

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5135346号
(P5135346)

(45) 発行日 平成25年2月6日(2013.2.6)

(24) 登録日 平成24年11月16日(2012.11.16)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 8/00 (2006.01) A 6 1 B 8/00

請求項の数 4 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2009-530060 (P2009-530060) (86) (22) 出願日 平成20年8月20日 (2008.8.20) (86) 国際出願番号 PCT/JP2008/064801 (87) 国際公開番号 W02009/028366 (87) 国際公開日 平成21年3月5日 (2009.3.5) 審査請求日 平成22年2月12日 (2010.2.12) (31) 優先権主張番号 特願2007-219188 (P2007-219188) (32) 優先日 平成19年8月27日 (2007.8.27) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000153498 株式会社日立メディコ 東京都千代田区外神田四丁目14番1号 (74) 代理人 110000350 ポレール特許業務法人 (72) 発明者 鱒沢 裕 日本国東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目28 〇番地 株式会社日立製作所 中央研究所 内 審査官 宮川 哲伸</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波画像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波を送波あるいは受波する複数の素子と、
 前記複数の素子に対し、前記複数の素子が送波する送信ビームを収束する送信ビームフォーマと、
 反射した超音波を受波して生成される複数の受信信号に対し、受信ビームを形成する受信ビームフォーマとを備え、
前記送信ビームの位置を順次走査して撮像を行う超音波画像装置であって、
前記受信ビームフォーマは、1の送信に対して複数方向の受信ビームを設定し、前記複数方向の受信ビームのそれぞれの受信焦点の各々を中心として互いに異なる方向に広がりを有して異なる空間分布を各々持つ複数の点像関数を形成し、前記複数の点像関数の少なくとも1の点像関数は、前記送信ビームと受信ビームの方向に実質的に平行な方向に主たる波数ベクトル成分の方向があり、前記複数の点像関数の他の点像関数は、前記受信焦点に関して前記送信ビームと受信ビームの方向から角度回転した方向に主たる波数ベクトル成分の方向があるものであり、
複数の送信それぞれに対する前記受信ビームフォーマの出力であるそれぞれ複数方向の受信ビームに基づく画像信号を加算合成して画像データを形成することを特徴とする超音波画像装置。

【請求項2】

前記他の点像関数は、送受信口径に位置する前記素子の信号に対して、口径中心から非対

称な整相処理によるものであることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波画像装置。

【請求項 3】

前記第 1 の送信に対して設定する複数方向の受信ビームは、各々同じ送受信口径位置で形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波画像装置。

【請求項 4】

前記受信ビームフォーマは、前記第 1 の送信に対して設定する複数方向の受信ビームの位置を、他の送信に対して設定する受信ビームに重畳させることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波画像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、高精度な走査を可能にするビームフォーマを備えた超音波画像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来の医用超音波撮像装置では、その原理上、波長分解能以下の微小散乱体などのアンサンブルで形成されるスペックルが存在し、生体内の微小な反射強度変化をもって生体内の情報を認識せんとする通常のBモード撮像においてはそのスペックル信号の輝度強弱が生体内の診断上有益な反射強度変化と同程度になる場合が多く、認識を難しくしていることは一般に良く知られた問題である。

20

【0003】

この問題を解決するため、複数の探触子口径位置や、複数の撮像周波数での送受信ビームの信号を整相後に搬送波位相情報を残したコヒーレント信号で加算する方法や、整相後に検波を行い搬送波位相情報を除いたインコヒーレント信号の形で加算する方法が知られている。コヒーレント信号のまま加算する前者は送受信口径の回折限界の改善や周波数帯域幅を拡張することにより、スペックルのサイズを小さくする改善効果が期待でき、後者の場合は、所謂、コンパウンド技術として広く知られている。コンパウンド技術には、複数の探触子口径位置からの信号を合成する「空間コンパウンド技術」と複数の周波数帯域信号を合成する「周波数コンパウンド技術」がある。特に複数方向からの送受信結果を合成する「空間コンパウンド技術」については、例えば、探触子の移動、音速の不適切な仮定などによるビーム合成時の「ぶれ」が合成後の画質を決定する課題であり、補正技術について例えば特許文献 1 に開示されている。

30

【0004】

【特許文献 1】特表 2002 - 526225 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の空間コンパウンド技術の課題について図 3、図 4 を用いて説明する。

第一に、合成画像の均質性の課題について図 3 を用いて示す。空間コンパウンド走査では探触子400の送受信口径400Aによる送受信ビームを複数のビーム偏向角で走査したものを合成する。図 3 の (1) は左偏向走査 ($\theta > 0$)、(2) は正面走査 ($\theta = 0$)、(3) は右偏向走査 ($\theta < 0$)、(4) は走査の合成結果を模式的に示すものである。またそれぞれに、模式的な送信、受信ビームフォーマが形成する点像関数 (送信、受信の感度の空間分布応答、空間サンプリング領域、点拡がり関数; point spread function: psf) も合わせて所定の音圧レベル以上となる境界線を表す形で概念的拡大図として併記している。点像関数の概念的拡大図は、ビーム音軸上の主極と距離方向の副極 (送信音波の進行方向についての主極前後の 4 つ) およびそれらと直交する方位方向の副極 (送信音波の進行方向についての主極左右の 4 つ) でその異方性が判別しやすいように特徴的に描いている。画像内点 P_0 に対しては、(1) の左偏向走査においてビーム B_1 上の点像関数 psf_1 、(2) の正面走査においてビーム B_2 上の点像関数 psf_2 、(3) の右偏向走査においてビーム B_3

40

50

上の点像関数 psf_3 が(4)のように互いに異なる空間分布を有しながら合成される。

【0006】

一方、走査像全体を観察すると、(5)に示すように合成した場合、各走査ビームの重なる数が走査像の部分領域により異なり、点像関数の合成結果に異なる異方性(空間的広がり)がもたらされる。3つの点像関数 psf_1 、 psf_2 、 psf_3 で合成される点 P_0 を含む最も望ましい領域 Z_0 のほかに、点像関数 psf_1 のみでなる点 P_1 を含む領域 Z_1 、点像関数 psf_1 とは空間的広がりが左右反転する点像関数 psf_3 のみでなる点 P_4 を含む領域 Z_4 、点像関数 psf_1 、 psf_2 からなる点 P_2 を含む領域 Z_2 、点像関数 psf_2 、 psf_3 から点 P_3 を含み、点像関数の空間的広がりが領域 Z_2 とは左右反転する領域 Z_4 が発生する。 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 のような点像関数の合成特性の異なる領域の発生は如何なるビーム偏向フォーマットの走査をも

