

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6257096号
(P6257096)

(45) 発行日 平成30年1月10日 (2018. 1. 10)

(24) 登録日 平成29年12月15日 (2017. 12. 15)

(51) Int. Cl. F 1
A 6 1 B 8/14 (2006.01) A 6 1 B 8/14 Z DM

請求項の数 2 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2015-247170 (P2015-247170)	(73) 特許権者	512205979
(22) 出願日	平成27年12月18日 (2015. 12. 18)		ダルハウジー ユニバーシティ
(62) 分割の表示	特願2012-551706 (P2012-551706) の分割		カナダ国 ノバスコシア州 ハリファック ス サマー ストリート 1344 スイ ート 207 ピー. オー. ボックス 1 5000
原出願日	平成23年2月8日 (2011. 2. 8)	(74) 代理人	100102978
(65) 公開番号	特開2016-34599 (P2016-34599A)		弁理士 清水 初志
(43) 公開日	平成28年3月17日 (2016. 3. 17)	(74) 代理人	100102118
審査請求日	平成28年1月15日 (2016. 1. 15)		弁理士 春名 雅夫
(31) 優先権主張番号	61/302, 242	(74) 代理人	100160923
(32) 優先日	平成22年2月8日 (2010. 2. 8)		弁理士 山口 裕孝
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100119507
			弁理士 刑部 俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位相コヒーレンスによるグレーティングローブ抑圧のためのビーム形成法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波素子のアレイから脱焦点化パルスを送信する工程であって、該パルスが、超音波素子のアレイの背後に仮想点放射源を有する、工程；

超音波素子のアレイで広帯域の反射を受信し、該反射から信号を獲得する工程；および
受信ビーム形成遅延を該信号に適用し、かつ複数のA走査線についての位相コヒーレンス重み係数を計算する工程
を含む、超音波撮像において使用するための位相コヒーレンス重み係数を得る方法。

【請求項 2】

請求項1記載の方法にしたがって位相コヒーレンス重み係数を得る工程；

10

複数のA走査線に沿って、ビーム形成されたパルスを超音波素子のアレイから送信する工程；および

超音波画像においてグレーティングローブを減少させるために、信号に対して受信ビーム形成を行う際に該位相コヒーレンス重み係数を適用する工程
を含む、超音波撮像を実施する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、その全開示があらゆる目的で全体として参照により本明細書に組み入れられる

20

、2010年2月8日出願の米国仮出願第61/302,242号の恩典を主張するものである。

【0002】

開示の分野

本発明は一般に超音波撮像システムに関し、より詳細には超音波撮像システムにおけるグレーティングローブの抑圧に関する。

【背景技術】

【0003】

背景

低周波数超音波撮像システムは、診断医学においてごく一般的に使用され、50年以上にわたって使用されてきた。新しい高周波数超音波撮像技術は、これら従来の低周波数システムと比べて画像解像度の劇的な改善を示す。高周波数超音波撮像により可能となる性能の改善にもかかわらず、その普及を妨げる多くの技術的障壁が存在する。これらの障壁の中には、高周波数超音波撮像のためのアレイベースのシステムを使用することによって対処し得るものもあるが、変換器アレイおよび関連するビーム形成器の製造が高周波数システムではより難しい。というのは、ずっと小さい寸法が必要だからである（例えば、変換器の素子間ピッチなど）。

【0004】

寸法が十分に小さいものではないアレイが製造された場合、グレーティングローブと呼ばれる大きな画像アーチファクトが生じることになる。既存のシステムの別の未解決の問題は、素子間ピッチが大きいアレイ変換器を有する超音波撮像システムのためにグレーティングローブを抑圧するための簡単で有効な方途がないことである。グレーティングローブの抑圧について提案されている一技法が、J.Camacho, M.Parrilla, and C.Fritsch, 「Phase Coherence Imaging,」 IEEE Trans.Ultrason., Ferroelectr., Freq.Control, Vol.56, No.5, pp.958-974, 2009（非特許文献1）に記載されている。この技法は、「位相コヒーレンス撮像」と呼ばれ、位相コヒーレンス補正率受信ビーム形成および合成開口送信ビーム形成を使用してグレーティングローブを抑圧する。

【0005】

合成開口ビーム形成は、小振動が受信信号において位相ずれを生じさせ得る高周波数超音波撮像での使用には適さない。合成開口ビーム形成ではフル2D画像を生成するための高フレーム率を生み出すことができるが、ビーム形成遅延が挿入される前にすべての素子が個別にパルス化される必要がある。これが意味するのは、このビーム形成法が、ビーム形成される前の信号の取得の間に経過する時間量が大いことによる画像ひずみに影響されやすいことである。しかし、この画像ひずみは、送信焦点領域ビーム形成を実施するときには回避される。1送信イベントごとに1本のA走査線しか収集できないが、小さいモーションアーチファクトに起因する画像ひずみは、ビーム形成イベント相互間に経過する時間量が小さいために回避される。残念ながら位相コヒーレンス撮像では、送信ビーム形成がグレーティングローブ領域において非常に長いパルスを生じさせ、それらのパルスがアレイ素子へ戻る際に非常に長い狭帯域受信パルスを生じさせる。それゆえに、位相コヒーレンス補正率が主ローブと同じ時間領域における受信エコーから計算されるときには、もはやいかなるランダム位相も存在しない。というのは、すべての長いグレーティング・ローブ・エコーが今やオーバーラップし、ある期間にわたって事実上すべて同相になるからである。

【0006】

よって、当技術分野においては、受信超音波エコーにおけるグレーティングローブ信号を効果的に短縮し、それによって、信号処理の改善およびグレーティングローブの抑圧を可能にする改善された方法が求められている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】 J.Camacho, M.Parrilla, and C.Fritsch, 「Phase Coherence Imaging,」

10

20

30

40

50

IEEE Trans.Ultrason.,Ferroelectr.,Freq.Control,Vol.56,No.5,pp.958-974,2009

【発明の概要】

【0008】

概要

本開示は、受信超音波エコーにおける送信グレーティングローブ信号の時間長を効果的に低減するためのシステムおよび方法を提供することによって、超音波撮像の分野における長年の必要に対処するものである。グレーティングローブ信号を短縮することによって、その後、例えば、計算された位相コヒーレンス因子の適用などにより、信号処理を使用してグレーティングローブを抑圧することができる。このようにして、本方法は、有利なことに、画像解像度が改善された高周波数超音波撮像の実施を可能にする。

10

【0009】

本開示の様々な局面は、位相コヒーレンス撮像法が実用的な実際の超音波撮像システムにおいてグレーティングローブを抑圧するのに使用されることを可能にする、位相コヒーレンス撮像法と共に使用されるべき送信ビーム形成のための技法を提供する。位相コヒーレンス撮像法は、受信エコーの時間領域信号を効果的に短縮する送信ビーム形成の手法を使用することによって可能になる。局面によっては、位相コヒーレンス撮像は、符号コヒーレンス因子 (sign coherence factor (SCF)) 重み付けを含む。より短い時間領域信号を作り出すことによって、本方法は、結像変換器によって受信される際により少数の受信エコーがオーバーラップし、位相コヒーレンス撮像法のSCF重み付けをより効果的にする状況を生み出す。

20

【0010】

この時間領域信号を短縮するために様々な技法を使用することができる。一態様では、時間領域信号は、新しく開発された「分割開口」法を使用して送信信号を分割することによって短縮される。分割開口法では、開口がいくつかの部分開口へ分割され、次いで部分開口は、グレーティングローブ領域における時間伸長信号の長さを短縮するビーム形成送信パルスを得るように選択的に合焦される。別の態様では、時間領域信号は、脱焦点化 (defocused) 「プロービングパルス」法を使用して短縮される。超音波撮像システムにおいて実施され得る位相コヒーレンス撮像法を用いた送信ビーム形成の使用を可能にするために、時間領域信号を短縮するための信号処理において公知の任意の適切な技法を使用することができる。

30

【0011】

したがって、本開示の様々な局面は、合成開口ビーム形成を必要とせずに、ピッチの大きいアレイにおいてグレーティングローブを抑圧する。グレーティングローブを抑圧するためのこの技法を使用すれば、ピッチのより大きいアレイベースの変換器を有する超音波撮像システムを開発することが可能になる。より大きいピッチは、高周波数変換器の製造手順を大幅に簡略化し、または2Dアレイにおける必要な素子の数を低減し、結果的により少ない素子を用いてより大きい角度へビーム操向することのできるアレイがもたらされる可能性がある。

[本発明1001]

N個の送信素子のフェーズドアレイを含む送信ビーム形成器を、それぞれがN/K個の送信素子を有するK個の部分開口へ分割する工程;

40

送信ビーム形成器の部分開口のうちの一つから集束超音波送信信号を形成する工程;

集束見通し線に沿って目標に向けて前記送信信号を送信する工程;

送信開口全体の全N個の素子における目標からの前記送信信号の反射のサンプルを獲得する工程;および

前記目標の画像を生成するために前記サンプルを処理する工程

を含む、分割送信開口を使用した高周波数超音波撮像のための方法。

[本発明1002]

処理する工程が、計算された位相コヒーレンス因子によってサンプルに重み付けする工程を含む、本発明1001の方法。

50

[本発明1003]

複数の送信信号パルスを生成する工程をさらに含む、本発明1002の方法。

[本発明1004]

開口全体からの脱焦点化プロービングパルスを作り出して画像空間全体の複数の目標にわたる位相コヒーレンス重み付け値のマップを生成することによって、送信信号パルスの数を低減する工程をさらに含む、本発明1003の方法。

[本発明1005]

Kが2と16の間の整数である、本発明1001の方法。

[本発明1006]

Kが2である、本発明1005の方法。

10

[本発明1007]

送信信号の反射が、グレーティングローブ信号を含み、該グレーティングローブ信号が、 $K=1$ であるときのグレーティングローブ信号と比べて短縮されている、本発明1005の方法。

[本発明1008]

処理する工程がグレーティングローブ信号を抑圧する、本発明1001の方法。

[本発明1009]

処理する工程が、20dBを超えてグレーティングローブ信号を抑圧する、本発明1008の方法。

[本発明1010]

処理する工程が、20dB～60dBの間分だけグレーティングローブ信号を抑圧する、本発明1008の方法。

20

[本発明1011]

Nが16～512の間である、本発明1001の方法。

[本発明1012]

超音波送信信号が30MHz未満の周波数を有する、本発明1001の方法。

[本発明1013]

