

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-77907

(P2016-77907A)

(43) 公開日 平成28年5月16日 (2016.5.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 8/14 (2006.01)	A 6 1 B 8/14	2 G 0 4 7
G 0 1 N 29/26 (2006.01)	G 0 1 N 29/26	4 C 6 0 1
G 0 1 S 7/52 (2006.01)	G 0 1 S 7/52	D 5 J 0 8 3
G 0 1 S 15/89 (2006.01)	G 0 1 S 15/89	B

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2015-207563 (P2015-207563)	(71) 出願人	515293687 愛飛紐医療機械貿易有限公司
(22) 出願日	平成27年10月21日 (2015.10.21)		大韓民国, ソウル, グローグ, デジタルー ロ 26-ギル, 72, 6チュン (グロー ドン)
(31) 優先権主張番号	10-2014-0142895	(74) 代理人	110000338 特許業務法人HARAKENZO WOR LD PATENT & TRADEMA RK
(32) 優先日	平成26年10月21日 (2014.10.21)	(72) 発明者	ム ホ, ベ 大韓民国, ソウル, ソンパグ, オリンピ ックーロ 35-ギル, 104, 19-ド ン 808-ホ (シンチョン-ドン, ジャ ンミ アパートメント)
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)	Fターム (参考)	2G047 DB02 GF18
		最終頁に続く	

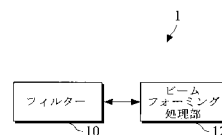
(54) 【発明の名称】 ビームフォーミング装置、超音波イメージング装置、及びビームフォーミング方法

(57) 【要約】

【課題】ビームフォーミング装置、超音波イメージング装置、及びビームフォーミング方法を提供する。

【解決手段】本発明の一実施形態によるビームフォーミング装置は、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分に該当する最初の所定カラムを選択するフィルターと、選択された最初の所定カラムで構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成するビームフォーミング処理部と、を含む。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

変換関数の成分のうちから高周波数成分は除去し、低周波数成分を選択するフィルターと、

選択された低周波数成分で構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成するビームフォーミング処理部と、

を含むことを特徴とするビームフォーミング装置。

【請求項 2】

前記変換関数は、直交多項式で構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のビームフォーミング装置。

10

【請求項 3】

前記直交多項式は、エルミート多項式、ラゲール多項式、ヤコビ多項式、ゲーゲンバウア多項式、チェビシェフ多項式、またはルジャンドル多項式のうち何れか 1 つであることを特徴とする請求項 2 に記載のビームフォーミング装置。

【請求項 4】

変換関数 V は、ルジャンドル多項式 P であり、 $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ であり、 P_k は、 P の k 番目のカラムであって、 $P_k = [P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$ 、

【数 1】

20

$$P_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$

であり、 c_{nk} は、グラムシュミットの直交化プロセスによって決定されることを特徴とする請求項 3 に記載のビームフォーミング装置。

【請求項 5】

前記ビームフォーミング処理部は、

変換空間で直交多項式に基づいた最小分散を用いてビームフォーミングすることを特徴とする請求項 2 に記載のビームフォーミング装置。

【請求項 6】

30

前記ビームフォーミング処理部は、

変換関数を用いて入力信号に対する変換信号を生成する変換部と、

変換信号に対する加重値である変換信号加重値を演算する加重値演算部と、

変換信号及び変換信号加重値を用いてビーム信号を生成する合成部と、

を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のビームフォーミング装置。

【請求項 7】

前記加重値演算部は、

変換信号から空間共分散行列を生成する空間スムージングを通じて生成された空間共分散行列から加重値を演算することを特徴とする請求項 6 に記載のビームフォーミング装置。

40

【請求項 8】

対象体に超音波を照射し、対象体から反射される超音波信号を受信し、該受信された超音波を変換して、複数の超音波信号を出力するトランスデューサと、

前記トランスデューサを通じて入力された超音波信号を、変換関数を用いて他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成するが、変換関数の成分のうちから高周波数成分は除去し、低周波数成分を選択して処理するビームフォーミング部と、

前記ビームフォーミング部から生成されたビーム信号を用いて映像を生成する映像生成部と、

を含む超音波イメージング装置。

50

【請求項 9】

前記変換関数は、直交多項式で構成されることを特徴とする請求項 8 に記載の超音波イメージング装置。

【請求項 10】

前記直交多項式は、エルミート多項式、ラゲール多項式、ヤコビ多項式、ゲーゲンバウア多項式、チェビシェフ多項式、またはルジャンドル多項式のうち何れか 1 つであることを特徴とする請求項 9 に記載の超音波イメージング装置。

【請求項 11】

変換関数 V は、ルジャンドル多項式 P であり、 $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ であり、 P_k は、 P の k 番目のカラムであって、 $P_k = [P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$ 、

10

【数 2】

$$p_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$

であり、 c_{nk} は、グラムシュミットの直交化プロセスによって決定されることを特徴とする請求項 10 に記載の超音波イメージング装置。

【請求項 12】

前記ビームフォーミング部は、変換空間で直交多項式に基づいた最小分散を用いてビームフォーミングすることを特徴とする請求項 9 に記載の超音波イメージング装置。

20

【請求項 13】

変換関数の成分のうちから高周波数成分は除去し、低周波数成分を選択する段階と、選択された低周波数成分で構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成する段階と、を含むことを特徴とするビームフォーミング方法。

【請求項 14】

前記変換関数は、直交多項式で構成されることを特徴とする請求項 13 に記載のビームフォーミング方法。

【請求項 15】

30

前記直交多項式は、エルミート多項式、ラゲール多項式、ヤコビ多項式、ゲーゲンバウア多項式、チェビシェフ多項式、またはルジャンドル多項式のうち何れか 1 つであることを特徴とする請求項 14 に記載のビームフォーミング方法。

【請求項 16】

変換関数 V は、ルジャンドル多項式 P であり、 $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ であり、 P_k は、 P の k 番目のカラムであって、 $P_k = [P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$ 、

【数 3】

$$p_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$

40

であり、 c_{nk} は、グラムシュミットの直交化プロセスによって決定されることを特徴とする請求項 15 に記載のビームフォーミング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ビームフォーミング技術に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波イメージング装置 (Ultrasonic imaging apparatus)

50

s) は、超音波を用いて対象体、例えば、人体内部の各種の組織や構造などに対する断層映像や血流などに関する映像を獲得する装置である。このような超音波イメージング装置は、相対的に小型で安価であり、リアルタイムで映像を表示し、X線などによる被曝の危険性がなくて、医療分野、例えば、心臓、腹部、泌尿器及び産婦人科などで広く利用されている。

【0003】

超音波イメージング装置は、対象体内部の目標部位に向けて超音波を照射し、目標部位から反射されたエコー超音波を収集した後、収集された超音波の情報に基づいて超音波映像を生成する。そのために、超音波イメージング装置は、超音波プローブ (ultrasonic probe) が収集したエコー信号に起因した複数のチャネルデータに対して特定空間の反射波サイズを推正するためのビームフォーミング (beam forming) を行う。ビームフォーミングは、複数の超音波センサー、例えば、トランスデューサ (transducer) を通じて入力された超音波信号の時間差を補正し、入力された各超音波信号ごとに所定の加重値、すなわち、ビームフォーミング係数を付け加えて特定位置の信号を強調するか、他の位置の信号は相対的に減衰させて超音波信号を集束させることである。ビームフォーミングによって超音波イメージング装置は、対象体の内部構造把握に適切な超音波映像を生成してユーザに表示することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】韓国特許公開公報第10-2014-0091803号公報(2014年7月23日公開)

【特許文献2】米国特許第6231512号明細書(2001年5月15日登録)