10

【0007】

次に探触子の移動、生体の探触子に対する相対運動による「ぶれ」について図4にて説明する。図4(1)に模式的に示したように、走査フォーマット全体(走査ビーム群)が、画像内の点 P_0 に対して所定の速度 v で口径走査方向に平行して相対運動しているとする。時刻 T_1 にてビーム B_1 上の位置 $P_0(T_1)$ であった反射体は(2)に示すように時刻 T_2 では、ビーム B_2 上の位置 $P_0(T_2)$ 、(3)に示すように時刻 T_3 ではビーム B_3 上の位置 $P_0(T_3)$ に移動したとする。速度 v の相対運動の結果、画像の上の点 P_5 で合成された点像関数の中心は互いに凡そ $v \times (T_2 - T_1)$ だけずれて合成されることになる。これらがコーヒレント加算あるいはインコヒーレント合成されれば、点像関数 $psf_1(T_1)$ 、 $psf_2(T_2)$ 、 $psf_3(T_3)$ の空間的な位置のずれから画像がぼける原因となる。図4のような複数の送信で行われる探触子口径位置の異なる送受信ビームの信号が、探触子の移動や相対運動で意図した合成の基準となる空間位置と一致しなくなる問題のほか、相対運動が無い場合でも生体音速の局所変化などにより送受信ビームの音線経路や伝播時間が変化する問題などがある。複数の送信で行われる空間合成では、整相出力のコヒーレント信号加算、インコヒーレント信号合成時の「ぶれ」による劣化を低減することが必要になる。

20

【0008】

このような移動や相対運動による影響を最小限に抑えるためには、(1)の左偏向走査の終了後に(2)の正面走査、(2)の正面走査の終了後に(3)の右偏向走査といった順序では、同一点 P_0 の合成に関わるビーム間の走査時間間隔が長いので、これをできるだけ短くすることが望ましい。また、複数の送受信ビームの信号を合成するにあたっては、生体局所音速の音線経路の変化の影響を受けにくい送受信ビームの信号の合成方法が必要である。さらに、従来の空間コンパウンド合成においては、複数の方向の送受信ビームが互いにどのような向きと距離で組み合わせられるかで異なる効果が生まれたり、合成に用いるビーム数を撮像領域全体にわたって等しくしたり滑らかに合成しにくい点に問題がある。

30

【0009】

次に、スペックルの広がりについて考えると、スペックルの統計的形狀は点像関数の形狀に強く依存することが知られている。点像関数の音圧分布は、距離方向では送受信パルスの波形、距離方向と直交する方位方向は焦点において口径での音圧分布のフーリエ変換により見積もることができる。一般に点像関数の主たる波数ベクトルの方向(ある瞬間時刻での進行波の振幅の時間強弱ピークの並ぶ空間方向)はビーム音軸であり、点像関数の形狀は探触子口径からの距離が増すに従って、ビーム音軸方向に対して方位方向が著しく広がる。例えば、生体内組織境界の反射が連続する方向とビームの点像関数の広がり分布の方向性(ビーム音軸とそれに直交する方位軸)が大きな角度をなすと、スペックルが境界を横断的に形成されることにより境界の検出が不明瞭になりやすい。従来の空間コンパウンド技術では、複数の入射角の異なるビーム方向の送受信信号を合成するため、点像関数のビーム音軸方向が、回転した状態で合成される。超音波の干渉により生じた鋭い輝度の極小点位置が変化したものが合成されてスペックル像の輝度分布の分散と平均の比が改善され、特定のビーム音軸方向に特徴的に広がる傾向(異方性)も緩和される。しかし、合

40

50

成は生体内組織の反射信号がなす局所の像とは関連させない固定的で一様な処理であるため、改善の度合いはビーム走査方法に強く依存する。こうしたことから、より望ましくは生体内組織境界の局所構造を反映した点像関数でのサンプルが望まれる。

【 0 0 1 0 】

さらに、従来走査においては、ビーム偏向角度による依存はあるものの画像に垂直な方向から見る投影に対して原則的にビーム音軸を線対称の対称軸として点像関数が形成されるように、ビームフォーマが整相処理を行うのが通常である。セクタ走査、コンベクス走査、台形走査のような極座走査を含む走査では、リニア走査のような直交座標走査と違いスペckルの形状も極座標に沿って広がる。読影時にはスペckルの広がり異方性を画像全体の読影時に関心領域が極座標内のどこであるかを考慮する必要がある。スペckルの広がり異方性は、撮像系がもたらす極座標に従った乗算的なノイズを想起させるため、矩形画面表示領域の直交座標方向に沿った広がりであるほうが像全体として直感的に把握しやすい場合がある。以上の課題は、従来技術では、主には口径の音圧振幅分布と周波数で決定され、送受信ビーム音軸を中心に線対称な形の点像関数に固定されて用いられていることに起因する。このため、画像内の特定の点から送受信口径を見たとき、互いに合成して有効な点像関数を得るためにはビーム音軸の偏向角の著しく異なる（その点での交差角の大きく異なる）送受信信号を合成しなければならず、相対運動による変位や均一音速を仮定した音線経路から実際の生体内での伝播経路が逸脱した場合の影響を受けやすい。さらには、生体組織の反射体分布特性を反映するような点像関数の設定も困難である。こうしたことから、走査のビーム音軸方向とは独立して、同一点に対して点像関数の分布の異方性（広がり基準となる軸方向、波数ベクトル方向）を制御することが必要である。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

上記目的は、空間合成時に得られるであろう超音波パルスによる空間サンプルを互いに送受信時刻が近接した送受信ビームにより加算や合成ができるよう、送信パルスまたは受信整相の点像関数が、同一焦点中心に撮像面内でその主たる波数ベクトルの方向が複数、回転した異なる異方性のものを用いてコヒーレント加算、インコヒーレント合成することにより、達成される。

【 0 0 1 2 】

また、それらを局所の反射体分布に合わせたり、ビーム走査と独立して適応的に行うことにより、局所の反射体の空間分布の特徴的な異方性に適応して、___有限の口径の回折限界や有限の周波数帯域で可能な限り望ましい空間サンプリングやスペckルの流れ方向を所望の方向に変更する技術を提供する。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、加算あるいは合成するビームの信号間の等時性を高め、上記「ぶれ」による、画像劣化を低減することができる。

【 0 0 1 4 】

また、点像関数の異方性（波数ベクトル方向）を制御することでスペckルの形成の統計的異方性を制御することにより、ビーム走査フォーマットから独立したスペckルの広がりを持つ画像により、認識のしやすい画像を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明を実施例により説明する。

【実施例 1】

【 0 0 1 6 】

本発明を適用した超音波撮像装置の構成を図 2 に示す。超音波を送信・受信する探触子 400 は e 個の電気音響変換を行う送受信素子 4001, 4002 ~ 400e よりなる送受信素子群 410 を内蔵する。送受信素子 4001, 4002 ~ 400e は多くの場合、超音波の送信時には電圧により圧力を