超音波送信信号が30MHzより大きい周波数を有する、本発明1001の方法。

[本発明1014]

N個の開口素子相互間の素子間ピッチの使用をさらに含み、素子間ピッチが 0.5λ より大きく、かつ λ が超音波信号の波長である、本発明1001の方法。

30

[本発明1015]

素子間ピッチが 0.75λ である、本発明1014の方法。

[本発明1016]

素子間ピッチが 1λ である、本発明1014の方法。

[本発明1017]

素子間ピッチが 1.25λ である、本発明1014の方法。

[本発明1018]

操向角度で送信信号を送信する工程をさらに含み、該操向角度が0度～45度の間である、本発明1001の方法。

40

[本発明1019]

操向角度が15度より大きい、本発明1018の方法。

[本発明1020]

送信素子が $f/2$ の焦点深度において合焦される、本発明1001の方法。

[本発明1021]

合成開口ビーム形成なしで実施することができる、本発明1001の方法。

[本発明1022]

それぞれがN/K個の送信素子を有するK個の部分開口へ分割可能なN個の送信素子のフェーズドアレイを含む撮像アレイと、

部分開口のそれぞれから目標へ向けて送信信号を集束させるために、部分開口の素子に

50

選択的にエネルギーを印加するように構成されている、撮像アレイに結合された送信ビーム形成器と、

撮像アレイのN個の素子のそれぞれにおいて撮像アレイによって受信される信号をサンプリングするように構成されている、撮像アレイに結合された受信ビーム形成器と、

サンプリングされた信号を受信し、それに基づいて画像を算出するように構成された処理回路と

を含む、分割送信開口を使用した高周波数超音波撮像のためのシステム。

[本発明1023]

Kが2~16の間の整数である、本発明1022のシステム。

[本発明1024]

Kが2である、本発明1023のシステム。

[本発明1025]

Nが16~512の間である、本発明1022のシステム。

[本発明1026]

超音波送信信号が30MHz未満の周波数を有する、本発明1022のシステム。

[本発明1027]

超音波送信信号が30MHzより大きい周波数を有する、本発明1022のシステム。

[本発明1028]

N個の開口素子相互間の素子間ピッチをさらに含み、素子間ピッチが 0.5λ より大きく、かつ λ が超音波信号の波長である、本発明1022のシステム。

[本発明1029]

素子間ピッチが 0.75λ である、本発明1028のシステム。

[本発明1030]

素子間ピッチが 1λ である、本発明1028のシステム。

[本発明1031]

素子間ピッチが 1.25λ である、本発明1028のシステム。

[本発明1032]

操向角度で送信信号を送信することをさらに含み、該操向角度が0度~45度の間である、本発明1022のシステム。

[本発明1033]

操向角度が15度より大きい、本発明1032のシステム。

[本発明1034]

送信素子が $f/2$ の焦点深度において合焦される、本発明1022のシステム。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】(A) 直線アレイ配置を有する従来の変換器アレイの概略図を示す。(B) 二次元アレイ配置を有する従来の変換器アレイの概略図を示す。(C) 環状アレイ配置を有する従来の変換器アレイの概略図を示す。

【図2】直線アレイを使用したビーム形成を示す概略図である。

【図3】フェーズドアレイを使用したビーム形成を示す概略図である。

【図4】アレイの幾何学的配置および撮像媒体内の所望の焦点を示す概略図である。

【図5】受信ビーム形成を示す概略図である。

【図6】受信ビーム形成遅延が挿入されている、(A) 送信ビーム形成、(B) 中心素子だけを用いた合成開口パルス化、および(C) 分割開口送信ビーム形成 $K=2$ を使用したピッチ 1.25λ の64素子フェーズドアレイについてのグレーティング・ローブ・エコーの比較を示す図である。

【図7】各部分開口(K)が送信時に別々に合焦され(A)、エコーがすべての素子によって受信され(B)、すべての部分開口がパルス化された後で画像の1ラインが構築される、本開示の様々な局面による提案の送信開口および受信開口を示す図である。

【図8】仮想湾曲開口が、ビーム形成遅延を補償するためのグレーティングローブ点(G

10

20

30

40

50

）と各開口点（L1、L2、およびL3）との距離を計算するのに使用される、主軸上の焦点（F）に合焦され、開口幅（w）、素子間ピッチ（p）のフェーズドアレイ変換器の配置を示す図である。

【図9】SCFなしとSCF重み付き送信ビーム形成とSCF重み付き合成開口との間の、ピッチ（p）=1.25λであり、f/2において合焦し、25度に操向された64素子フェーズドアレイ変換器についてのグレーティング・ローブ・レベルの比較を示す図である。

【図10】総開口が、f=40MHz、ピッチ（p）=1.25λ、f/2であり、25度に操向された64素子変換器であり、Kを増加させることによって、PRFが減少する間にグレーティングローブがより多く抑圧されることを示す、異なる分割数（K=1、2、4、8）を有する分割開口送信ビーム形成間の比較またはグレーティング・ローブ・レベルを示す図である。

10

【図11】素子ピッチa) p=0.75λ、b) p=λ、およびc) p=1.25λにおける、操向角度0度、15度、30度、および45度についての、K個の「分割」（1、2、4、および8）に対するグレーティング・ローブ・レベルが記入されており、処理なし（SCFなし）でのグレーティングローブの通常値も比較のために記入されている、f/2において合焦する64素子フェーズドアレイについての、異なる素子ピッチおよび操向角度でのグレーティングローブ抑圧に及ぼすK個の部分開口の影響を示す図である。

【図12】素子ピッチ1.25λの64素子50MHzフェーズドアレイを使用して得られた、全64素子開口がアクティブであり、f/2において25度にずらして合焦させるときに実験的に測定されたグレーティングローブ送信信号を示す図である。

【図13】素子ピッチ1.25λの64素子50MHzフェーズドアレイを使用して得られた、開口の半分がアクティブであり、f/2において25度にずらして合焦させるときに実験的に測定されたグレーティングローブ送信信号を示す図である。

20

【図14】ビームが+35度から-35度まで掃引されるとき、25度、f/2に位置する50ミクロンのワイヤファントムからの実験的に測定された放射パターンである。（A）SFCが適用されないときに測定された放射パターンを示す。（B）SCFが適用されたときの放射パターンを示す。（C）開口が2つに分割された（K=2）ときの放射パターンを示す。測定値は、素子ピッチ1.25λの64素子50MHzフェーズドアレイを使用して得た。

【図15】1.25λ間隔の64素子50MHzフェーズドアレイを用いて生成された画像を示す。画像は、f/2.5に位置する50ミクロンのワイヤファントムのものである。画像深度は1mmから8mmまでの範囲に及び、操向角度が+35度から-35度までの範囲に及ぶ。すべての画像が60dBのダイナミックレンジで表示されている。（A）SCF処理なしで生成された画像を示す。（B）SCF処理ありだが送信時の開口分割なしで生成された画像を示す。（C）送信開口を2つ（K=2）に分割し、次いでSCF処理を適用することによって生成された画像を示す。

30

【発明を実施するための形態】

【0013】

詳細な説明

本開示は、一般に、受信超音波エコーにおける送信グレーティングローブ信号の時間長を効果的に低減するためのシステムおよび方法に関するものである。その場合グレーティングローブ信号は、適切な信号処理方法を使用して抑圧することができる。これらの方法およびシステムは、有利なことに、高周波数および/または2Dの超音波撮像アレイの実施を可能にし、超音波画像品質の大幅な改善を可能にする。

40

【0014】

フェーズドアレイ超音波変換器には、従来、大きなグレーティングローブを回避するために、小さい素子間ピッチ（0.5λ以内）が必要とされる。この制約条件は、特に、30MHzより大きい動作周波数の高周波数フェーズドアレイの開発において多くの製造上の難題の原因となり得る。本開示は、高周波数超音波撮像の実施を可能にする新規な送信ビーム形成法を提供する。

【0015】

様々な局面において、本開示は、分割送信開口を使用した高周波数超音波撮像のための

50

方法であって、N個の送信素子のフェーズドアレイを含む送信ビーム形成器をそれぞれがN/K個の送信素子を有するK個の部分開口へ分割する工程;送信ビーム形成器の部分開口のうちの一つから集束超音波送信ビームを形成する工程;集束見通し線に沿って目標に向けて送信信号を送信する工程;全送信開口の全N個の素子における目標からの送信信号の反射のサンプルを獲得する工程;およびサンプルを処理して目標の画像を生成する工程を含む方法を提供する。

【0016】

本送信ビーム形成法は、例えば、ピッチの大きいフェーズドアレイ変換器におけるグレーティングローブを抑圧することができる符号コヒーレンス因子(SCF)受信ビーム形成を用いた位相コヒーレンス撮像(Camacho et al, IEEE Trans UFFC, 56(5):958-974(2009))などの任意の適切な信号処理法と併用することができる。

10

【0017】

様々な局面において、送信グレーティングローブ信号の時間長を低減するために、送信開口(N個の素子)をN/K個の送信素子へ分割し、全N個の素子上で受信ビーム形成するための方法が提供される。この方法は、位相コヒーレンス撮像における合成開口ビーム形成の使用を不要にする。ある局面では、受信信号は、グレーティングローブを抑圧するために、各送信・受信イベント後に計算されたSCFによって重み付けされる。すべての部分開口をパルス化した後で、RF信号を追加して画像の1ラインを生成することができる。異なるK値についての二方向放射パターンのシミュレーションによれば、グレーティングローブは異なる操向角度において大幅に抑圧され得る。局面によっては、本開示は、最適な送信部分開口を決定する技法を提供する。

20

【0018】

変換器アレイ

アレイ変換器の構造は多くの点で単一素子変換器の構造と類似している。例えば、アレイ変換器は、損失のある支持層とマッチング層との間に挟まれた圧電で構成されている。しかし、アレイ変換器内の圧電共振子は、一連の個別アレイ素子を作り出すようにさいの目状に切断されている。図1(A)、図1(B)、および図1(C)に、3つの一般的なアレイ配置の前面を示す。図1(A)に示すアレイは直線アレイであり、図1(B)に示すアレイは二次元(2-D)アレイであり、図1(C)に示すアレイは環状アレイである。