【特許文献3】特開2001-183200号公報(2001年7月6日公開)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、ビームフォーミングに必要な演算量を減少させてビームフォーミングに必要なビームフォーミング装置のリソース(resource)使用量を節減すると共に、演算速度を改善させるビームフォーミング装置、超音波イメージング装置、及びビームフォーミング方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一実施形態によるビームフォーミング装置は、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分に該当する最初の所定カラムを選択するフィルターと、選択された最初の所定カラムで構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成するビームフォーミング処理部と、を含む。

【0007】

この際、変換関数は、直交多項式(orthogonal polynomial)で構成することができる。直交多項式は、エルミート多項式(Hermite polynomial)、ラゲール多項式(Laguerre polynomial)、ヤコビ多項式(Jacobi polynomial)、ゲーゲンバウア多項式(Gegenbauer polynomial)、チェビシェフ多項式(Chebyshev polynomial)、またはルジャンドル多項式(Legendre polynomial)のうち何れか1つであり得る。

【0008】

本発明の一実施形態による変換関数Vは、ルジャンドル多項式Pであり、 $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ であり、 P_k は、Pのk番目のカラムであって、 $P_k = [P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$ 、

【 0 0 0 9 】

【 数 1 】

$$p_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$

【 0 0 1 0 】

であり、 c_{nk} は、グラムシュミットの直交化プロセスによって決定されうる。ビームフォーミング処理部は、変換空間で直交多項式に基づいて最小分散を用いてビームフォーミングすることができる。

10

【 0 0 1 1 】

本発明の一実施形態によるビームフォーミング処理部は、変換関数を用いて入力信号に対する変換信号を生成する変換部と、変換信号に対する加重値である変換信号加重値を演算する加重値演算部と、変換信号及び変換信号加重値を用いてビーム信号を生成する合成部と、を含む。加重値演算部は、空間スムージングを通じて加重値を演算し、空間スムージングによって、ビームパターンの高周波数成分が除去される。

【 0 0 1 2 】

本発明の他の実施形態による超音波イメージング装置は、対象体に超音波を照射し、対象体から反射される超音波信号を受信し、該受信された超音波を変換して、複数の超音波信号を出力するトランスデューサと、トランスデューサを通じて入力された超音波信号を、変換関数を用いて他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成するが、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分に該当する最初の所定カラムを選択して処理するビームフォーミング部と、ビームフォーミング部から出力された信号を用いて映像を生成する映像生成部と、を含む。

20

【 0 0 1 3 】

本発明のさらに他の実施形態によるビームフォーミング方法は、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分に該当する最初の所定カラムを選択する段階と、選択された最初の所定カラムで構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換し、該変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成する段階と、を含む。

【 0 0 1 4 】

30

本発明の他の実施形態によるビームフォーミング方法は、直交多項式で構成された変換関数を用いて入力信号を他の空間に変換する段階と、変換された空間での信号処理を通じてビーム信号を生成する段階と、を含む。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明の一実施形態によれば、ビームフォーミング装置、超音波イメージング装置、及びビームフォーミング方法を通じて、入力信号をビームフォーミングし、結果信号を獲得する過程において、必要な演算量を減少させうる。これにより、ビームフォーミングを行う各種の装置、例えば、超音波イメージング装置によるビームフォーミング時に要求されるリソースを節減することができる。特に、直交多項式で作られた変換関数を用いて入力信号を新たな空間に変換することによって、最小分散ビームフォーミング方法で共分散行列の逆行列計算の複雑度を大幅に減少させることができる。

40

【 0 0 1 6 】

また、入力信号に対するビームフォーミング速度を迅速にできて、ビームフォーミング過程の時間を短縮することができる。さらに、ビームフォーミング装置の場合、時間遅延された超音波映像の出力、装置の過負荷や過熱のような各種の問題点を解決する効果も得られる。また、ビームフォーミング装置のリソース使用量の減少に起因してビームフォーミング装置で消費する消費電力の減少、低仕様の演算装置の利用などに起因したコスト節減の効果も得られる。

【 0 0 1 7 】

50

一方、超音波診断器を含み、レーダー、ソナー、非破壊検査など、多様なアレイ信号処理分野にいずれも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一実施形態によるビームフォーミング装置の構成図である。

【図2】本発明の一実施形態によるビームフォーミング処理部の細部構成図である。

【図3】本発明の一実施形態による超音波イメージング装置の構成図である。

【図4】本発明の実施形態によって空間スムージングのみで高周波成分が除去されることを示すグラフである。

【図5】本発明の一実施形態によるルジャンドル多項式ベース変換関数Pの連続波(CW)ビームパターンを、フーリエ変換関数B及びPCA MV BFの変換関数の連続波(CW)ビームパターンと比較したグラフである。

【図6】本発明の一実施形態によるビームフォーミング方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、添付した図面を参照して、本発明の実施形態を詳しく説明する。本発明を説明するに当たって、関連した公知機能または構成についての具体的な説明が、本発明の要旨を不明にする恐れがあると判断される場合には、その詳細な説明を省略する。また、後述される用語は、本発明での機能を考慮して定義された用語であって、これは、ユーザ、運用者の意図または慣例などによって変わりうる。したがって、その定義は、本明細書の全般に亘った内容に基づいて下されなければならない。

【0020】

図1は、本発明の一実施形態によるビームフォーミング装置の構成図である。

【0021】

図1を参照すれば、ビームフォーミング装置1は、フィルター10とビームフォーミング処理部12を含む。

【0022】

図1に示されたビームフォーミング装置1には、本実施形態と関連した構成要素のみ示されている。したがって、図1に示された構成要素の以外に他の汎用的な構成要素がさらに含まれるということを、当業者であれば、理解できるであろう。

【0023】

また、図1に示されたビームフォーミング装置1を構成する少なくとも一部構成は、1つまたは複数個のプロセッサに該当する。プロセッサは、多数の論理ゲートのアレイとして具現されても、汎用的なマイクロプロセッサと、このマイクロプロセッサで実行可能なプログラムが保存されたメモリとの組み合わせとして具現されても良い。また、他の形態のハードウェアとしても具現可能であることを、当業者であれば、理解できるであろう。

【0024】

ビームフォーミング装置1は、被写体から反射されたエコー信号を入力されて、これより受信ビームを形成する装置である。この際、被写体は、例えば、人体の腹部、心臓などになり、エコー信号は、被写体から反射された超音波信号になりうるが、これに限定されるものではない。

【0025】

ビームフォーミング処理部12は、要素空間(element space)の入力信号を変換関数(transform function)を用いて他の空間である変換空間(transformed space)に変換(transformation)し、変換空間で信号処理を通じてビーム信号を生成して出力する。変換関数は、変換行列(transform matrix)で表現することができる。

【0026】

ビームフォーミング処理部12のビームフォーミング方法は、多様である。一実施形態

10

20

30

40

50

によるビームフォーミング処理部 12 は、ビーム空間適応型ビームフォーミング (beam space adaptive beamforming: 以下、BA BF と称する) 方法、PCA ベース最小分散ビームフォーミング (MV BF method based on principal component analysis: 以下、PCA MV BF と称する) 方法などを使う。前述した方法の共通点は、要素空間の入力信号を正規直交基底行列 (orthonormal basis matrix) である変換関数を用いて他の空間に変換し、該変換された空間で重要な成分のみを残す近似化 (approximation) などの信号処理を通じて、複数のチャネルに入力されるそれぞれの入力信号に対する空間共分散行列 (spatial covariance matrix) の次元 (dimension) を減らす。これにより、共分散行列の逆行列計算を非常に簡単に行える。 10

【0027】

一実施形態によるビームフォーミング処理部 12 は、空間変換時に、直交多項式で構成された変換関数を利用する。直交多項式は、直交関係を満足させる一連の多項式である。直交多項式は、例えば、エルミート多項式、ラゲール多項式、ヤコビ多項式、ゲーゲンバウア多項式、チェビシェフ多項式、またはルジャンドル多項式のうち何れか 1 つであり得る。以下、直交多項式のうち、ルジャンドル多項式を中心に後述しようとするが、直交多項式が、ルジャンドル多項式に限定されるものではないことを明示する。