発生し、受信時には超音波の圧力により電圧を発生する強誘電体材料などの圧電体を用いて構成される。広く知られるように、超音波撮像装置では送受信素子群410に対して異なる電圧波形を与えて被検体である生体内に送信音波TWを放射し、生体内の想定点から反射してくる受信音波（エコー）RWの到達時間差や位相差を補償して加算することにより生体内の像を再生している。送受信素子群410の個々が得る想定焦点からの反射信号は互いに正しく位相が補償されて積算して強め合い、不要方向からの反射信号は加算により干渉して抑圧されることにより音響的なビームが形成され、生体内の情報を走査して映像化している。超音波の送信は、ビームフォーマデータ演算部100の出力する送信チャンネルごとの送信遅延時間（送信時刻）と振幅強度の出力情報に従って、送信ビームフォーマー190が焦点で所望の点像関数が得られるよう、チャンネルごとの波形を発生する。パルス送信回路210が送信ビームフォーマー190の発生する波形を持つ送信電圧を送受分離回路300を經由して探触子400内部の送受信素子群410に供給して行われる。送受信素子群401は電圧を圧力に変換して超音波が送信される。探触子400から送信された超音波は被検体内部より反射して反射波となり再び探触子400の送受信素子群410で受信され、圧力から電圧に変換されて送受分離回路300を經由して受信回路210の入力となる。受信回路210では増幅や帯域制限を行い、受信ビームフォーマー120に受信チャンネルの信号を供給する。受信ビームフォーマー120はビームフォーマデータ演算部100の出力する遅延時間と重みの出力情報に従って、時間と振幅が合成されて指向性が実現されたビーム出力信号121が形成される。ビーム出力信号121はスキャンコンバーター130の入力となり、映像信号131に変換されて表示手段140に実時間断層像や立体像などを表示する。プロセッサTCPUは装置全体を制御するほか、ビームフォーマデータ演算部100を介して付随する記憶手段EXTRAMに対してビームフォーマデータの書き込みを行う。記憶手段EXTRMは例えばStatic Random Access Memory(以下SRAM)を用いて実現できる。

【 0 0 1 7 】

次に図1を用いて同一送受信ビーム上の異なる点像関数群による撮像技術についてリニア走査の場合を例に説明する。

【 0 0 1 8 】

図1(1)は探触子400でのリニア走査で各ビーム方向複数回の送受信で画像を合成する場合について模式的に説明するものである。送信ビーム BT_1 と受信ビーム BR_1 は同一走査ビーム位置（送受信口径位置）に形成される。第一回目の送受信では点 P_1 に対して点像関数 psf_{1a} が、第二回目では点像関数 psf_{1b} が、第三回目では点像関数 psf_{1c} が形成されるように、図2の送信ビームフォーマー190、受信ビームフォーマー120が動作する。点像関数 psf_{1a} 、 psf_{1b} 、 psf_{1c} は、異なる送受信口径位置からの空間合成による撮像と類似の効果が得られるよう、それぞれ図3の点像関数 psf_1 、 psf_2 、 psf_3 のような互いに主たる波数ベクトルの方向が異なる広がりを持つ複数の点像関数群とする。より詳しくは、これらの点像関数群の1つ以上は、 psf_{1a} 、 psf_{1c} のように送信ビーム BT_1 と受信ビーム BR_1 方向に平行な方向（並行な方向、ビーム音軸方向）およびそれと直交する方向（探触子の送受信素子群410の配列方向、方位方向）に空間的な広がりが非対称である。また、 psf_{1b} ではそれを形成する主たる波数ベクトル成分の方向（ある瞬間時刻での並みの振幅の強弱ピークの並ぶ方向）が送信ビーム BT_1 と受信ビーム BR_1 方向に添う（平行となる）が、 psf_{1a} 、 psf_{1c} では P_1 に関して所定の角度回転した方向に対して存在する。点像関数 psf_{1a} 、 psf_{1b} 、 psf_{1c} はそれぞれ同じ送受信口径位置で形成されるにもかかわらず、主たる波数ベクトル成分の方向が互いに異なる。例として、点像関数 psf_{1b} は P_1 を整相焦点として、送受信口径内の送受信素子群410の信号群を同一の時間パルス波形を元に中心から左右対称の送信、受信感度（振幅）を与え、遅延時間も左右対称にすることで得られる。点像関数 psf_{1a} 、 psf_{1c} は送受信口径内の送受信素子群410の信号群に対して口径中心から周波数に依存して非対称な整相処理にすることで得られる。受信ビームフォーマー120は受信中に周波数成分に依存して動的に位相差と重みを変更する処理となる。

【 0 0 1 9 】

図1(2)は送受信口径位置が移動して、再び送信ビーム BT_2 と受信ビーム BR_2 は同一走査

10

20

30

40

50

ビーム位置に形成される。第一回目の送受信では点 P_2 に対しては点像関数 psf_{2a} が、第二回目では点像関数 psf_{2b} が、第三回目では点像関数 psf_{2c} が形成されるように、図2の送信ビームフォーマー190、受信ビームフォーマー120が動作する。同様に図1(3)は送受信口径位置が移動して、再び送信ビーム BT_3 と受信ビーム BR_3 は同一方向に形成される。第一回目の送受信では点 P_3 に対しては点像関数 psf_{3a} が、第二回目では点像関数 psf_{3b} が、第三回目では点像関数 psf_{3c} が形成されるよう図2の送信ビームフォーマー190、受信ビームフォーマー120が動作する。これらの処理は図1(1)と口径位置が移動している以外は同じである。また、 P_1 、 P_2 、 P_3 は口径から同じ距離にあるものとする。画像化の段階では図1(4)に示すように、 P_1 、 P_2 、 P_3 を中心に、点像関数群について複数の方向に異なる主たる波数ベクトル成分の方向を持ったものが用いられる。検波前の加算処理(コヒーレント加算)では、点像関数 psf_{1b} 、 psf_{2b} 、 psf_{3b} が BR_1 、 BR_2 、 BR_3 (TR_1 、 TR_2 、 TR_3)方向に添う向きに特徴的に強く持った波数ベクトル成分が干渉して P_1 、 P_2 、 P_3 を中心とした異方性の少ない応答により近づくことになり、スペックルの縦横比が変化する。また、検波後の合成では、点像関数群の主たる波数ベクトル成分の方向が互いに異なる角度を成すために、一様と見なされる散乱体群からの反射が互いに相関が薄れ、スペックル輝度の平均に対する分散の比の低減効果を持つ。反射体のスペキュラー成分が無い(点像関数の主たる体積の中に多数の空間的に一様な散乱体が存在する)場合、波数ベクトル成分の方向が互いに直交に近づくにつれ、信号の相関係数の期待値は減少する。例えば点像関数 psf_{1b} と psf_{3b} の主たる波数ベクトル成分の方向が互いに直交すれば効率的なスペックル低減効果が期待できる。図1の例では3種の点像関数群からの合成の例を示しているが、点像関数の数は3に限らずいくつでも設定可能である。

【0020】

図1では、示した点像関数群は送信ビームフォーマー190、受信ビームフォーマー120の両者の効果を合わせたものとしている。各ビーム位置で n 回送信を行うと撮像時間も凡そ送信回数 n に従って n 倍必要になるため、各ビーム位置の間隔を変化させない限りフレームレートが減少する。

