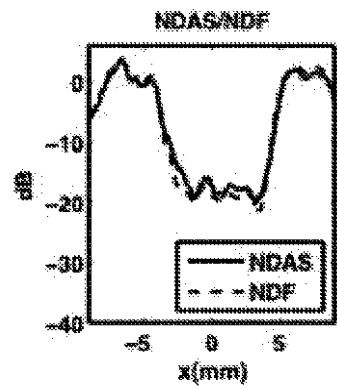
【図 1 1 A】

*FIG. 11A*

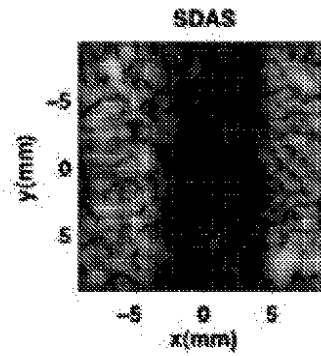
【図 1 1 B】

*FIG. 11B*

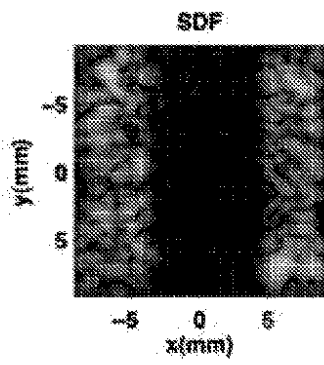