【0028】

一実施形態によるビームフォーミング処理部 12 は、ルジャンドル多項式で構成された正規直交行列 (orthonormal matrix) を変換関数として使う。特に、ビームフォーミング処理部 12 は、最小分散ビームフォーミング (MV BF) 方法でルジャンドル多項式を変換関数として使うことができる。この場合、MV BF の計算量を大幅に減らしながらも、性能を保持することができる。以下、要素空間の入力信号を変換空間に変換するための変換関数としてルジャンドル多項式で作られた行列を使う方法をルジャンドル多項式ベース最小分散ビームフォーミング (LP MV BF) 方法であると命ずる。 20

【0029】

ルジャンドル多項式ベース最小分散ビームフォーミング (LP MV BF) 方法を通じて、MV BF を BA BF よりは、さらに精密に近似化し、PCA MV BF と同様の性能が得られる。さらに、BA BF でのフーリエ変換 (Fourier transform) 基底関数とルジャンドル多項式との性質を用いて、空間共分散行列をよく推正しながら、各チャネル信号の干渉 (coherence) による信号除去 (signal cancelling) を防止するための空間スムージング (spatial smoothing) 計算を非常に簡単に効率的に行える。 30

【0030】

フィルター 10 は、低帯域通過フィルター (low pass filter) であって、ビームパターンの正面に近いサイドローブに該当する要素空間での低周波数成分 (low frequency component) をフィルタリングして獲得する。この際、フィルター 10 は、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分を示す最初の所定カラムを選択する。低帯域通過フィルタリングが可能な理由は、空間スムージングを行えば、正面遠くからビームパターンが形成される高周波成分がほとんど除去されるためである。 40

【0031】

ビームフォーミング処理部 12 が、変換空間で MV BF 方法を通じてビームフォーミングする場合、一実施形態によるフィルター 10 は、変換空間で重要ないくつかの成分のみを利用することによって、空間共分散行列の逆行列演算に必要な計算量を大幅に減らさう。例えば、変換行列中に幾つかの最初のカラムのみを取って、入力信号を変換することによって、空間共分散行列の次元を減らす。変換行列のうち、幾つかの最初のカラムは、MV BF 演算するにおいて重要な成分を示す。 50

【0032】

ビームフォーミング処理部12が、変換空間でBA BFのためのフーリエ変換行列 (Fourier transform matrix) (バトラー行列: Butler matrixとも言う) を用いてビームフォーミングする場合、一実施形態によるフィルター10は、フーリエ変換行列中に最初の幾つかのカラムのみを使う。最初の複数カラムは、低周波数成分を示し、これは、集束点 (focal point) 方向及び集束点に近いビーム成分に該当する。干渉 (Interference) が、主に正面方向付近で発生すると仮定すれば、このカラムのみを使うことによって、効率的に空間分散行列の次元を減少させることができる。

【0033】

ビームフォーミング処理部12が、MV BFを用いて計算された多様な最小分散加重値の集合にPCAを適用するPCA MV BF方法を通じてビームフォーミングする場合、フィルター10は、最初の幾つかのカラムのみを使うことによって、空間分散行列の次元を減少させることができる。このカラムも、正面方向及びその付近のビーム成分を示す。

【0034】

ビームフォーミング処理部12が、直交多項式ベース最小分散ビームフォーミング方式を行う場合、一実施形態によるフィルター10は、直交多項式で作られた変換関数の最初の幾つかのカラムのみを使う。この変換関数のカラムは、順に低周波数成分から高周波数成分 (high frequency component) を示すので、最初の幾つかのカラムは、フーリエ変換関数と同様に低周波数成分に該当する。

【0035】

MV BFの空間スミージングを通じて時間遅延ビームフォーミング (delay - and - sum beamforming: 以下、DAS BFと称する) 方法から観察されるX形態の長いサイドローブ (side lobe) が除去される。このような特性を用いてルジャンドル多項式ベース変換関数を使うMV BFで正面に近いサイドローブ成分のみを扱い、他の高周波成分は、除去する次元減少 (dimensionality reduction) をしても、MV BFの特性を非常によく保持することができる。空間スミージングのみで高周波成分が除去されることを後述される図4を参照して確認することができる。

【0036】

以下、ビームフォーミング装置1の性能、特に、側方向の解像度及び対照度を改善するための方法で、最小分散ビームフォーミング (MV BF) 時に、ルジャンドル多項式のような直交多項式ベース変換関数を使うようになった背景と、その機能とについて詳しく後述する。

【0037】

超音波診断器で所望の方向に超音波ビーム (beam) をフォーカシング (focusing) するために、DAS BF方法が使われる。DAS BFで、所望しない方向からのエコー信号によって発生するクラッタ (clutter) のレベル (level) を低めようとすれば、アレイ成分 (array element) からの受信信号に適切な形態の加重値 (weights) を加えなければならないが、この際、メインローブ (main lobe) の幅 (width) が広がる犠牲を払わなければならない制約がある。

【0038】

このような制約を解決して、超音波診断器の性能を改善するための方法で、MV BF (発明者の名前を取って、Capon beamformingとも言う) を超音波のビームフォーミングに応用する方法がある。MV BFは、入力データに基づいて各受信集束点 (receive focal point) ごとに最適の加重値、すなわち、アポダイゼーション関数 (apodization function) を計算して適用することによって、所望の方向からの信号を利得1 (unity gain) に通過させ、他

10

20

30

40

50

の方向からの信号は、最適に低減させることができる。したがって、DAS BFとは異なって、クラッタレベルを低めると同時にメインローブの幅を減らすことができ、空間解像度 (spatial resolution) と対照度 (contrast resolution) とを同時に改善しうる。

【0039】

MV BFの最大の短所の1つは、DAS BFに比べて、必要な計算量が過度に多くて、リアルタイム性が重要な超音波診断器に適用しにくいという点である。すなわち、MV BF方法は、空間共分散行列の逆行列を求めなければならないために、計算量が多い。したがって、可能であれば、MV BFの性能を低下させないながらも、計算量を減らすことが要求される。

10

【0040】

MV BFで最も計算量が多く必要な段階は、空間共分散行列の逆行列を求める過程である。空間共分散行列の次元が $L \times L$ である時、これの逆行列を求めるために、 $O(L^3)$ の演算が要求される。これについての解決方法として、入力データを要素空間から他の空間に変換した後、MV BFの性能に影響を少なく与える成分をその他の空間で除去することによって、空間共分散行列の次元を大幅に減らして、結果的に、簡単に共分散行列の逆行列を計算することができる。この方法のうちには、フーリエ変換ベースのBA BFと、主成分分析ベースのPCA MV BFなどがある。

【0041】

一実施形態によるビームフォーミング処理部12は、空間変換のための基底行列 (basis matrix) として直交多項式を使う。直交多項式を使えば、空間共分散行列の次元を同様に減らした時、次元減少による近似化エラーが、BA BF及びPCA MV BF方法などに比べて、さらに少ないか、類似している。

20

【0042】

図2は、本発明の一実施形態によるビームフォーミング処理部の詳細構成図である。

【0043】

図2を参照すれば、ビームフォーミング処理部12は、変換部120、加重値演算部122及び合成部124を含む。

【0044】

変換部120は、外部から入力信号 x を伝達され、該伝達された入力信号 x を所定の変換関数 V を用いて変換して、入力信号が変換された変換信号 u を出力する。

30

【0045】

一実施形態による変換部120は、ユーザまたはシステム設計者などによって既定の変換関数 V によって入力信号 x を変換する。他の一実施形態による変換部120は、少なくとも1つの変換関数 V で構築された変換関数保存部14から入力信号 x の変換のための変換関数 V を伝達され、該伝達された変換関数を用いて入力信号 x を変換する。変換部120によって生成された変換信号 u は、合成部124に伝達される。