【0021】

フレームレートを減少させない方法として、各口径位置で n 回とした送受信を1回にして、受信ビームフォーマー120の処理能力を n 倍にしておき、送信ビームフォーマー190の1回の送信に対し実効的に n 通りの受信ビームフォーマー120の処理を行う動作が可能である。以下、一回の送信に基づく受信信号に対して受信ビームフォーマー120の処理を複数通り行うことを「受信複ビーム」と呼称することにする。

【0022】

以下、受信複ビームを用いた高速化処理の例を図5で説明する。図5(1)は探触子400でのリニア走査で各送信ビーム方向で3本($n=3$)の受信複ビームで画像を合成する場合について模式的に説明するものである。送信ビーム BT_1 を中心に3本の受信複ビーム BR_1 、 BR_2 、 BR_3 が形成される。送信ビーム BT_1 と受信複ビームの1つである受信ビーム BR_2 は実質的に同一方向に形成される。なお、受信複ビームの数は3本(3種の点像関数)に限らず受信ビームフォーマー120の処理能力に合わせて任意に設定できる。

【0023】

点 P_{1A} 、 P_{1B} 、 P_{1C} に対してそれぞれ点像関数が psf_{1A} 、 psf_{1B} 、 psf_{1C} となるように、図2の送信ビームフォーマー190、受信ビームフォーマー120が動作する。ここで、点像関数 psf_{1A} 、 psf_{1B} 、 psf_{1C} は空間合成による撮像と同様の効果が得られるよう、それぞれ図3の点像関数 psf_1 、 psf_2 、 psf_3 のような互いに異なる方向に広がりを持つ点像関数群とする。より詳しくは、これらの点像関数群の1つ以上は psf_{1A} 、 psf_{1C} のようにそれぞれ受信ビーム BR_1 、 BR_3 方向に対して、添う方向(平行な方向)およびそれと直交する方向について空間的な広がりが非対称である。

また、 psf_{1B} ではそれを形成する主たる波数ベクトル成分の方向が受信ビーム BR_1 方向に添う(平行になる)が、 psf_{1A} 、 psf_{1C} ではそれぞれ P_{1A} 、 P_{1C} に関して所定の角度回転した方向に対して存在する。点像関数 psf_{1A} 、 psf_{1B} 、 psf_{1C} はそれぞれ同じ送受信口径位置で形

10

20

30

40

50

成されるにもかかわらず、主たる波数ベクトル成分の方向が互いに異なる。例として、点像関数 psf_{1B} は P_{1B} を整相焦点として、送受信口径内の送受信素子群410の信号群を同一の時間パルス波形を元に中心から左右対称の送信、受信感度(重み)を与え、遅延時間も左右対称にすることで得られる。点像関数 psf_{1A} 、 psf_{1B} 、 psf_{1C} は送受信口径内の送受信素子群410の信号群に対して周波数ごとに口径中心を対称の中心とみて非対称な異なる整相処理にすることで得られる。また、送信ビームフォーマ190の出力は受信ビームフォーマ120の形成する全ての受信複ビームと合わせた点像関数の形成を考慮して送受信において挿入損失の少ないものとするのが望ましい。

【0024】

図5(2)は送受信口径位置が移動して、再び送信ビーム BT_2 を中心に3本の受信複ビーム BR_2 、 BR_3 、 BR_4 が形成される。送信ビーム BT_2 と受信複ビームの1つである受信ビーム BR_3 は同一方向に形成される。図2の送信ビームフォーマ190、受信ビームフォーマ120は、点 P_{2A} 、 P_{2B} 、 P_{2C} に対してそれぞれ点像関数が psf_{2A} 、 psf_{2B} 、 psf_{2C} となるように動作するが、処理は図5(1)と口径位置が移動している以外は同じである。同様に図5(3)は送受信口径位置が移動して、再び送信ビーム BT_3 を中心に3本の受信複ビーム BR_3 、 BR_4 、 BR_5 が形成される。ビーム BT_3 と受信ビーム BR_4 は同一方向に形成される。図5(4)に示すように、3回の送受信を経て、実質的に同一な点である P_{1C} 、 P_{2B} 、 P_{3A} を中心とする点像関数群 psf_{1C} 、 psf_{2B} 、 psf_{3A} による受信信号が獲得され、空間合成可能になる。複数の方向に異なる主たる波数ベクトル成分の方向を持った点像関数 psf_{1C} 、 psf_{2B} 、 psf_{3C} を形成する受信ビームフォーマ出力121が合成されるため、検波前の合成加算処理(コヒーレント加算)では、受信ビーム BR_3 方向に持った点像関数 psf_{2B} の波数ベクトル成分が互いに干渉して特長的な異方性が緩和される。また、検波後の加算では、点像関数群の主たる波数ベクトル成分の方向が互いに異なる角度を成すために、スペックル低減効果を持つ。この走査では、受信複ビームの間隔を等しくし、複数の受信ビームの一部の形成位置が互いに重畳するように送信口径位置を移動するため、同一受信ビーム方向に対して複数の異なる点像関数群を得ることができる。また、送信回数は図1の場合と異なり n 倍に増えないので送受信時間の増加によるフレームレートの低下はない。また、時間的に連続した送受信から合成を行うので合成する受信ビームフォーマ出力の間の等時性が図1の場合に比べてさらに高まる。

【0025】

次に上記の図5の走査を行う場合における図2のスキャンコンバータ130の機能のうち、受信ビームフォーマ出力121をコヒーレント加算処理する場合について図6を用いて説明する。図6(1)はコヒーレント加算処理の演算回路の構成例、図6(2)はその合成動作順序を説明する時間フレーム図である。以下、図1、図5の図に合わせて受信複ビーム数 n を3とする場合について説明する。

【0026】

受信ビームフォーマ出力121は図5の点像関数群 psf_{1A} 、 psf_{2A} 、 psf_{3A} に由来する信号を含む受信信号 ra と、 psf_{1B} 、 psf_{2B} 、 psf_{3B} に由来する信号を含む受信信号 rb と、 psf_{1C} 、 psf_{2C} 、 psf_{3C} に由来する信号を含む受信信号 rc からなる。受信信号 ra 、 rb 、 rc は例えば3相時分割信号として出力される時系列信号の各時相の信号名に相当する。受信信号 ra 、 rb 、 rc は個別ビームメモリ $MA0$ 、 $MB0$ 、 $MC0$ 、 $MA1$ 、 $MB1$ 、 $MC1$ 、 $MA2$ 、 $MB2$ 、 $MC2$ 、 $MA3$ 、 $MB3$ 、 $MC3$ に格納される。それぞれのメモリは時系列方向に q サンプルの空間を持ち、これは1回の連続受信時間の最長区間と受信ビームフォーマ出力のデータ周期で決まる。個別ビームメモリ $MA0$ 、 $MB0$ 、 $MC0$ 、 $MA1$ 、 $MB1$ 、 $MC1$ 、 $MA2$ 、 $MB2$ 、 $MC2$ 、 $MA3$ 、 $MB3$ 、 $MC3$ の空間はそれぞれ、
 $(ma01, ma02, \dots, ma0q)$ 、 $(mb01, mb02, \dots, mb0q)$ 、 $(mc01, mc02, \dots, mc0q)$ 、 $(ma11, ma12, \dots, ma1q)$ 、
 $(mb11, mb12, \dots, mb1q)$ 、 $(mc11, mc12, \dots, mc1q)$ 、 $(ma21, ma22, \dots, ma2q)$ 、 $(mb21, mb22, \dots, mb2q)$ 、
 $(mc21, mc22, \dots, mc2q)$ 、 $(ma31, ma32, \dots, ma3q)$ 、 $(mb31, mb32, \dots, mb3q)$ 、 $(mc31, mc32, \dots, mc3q)$
 である。受信ビームフォーマ出力121は送信ごと、受信複ビームごとに、図示しない書き込み許可信号により個別ビームメモリ $MA0$ 、 $MB0$ 、 $MC0$ 、 $MA1$ 、 $MB1$ 、 $MC1$ 、 $MA2$ 、 $MB2$ 、 $MC2$ 、 $MA3$ 、 $MB3$ 、 $MC3$ に個別に格納される。1回の送信に対して、 $n=3$ であるので、個別ビームメモリは3個づ