【図 1 1 C】

*FIG. 11C*

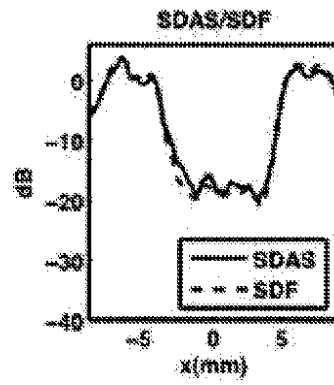
【図 1 1 D】

*FIG. 11D*

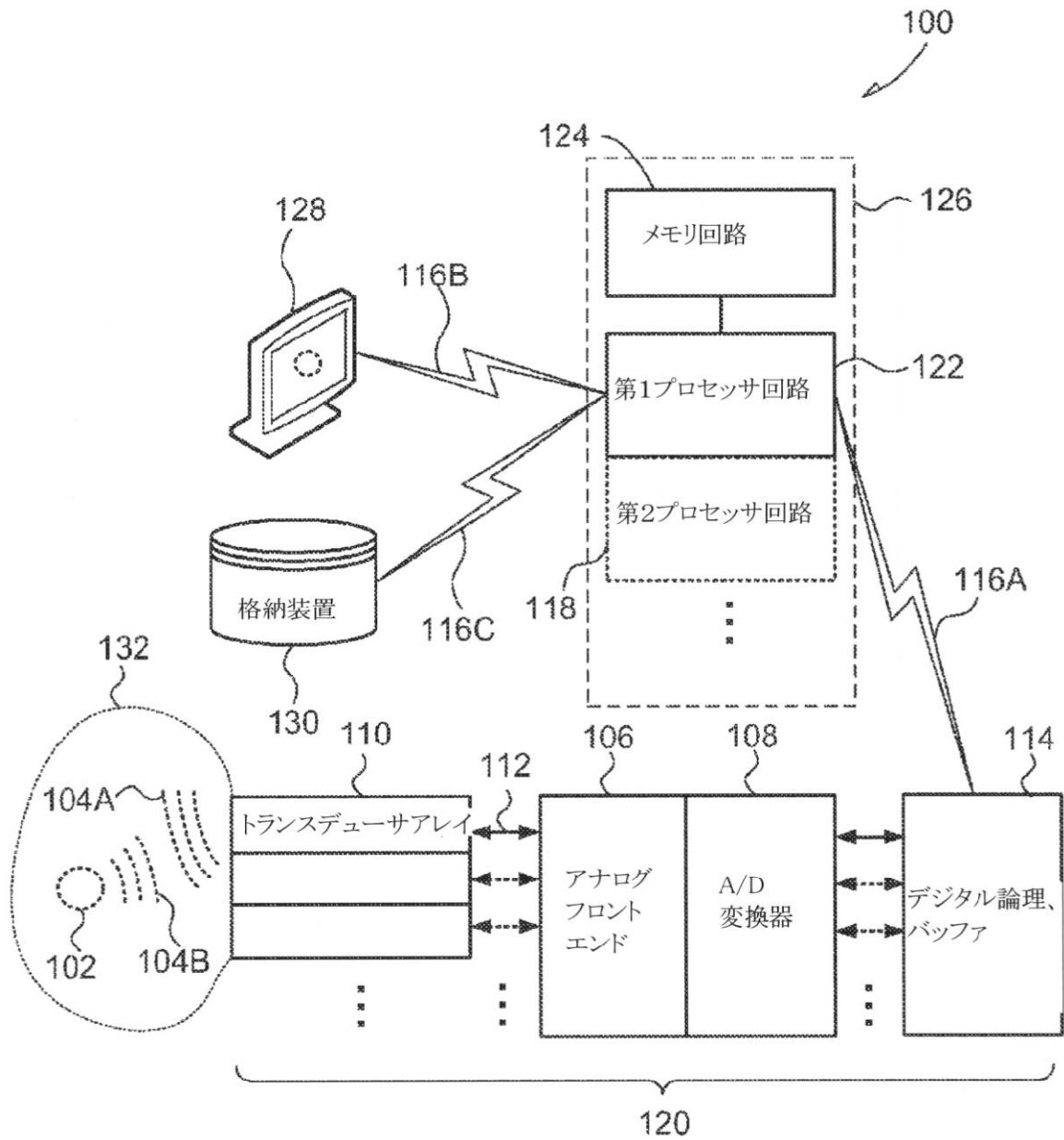
【図 11 E】

*FIG. 11E*