【0046】

入力信号 x は、多数のチャンネルを通じて入力される多数の入力信号からなっている。すなわち、多数のチャンネルの入力信号の集合でもあり得る。また、変換信号 u も、同様に多数のチャンネルに出力される多数のチャンネルの変換信号の集合でもあり得る。

40

【0047】

変換関数 V が与えられる場合、変換信号 u の次元は、入力信号 x の次元よりも小さい。具体的に、もし変換関数が $(M \times N)$ の行列で与えられ、 $M > N$ の数式が成立され、入力信号が $(M \times 1)$ で与えられれば、すなわち、入力信号 x の次元が M 次元である場合、その演算結果である変換信号 u は、 $(N \times 1)$ で与えられて変換信号 u の次元が入力信号 x よりも小さくなる。このように次元が小さくなれば、相対的に演算量が減少して、演算の便宜及び速度が改善されうる。

【0048】

変換関数 V は、あらかじめ定義されうる。この場合、経験的または理論的に得られる多

50

様な入力信号 x に基づいて少なくとも 1 つの変換関数 V を別途にあらかじめ計算して、多様な入力信号 x に代入されるか、または適用可能な少なくとも 1 つの変換関数 V を定義することも可能である。このように、既定の少なくとも 1 つの変換関数 V に基づいて変換関数保存部 14 が構築されうる。

【0049】

変換部 120 は、変換関数保存部 14 からこのような過程を通じて獲得された所定の変換関数 V を受信し、該受信された所定の変換関数 V を用いて変換信号 u を生成する。この場合、変換関数 V は、変換関数保存部 14 に保存された複数の基底ベクトル (b_v) のうち、ユーザの選択によって選択された複数の基底ベクトル (b_v) の組合わせであり得る。すなわち、変換部 120 は、変換関数 V を受信する過程において、複数の基底ベクトル (b_v) を受信し、該受信された基底ベクトル (b_v) の組合わせで生成された変換関数 V を入力信号 x の変換に利用できる。

10

【0050】

生成された変換信号 u は、合成部 124 に伝達され、後述する加重値演算部 122 によって演算された変換信号加重値 β と組合わせられる。変換部 120 は、実施形態によって上述したように伝達された入力信号 x 及び変換関数 V のうち少なくとも 1 つを後述する加重値演算部 122 に伝達することもできる。図 2 では図示されていないが、変換部 120 は、変換信号 u を加重値演算部 122 に伝送することもできる。

【0051】

加重値演算部 122 は、変換部 120 から出力される変換信号 u に付加される加重値である変換信号加重値 β を演算する。加重値演算部 122 は、入力信号 x や変換関数 V のうち何れか 1 つまたは両者をいずれも用いて変換信号 u に対する変換信号加重値 β を演算することができる。この場合、加重値演算部 122 は、一例としてトランスデューサのように信号を生成する信号生成部や変換関数保存部 14 から直接入力信号 x や変換関数 V を伝達されうる。それだけではなく、変換部 120 から前述した入力信号 x や変換関数 V を伝達されることも可能である。

20

【0052】

一実施形態による加重値演算部 122 は、入力信号 x と、ユーザなどによってあらかじめ定められるか、または別途の変換関数保存部 14 から伝達される変換関数 V に基づいて変換信号加重値 β を演算した後、生成された変換信号加重値 β を合成部 124 に伝達する。

30

【0053】

変換信号加重値 β は、入力される入力信号 x によって変わり、また、利用する変換関数 V によっても変わりうる。変換関数 V は、事前にあらかじめ演算されて定義されており、入力信号 x によって選択されて使われるので、変換信号加重値 β は、入力信号 x によって主に変わりうる。

【0054】

変換信号加重値 β は、所定の列ベクトル (column vector) で与えられ、もし、変換関数 V が、 $(M \times N)$ の行列で表現される場合、変換信号加重値 β は、 $(N \times 1)$ 行列、すなわち、 $(N \times 1)$ 列ベクトルで与えられる。

40

【0055】

合成部 124 は、変換部 120 から生成されて出力される変換信号 u 及び加重値演算部 122 で演算した変換信号加重値 β に基づいて結果信号 x' を生成する。この場合、合成部 124 は、変換信号 u と変換信号加重値 β とを組み合わせる結果信号 x' を生成することができるが、例えば、変換信号 u と変換信号加重値 β とを加重和して結果信号 x' を生成することができる。結果的に、ビームフォーミング装置は、所定の入力信号 x に対してビームフォーミングが行われた結果信号 x' を生成して出力させうる。

【0056】

図 3 は、本発明の一実施形態による超音波イメージング装置の構成図である。

【0057】

50

図 3 を参照すれば、超音波イメージング装置 3 は、トランスデューサ 3 0 0、ビームフォーミング部 3 1 0、映像生成部 3 2 0、表示部 3 3 0、保存部 3 4 0、及び出力部 3 5 0 を含む。

【 0 0 5 8 】

図 3 に示されたビームフォーミング部 3 1 0 は、図 1 及び図 2 に示されたビームフォーミング装置 1 の一実施形態に該当する。これにより、図 1 及び図 2 と関連して記載された内容は、図 3 に示された超音波イメージング装置にも適用可能であるために、重複される説明は省略する。

【 0 0 5 9 】

一実施形態による超音波イメージング装置 3 は、被写体に対する映像を提供する。例えば、被写体を示す診断映像を表示するか、または被写体を示す診断映像を表示する外部装置に被写体に対する診断映像を示す信号を出力する。この際、診断映像は、超音波映像になりうるが、これに限定されるものではない。

【 0 0 6 0 】

トランスデューサ 3 0 0 は、被写体と信号を送受信する。トランスデューサ 3 0 0 は、被写体に送信信号を送信し、被写体から反射されたエコー信号を受信する。

【 0 0 6 1 】

ビームフォーミング部 3 1 0 は、既測定されたエコー信号のビームフォーミング係数から獲得された複数の基底ベクトルを用いて、被写体から反射されたエコー信号に適用される加重値を算出し、被写体から反射されたエコー信号に算出された加重値を適用し、加重値が適用された信号を合成する。この際、既測定されたエコー信号のビームフォーミング係数から獲得された複数の基底ベクトルは、ビームフォーミング部 3 1 0 に保存されるか、または保存部 3 4 0 に保存することができる。これにより、ビームフォーミング部 3 1 0 は、保存された複数の基底ベクトルのうち少なくとも一部を用いてビームフォーミングすることができる。この際、少なくとも一部の基底ベクトルの個数は、ユーザによって決定可能である。このように、ビームフォーミング部 3 1 0 は、複数の基底ベクトルを用いて、加重値を算出し、該算出された加重値を適用するために、減少した演算量でビームフォーミングを行うことができる。

【 0 0 6 2 】

映像生成部 3 2 0 は、ビームフォーミング部 3 1 0 から出力された信号を用いて映像を生成する。映像生成部 3 2 0 は、DSP (Digital Signal Processor) 及び DSC (Digital Scan Converter) を含む。一実施形態による DSP は、ビームフォーミング部 3 1 0 から出力された信号に対して所定の信号処理作業を行い、DSC は、所定の信号処理作業が行われた信号を用いて形成された映像データをスキャン変換して映像を生成する。

【 0 0 6 3 】

表示部 3 3 0 は、映像生成部 3 2 0 から生成された映像を表示する。例えば、表示部 3 3 0 は、超音波イメージング装置に設けられたディスプレイパネル、マウス、LCD 画面、モニタなどの出力装置をいずれも含む。但し、一実施形態による超音波イメージング装置 3 は、表示部 3 3 0 を備えず、映像生成部 3 2 0 から生成された映像を、外部の表示装置に出力するための出力部 3 5 0 を備えることもできることを、当業者であれば、分かるであろう。