【0019】

30

図1(A)に示す例のような直線アレイ変換器は、超音波エネルギーを、アレイ素子の列に平行な線に沿った、組織内の任意の深さのところに集束させる能力を有する。超音波エネルギーを組織内の任意の深さのところに集束させる能力は、被写界深度を大幅に増大させるため、直線アレイ変換器を単一素子変換器よりも魅力あるものにする。超音波ビームは、音響レンズまたは幾何学的曲線を使用して(素子の列と直角をなす)仰角方向に受動的に集束する。直線アレイには二種類あり、一方を「直線アレイ」といい、他方を「フェーズドアレイ」という。

【0020】

「直線アレイ」はアレイ素子の部分開口を使用して超音波ビームをアレイと直角に集束させる。図2に、アクティブ開口を形成するのに使用されるアレイ素子群201を示す。アレイ素子群は、アレイと直角をなす画像ライン222に沿って集束する超音波波面220を作り出すために遅延励起信号210のパターンを使用して励起される。アレイの両端の間でアクティブ開口をずらすことによりさらに別の画像ラインが得られる。素子の部分開口は、ずっと大きい開口の両端の間を段階的に進み、2-D画像を作り出すのに必要とされる平行A走査を収集する。典型的な直線アレイは、256素子からなる総開口を有し、アレイ素子201相互間の波長間隔 λ を有する64素子の部分開口を使用する。

40

【0021】

図3に、超音波波面320を操向する能力を有する直線アレイの第2のバージョン、「フェーズドアレイ」を示す。フェーズドアレイ内の素子301は、超音波波面320を集束し、操向する遅延励起信号310のパターンを使用して励起される。それゆえに、画像ライン322はも

50

はやアレイと直角をなさない。操向角度を変更することによってさらに別の画像ラインが得られる。超音波ビームを異なる角度で操向することにより、一連のA走査が収集される。これらのA走査はセクタフォーマット画像を生成するのに使用される。その結果、フェーズドアレイは、比較的小さい開口を用いて大きな視野を持つことができることになる。典型的には、フェーズドアレイは、アレイ素子301相互間に半波長間隔を有する128素子を使用する。総じて、素子間隔および開口サイズがより小さいこと以外には、フェーズドアレイは直線アレイと同様である。

【0022】

図1(C)に示す例のような環状アレイは、高周波数撮像における多くの局所的用途に適するが、素子サイズが比較的大きく、素子数が低いために、ビーム操向し、または開口を電子的に変換する能力を持たず、したがって、機械的に走査される必要がある。これが意味するのは、2D画像を構成する平行な「見通し線」を生成するために、固定された開口が空間的に再配置される必要があることである。これにより、パッケージングサイズ、画像走査窓、およびフレーム率を制限するより大きな「有効」開口が生じる。高周波数直線フェーズドアレイ変換器は、環状アレイに付きものの問題の多くを克服することができる。例えば、フェーズドアレイは開口変換アレイを必要としないため、総開口が3mm以下のアレイを製造することができる。

【0023】

送信ビーム形成

超音波ビーム形成器を2つの部分、すなわち、アレイを励起し、送信エネルギーを集束させるのに必要とされる高電圧パルスのシーケンスを生成する送信ビーム形成器と、受信信号を集束させる受信ビーム形成器とへ分離するのが好都合である。送信ビーム形成器の動作を、図4を参照して説明する。

【0024】

図4に、それぞれが距離dだけ隔てられている（断面における）素子1～nのアレイの幾何学的配置と、撮像媒体内の所望の焦点、目標444とを示す。変換器アレイ素子1～nを目標444へ結ぶ線は、各素子から目標444までの経路を示す。変換器放射を目標444へ集束させるためには、各変換器素子1～nから目標444までの経路長距離が求められなければならない。そうすれば、音波を目標444へ集束させるのに必要とされる変換器素子1～nへの信号に適用すべき遅延パターンを決定することができる。

【0025】

各変換器素子1～nから目標までの経路長は幾何学的解析に基づいて計算される。

$$l_n(x, y) = \sqrt{(y - d_n)^2 + x^2} \quad \text{式(1)}$$

式(1)において、 l_n は第nの変換器素子から所望の(x, y)座標までの距離である。媒体内の一定の音の速さが仮定される場合、パルスが第nの変換器素子から目標まで進むのに要する総時間は l_n/c_o であり、式中、 c_o は、媒体内の仮定の音の速さである。

【0026】

所望の焦点距離において強めあう干渉を生じさせるために、変換器素子1～nからのすべてのパルスが同時に目標444に到達するように遅延パターンが挿入される。これらの遅延は、式(2)で与えられる最大の素子・目標間の飛行時間を差し引くことによって計算される。

$$\Delta\tau_n(x, y) = \frac{\sqrt{(y - d_n)^2 + x^2}}{c_o} - \frac{\sqrt{y^2 + x^2}}{c_o} \quad \text{式(2)}$$

式(2)において、 $\Delta\tau_n$ は、素子nについての励起遅延に対応する。送信ビーム形成器は送信イベントごとに一つの深度においてしか集束し得ないため、送信波は、後続の送信パルスが印加される前に散乱させることができる。

【0027】

受信ビーム形成

送信ビーム形成と同様に、アレイによって受信される放射パターンも集束させることができる。身体内の小さい対象物からのエコーは、わずかに異なる時刻に異なるアレイ素子に戻る。異なる素子からの信号を到着時刻の差に見合うだけ遅延させることによって、エコーを、それらがコヒーレントに合算されるように再整列させることができる。受信ビーム形成のフロー図が図5に概略的に示されている。変換器（アレイ素子501）は反射波505を受信し、作り出された信号は、加算器555における合算時に強めあう干渉を生じさせるように遅延素子550を使用して段階的なパターンで遅延される。

【0028】

受信ビーム形成プロセスは送信集束と同様であるが違いがある。すなわち、送信集束では、パルスは一度に組織内の一つの深度だけにしか集束させることができないが、受信ビーム形成では、エコーが受信される際にエコーに適用される遅延パターンを動的に変化させることが可能である。ある意味で、受信ビーム形成は、その幾何学的集束が音の速さで前方へ掃引する幾何学的形状の変換器の放射パターンを近似することを可能にする。送信ビーム形成と同様に、アレイ501内の変換器素子についての遅延パターンは、素子と目標との間の飛行の時間に関連するものである。

【0029】

フェーズドアレイ変換器

フェーズドアレイ変換器は、小さい開口を用いて大きい視野を提供することができる。しかし、フェーズドアレイ変換器には、従来、大きなグレーティングローブを回避するために、小さいピッチ（ 0.5λ 以内）が必要とされる。これによって高周波数フェーズドアレイについての大きな製造上の課題が生じる。本開示は、送信開口のK個の部分開口への分割によってより広帯域のグレーティング・ローブ・エコーが生成される超音波撮像のための新規の方法を提供する。例えば、前述のSCF重み係数などの適切な信号処理法を適用することによって、ピッチの大きいアレイを用いた従来の送信ビーム形成法を上回ってグレーティングローブを大幅に抑圧することができる。基本的な幾何学的原理を使用して、異なる部分開口についてグレーティングローブ領域において同等に短い送信パルスを生成する最適な開口分割位置のための式を導出することができる。開口を等幅の部分開口へ分割すれば、大部分のf数およびグレーティングローブ角についての最適な分割位置を厳密に近似するものになる。本開示によれば、より大きい数（K）の部分開口を使用することにより、異なるピッチおよび操向角度について、グレーティングローブ抑圧の量を増大させることができる。操向角度を増大させることによって、許容できるグレーティングローブ抑圧を得るためにより大きい値のKが必要になる。したがって、分割開口の数（K）は、個々の用途のための操向角度および所望の画像コントラスト（グレーティング・ローブ・レベル）に基づいて選択すべきである。本方法は、素子間ピッチがより大きい高周波数フェーズドアレイ変換器が開発されることを可能にし、これによりデバイス製造が大幅に簡略化される。

【0030】

高周波数超音波撮像（すなわち20MHz超の）は、マイクロスケール組織構造の高解像度画像を提供することができる（Lockwood et al, Ultrasound in Medicine and biology, 15 (6) :60-71 (1996)）。現在の市販のシステムのほとんどは、血管内および小動物の撮像用途だけに限定されている。高周波数超音波の新しい臨床応用への発展が比較的遅い原因の大部分は、これらの周波数で動作するアレイベースの変換器およびビーム形成器の開発の困難さに起因するものと考えられ得る。従来から、高周波数超音波撮像システムは単一素子変換器に基づくものであり、単一素子変換器は水平解像度と被写界深度とのトレードオフをもたらす。また、この場合には、フル2D画像を取り込むために、機械的開口変換も必要である。最近の取り組みは、高周波数の環状および直線アレイ変換器の開発に向けられている（Cannata et al., IEEE Trans UFFC, 53 (1) :224-236 (2006) ; Brown et al., IEEE Trans UFFC, 51 (8) :1010-1017 (2004) ; Brown et al, IEEE Trans UFFC, 54 (9) :

10

20

30

40

50

1888-1894 (2007) ;Lukacs et al,Proc IEEE UFFC,105-108 (2005) ;Ritter et al,IEEE Trans UFFC,38 (2) :48-55 (2002) ;Ketterling et al,IEEE Trans UFFC,52 (4) :672-681 (2005) ;Snook et al,Proc IEEE Ultrason Symp,1:865-868 (2003) ;Hu et al,Proc IEEE Ultrason Symp (2009) ;Sisman et al,Proc IEEE Ultrason Symp (2009))。高周波数環状アレイは、大きい被写界深度と高品質の画像とを提供することが示されているが、機械的空間変換も必要であり、これによりフレーム率およびパッケージングサイズが制限され得る。高周波数直線アレイ変換器の開発は、機械的変換によって以前にもたらされたフレーム率の制限を克服することが判明しているが、視野およびパッケージングサイズは全開口のサイズに制限される。というのは、直線アレイは超音波ビームをアレイと直角に集束することしかできず、ビーム操向する能力を持たないからである。視野とパッケージングサイズとのトレードオフを克服するための、高周波数曲線アレイの開発が最近報告された (Hu et al.,Proc IEEE Ultrason Symp (2009))。このようなアレイは実に有望であるが、視野と開口サイズとのトレードオフを克服するより効率的な方法を、フェーズドアレイ変換器を用いて実現することができる。

