

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5483905号
(P5483905)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日(2014.2.28)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 8/00

請求項の数 22 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-48746 (P2009-48746)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成21年3月3日(2009.3.3)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2010-200926 (P2010-200926A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成22年9月16日(2010.9.16)	(74) 代理人	100085006
審査請求日	平成24年2月20日(2012.2.20)		弁理士 世良 和信
		(74) 代理人	100100549
			弁理士 川口 嘉之
		(74) 代理人	100106622
			弁理士 和久田 純一
		(74) 代理人	100131532
			弁理士 坂井 浩一郎
		(74) 代理人	100125357
			弁理士 中村 剛
		(74) 代理人	100131392
			弁理士 丹羽 武司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検体からの超音波を受信し被検体の情報を取得する超音波装置であって、
 超音波を受信して受信信号に変換する複数の変換素子と、
 前記複数の変換素子から得られた複数の受信信号を用いて適応型信号処理を行い、第1
 の中間信号を生成する適応型信号処理部と、
 前記複数の受信信号と予め定められた重み係数とを用いて第2の中間信号を生成する固
 定型信号処理部と、
 前記第1の中間信号と前記第2の中間信号に基づいて前記被検体の情報の取得に用いる
 ための出力信号を生成する処理部と、
 を備え、
 前記第1の中間信号より前記第2の中間信号の強度が小さい場合に前記処理部から出力
 される出力信号は、
 前記第2の中間信号、又は、
 前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第1の中間信号より
 も強度が小さい信号であり、
それ以外の場合に前記処理部から出力される出力信号は、
前記第1の中間信号、又は、
前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第2の中間信号より
も強度が小さい信号である

ことを特徴とする超音波装置。

【請求項 2】

前記処理部は、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 2 の中間信号を出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号を出力することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波装置。

【請求項 3】

前記処理部は、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を合成して出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号を出力することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波装置。

【請求項 4】

前記処理部は、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を第 1 の関数で合成して出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を前記第 1 の関数とは異なる第 2 の関数で合成して出力することを特徴とする請求項 1 に記載の超音波装置。

【請求項 5】

前記第 1 の関数は、前記第 1 の中間信号よりも前記第 2 の中間信号の重みが大きい合成手法であり、前記第 2 の関数は、前記第 2 の中間信号よりも前記第 1 の中間信号の重みが大きい合成手法であることを特徴とする請求項 4 に記載の超音波装置。

【請求項 6】

前記第 2 の中間信号より前記第 1 の中間信号の強度が小さい場合に前記処理部から出力される出力信号は、前記第 2 の中間信号よりも強度が小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の超音波装置。

【請求項 7】

前記適応型信号処理部は、前記複数の受信信号に応じて適応的に変化する重み係数を用いて適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の超音波装置。

【請求項 8】

前記適応型信号処理部は、空間平均法を適用した適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の超音波装置。

【請求項 9】

前記適応型信号処理部は、所定の方向に関する感度を固定した状態で出力を最小化するように複数の受信信号を処理することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の超音波装置。

【請求項 10】

前記適応型信号処理部は、前記複数の受信信号を用いて相関行列を算出し、前記相関行列中の部分行列を平均化することにより得られる部分相関行列に基づき重み係数を決定し、前記決定した重み係数を用いて適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の超音波装置。

【請求項 11】

前記固定型信号処理部は、前記予め定められた重み係数として、一様な大きさの重み係数とハミング窓から求められる重み係数とのうち少なくともいずれかを用いることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の超音波装置。

【請求項 12】

被検体からの超音波を受信し被検体の情報を取得する方法であって、

超音波を受信して受信信号に変換する複数の変換素子から得られた複数の受信信号を用いて適応型信号処理を行い、第 1 の中間信号を生成する適応型信号処理ステップと、

前記複数の受信信号と予め定められた重み係数とを用いて第 2 の中間信号を生成する固定型信号処理ステップと、

前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号に基づいて前記被検体の情報の取得に用いるための出力信号を生成する処理ステップと、

10

20

30

40

50

を備え、

前記第 1 の中間信号より前記第 2 の中間信号の強度が小さい場合に前記処理ステップにより出力される出力信号は、

前記第 2 の中間信号、又は、

前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を用いて生成された前記第 1 の中間信号よりも強度が小さい信号であり、

それ以外の場合に前記処理ステップにより出力される出力信号は、

前記第 1 の中間信号、又は、

前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を用いて生成された前記第 2 の中間信号よりも強度が小さい信号である

ことを特徴とする方法。

【請求項 13】

前記処理ステップでは、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 2 の中間信号を出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号を出力することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記処理ステップでは、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を合成して出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号を出力することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

前記処理ステップでは、前記第 2 の中間信号の強度が前記第 1 の中間信号の強度よりも小さい場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を第 1 の関数で合成して出力し、それ以外の場合は前記第 1 の中間信号と前記第 2 の中間信号を前記第 1 の関数とは異なる第 2 の関数で合成して出力することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 16】