【 0 0 6 4 】

保存部 3 4 0 は、映像生成部 3 2 0 から生成された映像及び超音波イメージング装置 3 の動作を行う中に発生するデータを保存する。出力部 3 5 0 は、有線・無線ネットワークまたは有線直列通信などを通じて外部装置とデータを送受信することができる。外部装置は、遠隔地に位置した他の医療映像システム、汎用コンピュータシステム、ファクシミリなどになりうる。また、一実施形態による保存部 3 4 0 及び出力部 3 5 0 は、映像判読及び検索機能をさらに含ませて PACS (Picture Archiving Communication System) のような形態で一体化されることもできることを、

10

20

30

40

50

当業者であれば、分かるであろう。

【 0 0 6 5 】

本実施形態によるビームフォーミング部 3 1 0 でビームフォーミングを行うのに処理される演算量が大きくないために、超音波イメージング装置 3 は、リアルタイム高解像度映像を生成することができる。

【 0 0 6 6 】

以下、数式を用いて多様なビームフォーミング方法について詳しく後述する。

【 0 0 6 7 】

超音波診断器のビームフォーミングプロセスは、数式 1 のように表現される。

【 0 0 6 8 】

【 数 2 】

$$z[n] = \sum_{m=0}^{M-1} w_m[n] x_m[n] \quad (1)$$

【 0 0 6 9 】

数式 1 において、 $x_m[n]$ は、フォーカシング遅延 (f o c u s i n g d e l a y) が適用された各チャネルの受信信号であり、 m は、チャネルインデックス (c h a n n e l i n d e x)、 n は、時間インデックス (t i m e i n d e x)、 $w_m[n]$ は、アポダイゼーション (a p o d i z a t i o n) とも呼ばれる各チャネルの信号に加えられる加重値、 $z[n]$ は、ビームフォーミング装置の出力である。

【 0 0 7 0 】

MV BF は、所望の方向、例えば、フォーカシング遅延が適用された信号では、正面の信号のゲイン (g a i n) は 1 に保持しながら、 $z[n]$ の分散 (v a r i a n c e)、すなわち、パワー (p o w e r) を最小化する w を求める。この際、 $w[n] = [w_0[n], w_1[n], \dots, w_{m-1}[n]]^H$ である。これにより、所望の方向の信号には、歪曲を与えずに所望しない方向からの信号が出力に寄与することを最小化することができる。このような問題は、下記の数式で表現される。

【 0 0 7 1 】

【 数 3 】

$$\min_{w[n]} E[|z[n]|^2] = \min_{w[n]} w[n]^H R[n] w[n] \quad , \quad w^H[n] a = 1 \quad (2)$$

【 0 0 7 2 】

この際、 $E[\cdot]$ は、期待値演算子 (e x p e c t a t i o n o p e r a t o r)、 $w[n]^H$ は、 $w[n]$ のエルミート転置 (H e r m i t i a n t r a n s p o s e)、 a は、調整ベクトル (s t e e r i n g v e c t o r) であり、 $x_m[n]$ が、フォーカシング遅延が適用された信号なので、元素がいずれも 1 で構成される。 $R[n]$ は、数式 3 のような空間共分散行列である。

【 0 0 7 3 】

【 数 4 】

$$R[n] = E[x[n] x^H[n]] \quad (3)$$

【 0 0 7 4 】

数式 3 で、 $x[n] = [x_0[n], x_1[n], \dots, x_{m-1}[n]]^T$ である。この問題の解は、数式 4 のように表現される。

【 0 0 7 5 】

10

20

30

40

50

【数 5】

$$\mathbf{w}[n] = \frac{\mathbf{R}[n]^{-1} \mathbf{a}}{\mathbf{a}^H \mathbf{R}[n]^{-1} \mathbf{a}} \quad (4)$$

【0076】

実際の状況では、 $\mathbf{R}[n]$ を推正しなければならず、推正しながら各チャネル信号の干渉による信号除去を防止するために、空間スムージングまたは副口径平均化 (sub-aperture averaging) を行う。そして、結果映像のスペックルパターン (speckle pattern) の統計的特性の改善のために、時間平均化 (temporal averaging) を行う。これを数式で表現すれば、次の通りである。

【0077】

【数 6】

$$\tilde{\mathbf{R}}[n] = \frac{1}{2K+1} \frac{1}{M-L+1} \sum_{k=-K}^K \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{x}_l[n-k] \mathbf{x}_l^H[n-k] \quad (5)$$

【0078】

この際、

【0079】

【数 7】

$$\mathbf{x}_l[n] = \begin{bmatrix} x_l[n] \\ x_{l+1}[n] \\ \vdots \\ x_{l+L-1}[n] \end{bmatrix} \quad (6)$$

【0080】

数式 5 で、

【0081】

【数 8】

$$\frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L}$$

【0082】

が空間スムージングに該当し、

【0083】

【数 9】

$$\frac{1}{2K+1} \sum_{k=-K}^K$$

【0084】

が時間平均化に該当する。数式 6 で、 $\mathbf{x}[n]$ は、受信信号であり、 $\mathbf{x}_l[n]$ で、 l は

、 x の開始インデックス($index$)を意味する。

【0085】

一方、MV BF演算の堅固性($robustness$)を向上させるために、ディアゴナルローディング($diagonal loading$)という方法も主に使われるが、この方法は、

【0086】

【数10】

$$\tilde{\mathbf{R}}[n]$$

【0087】

を

【0088】

【数11】

$$\tilde{\mathbf{R}}[n] + \varepsilon \mathbf{I}$$

【0089】

に代置することである。この際、

【0090】

【数12】

$$\varepsilon = \Delta \cdot \text{tr}(\tilde{\mathbf{R}}[n]) \quad (7)$$

【0091】

数式7で、 $\text{tr}()$ は、トレース演算子($trace operator$)であり、 Δ は、ディアゴナルローディングファクター($diagonal loading factor$)と呼ばれる定数である。

【0092】

空間スムージングを通じて得られたMV加重値からMV BF出力を得ようとするれば、次のように演算する。

【0093】

【数13】

$$\tilde{\mathbf{z}}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{w}[n]^H \mathbf{x}_l[n] \quad (8)$$

【0094】

この際、 $\mathbf{w}[n]$ は、

【0095】

【数14】

$$\tilde{\mathbf{R}}[n]$$

【0096】

から計算される。

数式8を数式1の形態で再整理すれば、次の通りである。

【0097】

10

20

30

40

【数 1 5】

$$\tilde{z}[n] = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L-1} \sum_{k=0}^{L-1} (w_k[n] x_{k+l}[n]) = \frac{1}{M-L+1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[\left(\sum_{k=0}^{L-1} w_k[n] r_{m-k} \right) x_m[n] \right] \quad (9)$$

【0098】

この際、

【0099】

【数 1 6】

$$r_k = \begin{cases} 1 & 0 \leq k < M-L+1 \text{ の場合} \\ 0 & \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

10

【0100】

ここで、数式 1 の w_m に該当する標準 MV BF のアボダイゼーション関数は、 r_k 、すなわち、長さ $M-L+1$ の長方形ウィンドウ (rectangle window) と $w[n]$ H とのコンボリューション (convolution) の形態になることが分かる。焦点面 (Focal plane) での連続波ビームパターンは、アボダイゼーション関数のフーリエ変換対ということがよく知られているので、結果的に、標準 MV BF のアボダイゼーション関数のビームパターンは、長方形ウィンドウのフーリエ変換対、すなわち、シンク関数 (sinc function) と最小分散 (minimum variance) で求めた $w[n]$ H のフーリエ変換対との積で表われる。シンク関数は、全体的に中心から遠くなるほど次第に減る形態なので、空間スムージングのみでも、メインローブで遠く離れたクラッタをある程度減衰させることができることを汲み取ることができる。