10

【0031】

フェーズドアレイ変換器は、ビーム操向する能力を有し、平行なA走査線を生成するために部分開口を電子的に変換する必要がない。残念ながら、高周波数フェーズドアレイ変換器を開発することは、その製造の際の難題により極めて困難であることが判明している。具体的には、超音波ビームを操向するために、素子間ピッチを大幅に低減して、グレーティングローブの導入を回避する必要がある (Cobbold,Foundations of biomedical ultrasound,437-450 (2007))。例えば、50MHz、操向角度45度において、グレーティングローブ角を90度まで押し広げるためには、素子ピッチを15ミクロンまで低減する必要がある (Ziomek,Fundamentals of acoustic field theory and space-time signal processing,528-532 (1955))、これは大部分の現在の製造能力を超えるものである。このために、多くの研究では、よりピッチの大きいフェーズドアレイの設計を可能にするグレーティングローブ抑圧のための異なる方法を調査してきた (Rew et al,Electronics letter,19 (19) :1729-1731 (1993) ;Gavrilov et al,IEEE Trans UFFC,44 (5) :1010-1017 (1997) ;Wang et al,IEEE Trans Antennas and Propagation,56 (6) (2008) ;Ustuner et al,U.S.Pat.No.7,207,942 B2 (2007) ;Li et al,IEEE Trans UFFC,50 (2) :128-141 (2003))。

20

【0032】

グレーティングローブ抑圧

本開示によれば、ピッチの大きいフェーズドアレイ変換器においてグレーティングローブを抑圧するための現在文献に記載されている方法を含めて、グレーティングローブを抑圧するための任意の適切な信号処理法を使用することができる。本開示の様々な局面によれば、処理法は、計算された位相コヒーレンス因子によってサンプルに重み付けすることを含み、これにはSCFが含まれ得る。

30

【0033】

一つの適切な信号処理法は、主として、素子の周期パターンを除去することによるアレイ構造の操作を中心とするものである (Rew et al.,Electronics letter,19 (19) :1729-1731 (1993) ;Gavrilov et al,IEEE Trans UFFC,44 (5) :1010-1017 (1997) ;Wang et al.,IEEE Trans Antennas and Propagation,56 (6) (2008))。これらの方法では、開口のアンダーサンプリング部分が残し、結果として「疎アレイ」になるまで一部の素子がランダムに除去される。しかし、低い素子数による疎アレイの送信強度低下が生じ、結果として信号対雑音比 (SNR) が低下する。疎アレイの別の大きな欠点は、副ローブ対主ローブ電力の平均が1/Nに等しいために、副ローブのレベルが増大することである (Cobbold,Foundations of biomedical ultrasound,437-450 (2007))。

40

【0034】

本開示の一局面によれば、信号処理法は、グレーティングローブを抑圧するように各素子によって受信されるエコーを処理することを中心とするグレーティングローブを抑圧するための方法を含み得る。これらの方法によれば、重み係数 (0と1の間) が、タイムシフ

50

ト（相互相関（Ustuner et al, U.S. Pat. No. 7,207,942 B2（2007）））や、エコーの受信方向（FFT（Li et al, IEEE Trans UFFC, 50（2）:128-141（2003）））などのエコーの特定の特性に基づいて計算される。エコーは、算出された重み係数で乗算され、加算されて画像の1ラインが生成される。これらの方法は、有望ではあるが、重み係数を計算する際の計算コストが高いという固有の欠点を有し、そのため高フレーム率撮像には適さない。

【0035】

本開示の一局面によれば、信号処理は、ピッチの大きいアレイにおけるグレーティングローブ抑圧のための「位相コヒーレンス撮像」という低計算能力の方法を含み得る（Camacho et al, Trans UFFC, 56（5）:958-974（2009））。この方法では、各素子によって受信された遅延エコーの位相が検出され、次いで各時点における位相の標準偏差に基づいて重み係数が定義される。焦点においては、すべての素子エコーが同相になり、そのため、それらの位相の標準偏差は0に近くなり、結果として1に近い重み係数をもたらす。グレーティングローブについては、エコーの位相は必ずしも完全に同相になるとは限らず、そのため、それらの位相の標準偏差は、ある場合には、0より大きくなり、結果としてより低い重み係数をもたらす。この方法は、受信されるグレーティング・ローブ・エコーが広帯域である合成開口ビーム形成については、だいたいにおいて有効である。基本的には、送信ビーム形成遅延が受信ビーム形成A走査と一緒に再構築された後で、主ローブと同様の時間領域点は、多数の素子にわたって0またはランダムな位相になる。これにより位相の標準偏差における拡散が生じ、したがって、受信エコーの広い帯域幅が、位相の標準偏差が非ゼロである主要な理由である。

【0036】

送信グレーティングローブ信号の短縮

本開示は、長い狭帯域のグレーティング・ローブ・エコーが不可避である送信ビーム形成を使用するときにフェーズドアレイ変換器のグレーティングローブを抑圧するための位相コヒーレンス撮像方法を一般化するための新規な方法を提供する。本開示は、一般に、受信超音波エコーにおける送信グレーティングローブ信号の時間長を効果的に低減するためのシステムおよび方法に関するものである。信号処理によるグレーティングローブ抑圧の利益は、信号処理の前にグレーティングローブ信号の時間領域信号を減少させることによって大幅に改善される。これらの方法を使用すれば、素子ピッチが超音波信号波長の2分の1よりずっと大きいフェーズドアレイが可能になる。したがって、高周波数フェーズドアレイの製造が大幅に簡略化され、2Dアレイにおいて必要とされる素子の数が低減される。

【0037】

位相コヒーレンス撮像の特殊な例が、符号コヒーレンス因子（SCF）を重み係数として計算するものである。この方法では、各時点における各素子による受信エコーの符号ビット（ b_i ）が考慮される（Camacho et al., IEEE Trans UFFC, 56（5）:958-974（2009））。各時点において、符号ビットの標準偏差（ σ ）が計算され、SCFが式（3A）および式（3B）において以下のように定義される。

$$SCF^\alpha = |1 - \sigma|^\alpha \quad \text{式 (3A)}$$

$$\sigma = \sqrt{1 - \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i \right]^2} \quad \text{式 (3B)}$$

式中、 $\alpha \geq 1$ は補正率の感度を調整し、Nは素子の数である。異なる「 α 」の値が実際にはグレーティングローブをさらに抑圧し得ることが示されているが、この項目の残りの部分については、 α の値が1であるものと仮定する。焦点では、すべての受信エコーが同相であり、すべての素子の符号ビットが同じであり、結果として得られる標準偏差は0に近く、ゆえに重み係数は1に等しい。送信ビーム形成が使用されるときには、一方向放射パターンのグレーティングローブ領域における信号は時間領域において非常に長い。したが

って、グレーティングローブ領域からアレイ素子によって受信されるエコーを考慮すると、これらのエコーもまた非常に長く、狭帯域である。ビーム形成遅延が挿入された後でさえも、これらの長いグレーティング・ローブ・エコーはオーバーラップし、符号ビットが主ローブ信号と同じ時間領域において考慮される場合、信号はすべて位相が類似しており、よって、この場合の重み係数もほぼ1に等しい。

【0038】

グレーティングローブ信号の時間領域を短縮することにより、本方法は、より大きい画像解像度での高周波数超音波撮像の実施を可能にする。本方法を使用すれば、30MHzより大きい超音波周波数において方法を実施することが可能である。局面によっては、方法は、20MHz、30MHz、40MHz、または50MHzの周波数において実施することもできる。また本方法は、20MHzを下回る周波数など、低周波数超音波にも適用することができる。

10

【0039】

図6(A)に、送信ビーム形成からもたらされるグレーティングローブ領域からの個別受信エコーの一例を示す。信号は、素子ピッチ 1.25λ で、角度25度で操向され、 $f/2$ において集束する64素子フェーズドアレイについてのものである。パルスエコーは、二方向インパルス応答法 (San Emeterio et al., J Acoust Soc AM, 92 (2) :651-662 (1992)) を使用して励起された。グレーティングローブ領域における一方向送信パルスの総和が計算され、次いで、受信エコーのための点放射源として使用される。しかし、主ローブ領域における二方向パルスエコーの帯域幅はおおよそ50%である。図6(A)には、グレーティングローブ領域からのオーバーラップするエコーが時間領域においてどのように伸長されるかがはっきりと示されている。これらのエコーは、主ローブと同様の時間窓にわたって事実上すべて同相であるため、大きな重み係数がもたらされる。これは、送信ビーム形成が使用されるときにSCFがグレーティングローブを効果的に抑圧することを妨げる。

20

【0040】

しかし、SCF法は、合成開口送信ビーム形成が使用されるときには、グレーティングローブを効果的に抑圧することができる。主要な違いは、合成開口では、一度にただ一つの素子がパルス化され、結果的に、グレーティングローブ領域からでさえも広帯域のエコーがアレイに戻ることである。受信ビーム形成遅延が挿入された後では、これらの広帯域エコーには時間領域においてごくわずかなオーバーラップしか生じず、結果として大きい符号ビット標準偏差がもたらされる。というのは、信号の多くがいかなる瞬間においても0 (ランダム位相) だからである。これにより非常に低いSCF重み係数が作り出される。図6(B)に、単一脱焦点化素子 (素子32) を用いてパルス化されたときの、25度に操向される64素子、 1.25λ ピッチのフェーズドアレイからの受信グレーティング・ローブ・エコーの一例を示す。この場合には、エコーは主ローブ信号と同じ時間領域において大部分が同相でないことがはっきりとわかる。実際、受信信号は非常に広帯域であるため、大部分は0 (ランダム位相) である。

30

【0041】

前述のように、合成開口ビーム形成は、信号がビーム形成される前に多くの送信イベントが必要とされるため大きな不都合点を有する。したがって、ビーム形成される前の信号は、比較的長いパルス化シーケンスの間の小組織の運動からの位相ひずみに影響されやすい。高周波数アレイは小組織の運動に対して特に敏感である。というのは、波長が極端に短く、したがって、少量の組織運動がエコー位相の大きな変化をもたらすからである。送信ビーム形成は、ビーム形成間の長いパルス化シーケンスが不要であるため、これらの位相ひずみを回避する。本開示の方法は、有利なことに、合成開口ビーム形成の使用を必要とせずに、グレーティングローブの時間領域を短縮する。

40

【0042】

しかし、送信ビーム形成がピッチの大きいフェーズドアレイのために求められる場合には、SCFの有効性を増大させるための新しい方法が必要である。送信ビーム形成を使用するアレイにSCFを適用する際の根底にある問題は、グレーティングローブ領域をもたらす長い時間伸長信号であるため、より短い時間領域信号を生成する方法では、受信時にオー