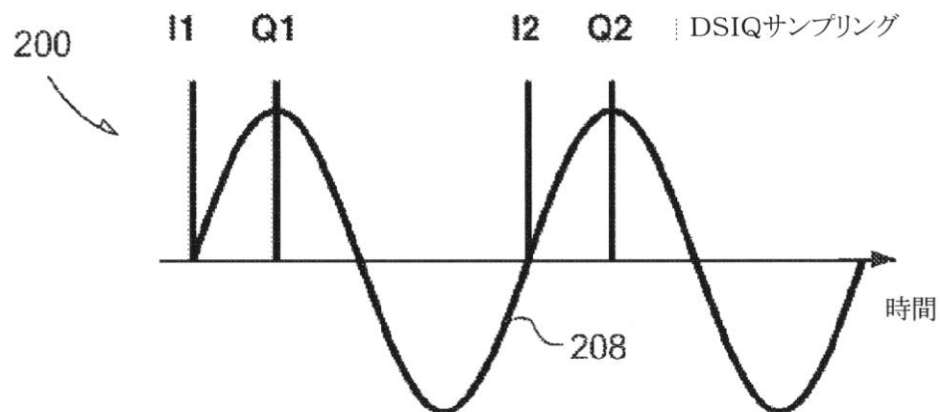
【図 11 F】

*FIG. 11F*

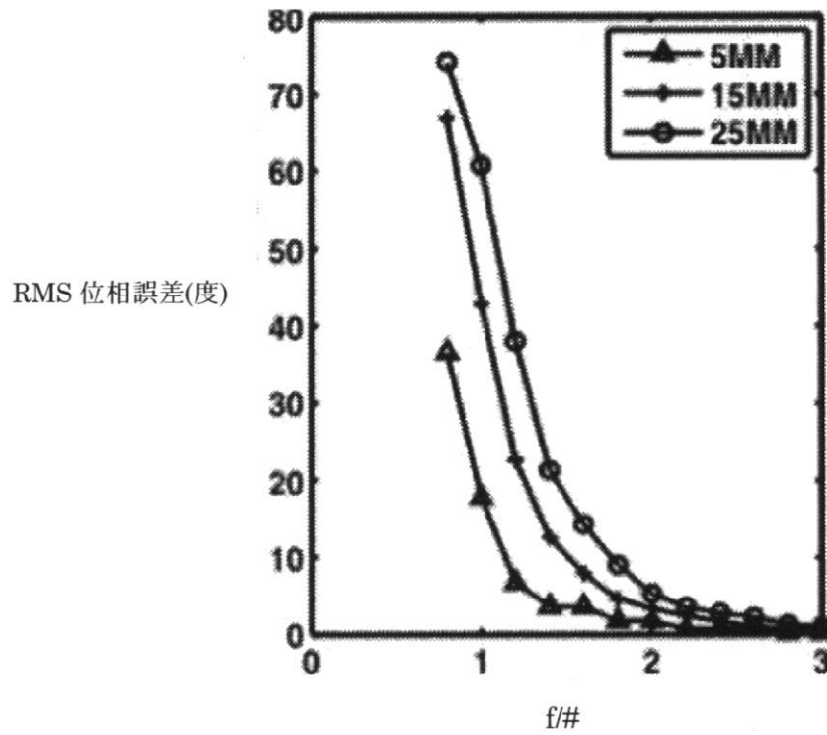
【図1】



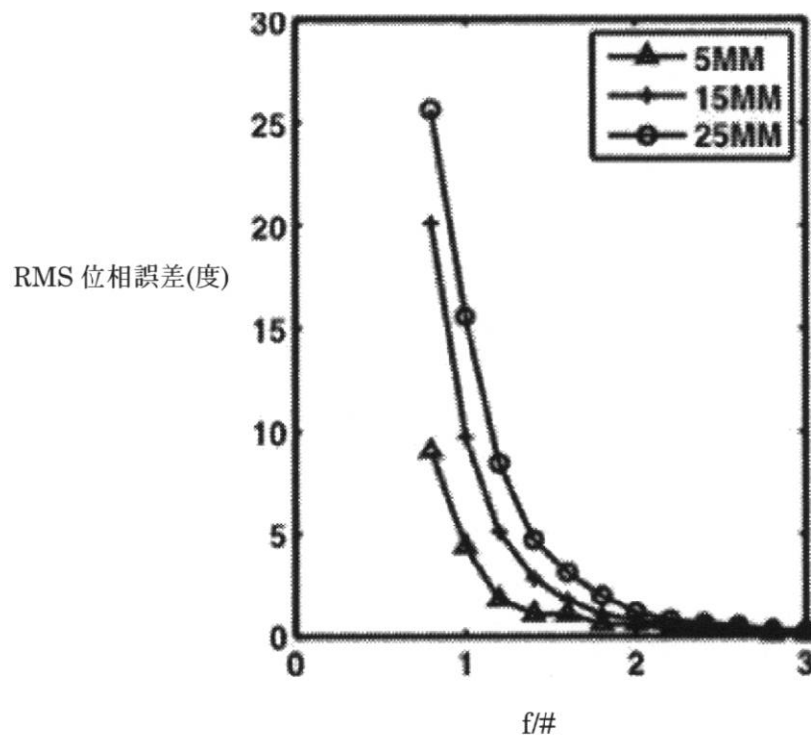
【図2】