20

【0101】

図 4 は、本発明の実施形態によって空間スムージングのみで高周波成分が除去されることを示すグラフである。

【0102】

細部的に、図 4 の (a) は、長方形ウィンドウでアボダイゼーションした DAS BF のポイントターゲットイメージ (point target image) を、図 4 の (b) は、 $w[n]$ を長方形関数 (rectangle function) で置いた場合、空間スムージングされた MV BF のポイントターゲットイメージを図示したものである。

30

【0103】

$L = M/4$ であり、正面方向の平面波 (plane wave) が送信されたと仮定する。図 4 の (b) を参照すれば、図 4 の (a) の DAS BF から観察される X 形態の長いサイドローブが、単に MV BF の空間スムージングのみによってよく除去されたことを確認することができる。このような特性を用いてルジャンドル多項式のような直交多項式ベース変換関数を使う MV BF で正面に近いサイドローブ成分のみを扱い、他の高周波成分は、除去する次元減少をしても、標準 MV BF の特性を非常によく保持することができることを確認することができる。

40

【0104】

以下、MV BF を x の元の空間、すなわち、要素空間で適用する代わりに、さらに他の空間に変換し、変換空間で最小分散ビームフォーミングを行う MV BF 方法について後述する。

【0105】

変換関数 V が、 $L \times L$ フルランク行列 (full rank matrix) であり、 V のカラムが、互いに正規直交 (orthonormal) すると仮定すれば、数式 4 の如何なる加重値 w も、次のように V のカラムの線形組合わせで表現される。

50

【 0 1 0 6 】

【 数 1 7 】

$$\mathbf{w} = \mathbf{V}\boldsymbol{\beta} \quad (10)$$

【 0 1 0 7 】

この際、

【 0 1 0 8 】

【 数 1 8 】

 $\boldsymbol{\beta}$

10

【 0 1 0 9 】

は、 $L \times 1$ 列ベクトルである。

【 0 1 1 0 】

それでは、与えられた $\mathbf{V}$ に対して $\mathbf{M}\mathbf{V}$ B F 解は、次のように求められる。

【 0 1 1 1 】

【 数 1 9 】

$$\boldsymbol{\beta} = \frac{\mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1}{\mathbf{v}_1^H \mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{v}_1} \quad (11)$$

20

【 0 1 1 2 】

この際、 $\mathbf{R}_1 = \mathbf{V}^H \mathbf{R} \mathbf{V} = \mathbf{E}[\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}^H]$ 、 $\mathbf{u} = \mathbf{V}^H \mathbf{x}$ 、 $\mathbf{v}_1 = \mathbf{V}^H \mathbf{a}$ である。すなわち、数式 11 は、 $\mathbf{x}$ を $\mathbf{V}^H$ に変換した空間での $\mathbf{M}\mathbf{V}$ B F 解である。

【 0 1 1 3 】

実際の状況で、

【 0 1 1 4 】

【 数 2 0 】

30

 $\tilde{\mathbf{R}}_1$

【 0 1 1 5 】

をよく推正するためには、空間スムージングが必要であるが、これは、次のような演算で行う。

【 0 1 1 6 】

【 数 2 1 】

$$\tilde{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \mathbf{u}_l \mathbf{u}_l^H \quad (12)$$

40

【 0 1 1 7 】

この

【 0 1 1 8 】

【 数 2 2 】

 $\tilde{\mathbf{R}}_1$

50

【 0 1 1 9 】

が、(1 1) の R_1 を代置する。この際、 $u_1 = V H \times 1$ であり、

【 0 1 2 0 】

【 数 2 3 】

$$\mathbf{u}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,L-1}[n] \end{bmatrix} \quad (13)$$

10

【 0 1 2 1 】

である。

【 0 1 2 2 】

空間スムージングを考慮したビームフォーミング装置の出力は、次の通りである。

【 0 1 2 3 】

【 数 2 4 】

20

$$\tilde{\mathbf{z}} = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \boldsymbol{\beta}^H \mathbf{u}_l \quad (14)$$

【 0 1 2 4 】

一方、変換空間での MV BF 方法は、特に変換空間で重要ないくつかの成分のみを利用することによって、

【 0 1 2 5 】

30

【 数 2 5 】

$$\tilde{\mathbf{R}}$$

【 0 1 2 6 】

の逆行列演算に必要な計算量を大幅に減らしうる。V を構成する幾つかの最初のコラムが、 MV BF 演算を行うに当って、重要な成分を示しているので、このコラムのみを用いて入力信号 $\mathbf{x}$ を変換することによって、

【 0 1 2 7 】

【 数 2 6 】

$$\tilde{\mathbf{R}}$$

40

【 0 1 2 8 】

の次元を減らしうる。したがって、その逆行列演算量は、さらに減らしうる。

【 0 1 2 9 】

【 数 2 7 】

$$\hat{\mathbf{V}}$$

【 0 1 3 0 】

が、V の最初のコラムで構成された部分空間 (subspace) を表わすとすれば、次

50

が得られる。

【 0 1 3 1 】

【 数 2 8 】

$$\hat{\mathbf{V}} = [\mathbf{v}_0, \mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_{Q-1}] \quad (15)$$

【 0 1 3 2 】

ここで、

【 0 1 3 3 】

【 数 2 9 】

$$Q \leq L$$

【 0 1 3 4 】

である。それでは、この

【 0 1 3 5 】

【 数 3 0 】

$$\hat{\mathbf{V}}$$

【 0 1 3 6 】

を用いて計算された加重値は、次の数式のようなである。

【 0 1 3 7 】

【 数 3 1 】

$$\hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}} \hat{\boldsymbol{\beta}} \quad (16)$$

【 0 1 3 8 】

この際、

【 0 1 3 9 】

【 数 3 2 】

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \frac{\hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1}{\hat{\mathbf{v}}_1^H \hat{\mathbf{R}}_1^{-1} \hat{\mathbf{v}}_1} \quad \hat{\mathbf{R}}_1 = E[\hat{\mathbf{u}} \cdot \hat{\mathbf{u}}^H] \quad \hat{\mathbf{u}} = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{x}_l \quad \hat{\mathbf{v}}_1 = \hat{\mathbf{V}}^H \mathbf{a}$$

【 0 1 4 0 】

実際に、空間スムージングを用いて

【 0 1 4 1 】

【 数 3 3 】

$$\hat{\mathbf{R}}_1$$

【 0 1 4 2 】

を推正する場合、

【 0 1 4 3 】

【 数 3 4 】

$$\hat{\mathbf{R}}_1$$

【 0 1 4 4 】

は、次のように表される。

【 0 1 4 5 】

10

20

30

40

50

【数 3 5】

$$\hat{\mathbf{R}}_1 = \frac{1}{M-L+1} \sum_{l=0}^{M-L} \hat{\mathbf{u}}_l \hat{\mathbf{u}}_l^H \quad (17)$$

【0 1 4 6】

この際、

【0 1 4 7】

【数 3 6】

$$\hat{\mathbf{u}}_l = \begin{bmatrix} u_{l,0}[n] \\ u_{l,1}[n] \\ \vdots \\ u_{l,Q-1}[n] \end{bmatrix} \quad (18)$$

10

【0 1 4 8】

以下、MV BFでの変換関数について数式を用いて説明する。

20

【0 1 4 9】

MV BFの逆行列演算を減らすために使われた、知られた変換関数としては、BA BFのためのフーリエ変換行列（パトラー行列とも言う）、PCA MV BFのためのPCAによって求められた行列などがある。

【0 1 5 0】

フーリエ変換行列B CL、Lのm番目の行（row）、n番目のカラム（column）の成分B_{m,n}は、次の数式のような。

【0 1 5 1】

【数 3 7】

$$B_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{L}} e^{-j2\pi mn/L} \quad (19)$$