50

オーバーラップする受信エコーの数がより少なくなるべきであり、よって、SCF重み付け法はより効果的でなければならない。時間領域信号の長さは、アレイ内の最も近い素子と最も遠い素子との到着時刻の差にほぼ等しいため、発明者らは、グレーティングローブ領域における時間伸長信号の長さを短縮するために、送信開口を、 K が2から N （素子の数）まで変動する可能性を有する K 個の部分開口へ分割する非常に単純な解決策を提案する（図7（A））。信号がビーム形成される前に経過する総時間を最小化するために K を可能な限り低く保つことが望ましい。これもやはり、組織運動に起因するビーム形成される前の信号間の位相収差の量を低減する。

【0043】

本開示によれば、部分開口の数（ K ）は、送信開口が集束ビームを作り出すことができるような任意の値とすることができる。ある局面では、 K は、2と16の間の整数である。別の局面では、 K は2と10の間である。さらに別の局面では、 K は2である。

10

【0044】

任意の適切な素子間ピッチを本方法に従って使用することができる。ある局面によれば、素子間ピッチは 0.5λ より大きい。さらに別の局面では、素子間ピッチは 0.5λ である。ある局面では、素子間ピッチは 0.75λ である。ある局面では、素子間ピッチは 1λ である。ある局面では、素子間ピッチは 1.25λ である。

【0045】

対応する素子間ピッチの値に応じて、任意の適切な操向角度を本方法に従って使用することができる。様々な局面によれば、操向角度は1度から45度までとすることができる。ある局面では、操向角度は10度である。さらに別の局面では、操向角度は15度である。さらに別の局面では、操向角度は20度である。さらに別の局面では、操向角度は25度である。さらに別の局面では、操向角度は35度である。さらに別の局面では、操向角度は40度である。さらに別の局面では、操向角度は45度である。

20

【0046】

本開示によれば、任意の適切なアレイサイズ（ N ）を使用することができ、例えば、それだけに限らないが、アレイサイズ（ N ）は16と512の間とすることができる。

【0047】

脱焦点化パルスを使用する合成開口ビーム形成とは異なり、本開示の方法は異なる見通し線に沿った送信集束を使用する。この場合には、 N/K 個の素子が送信集束遅延を用いてパルス化され、全 N 個の素子が受信開口に関与する（図7（B））。各送信の後、SCFがタイムシフトエコーに基づいて計算され、ビーム形成信号に重み付けするのに使用される。 K 個の送信イベントの後、すべての重み付きエコーが足し合わされて画像内の1ラインが生成される。この場合もやはり、送信のための開口のサイズを N/K 個の素子に低減することによって、送信開口内の最も近い素子と最も遠い素子との距離の差が低減されるためにグレーティングローブ信号がより短くなる。グレーティング・ローブ・エコーのオーバーラップのこの低減によりずっと低いSCFがもたらされる。図6（C）に、受信ビーム形成遅延が全64受信素子上で挿入された後に32素子の分割送信開口からもたらされる受信グレーティング・ローブ・エコーの一例を示す（ $K=2$ ）。図6（A）および図1（B）と同様に、このシミュレーションは、素子ピッチ 1.25λ 、操向角度25度、焦点深度 $f/2$ のフェーズドアレイについてのものである。このグラフから、分割送信開口法のエコー間に生じる位相コヒーレンスがずっと少なく、したがって、ずっと低いSCF重み係数をもたらしことがはっきりとわかる。

30

40

【0048】

本開示の様々な局面によれば、グレーティングローブ領域内の部分開口相互間で同等に短い時間的送信パルスを達成するために最適な送信開口が決定される。実験シミュレーション結果の示すところによれば、ほぼ等幅の部分開口（ $K=2$ では $1/2 * w$ 、 $K=4$ では $1/4 * w$ など）は、ほぼ等しい長さのグレーティングローブ送信パルスを、というよりはむしろ部分開口内の最も近い素子と最も遠い素子との距離の等しい差を作り出す。以下で、 $K=2$ の場合に、両送信開口から等しい長さのグレーティングローブ信号を得るために送信開口を

50

どこで分割すべきか決定するための式を導く。最適な位置は、各部分開口内の最も近い素子と最も遠い素子との距離の差が等しいときに生じる。図8に、「0」をxzデカルト平面の原点とするフェーズドアレイの配置を示す。焦点(F)は主軸上にあり、グレーティングローブ(G)は、式(4)で計算される中心軸からの角度で同じ半径(R)上に位置するものと仮定される(t'Hoen, IEEE Ultrason Symp Proc, 94-95 (1982))。

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{p}\right) \quad \text{式(4)}$$

Fに集束させるための送信ビーム形成遅延が挿入された素子のアレイの影響に相当するように、展開の残りの部分について仮想湾曲開口が考慮される。L1、L2、およびL3は、グレーティングローブ点(G)と仮想湾曲開口上の各点との距離である。どちらの分割にも時間領域において同じ長さの送信パルスを生じさせるためには、(3)で定義される距離の等式が満たされる必要がある。

$$L3 - L2 = L2 - L1$$

$$L2 = \frac{(L1 + L3)}{2} \quad \text{式(5)}$$

式中、グレーティングローブと仮想開口点との距離は、

$$\begin{aligned} L1 &= \sqrt{\left(R \sin \theta - \frac{w}{2}\right)^2 + (R \cos \theta)^2} \\ L3 &= \sqrt{\left(R \sin \theta - \left(-\frac{w}{2}\right)\right)^2 + (R \cos \theta)^2} \\ L2 &= \sqrt{(R \sin \theta - x_0)^2 + (R \cos \theta - z_0)^2} \end{aligned} \quad \text{式(6)}$$

であり、式中、「w」は総アレイ開口であり、 (x_0, z_0) は、仮想湾曲開口上の点である。L2については、 z_0 を x_0 の関数として置換し、L2を、

$$L2(x_0) = \sqrt{(R \sin \theta - x_0)^2 + \left(R \cos \theta - \left(R - \sqrt{R^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} - x_0\right)\right)^2} \quad \text{式(7)}$$

に変形することができ、L1およびL3は、それぞれ単に、 $L2(w/2)$ および $L2(-w/2)$ であることがわかる。以下の展開は、2より大きいf数における妥当な仮説である $R \gg w/2$ という仮説に基づくものである。式(5)の右辺を二乗することによって、以下が得られる。

$$\frac{\left(\sqrt{\left(R \sin \theta - \frac{w}{2}\right)^2 + (R \cos \theta)^2} + \sqrt{\left(R \sin \theta - \left(-\frac{w}{2}\right)\right)^2 + (R \cos \theta)^2}\right)^2}{4} \approx R^2 + \frac{R^2 \cos^2 \theta \frac{w^2}{4}}{\left(R^2 - \frac{w^2}{4}\right)} \quad \text{式(8)}$$

近似は、二乗の一次テイラー近似に基づくものである。

$$\sqrt{x^2 + a} = x + \frac{a}{2x} \quad \text{式(9)}$$

式(5)の右辺を二乗し、式(9)で再度テイラー近似を使用することによって、次式が得られる。

$$\begin{aligned} &(R \sin \theta - x_0)^2 + \left(R \cos \theta - \left(R - \sqrt{R^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} - x_0\right)\right)^2 \\ &\approx (1 - \cos \theta)x_0^2 - (2R \sin \theta)x_0 + \left(\cos \theta \frac{w^2}{4} + R^2\right) \end{aligned} \quad \text{式(10)}$$

式(8)と式(10)は等しいため、よって次式がもたらされる。

$$(1 - \cos \theta)x_0^2 - (2R \sin \theta)x_0 + \left(\cos \theta \frac{w^2}{4} - \frac{R^2 \cos^2 \theta \frac{w^2}{4}}{(R^2 - \frac{w^2}{4})} \right) = 0 \quad \text{式 (11)}$$

式 (11) の根を求め、 $R = F \cdot w$ および $w = N \cdot p$ を代入することによって、「 x_0 」についての式が得られ、 x_0 は、等長時間領域信号を得るためにそこで開口を分割すべき素子である。

$$x_0 = \left(\frac{F \sin \theta - \sqrt{F^2 \sin^2 \theta - (1 - \cos \theta) \left(\frac{\cos \theta}{4} - \frac{F^2 \cos^2 \theta}{(4F^2 - 1)} \right)}}{(1 - \cos \theta)} \right) (Np) \quad \text{式 (12)} \quad 10$$

項 x_0 は (N, F, p) の関数である。しかし一般には、 x_0 についての式は、非常に大きいグレーティングローブ角と非常に小さいグレーティングローブ角（すなわち、開口が中心素子において分割される）において 0 に接近する。直観的には、90 度から、または主軸から仮想湾曲開口に到達するパルスを思い浮かべることができる。これらのパルスエコーは、（ $x_0 = 0$ において分割された）各部分開口内の最も近い素子と最も遠い素子との差が同じである対称な開口を「見る」ことになる。実際、大部分のグレーティングローブ角、 f 数、および素子ピッチについて、 x_0 は、通常、 $K=2$ であるときには 0 に非常に近い。このように、送信ビーム形成法は簡略化され、リアルタイムシステムへの実装を容易にする。開口を 3、4、5、または他の任意の適切な値へ分割するための同様の式を、これらの単純な幾何学的原理に基づいて容易に得ることができる。しかし一般には、開口を等サイズの部分開口へ分割すれば、計算される値に極めて接近する。 20

【0049】

「等開口分割」の一般化を使用すると、分割開口送信ビーム形成のために選択されるべき「 x 」位置は、

$$\begin{cases} x_i = (i+1) \frac{w}{K} - \frac{w}{2}, & 0 \leq i < \frac{K-2}{2} \\ x_i = -x_{(K-2)-i} \\ x_{\frac{(K-2)}{2}} = 0 \end{cases} \quad \text{式 (13)} \quad 30$$

(K-1) が奇数である場合

であり、式中、 i は素子数であり、 K は分割の数であり、 w は開口の幅であり、 x_i は図 8 の配置に基づく素子の座標である。しかし、式 (12) の展開は、おおよそ 2 より大きい f 数について有効な近似に基づくものであったことに留意すべきである。様々な局面においては、1 より大きい f 数が本方法と共に使用するのに適する。ある局面では、 $f/2$ の焦点深度を使用することができる。