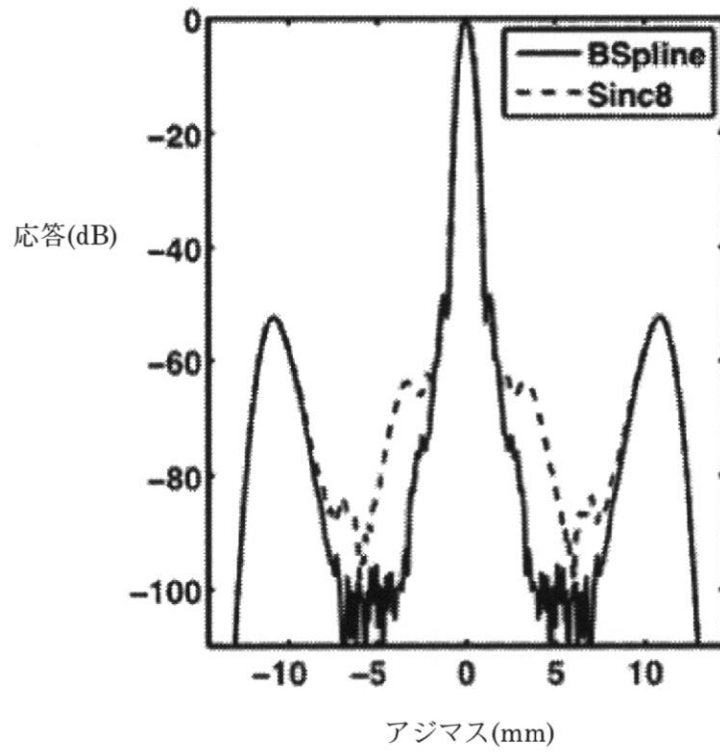
【 図 4 A 】



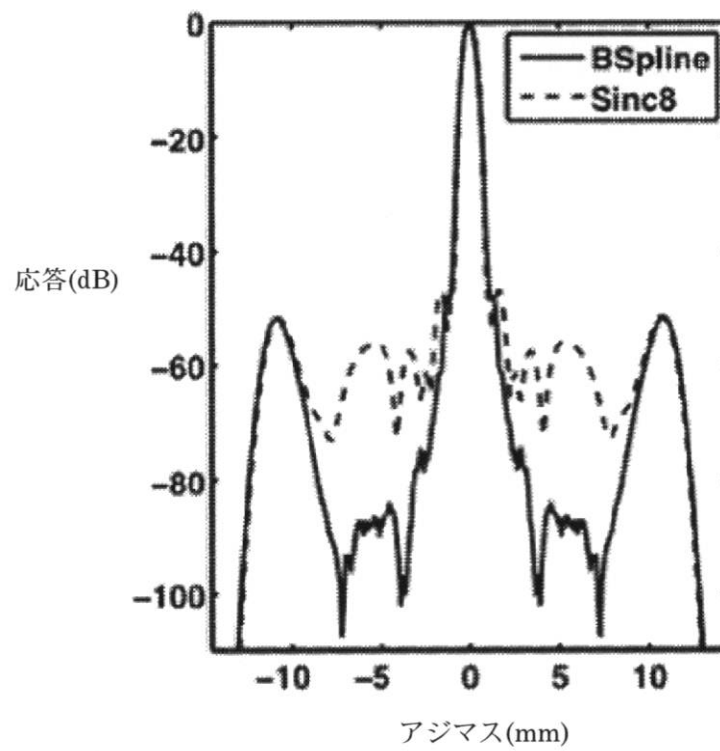
【 図 4 B 】



【図 5 A】



【図 5 B】



【図7】

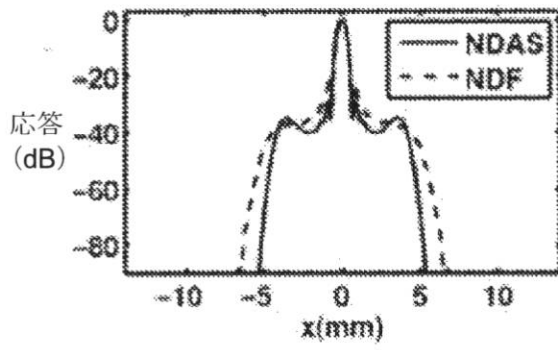