10

20

30

40

50

つ(MA0,MB0,MC0),(MA1,MB1,MC1),(MA2,MB2,MC2),(MA3,MB3,MC3)の4組で順に選択されて、それぞれの組に同一の送信に基づく受信複光束信号の時系列値を(ra,rb,rc)の順序で書き込みが行われる。送信ごとに、送信光束番号を1、2、3...と付与する場合、送信光束番号1に対する受信光束フォーマ出力121は、MA0にraの時系列値が、MB0にrbの時系列値が、MC0にrcの時系列値が書き込まれる動作が反復される。送信光束番号2に対しては、MA1にraの時系列値が、MB1にrbの時系列値が、MC1にrcの時系列値、送信光束番号3に対しては、MA2にraの時系列値が、MB2にrbの時系列値が、MC2にrcの時系列値が書き込まれる。送信光束番号4ではMA0にraの時系列値が、MB0にrbの時系列値が、MC0にrcの時系列値が書き込まれる。このように送信が繰り返されて(MA3,MB3,MC3)まで書き込まれると再び(MA0,MB0,MC0)から上書きされる。

10

【0027】

個別光束メモリMA0,MB0,MC0,MA1,MB1,MC1,MA2,MB2,MC2,MA3,MB3,MC3の格納内容はメモリ選択器BMUX0,BMUX1,BMUX2,BMUX3,SELa,SELb,SELcで乗算器MPYBa,MPYBb,MPYBcにそれぞれ出力される。乗算器MPYBa,MPYBb,MPYBcでは光束合成重み係数BWa,BWb,BWcのそれぞれが乗算されて加算器SUMBでコヒーレント加算信号BSMが出力される。

【0028】

上記メモリ選択器の動作を図6(2)を用いて説明する。送信光束番号が1つずつ進むごとに受信信号(ra,rab,rc)が(MA0,MB0,MC0),(MA1,MB1,MC1),(MA2,MB2,MC2),(MA3,MB3,MC3),(MA0,MB0,MC0),(MA1,MB1,MC1),...の順に格納される。送信光束番号が1~3の時間区間ではコヒーレント加算信号BSMは出力されない。送信光束番号が4の時間区間では、送信光束番号が1~3の時間区間から受信信号ra,rb,rcがそれぞれ個別光束メモリMA2,MB1,MC0から読み出されて乗算器MPYBa,MPYBb,MPYBcに供給される。これらの乗算器では光束合成重み係数BWa,BWb,BWcと受信信号ra,rb,rcとの乗算が行われ、加算器SUMBで加算されてコヒーレント加算信号BSMの出力bsm1が得られる。なお、光束合成重み係数BWa,BWb,BWcは時系列的に値を変更してもよい。同様に、送信光束番号が5の時間区間では、送信光束の番号が2~4の時間区間から受信信号ra,rb,rcがそれぞれ個別光束メモリMA3,MB2,MC1から読み出されて乗算器MPYBa,MPYBb,MPYBcに供給され光束合成重み係数BWa,BWb,BWcとの乗算が行われ、加算器SUMBで加算されてコヒーレント加算信号BSMの出力bsm2が得られる。bsm1,bsm2は長さqの信号パケットである。以降、送信ごとにコヒーレント加算が反復される。コヒーレント加算信号BSMの出力は図示しない検波圧縮手段やフィルタ手段などを通して図2の映像信号131に変換される。

20

30

【0029】

次に上記の図5の動作を行う場合における図2のスキャンコンバータ130の有する機能のうち、受信光束フォーマ出力121をもとにインコヒーレント合成処理(コンパウンド処理)を行う場合について図7を用いて説明する。図7は図6においてメモリ選択器SELa,SELb,SELcと乗算器MPYBa,MPYBb,MPYBcのそれぞれの間に検波圧縮手段BDTa,BDTb,BDTcが挿入された構成になっている。検波圧縮手段BDTaは非線形処理手段で受信光束フォーマ120の出力の搬送波位相情報をなくして輝度情報を生成する。なお、対数圧縮などの圧縮処理は、必要に応じて検波圧縮手段BDTa,BDTb,BDTcで行わず、最終出力SYMBに対する種々の演算後に行う構成でも良い。

40

【実施例2】

【0030】

第二の実施例として空間サンプリングの異方性強調を行う構成例について説明する。まず、図10に異方性強調の原理について説明する。図10(1)に示すように撮像領域の中に送受信光束 B_s とは直交や平行でない強い反射体分布変化を起こす境界OBNDが存在する場合を検討する。従来の技術ではこのような反射の異方性の存在の有無にかかわらず、点 P_s と同一の深さ(口径からの距離)においては同一の点像関数psfbが用いられてきた。一方、境界OBNDが特定の方向に長いにもかかわらず、点像関数psfbの最良の空間分解能を有する主たる波数ベクトルの方向(送受信光束 B_s 方向)と境界OBNDの空間分解能が高い方向が直交していないため、境界OBNDが送受信光束 B_s 方向でぼけている画像が形成される傾

50

向になる。ビームの向きへの偏向のための位相傾斜を除き、口径内で左右対称の重みや位相を付与する従来ビームフォーマの点像関数は送受信ビーム B_s の方向より、それと直交する方位方向に広がる。そこで、点像関数 $psfb$ を境界OBNDの方向に沿って回転したような、点 P_s を中心とする他の点像関数に変更すると、境界OBNDの像が強調される場合がある。例えば、送受信ビーム B_s が送受信素子群401の配列方向に垂直に形成される場合、図10(2)示すような点 P_s を中心とする点像関数 $psfc$ で点 P_s 付近の反射体分布をサンプルすると点 P_s 付近の反射体分布の主たる波数ベクトルと点像関数 $psfc$ の主たる波数ベクトルの向きが一致する場合に相関が高まり受信ビーム出力121の出力が増加して強調される結果が得られる場合が考えられる。このように点像関数を回転あるいは傾斜変化させることは空間的な相関の取り方を局所で変化させることになり、局所の反射体の空間分布を強調すること