【0050】

前述のようにグレーティングローブ信号の時間領域を短縮することによって、グレーティングローブの抑圧が、信号処理法を使用して劇的に改善される。様々な局面において、グレーティングローブ信号を 20dB と 60dB の間分だけ抑圧することができる。ある局面では、グレーティングローブ信号を 20dB だけ抑圧することができる。ある局面では、グレーティングローブ信号を 40dB だけ抑圧することができる。ある局面では、グレーティングローブ信号を 60dB だけ抑圧することができる。 40

【0051】

超音波撮像システム

様々な局面において、本開示は、分割送信開口を使用した高周波数超音波撮像のためのシステムであって、各部分開口が N/K 個の送信素子を有する K 個の部分開口へ分割可能な N 個の送信素子のフェーズドアレイを含む撮像アレイと、各部分開口から目標へ向けて送信信号を集束させるために、各部分開口の素子に選択的にエネルギーを印加するように構成 50

されている撮像アレイに結合された送信ビーム形成器と、撮像アレイのN個の素子のそれぞれにおいて撮像アレイによって受信される信号をサンプリングするように構成されている撮像アレイに結合された受信ビーム形成器と、サンプル信号を受信し、サンプル信号に基づいて画像を算出するように構成された処理回路とを含むシステムを提供する。

【0052】

様々な局面においては、コンピュータが送信ビーム形成器を制御する。送信信号はパルス化信号を含み得る。送信信号は、組織構造（または目標領域）から反射し、撮像アレイ内の素子によって受信される。撮像アレイにおいて受信されるこれらの信号は、撮像アレイの素子間に接続されている増幅器によって方向付けることができる。デジタルデータは画像処理のためにコンピュータに返送される。

10

【0053】

本開示によれば、システムにおける部分開口の数（K）は、送信開口が集束ビームを作り出すことができるような任意の値とすることができる。ある局面では、Kは2と16の間の整数である。さらに別の局面では、Kは2と10の間である。さらに別の局面では、Kは2である。

【0054】

任意の適切な素子間ピッチを本システムに従って使用することができる。ある局面によれば、素子間ピッチは 0.5λ より大きい。さらに別の局面では、素子間ピッチは 0.5λ である。ある局面では、素子間ピッチは 0.75λ である。ある局面では、素子間ピッチは 1λ である。ある局面では、素子間ピッチは 1.25λ である。

20

【0055】

対応する素子間ピッチの値に応じて、任意の適切な操向角度を本システムに従って使用することができる。様々な局面によれば、操向角度は1度から45度までとすることができる。ある局面では、操向角度は10度である。さらに別の局面では、操向角度は15度である。さらに別の局面では、操向角度は20度である。さらに別の局面では、操向角度は25度である。さらに別の局面では、操向角度は35度である。さらに別の局面では、操向角度は40度である。さらに別の局面では、操向角度は45度である。

【0056】

本開示によれば、任意の適切なアレイサイズ（N）を使用することができ、例えば、それだけに限らないが、アレイサイズ（N）は、16と512の間とすることができる。

30

【0057】

用途

本明細書で説明した方法は、例えば、それだけに限らないが、腹腔鏡、心臓内、および外科手術誘導の撮像などを含む内視鏡検査法などの任意の適切な用途に使用することができる。よって、本明細書で説明した高周波数超音波撮像システムは、様々な疾患の診断、介入、および治療モニタリングを改善することができる。この新しい診断撮像法は、この医学分野における診断の客観性および質を改善することができ、医師がより正確に的を射った介入を行うことを可能にする。

【実施例】

【0058】

40

例示的局面

実施例1

送信ビーム形成および合成開口と組み合わせたSCF

グレーティングローブ抑圧のためのSCF法の有用性は、グレーティングローブ領域における送信パルスの時間長に依存する。送信パルスが短いほど、SCF法はグレーティングローブ抑圧により有効である。図9には、素子ピッチ（ p ）= 1.25λ を有し、 $f/2$ に集束し、25度に操向される64素子フェーズドアレイ変換器についての二方向放射パターンが示されている。一つの放射パターンは、SCF重み付けなしであり、これが、SCF重み付き送信ビーム形成（ $K=1$ ）およびSCF重み付き合成開口ビーム形成と比較されている。SCF重み付けは、送信ビーム形成が使用されるときにはグレーティングローブを抑圧するのにあまり有効で

50

はないが、合成開口ビーム形成では50dBを超えてグレーティングローブを抑圧することがはっきりわかる。この場合もやはり、2つの送信法の間の有効性の大きな差異の根底にある理由は図6 (A) および図6 (B) に示されるものである。図6 (A) では、送信ビーム形成におけるグレーティング・ローブ・エコーはすべて同じ位相であるが、合成開口では異なる (図6 (B))。送信ビーム形成では、1にほぼ等しい重み係数がグレーティングローブ領域をもたらす。というのは、すべての符号ビットがすべての時点において同じだからである。

【0059】

開口を2つの等しい部分開口 $K=2$) に分割することによって、グレーティングローブ領域から到達する信号はずっと短くなり、その結果、受信エコーは、受信ビーム形成遅延が挿入された後では、完全に位相コヒーレントでなくなる。図6 (C) には全64素子上の受信エコーが示されており、符号ビットは受信信号についてすべて同様ではなく、したがって、SCF重み係数が低いことがはっきりわかる。合成開口ビーム形成における受信信号と同様に、信号の多くは、いかなる時点においても0またはランダムな位相である。送信開口をより多くの等幅の部分開口に分割することによって、グレーティングローブ信号の長さはさらに一層短くなり、さらに一層低いSCF重み係数がもたらされる。

【0060】

実施例2

開口分割の効果

図10に、ピッチ (p) = 1.25λ を有し、 $f/2$ において集束し、操向角度が25度の64素子フェーズドアレイ変換器についての二方向放射パターンを示す。放射パターンは、重み付けなし (SCFなし)、SCF重み付けあり分割なし ($K=1$)、およびSCF重み付けあり分割あり ($K=2, 4, 8$) の各送信開口間で比較されている。このシミュレーションは、分割送信開口がSCF重み係数を用いたグレーティングローブ抑圧において非常に効果的であることをはっきりと示している (例えば、わずか2の K でも20dBのグレーティングローブ抑圧が達成されるなど)。 K を増加させることにより、送信時により小さい開口がパルス化され、より短いグレーティング・ローブ・エコーがもたらされ、その結果、より低い位相コヒーレンスが生じる。しかし、フレーム率は K を増加させることによって減少し、信号がビーム形成される前により多くの送信イベントが必要になり、場合によっては位相収差を生じる可能性がある。

【0061】

グレーティングローブ抑圧に対する分割開口法の有効性のより定量的な評価のために、異なるピッチ ($0.75\lambda, \lambda, 1.25\lambda$) を有し、様々な角度 (0度、15度、30度、および45度) に操向され、 $f/2$ において集束する64素子変換器の二方向放射パターンを、SCF重み付けおよび異なる分割送信開口 ($K=1, 2, 4, 8$) によって処理する。各ピッチ値および操向角度について、 K を増加させることのグレーティングローブ抑圧に対する影響を観測するために、グレーティング・ローブ・レベルを分割開口 (K) に対してグラフに記入する。ピッチ値ごとの4つの異なる操向角度が図11の各グラフに示され、それぞれ、 $p=0.75\lambda, \lambda$ 、および 1.25λ についての結果が要約されている。各角度において、グレーティングローブ抑圧は、分割開口の数 (K) を増加させることによって増加する。図11から、大きい操向角度 (30度、45度) では、単に送信開口を半分 ($K=2$) に分割するだけで、グレーティングローブ抑圧の量が、すべての素子ピッチ ($0.75\lambda, 1\lambda$ 、および 1.25λ) についておおよそ20dBだけ増加することがわかる。

【0062】

これらのグラフの重要な局面は、 K 値が、所与の用途における操向角度の範囲および変換器ピッチに基づいて選択されるべきことである。例えば、 $p=1\lambda$ の場合、図11 (C) に、 $K=1$ (分割なしのSCF重み付け) では、グレーティングローブを、15度の操向角度で主ローブの下-60dB未満まで抑圧することが可能であるが、45度の操向角度では、グレーティングローブを-60dBまで抑圧するためには、 K を8に増加させなければならないことが示されている。

【0063】

前述のように、Kを増加させるとフレーム率が減少し、フレーム率の減少は普通望ましくない。したがって、減少するフレーム率の一部を回復するのに使用し得るはずの分割開口法は、A走査線がより大きい操向角度へ移動するにつれて「K」値を徐々に増加させるものであるはずである。図11に示すように、 1.25λ の素子ピッチでさえ、SCF重み付けは、 $K=1$ （開口分割なし）、操向角度0度で、主ローブのおおよそ60dB下へグレーティング・ローブ・レベルを抑圧することになる。しかし、45度の操向に到達するまでには、同じ量のグレーティングローブ抑圧を維持するために送信集束を有する8個の部分開口が必要になる。

【0064】

場合によっては1A走査線あたりに複数の送信パルスを使用する必要を回避することができるはずの代替の技法が、全空間についてのSCF値のマップを生成するために全開口から幅広い脱焦点化「プロービングパルス」を送出するものである。パルスを脱焦点化するためには、アレイの背後の仮想点放射源に対応するビーム形成遅延が必要である（Lockwood et al, IEEE Trans UFFC, 45 (4) :980-988 (1998)）。空間内のすべての点から受信されるエコーは、この場合、非常に広帯域であり（短く）、受信ビーム形成遅延が異なるA走査線に沿って挿入された後で、グレーティングローブ領域からのエコーは、低位相コヒーレンスおよび対応するSCF重み係数を有することになる。送信時に幅広い脱焦点化パルスが使用されるため、動的受信集束を至る所で行うことができ、よって、場合によっては単一のプロービングパルスからの全空間についてのSCF重み係数のマップを算出し、メモリに記憶することができるはずである。その後、従来の送信ビーム形成が実行される場合（一度に1本のA走査線）、初期脱焦点化プロービングパルスからの以前に算出された重み係数を用いて信号に重み付けすることができる。この技法が可能であるのは、重み係数は、空間内の異なる領域にわたって緩やかに変動し、したがって、比較的長いパルス化シーケンスの間の少量の組織運動の影響をあまり受けないからである。

【0065】

図12および図13に、全64素子開口がアクティブであり、 $f/2$ で25度にずらして合焦されたとき（図12）と、開口の半分がアクティブであり、 $f/2$ で25度にずらして合焦されたとき（図13）とに実験的に測定されたグレーティングローブ送信信号を示す。測定は、 1.25λ 素子ピッチの64素子50MHzフェーズドアレイを使用して得た。図12と図13とを比較すると、グレーティングローブ信号の長さは、開口の半分だけが送信に使用されるときに大幅に低減されることが明示される。