図7A

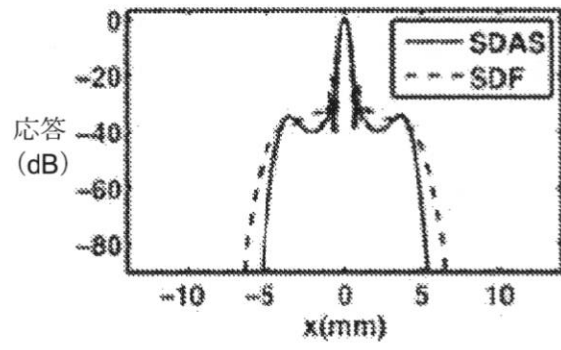


図7B

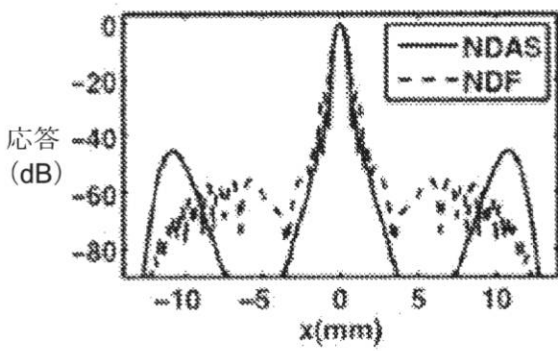


図7C

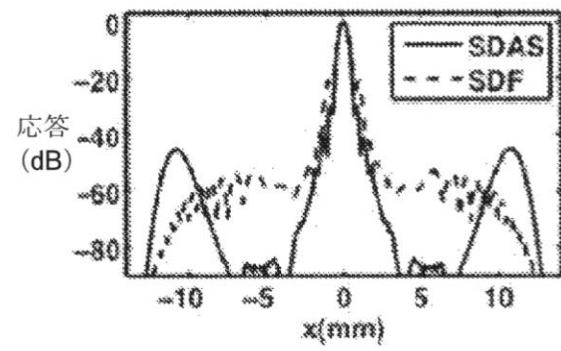


図7D