10

【0031】

送受信ビーム B_s でもっとも相関が高くなる点像関数 $psfc$ は送信前には既知ではないので、少なくとも図10(2)の点像関数 $psfc$ 以外にも複数の回転や傾斜状態に相当する点像関数でのサンプルを実際に行う必要がある。実際には、複数の回転や傾斜状態に相当する点像関数でのサンプルを多数行うことは受信ビームフォーマ120の過大な負荷になるため所定の数の回転状態に相当する点像関数での結果から推定することが実用的である。また、送信ビームフォーマ190、受信ビームフォーマ120の有限な周波数帯域や有限の口径の回折限界の制約条件やビームフォーマ処理能力の制限のもとで、点 P_s を中心に点像関数 $psfb$ と任意の回転角度で完全な回転対称となる点像関数群を発生することが困難な場合でも、主たる波数ベクトルの方向が異なる一連の点像関数群でのビームフォーミング(整相)出力結果から最も好適な主たる波数ベクトルの回転角度を補間近似的に推定することは可能である。図9(1)に示すように点 P_c (基準点)を中心とする点像関数 $psfb$ を回転角度 θ_a としたものに近似した点像関数 $psfa$ による受信ビームフォーマ120の出力信号を BDa 、そのまま回転しない($\theta_b = 0$)点像関数 $psfb$ による受信ビームフォーマ120の出力信号を BDb 、点像関数 $psfb$ を回転角度 θ_c だけ回転したものに近似した点像関数 $psfc$ による受信ビームフォーマ120の出力信号を BDc とする。図9(2)に示すように角度 θ に対する関数として補間関数 $acrth$ を推定し、最大絶対値 PK を持つであろう pk を推定し

20

30

Lagrange多項式などによる補間を行う。Lagrange多項式による最大値 PK の算出は、重み係数 BWa 、 BWb 、 BWc を

$$BWa = (pk - b)(pk - c) / (a - b)(a - c),$$

$$BWb = (pk - a)(pk - c) / (b - a)(b - c),$$

$$BWc = (pk - a)(pk - b) / (c - a)(c - b)$$

とすると、

$$PK = BWa \times BDa + BWb \times BDb + BWc \times BDc$$

で推定できる。 pk は $acrth$ が2次関数とすれば滑らかに補間しながら求められるが、出力信号 BDa 、 BDb 、 BDc の間の簡単な最大値判定でも求まる。また、受信ビームフォーマ120の出力 BDa 、 BDb 、 BDc を検波・圧縮した信号で推定してもよい。こうした処理は点 P_c (基準点)における点像関数を角度方向に回転し、角度を変数とした空間の相関サンプルを補間で求めるのと類似の操作になる。

40

【0032】

次にこれらの演算を行う回路構成の例を図8に示す。図8は図7の構成において検波圧縮手段 $BDTa$ 、 $BDTb$ 、 $BDTc$ の前後の信号を選ぶ合成信号選択手段 SLa 、 SLb 、 SLc と、上述のような補間演算を行う重み係数演算手段 ADP を追加したものである。この構成により非再帰型の適応処理が実現される。

【0033】

適応処理でないコヒーレント加算を行う撮像処理では、指令 $INCO$ により、検波圧縮前の信号 BSa 、 BSb 、 BSc が合成信号選択手段 SLa 、 SLb 、 SLc により乗算器 $MPYBa$ 、 $MPYBb$ 、 $MPYBc$ に接続さ

50

れる。重み係数BWa、BWb、BWcは予め定めた点像関数に対応して求められる。

【0034】

上述のインコヒーレントな適応処理が行われる場合は、指令INCOにより検波圧縮手段BDTa、BDTb、BDTcの後の検波圧縮信号BDa、BDb、BDcが乗算器MPYBa、MPYBb、MPYBcに接続される。重み係数BWa、BWb、BWcは出力信号BDa、BDb、BDcの入力を元に重み係数演算手段ADPが上述の演算式を元に重み係数BWa、BWb、BWcを演算する。乗算器MPYBa、MPYBb、MPYBcの乗算結果は加算器SUMBにおいて加算され出力信号SYBMとして出力される。

【0035】

なお、以上の処理は特定の1点Pcについての推定処理の例であるが、反射体分布の局所の揺らぎは常に存在するため、pkの推定値も常に揺らぐことになる。重み係数演算手段ADPは、撮像面内のPcを中心として撮像領域の縦横やビームの距離方向と走査配列方向に所定の広がりを持つ範囲内のBDa、BDb、BDcの値を記憶し、それらの値の演算結果から点Pcに対して望ましい重み係数BWa、BWb、BWcを統計的モデル推定手段などで出力してもよい。

【0036】

以上の実施例において、本発明の点像関数は送信ビームフォーマ190、受信ビームフォーマ120の信号波形の形成方法を限定するものではない。本発明の点像関数とは、送信ビームフォーマ190の送信波形は時間軸上の一点にエネルギーを集約したパルス形態に限らず、プロセスゲインの改善を目的として送信ビームフォーマ190において時間軸上に分散し、受信ビームフォーマ120において圧縮するパルス分散圧縮処理、時間エンコード送信とそれに対応する時間デコード受信を行った場合でも、撮像領域内の一点に対して圧縮後、あるいはデコード後においてそれらを行わない場合のパルスと同等に点像関数が形成されるものとする。

【産業上の利用可能性】

【0037】

本発明は医用超音波撮像装置の送信・受信ビームフォーマー（整相回路）に適用することにより画質の優れた装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】複数送信の点像関数群による空間合成技術の説明図である。（実施例1）

【図2】本発明の医用超音波画像装置構成の説明図である。（実施例1）

【図3】従来空間合成技術の説明図である。

【図4】従来空間合成技術の課題説明図である。

【図5】複数並列受信の点像関数群による空間合成技術の説明図である。（実施例1）

【図6】複数並列受信の点像関数群による空間合成回路の説明図である。（実施例1）

【図7】インコヒーレント空間合成回路の説明図である。（実施例1）

【図8】適応的空間合成回路の説明図である。（実施例2）

【図9】適応的空間合成演算の説明図である。（実施例2）

【図10】適応的空間合成の説明図である。（実施例2）

【符号の説明】

400	探触子
400A	送受信口径
401	送受信素子群
4001, 4002, ... 400e	送受信素子
100	ビームフォーマデータ演算部
200	送信回路
190	送信ビームフォーマー
300	送受分離回路
210	受信回路