【0066】

図14に、ビームが+35度から-35度まで掃引されるとき、25度、 $f/2$ に位置する50ミクロンのワイヤファントムからの実験的に測定された放射パターンを示す。図14（A）には、SFCが適用されないときに測定された放射パターンが示され、図14（B）には、SCFが適用されるとき放射パターンが示され、図14（C）には、開口が2つに分割される（ $K=2$ ）ときの放射パターンが示されている。測定は、 1.25λ 素子ピッチの64素子50MHzフェーズドアレイを使用して得た。図14に示すように、分割送信開口はSCF重み係数ありのグレーティングローブ抑圧において有効である。具体的には、この場合のグレーティングローブのレベルは、開口が2つに分割されているときに、20dBを超えて抑圧される。グレーティング・ローブ・レベルは、より多くの開口分割ではさらに一層抑圧することができるはずである。

【0067】

図15に、 1.25λ 間隔の64素子50MHzフェーズドアレイを用いて生成された画像を示す。画像は、 $f/2.5$ に位置する50ミクロンワイヤファントムのものである。画像深度は1mmから8mmまでに及び、操向角度は+35度から-35度までに及ぶ。すべての像が60dBのダイナミックレンジで表示されている。図15（A）には、SCF処理なしで生成された画像が示されており、図15（B）には、SCF処理ありだが送信時の開口分割なしで生成された画像が示されており、図15（C）には、送信開口を2つ（ $K=2$ ）に分割し、次いでSCF処理を適用すること

によって生成された画像が示されている。図15で明示されるように、分割送信開口の使用は画像品質を劇的に改善し、SCFなどの処理法と併用されると、結果としてグレーティンググローブを大幅に抑圧する。

【0068】

以上、本発明の態様を、二次元超音波撮像システムを参照して説明したが、これらの技法は、別の種類の超音波撮像システムにおいても適用され得る。例えば、本開示に鑑みれば、当業者は、本明細書で開示した発明の概念を逸脱することなく、三次元超音波撮像システムにおいてビーム形成およびグレーティンググローブ抑圧の技法を用いることもできる。

【0069】

本発明の態様の以上の説明は例示のために提示したものであり、網羅的であることも、本発明を開示の通りの形態だけに限定することも意図していない。当業者は、上記開示に照らして多くの改変および変形が可能であることを理解することができる。

【0070】

本明細書の中には、本発明の態様を、情報に対する操作のアルゴリズムおよび記号表現として記述する部分もある。これらのアルゴリズム記述および表現は、データ処理技術分野の当業者によってその作業の内容を他の当業者に効果的に伝えるために一般に使用されるものである。これらの操作は、機能、計算処理、または論理として記述されるが、電気回路または等価のコンピュータプログラム、マイクロコードなど、またはこれらの任意の組み合わせによって実施されるべきものと理解される。前述の操作およびそれらの操作と関連付けられるモジュールは、よって、ソフトウェア、ファームウェア、ハードウェア、またはそれらの任意の組み合わせとして実施され得る。

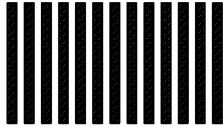
【0071】

最後に、本明細書で使用した言葉は、主として、読みやすさと教示とのために選択したものであり、本発明の主題を正確に叙述し、またはその範囲を定めるために選択されたものではない場合もある。したがって、本発明の範囲はこの詳細な説明によってではなく、本明細書に基づく出願において発表される特許請求の範囲によって限定されるべきものである。したがって、本発明の態様の開示は、添付の特許請求の範囲に示される本発明の範囲の、限定ではなく、例示を目的としたものである。

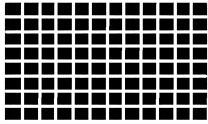
10

20

【図 1】



A – 先行技術

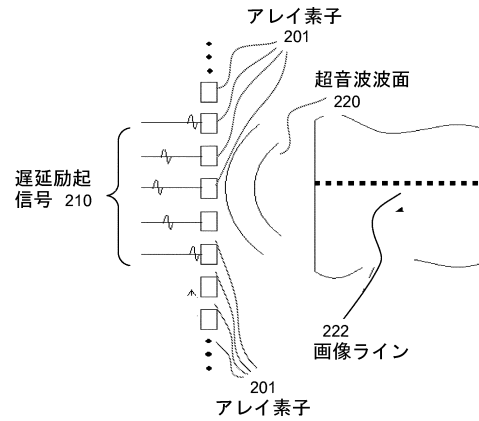


B – 先行技術

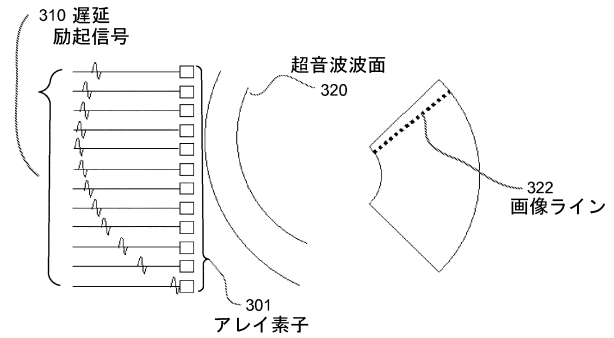


C – 先行技術

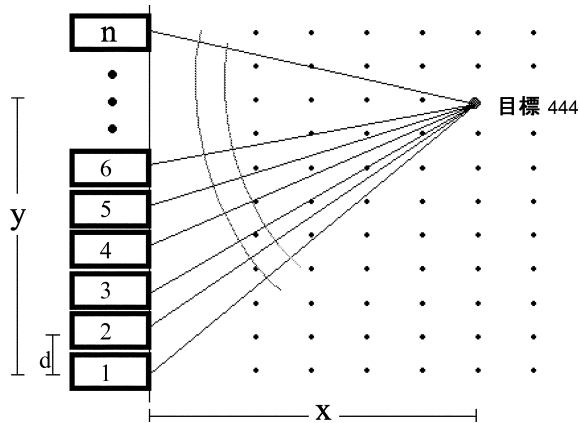
【図 2】



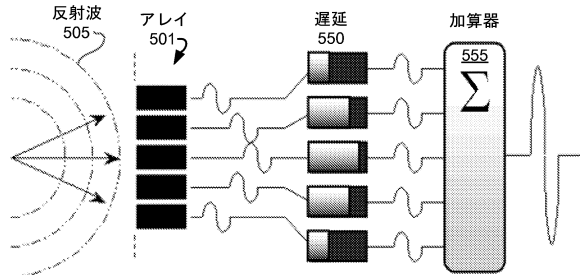
【図 3】



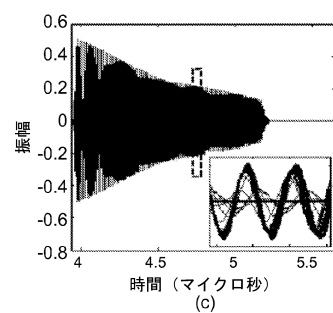
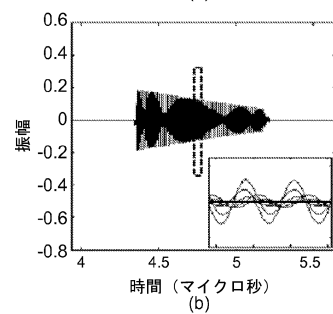
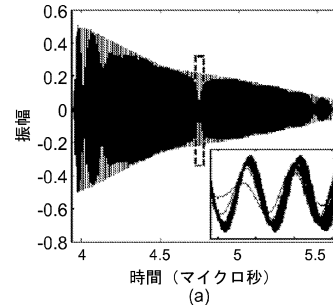
【図 4】