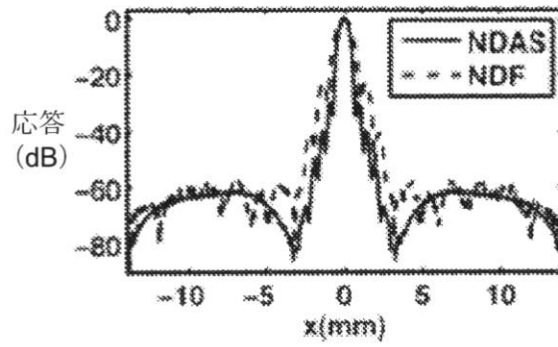


図7E

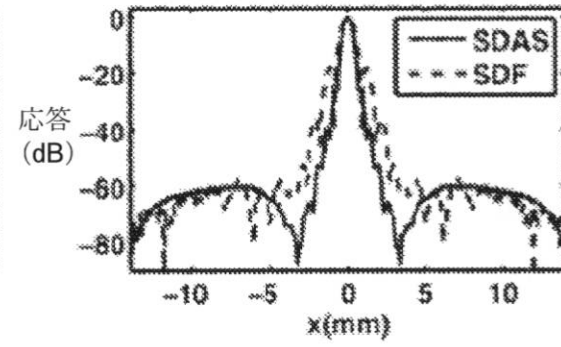
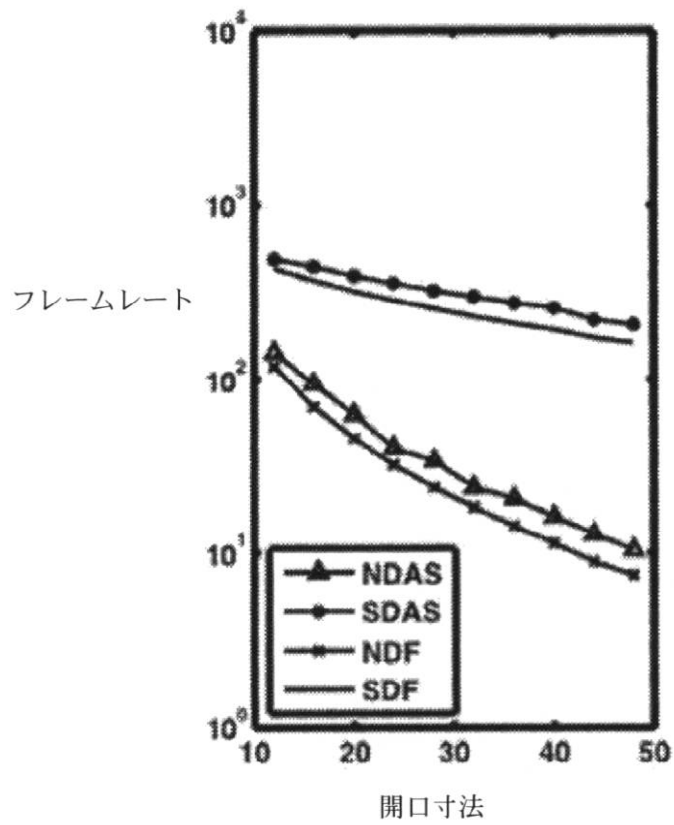
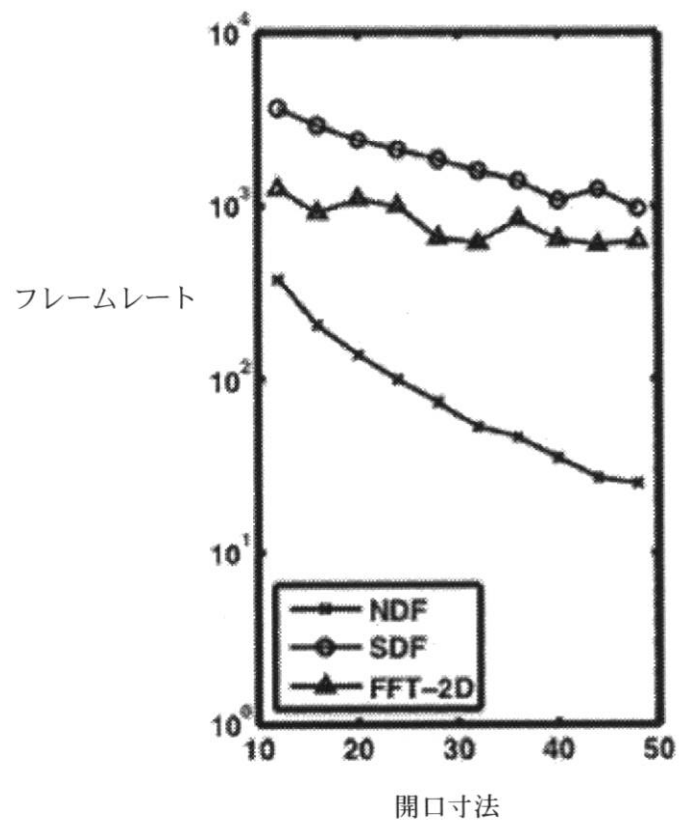