10

20

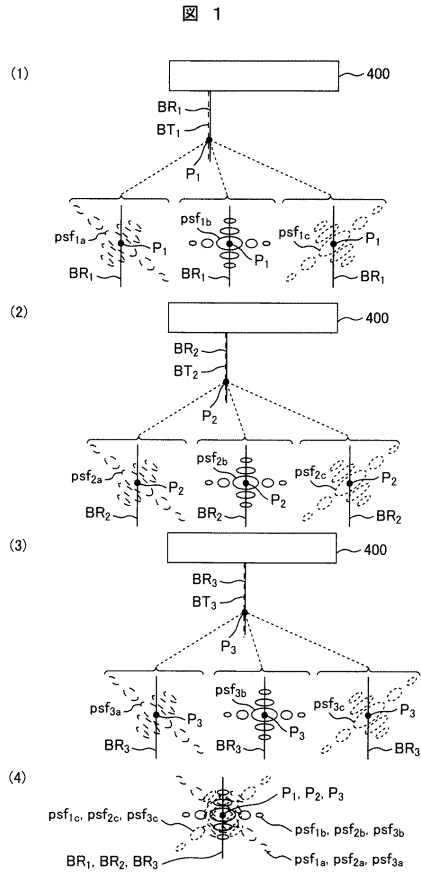
30

40

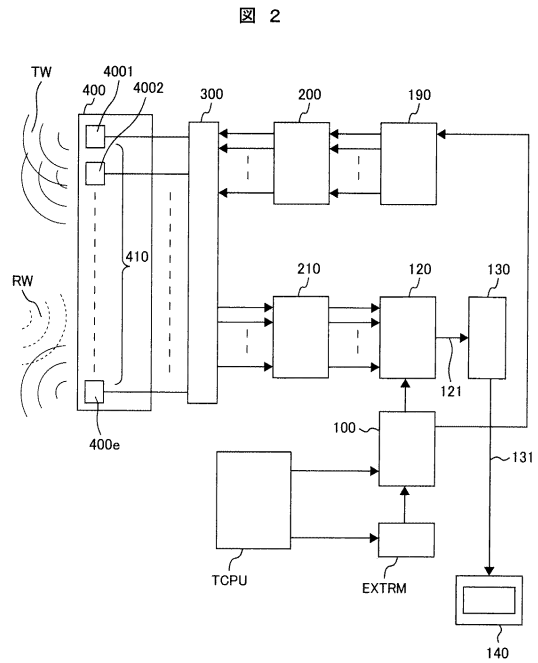
50

120	受信ビームフォーマー	
121	ビーム出力信号	
130	スキャンコンバーター	
131	映像信号	
140	表示手段	
TCPU	プロセッサ	
EXTRAM	記憶手段	
BT ₁ 、BT ₂ 、BT ₃	送信ビーム	
BR ₁ 、BR ₂ 、BR ₃ 、BR ₄ 、BR ₅	受信ビーム	
psf _{1a} 、psf _{1b} 、psf _{1c} 、psf _{2a} 、psf _{2b} 、psf _{2c} 、psf _{3a} 、psf _{3b} 、psf _{3c} 、psf ₁ 、psf ₂ 、psf ₃ 、psf _a 、psf _b 、psf _c 、psf _{1A} 、psf _{2A} 、psf _{3A} 、psf _{1B} 、psf _{2B} 、psf _{3B} 、psf _{1C} 、psf _{2C} 、psf ₃ c	点像関数	10
ra, rb, rc	受信複ビーム信号	
MA0, MBO, MC0, MA1, MB1, MC1, MA2, MB2, MC2, MA3, MB3, MC3	個別ビームメモリ	
BMUX0, BMUX1, BMUX2, BMUX3, SELa, SELb, SELc	メモリ選択器	
MPYBa, MPYBb, MPYBc	乗算器	
BWa, BWb, BWc	重み係数	
SUMB	加算器	
BSM	コヒーレント合成信号	
BWa, BWb, BWc	重み係数	20
SELa, SELb, SELc	メモリ選択器	
BDTa, BDTb, BDTc	検波圧縮手段	
OBND	境界	
acrth	補間関数	
PK	最大値	
	点像関数の回転	
pk	最大値の	
SLa, SLb, SLc	合成信号選択手段	
BDa, BDb, BDC	受信ビームフォーマ出力信号。	