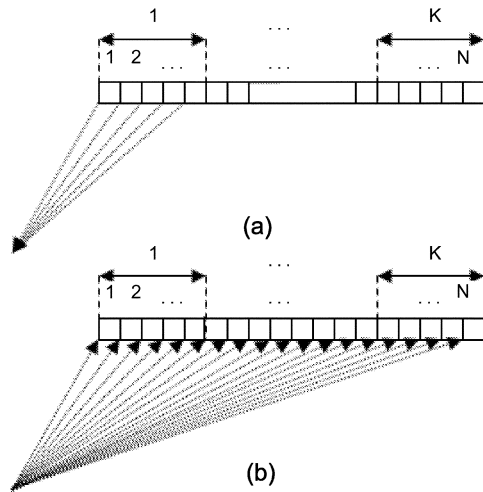
【図 5】



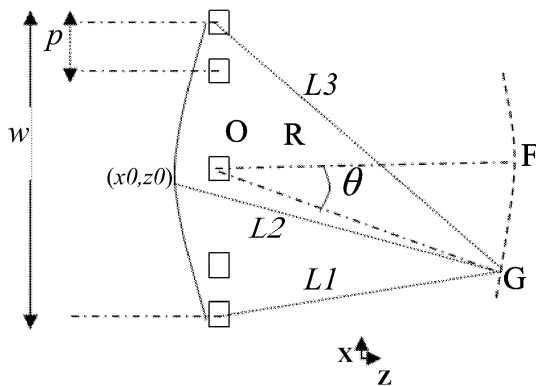
【図 6】



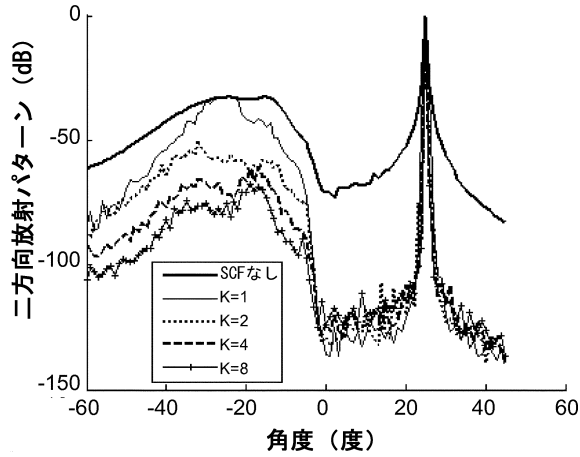
【図 7】



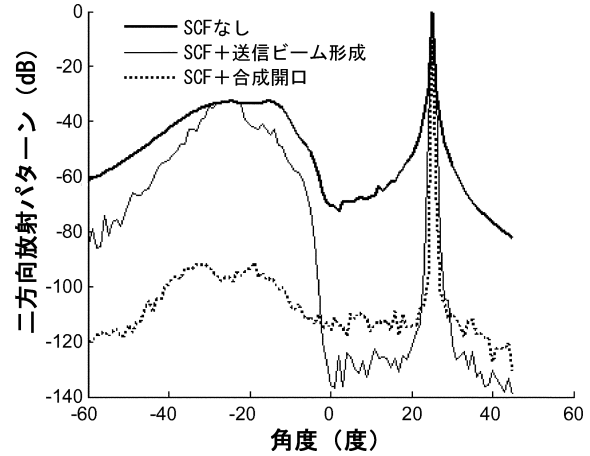
【図 8】



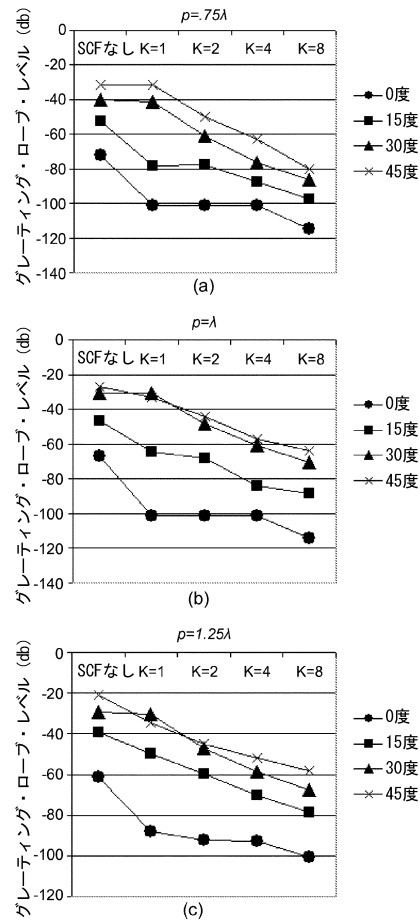
【図 10】



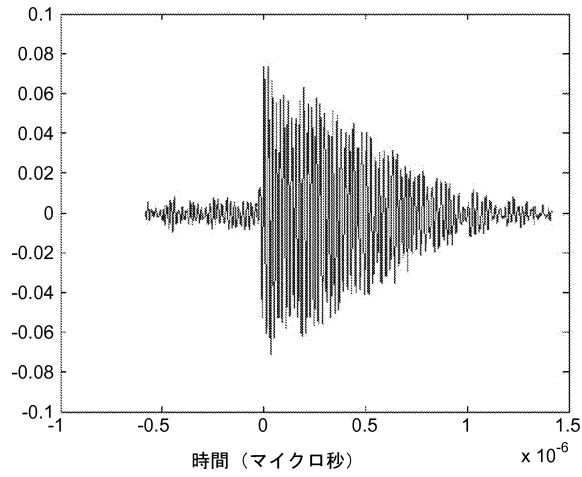
【図 9】



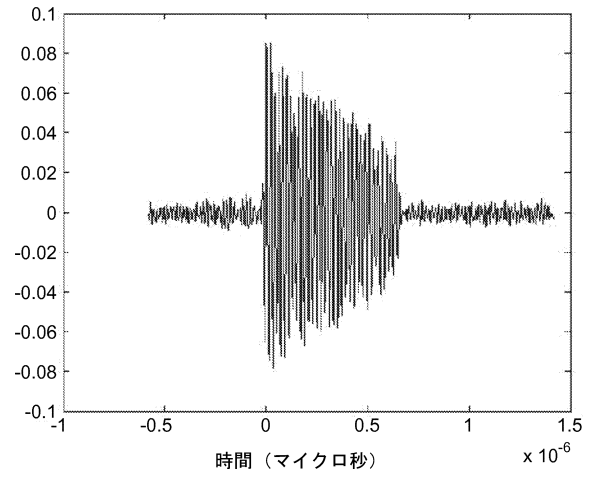
【図 11】



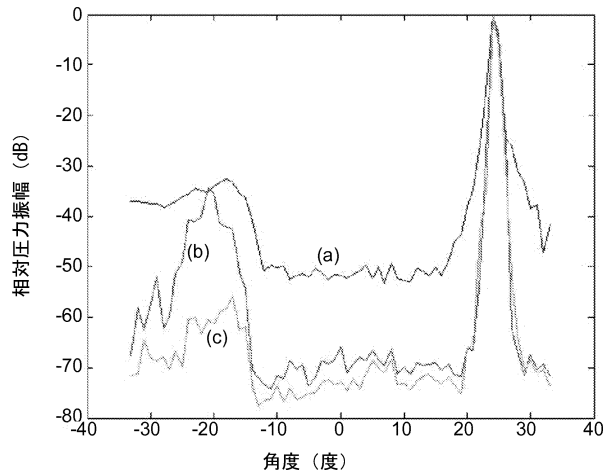
【図 1 2】



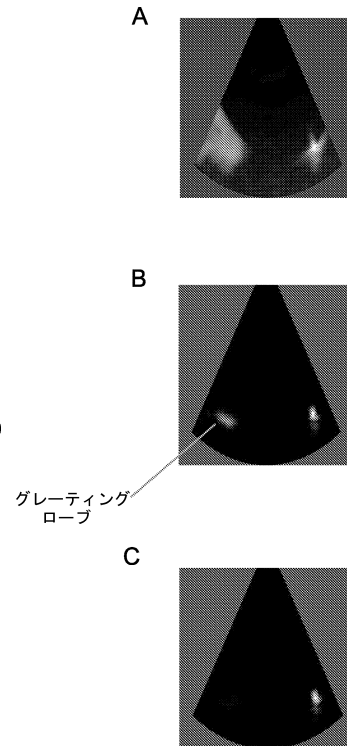
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

- (74)代理人 100142929
弁理士 井上 隆一
- (74)代理人 100148699
弁理士 佐藤 利光
- (74)代理人 100128048
弁理士 新見 浩一
- (74)代理人 100129506
弁理士 小林 智彦
- (74)代理人 100114340
弁理士 大関 雅人
- (74)代理人 100114889
弁理士 五十嵐 義弘
- (74)代理人 100121072
弁理士 川本 和弥
- (72)発明者 ブラウン ジェレミー
カナダ国 ノバスコシア州 ハリファックス サマー ストリート 1344 スイート 207
ピー. オー. ボックス 15000 ダルハウジー ユニバーシティ
- (72)発明者 アダムソン ロバート
カナダ国 ノバスコシア州 ハリファックス サマー ストリート 1344 スイート 207
ピー. オー. ボックス 15000 ダルハウジー ユニバーシティ
- (72)発明者 トルバチアン ザーラ
カナダ国 ノバスコシア州 ハリファックス サマー ストリート 1344 スイート 207
ピー. オー. ボックス 15000 ダルハウジー ユニバーシティ
- (72)発明者 バンス マノハー
カナダ国 ノバスコシア州 ハリファックス サマー ストリート 1344 スイート 207
ピー. オー. ボックス 15000 ダルハウジー ユニバーシティ

審査官 宮川 哲伸

- (56)参考文献 特開2006-204923 (JP, A)
特開2004-113693 (JP, A)
特表2009-535097 (JP, A)
米国特許出願公開第2005/0228279 (US, A1)

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

专利名称(译)	相位相干法抑制光栅波瓣的波束形成方法		
公开(公告)号	JP6257096B2	公开(公告)日	2018-01-10
申请号	JP2015247170	申请日	2015-12-18
[标]申请(专利权)人(译)	达尔豪斯大学		
申请(专利权)人(译)	ダルハウジーユニバー花旗		
当前申请(专利权)人(译)	ダルハウジーユニバー花旗		
[标]发明人	ブラウンジェレミー アダムソンロバート トルバチアンザーラ バンスモノハー		
发明人	ブラウン ジェレミー アダムソン ロバート トルバチアン ザーラ バンス モノハー		
IPC分类号	A61B8/14		
CPC分类号	A61B8/5269 G01S7/52047 G01S15/8915 G01S15/8927 G01S15/8956 G01S15/8997 G10K11/346 A61B8/145 A61B8/4483 A61B8/5207		
FI分类号	A61B8/14.ZDM A61B8/14		
F-TERM分类号	4C601/BB07 4C601/EE04 4C601/EE08 4C601/GB04 4C601/HH38		
代理人(译)	清水初衷 井上隆一 佐藤俊光 小林智彦 正人大关 五十嵐弘		
优先权	61/302242 2010-02-08 US		
其他公开文献	JP2016034599A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：为了提供一种方法和系统，有效地减少接收超声回波中的传输光栅波瓣信号的时间长度，执行更高质量的光栅波瓣抑制高频超声波成像你可以做到。提供了一种用于改善高频超声成像的系统和方法。在各个方面，一种用于缩短光栅波瓣信号的时域的方法包括将N个发射元件的阵列分成K个部分孔径。在又一方面，通过执行缩短的光栅波瓣信号的信号处理来抑制光栅波瓣。在一个方面，信号处理方法包括用计算的相位相干因子对样本进行加权。

(51) Int. Cl. F 1

A 6 1 B 8/14 (2006. 01)

A 6 1 B 8/14 Z DM

請求項の数 2 (全 23 頁)		
(21) 出願番号	特願2015-247170 (P2015-247170)	(73) 特許権者 512205979
(22) 出願日	平成27年12月18日 (2015. 12. 18)	ダルハウジー ユニバーシティ
(62) 分割の表示	特願2012-551706 (P2012-551706) の分割	カナダ国 ノバスコシア州 ハリファックス ス サマー ストリート 1 3 4 4 スイ ート 2 0 7 ビー. オー. ボックス 1 5 0 0 0
原出願日	平成23年2月8日 (2011. 2. 8)	(74) 代理人 100102978
(65) 公開番号	特開2016-34599 (P2016-34599A)	弁理士 清水 初志
(43) 公開日	平成28年3月17日 (2016. 3. 17)	100102118
審査請求日	平成28年1月15日 (2016. 1. 15)	(74) 代理人 弁理士 香名 雅夫
(31) 優先権主張番号	61/302, 242	100160923
(32) 優先日	平成22年2月8日 (2010. 2. 8)	(74) 代理人 弁理士 山口 裕孝
(33) 優先権主張国	米国 (US)	100119507
		弁理士 刑部 俊
最終頁に続く		
(54) 【発明の名称】 位相コヒーレンスによるグレーティングロープ抑圧のためのビーム形成法		