図7F

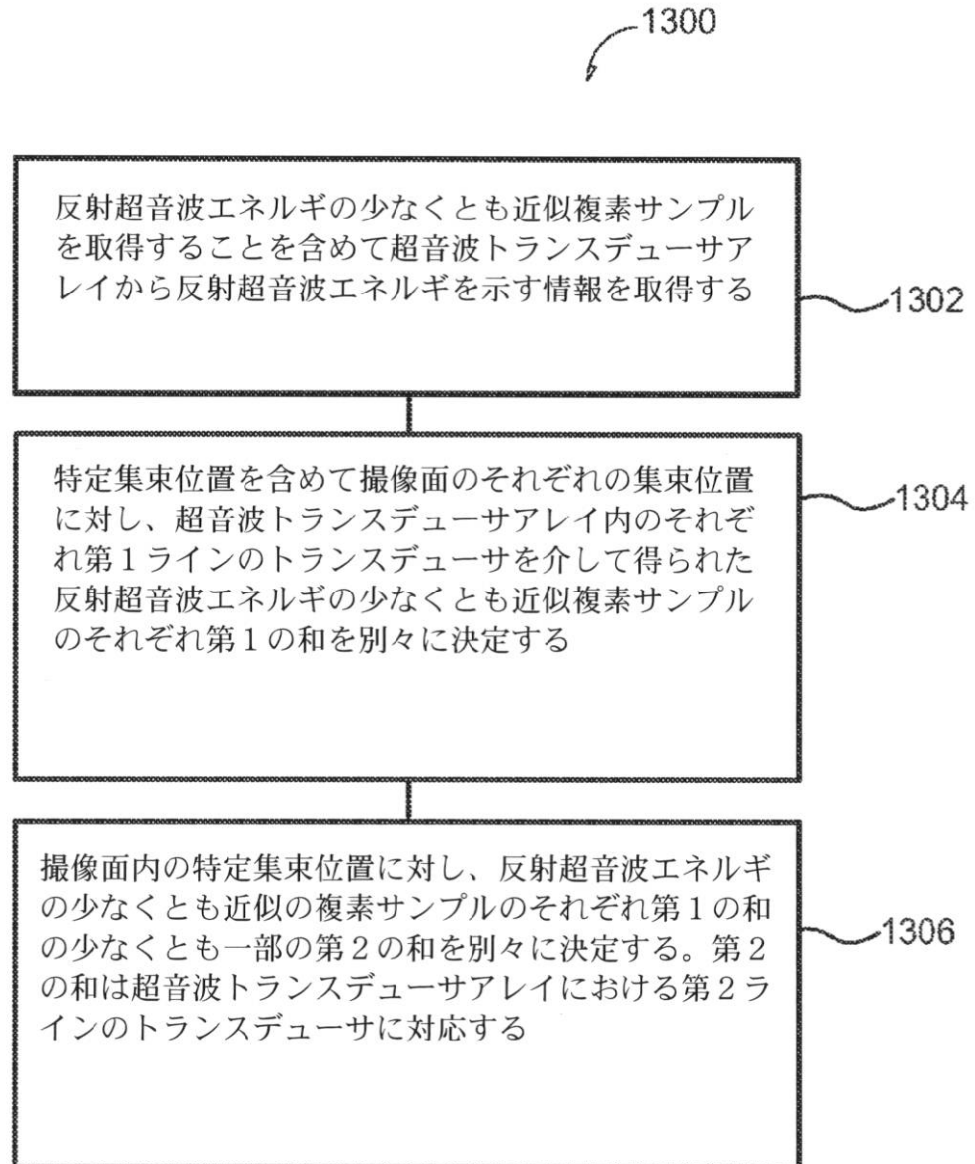
【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



【図 13】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 12/41392

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(8) - A61B 8/00 (2012.01)

USPC - 600/447; 382/128

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: A61B 8/00 (2012.01)

USPC: 600/447; 382/128

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

IPC: A61B 8/00 (2012.01)

USPC: 382/128, 131; 600/407, 437, 443, 444, 445, 446, 447

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PubWEST (PGPB,USPT,EPAB,JPAB), Google (Patents, Scholar); Keywords: ultrasonic\$4, ultrasound, transducer, 2d, 2-d, 2-dimensional\$2, two-dimensional\$2, 2, two, dimensionat\$2, array, matrix, complex, sampl\$3, sum\$4, summat\$4, add\$3, addition, phase, rotat\$4, dsiq, Direct, Sampl\$3, Quadrature, series, expansion, truncat\$3, taylor, c-mode, c-scan\$4, c,