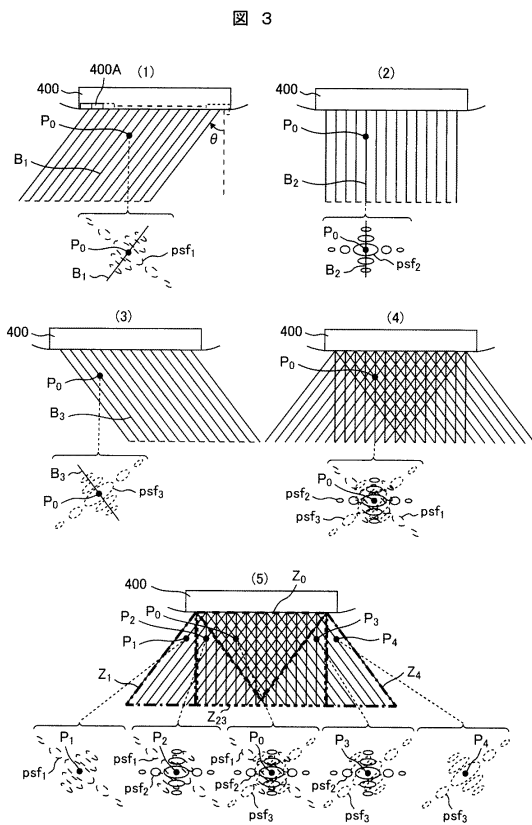
【 図 1 】



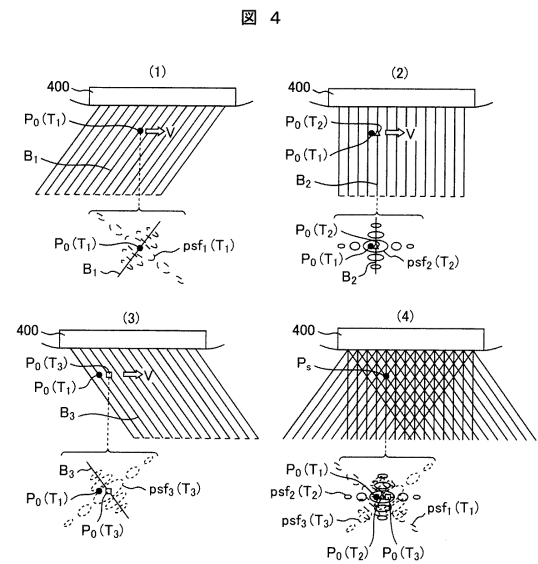
【 図 2 】



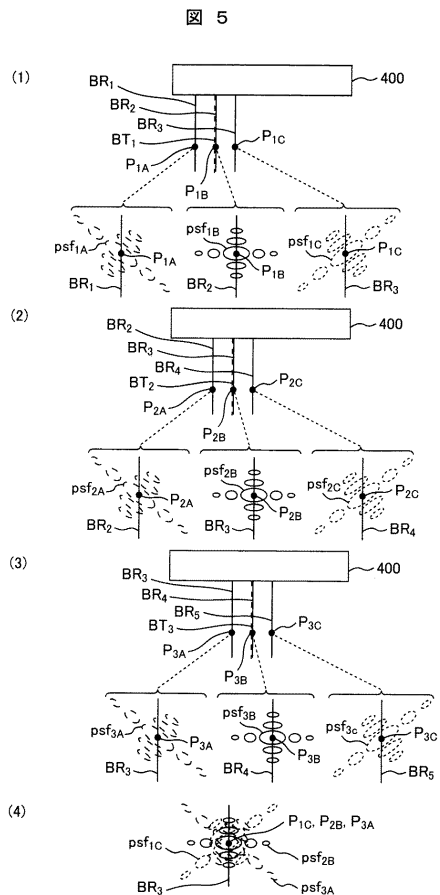
【 図 3 】



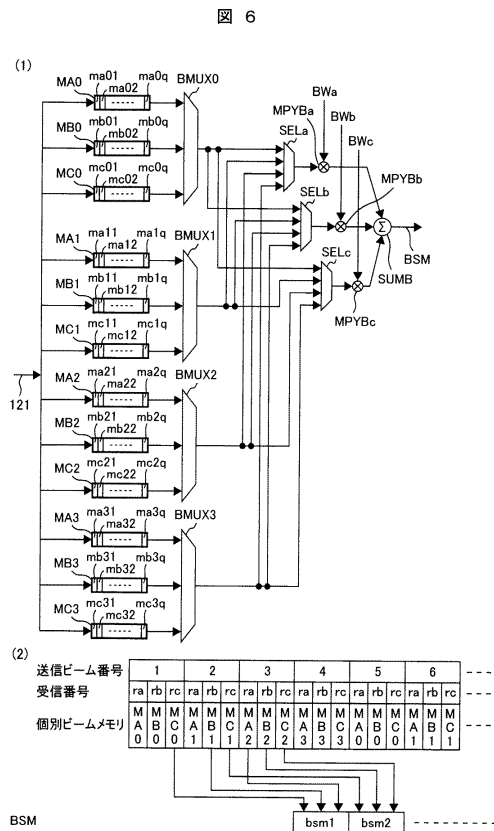
【 図 4 】



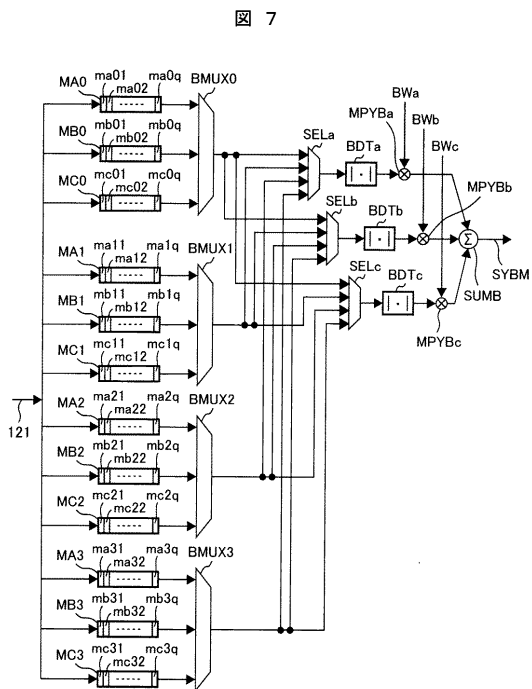
【図5】



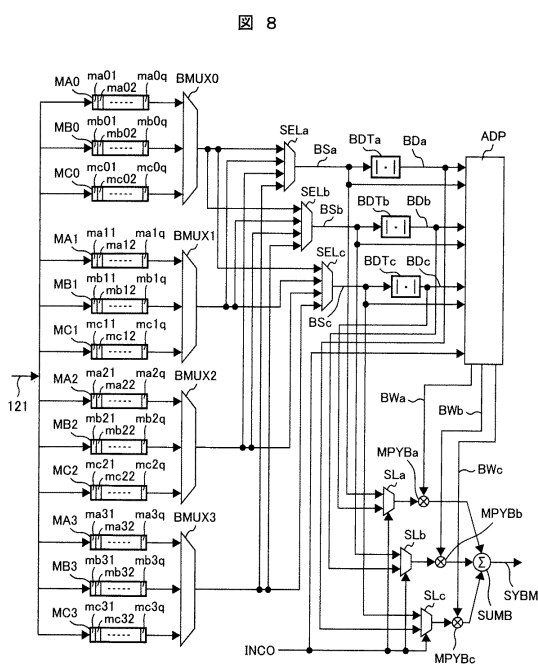
【図6】



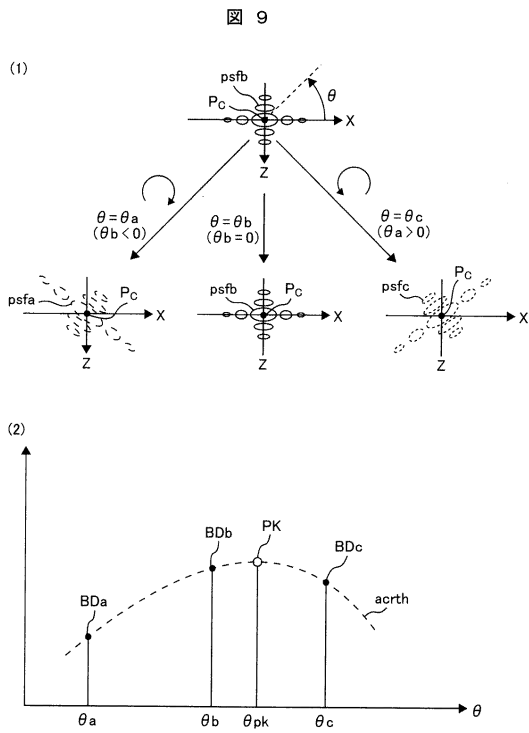
【図7】



【図8】

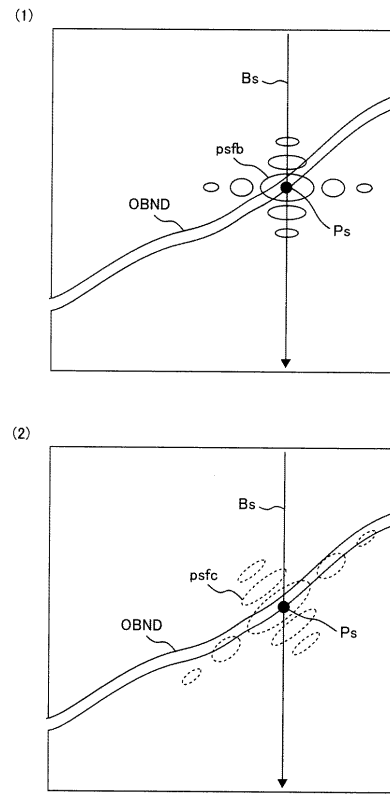


【 図 9 】



【 図 10 】

図 10



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-055282(JP,A)
特開2006-340890(JP,A)
特開2000-051219(JP,A)

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