30

【0 1 5 2】

このフーリエ変換行列は、要素空間を変換空間に変換する。そのうち、最初の複数カラムは、低周波数成分を示し、集束点方向及びこれに近いビーム成分に該当する。干渉が、主に正面方向付近で発生すると仮定すれば、このカラムのみを使うことによって、効率的に次元を減少することができる。さらに、前述したように、空間スムージングは、正面で遠い所からの干渉を減らす効果がある。

【0 1 5 3】

40

さらに他の接近であるPCA MV BFでは、実際のイメージ処理環境と類似した環境で標準MV BFを用いて計算された多様なMV加重値の集合にPCAを適用することによって、変換関数Vを求める。したがって、このVのカラムは、主成分で構成されており、最初の幾つかのカラムのみを使うことによって、充実に次元を減少させることができる。このカラムも、正面方向及びその付近のビーム成分を示している。

【0 1 5 4】

以下、本発明の一実施形態によるルジャンドル多項式で構成された変換関数について数式を参照して説明する。

【0 1 5 5】

一実施形態によるビームフォーミング装置は、要素空間の信号を変換空間に変換するた

50

めの、また、変換関数としてルジャンドル多項式で作られた行列を使うルジャンドル多項式ベース最小分散ビームフォーミング (LP MV BF) 方式を使う。以下、他の変換関数を使った場合と比較して、ルジャンドル多項式を使う場合のMV BF性能について説明する。

【0156】

ルジャンドル多項式で作られた変換関数の最初の幾つかのカラムは、フーリエ変換関数と同様に低周波数成分を充実に表わすことができる。グラムシュミット正規直交化プロセス (Gram-Schmidt orthonormalization process) を一連の多項式 $\{1, n, n^2, \dots, n^{L-1}\}$ に適用して得たルジャンドル多項式をそれぞれVのカラムとして使うことができる。言い換えれば、 $V = P$ 、 $P = [P_0, P_1, \dots, P_{L-1}]$ である。この際、 P_k は、Pのk番目のカラム、また、 $P_k = [P_{0k}, P_{1k}, \dots, P_{(L-1)k}]^T$ 、また、

10

【0157】

【数38】

$$p_{mk} = \sum_{n=0}^k m^n c_{nk}$$

【0158】

である。 c_{nk} は、グラムシュミットの直交化プロセスによって決定される。

【0159】

20

例えば、 P_2 は、次の数式のようなものである。

【0160】

【数39】

$$P_2 = \begin{bmatrix} p_{02} \\ p_{12} \\ p_{22} \\ \vdots \\ p_{(L-1)2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{02} \\ c_{22} + c_{12} + c_{02} \\ 4c_{22} + 2c_{12} + c_{02} \\ \vdots \\ (L-1)^2 c_{22} + (L-1)c_{12} + c_{02} \end{bmatrix} \quad (20)$$

30

【0161】

Pのカラムは、順に低周波数成分から高周波数成分を示している。

【0162】

図5は、本発明の一実施形態によるルジャンドル多項式ベース変換関数Pの連続波 (CW) ビームパターンを、フーリエ変換関数B及びPCA MV BFの変換関数の連続波 (CW) ビームパターンと比較したグラフである。

【0163】

40

細部的に、図5は、Pの二番目のカラム、すなわち、 P_1 のCWビームパターンを、フーリエ変換関数B及びPCA MV BFの変換関数

【0164】

【数40】

$$\hat{V}$$

【0165】

の二番目のカラムの連続波 (CW) ビームパターンと比較した図である。

【0166】

50

数式 16、すなわち、

【0167】

【数41】

$$\hat{\mathbf{w}} = \hat{\mathbf{V}}\hat{\boldsymbol{\beta}}$$

【0168】

で、

【0169】

【数42】

$$\hat{\mathbf{w}}$$

【0170】

は、

【0171】

【数43】

$$\hat{\mathbf{V}}$$

【0172】

の最初の幾つかのカラムを

【0173】

【数44】

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}$$

【0174】

を用いて加重値合算 (weighted sum) しているので、

【0175】

【数45】

$$\hat{\mathbf{w}}$$

【0176】

のCWビームパターンも、

【0177】

【数46】

$$\hat{\mathbf{V}}$$

【0178】

のカラムのCWビームパターンを

【0179】

【数47】

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}$$

【0180】

を用いて加重値合算したものである。PからのCWビームパターンは、PCA-MVBの変換関数のCWビームパターンと非常に類似したパターンを有することを確認することができる。

【0181】

しかし、P1は、Bの二番目のカラムb1に比べて、さらに低い周波数成分を有し、b

10

20

30

40

50

1 の場合とは異なって、ビームパターンの絶対値が、 0° に対して左右対称である。このような特徴は、P を使う場合が B を使う場合に比べて、 $Q = 2$ である場合にも、正面に近い干渉をさらに効果的に抑制して、ポイントターゲットイメージがさらに鋭い (sharp) ながらも、左右対称になるようにする長所として作用する。

【0182】

一方、B のあるカラムの CW ビームパターンでヌルポイント (null point) の方向は、他のカラムの CW ビームパターンでもやはりヌルポイント方向であるが、P の場合は、図 2 から観察されるように、そうではない場合がある。例えば $Q = 2$ である場合、p 1 の CW ビームパターンの最初のヌルポイント方向から干渉が受信される場合、如何なる

10

【0183】

【数 48】

$$\beta^{\wedge}$$

【0184】

を用いても、その干渉を無くすることができない。なぜならば、その方向に対しては、P 1 が寄与することができないためである。このような点は、PCA MV BF の変換関数を使う場合にもほぼ同様であり、連続波を使う場合は、P の深刻な短所であり得る。しかし、広帯域信号 (wide-band signal) を使う実際の超音波診断器では、多様な周波数が混ぜられている場合なので、ビームパターンで、そのようなヌルポイントが鮮明に表われず、したがって、そのような点が大きく問題にならない。むしろ、同一の次元減少に対して、LP MV BF の性能が隣接したポイントターゲットを分解する能力においては、他の 2 つの方法に比べて、類似しているか、さらに優れ、次元減少による近似化エラーにおいては、BA BF に比べてはほぼ常に少なく、ほとんどの場合、PCA MV BF とはほとんど差がない。

20

【0185】

LP MV BF の長所の 1 つは、変換関数が、実数 (real number) のみで構成されているという点である。BA BF または PAC MV BF は、原則的に複素数でなければならない。したがって、変換演算が簡単になる。

30

【0186】

図 6 は、本発明の一実施形態によるビームフォーミング方法を示すフローチャートである。

【0187】

図 6 を参照すれば、一実施形態によるビームフォーミング装置は、要素空間の入力信号を変換関数を用いて他の空間である変換空間に変換し、変換空間で信号処理を通じてビーム信号を生成して出力する (610)。

【0188】

一実施形態によるビームフォーミング装置は、空間変換時に、直交多項式で構成された変換関数を利用する。直交多項式は、直交関係を満足させる一連の多項式である。直交多項式は、例えば、エルミート多項式、ラゲール多項式、ヤコビ多項式、ゲーゲンバウア多項式、チェビシェフ多項式、またはルジャンドル多項式のうち何れか 1 つであり得る。

40

【0189】

一実施形態によるビームフォーミング装置は、空間変換時に、ルジャンドル多項式で構成された正規直交行列を変換関数として使う。特に、ビームフォーミング装置は、最小分散ビームフォーミング (MV BF) 方法でルジャンドル多項式を変換関数として使うことができる。この場合、MV BF の計算量を大幅に減らしながらも、性能を保持することができる。