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5,433,202 A (Mitchell et al.) 18 July 1995 (18.07.1995) col 8, ln 50 to col 9, ln 3; col 9, ln 28-55; col 12, ln 31-38; col 14, ln 64 to col 15, ln 7; Fig. 3	1-23
Y	US 5,549,111 A (Wright et al.) 27 August 1996 (27.08.1996) col 11, ln 7-15; col 13, ln 12-32; col 25, ln 23-27	1-23
Y	US 2003/0028113 A1 (Gilbert et al.) 06 February 2003 (06.02.2003) para [0059], [0070]	3, 13, 21-23
Y	Hall et al., "A Taylor Series Expansion For Time Savings in Accurate Computation of Focused Ultrasound Pressure Fields," Ultrasonic Imaging 9, 203-219 (1987) Abstract; page 207, para 3; page 210, para 7	4, 14
Y	US 2009/0299184 A1 (Walker et al.) 03 December 2009 (03.12.2009) para [0139]-[0141], [0218]	5, 6, 15, 16
Y	US 2003/0013955 A1 (Poland) 16 January 2003 (16.01.2003) para [0029]-[0032]	7, 8, 17, 18
Y	US 6,183,419 B1 (Wildes) 06 February 2001 (06.02.2001) col 6, ln 31 to col 7, ln 9	9, 19, 22

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

* 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

"T" 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

18 August 2012 (18.08.2012)

Date of mailing of the international search report

24 SEP 2012

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents
P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450

Facsimile No. 571-273-3201

Authorized officer:

Lee W. Young

PCT Helpdesk: 571-272-4300
PCT OSP: 571-272-7774

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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA

(72)発明者 オーエン、ケビン

アメリカ合衆国 2 2 9 3 2 バージニア州 クローゼット ストーンゲイト コート 1 3 0 4
F ターム(参考) 4C601 EE08 EE15 GB06 GD04 HH25 JB24 JB32 JB49 KK15 LL26
LL38

专利名称(译)	用于超声阵列的可分离波束形成		
公开(公告)号	JP2014515980A	公开(公告)日	2014-07-07
申请号	JP2014514850	申请日	2012-06-07
[标]申请(专利权)人(译)	弗吉尼亚大学专利基金会		
申请(专利权)人(译)	弗吉尼亚专利大学基金会		
[标]发明人	オーエン ケビン		
发明人	オーエン、ケビン		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/4494 A61B8/08 A61B8/14 A61B8/145 A61B8/4427 A61B8/4488 A61B8/461 A61B8/483 A61B8/5207 A61B8/56 G01S7/52047 G01S15/8927 G10K11/346		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/EE08 4C601/EE15 4C601/GB06 4C601/GD04 4C601/HH25 4C601/JB24 4C601/JB32 4C601/JB49 4C601/KK15 4C601/LL26 4C601/LL38		
代理人(译)	昂达诚 本田 淳		
优先权	61/494537 2011-06-08 US 61/559647 2011-11-14 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

超声成像设备或技术可以包括获得反射的超声能量的样本的至少近似值，并且构造组织区域内的成像平面的表示。这样的设备或技术可以包括：对于各个聚焦位置，分别确定经由换能器的各个第一线获得的反射超声能量的至少近似复数样本的各个第一和，以及对于指定的聚焦位置，分别地确定至少两个的总和。反射超声能量的至少近似复数样本的相应第一和中的一些，第二和对应于超声换能器阵列中的换能器的第二行。分别确定至少近似的复杂样本的第一和第二和可以包括对至少一些复杂样本进行相位旋转。换能器的第二线可以与换能器平面中的相应的第一线正交。

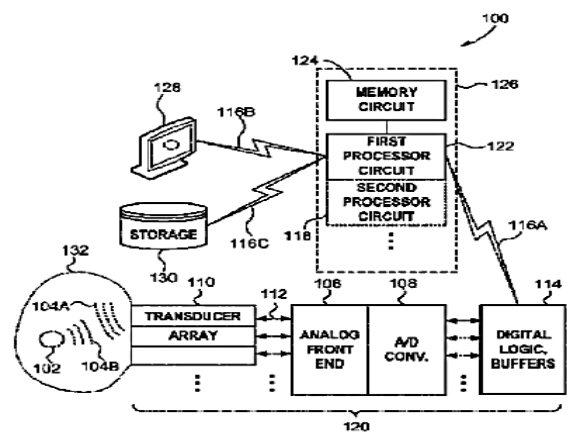


FIG. 1