【0190】

一実施形態によるビームフォーミング装置は、ビームフォーミングのために低帯域通過

50

フィルターを用いてビームパターンの正面に近いサイドローブに該当する要素空間での低周波数成分をフィルタリングして獲得する(610)。この際、ビームフォーミング装置は、変換関数を構成するカラムのうちから低周波数成分を示す最初の所定カラムを選択する。低帯域通過フィルタリングが可能な理由は、空間スムージングを通じて正面遠くからビームパターンが形成される高周波成分がほとんど除去されるためである。

【0191】

ビームフォーミング装置が、変換空間で最小分散ビームフォーミング(MV BF)方法を通じてビームフォーミングする場合、変換空間で重要ないくつかの成分のみを利用することによって、空間共分散行列の逆行列演算に必要な計算量を大幅に減らしうる。例えば、変換関数中に幾つかの最初のカラムのみを選択して入力信号を変換することによって、空間共分散行列の次元を減らす。変換関数のうち、幾つかの最初のカラムは、最小分散ビームフォーミング(MV BF)演算において重要な成分を示す。

10

【0192】

ビームフォーミング装置が、直交多項式ベース最小分散ビームフォーミング方式を行う場合、直交多項式で作られた変換関数の最初の幾つかのカラムのみを使う。この変換関数のカラムは、順に低周波数成分から高周波数成分を示すので、最初の幾つかのカラムは、フーリエ変換関数と同様に低周波数成分に該当する。

【0193】

最小分散ビームフォーミング(MV BF)の空間スムージングを通じて時間遅延ビームフォーミング(DAS BF)方法から観察されるX形態の長いサイドローブが除去される。このような特性を用いて直交多項式ベース変換関数を使う最小分散ビームフォーミング(MV BF)で正面に近いサイドローブ成分のみを扱い、高周波成分は、除去する次元減少をしても、最小分散ビームフォーミング(MV BF)の特性を非常によく保持することができる。

20

【0194】

前述したところによれば、本発明は、超音波診断器だけではなく、レーダー、ソナー、非破壊検査など、多様なアレイ信号処理分野にいずれも適用可能である。

【0195】

以上、本発明について、その実施形態を中心に説明した。当業者ならば、本発明が、本発明の本質的な特性から外れない範囲で変形された形態として具現可能であるということを理解できるであろう。したがって、開示された実施形態は、限定的な観点ではなく、説明的な観点で考慮されなければならない。本発明の範囲は、前述した説明ではなく、特許請求の範囲に示されており、それと同等な範囲内にあるあらゆる差異点は、本発明に含まれたものと解釈しなければならない。

30

【産業上の利用可能性】

【0196】

本発明は、ビームフォーミング装置、超音波イメージング装置、及びビームフォーミング方法関連の技術分野に適用可能である。

【符号の説明】

【0197】

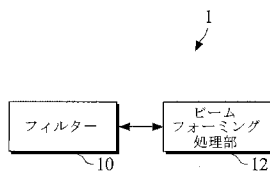
40

- 1 ビームフォーミング装置
- 10 フィルター
- 12 ビームフォーミング処理部
- 120 変換部
- 122 加重値演算部
- 124 合成部
- 14 変換関数保存部
- 3 超音波イメージング装置
- 300 トランスデューサ
- 310 ビームフォーミング部

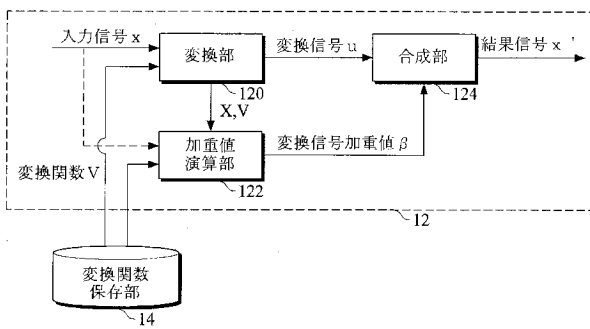
50

3 2 0 映像生成部
 3 3 0 表示部
 3 4 0 保存部
 3 5 0 出力部

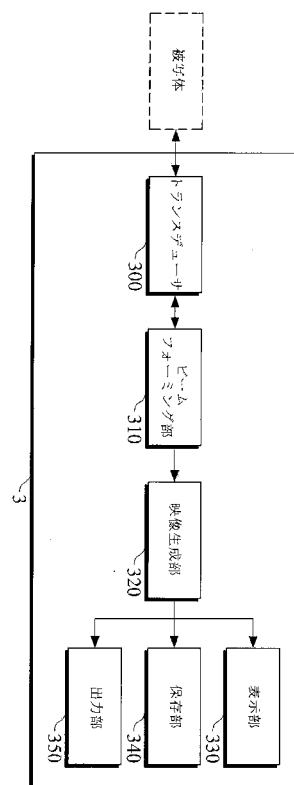
【図 1】



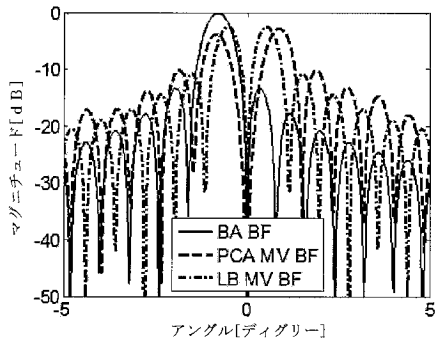
【図 2】



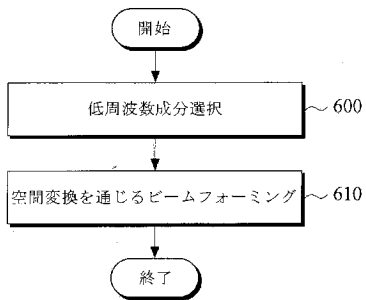
【図 3】



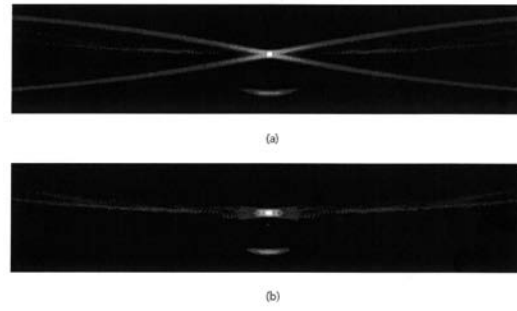
【図 5】



【図 6】



【図 4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4C601 EE07 HH29 HH31 JB03
5J083 AA02 AB17 AC30 AD13 AE08 BC02 BE43 BE53 CA01 CA12
DC05

专利名称(译)	波束形成装置，超声波成像装置和波束形成方法		
公开(公告)号	JP2016077907A	公开(公告)日	2016-05-16
申请号	JP2015207563	申请日	2015-10-21
[标]申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗器械贸易有限公司		
申请(专利权)人(译)	爱飞纽医疗器械贸易有限公司		
[标]发明人	ムホベ		
发明人	ム ホ,ベ		
IPC分类号	A61B8/14 G01N29/26 G01S7/52 G01S15/89		
CPC分类号	A61B8/5207 G01S7/52047 G10K11/343 A61B8/14		
FI分类号	A61B8/14 G01N29/26 G01S7/52.D G01S15/89.B		
F-TERM分类号	2G047/DB02 2G047/GF18 4C601/EE07 4C601/HH29 4C601/HH31 4C601/JB03 5J083/AA02 5J083/AB17 5J083/AC30 5J083/AD13 5J083/AE08 5J083/BC02 5J083/BE43 5J083/BE53 5J083/CA01 5J083/CA12 5J083/DC05		
优先权	1020140142895 2014-10-21 KR		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

波束形成装置提供的超声成像装置，以及波束形成处理。根据本发明的实施例的波束形成装置，用于选择对应于从构成变换功能的列中的低频分量的第一预定列的过滤器，由所述第一预定列的被选择使用转换函数的输入信号，这是它被转换成另一种空间，包括一光束用于在变换空间中产生通过信号处理的波束信号形成处理单元。

1