前記第 1 の関数は、前記第 1 の中間信号よりも前記第 2 の中間信号の重みが大きい合成手法であり、前記第 2 の関数は、前記第 2 の中間信号よりも前記第 1 の中間信号の重みが大きい合成手法であることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記第 2 の中間信号より前記第 1 の中間信号の強度が小さい場合に前記処理ステップにより出力される出力信号は、前記第 2 の中間信号よりも強度が小さいことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 18】

前記適応型信号処理ステップでは、前記複数の受信信号に応じて適応的に変化する重み係数を用いて適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 12 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

前記適応型信号処理ステップでは、空間平均法を適用した適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 12 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

前記適応型信号処理ステップでは、所定の方角に関する感度を固定した状態で出力を最小化するように複数の受信信号を処理することを特徴とする請求項 12 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 21】

前記適応型信号処理ステップでは、前記複数の受信信号を用いて相関行列を算出し、前記相関行列中の部分行列を平均化することにより得られる部分相関行列に基づき重み係数を決定し、前記決定した重み係数を用いて適応型信号処理を行うことを特徴とする請求項 12 乃至 20 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 22】

前記固定型信号処理ステップでは、前記予め定められた重み係数として、一様な大きさ

10

20

30

40

50

の重み係数とハミング窓から求められる重み係数とのうち少なくともいずれかを用いることを特徴とする請求項 1 2 乃至 2 1 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検体から受信した超音波信号を用いて生体情報を取得する超音波装置にかかり、特に受信信号を適応信号処理する超音波装置に関する。

【背景技術】

【0002】

被検体内からの超音波を受信することで、被検体内の生体情報（例えば断層像もしくは 3 次元像）を取得する手法として、超音波エコーや光音響トモグラフィなどがある。超音波エコーとは、被検体に超音波を送信しその反射波を受信する方法である。光音響トモグラフィは、光エネルギーを被検体内に送信し、光エネルギーの吸収によって断熱膨張した結果生じた弾性波（超音波）を受信する方法である。

【0003】

一方、レーダーの分野などで発展してきた適応型信号処理がある。適応型信号処理の一つである方向拘束電力最小化規範（DCMP：Directionally Constrained Minimization of Power）は、複数の素子で信号を受信した際に、ある方向（信号を得たい方向）に関する感度を固定した状態で信号電力を最小化するように複数の前記受信した信号を演算処理する手法である。適応型信号処理では、受信した信号ごとにその処理パラメータを適応的に変化させる（非特許文献 1）。このような適応型信号処理は空間解像度、特に方位方向の解像度を向上させる効果がある。非特許文献 2 には、このような適応型信号処理を超音波に組み合わせて解像度を向上させた結果が、非特許文献 3 には適応型信号処理を光音響に組み合わせて画像化した結果が記載されている。非特許文献 2、非特許文献 3 で記載されているが、受信信号から相関行列を求めた後に、部分行列を抽出しそれらを平均した部分相関行列を用いて適応型処理を実施している。これは非特許文献 4 に空間平均法として示されている手法である。

【0004】

以下に DCMP 規範の処理について説明し、その後空間平均法を用いる必要性について説明する。

K 個の受信素子アレイで信号を受信したとする。k 番目の素子で受信した信号を $x_k(t)$ とする。この場合、K 素子で受信した信号群は $X(t)$ で表せる。なお、信号は全て解析表現である。

【数 1】

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_K(t)]^T$$

なお、添字の T は転置を意味する。これらの信号を合成して出力するためには、複素ウェイトベクトル W

【数 2】

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_K]^T$$

を受信信号に乗ずる。これにより出力 $y(t)$ を得る。

【数 3】

$$y(t) = W^H X(t) = X^T(t) W^*$$

なお添字 H は複素共役転置を、添字 * は複素共役を意味する。

この複素ウェイトベクトルを入力信号に応じて最適なものに变化させることで、適応的に信号処理した出力 y を得る。

【 0 0 0 5 】

最適な複素ウェイトベクトルを求めるために、まず入力信号を元に相関行列を以下のように算出する。

【 数 4 】

$$R_{xx} = E[X(t)X^H(t)]$$

ここで $E[\cdot]$ は時間平均を求めることを意味する。

10

このような状態で、以下の条件における W を求める。

【 数 5 】

$$\begin{aligned} \min_W (W^H R_{xx} W) \\ \text{subject to } W^H a = 1 \end{aligned}$$

これらの条件は、所望方向（信号を得たい方向）の感度を 1 に拘束（固定）した状態で、出力電力を最小化することを意味する。なお a はステアリングベクトルであり、所望方向を規定している。

20

このような条件から最適ウェイト W_{opt} を算出すると、

【 数 6 】

$$W_{opt} = \frac{R_{xx}^{-1} a}{a^H R_{xx}^{-1} a}$$

と求まる。この最適ウェイトを用いることで、所望方向の感度を 1 にした状態で、出力電力を最小化することが出来る。つまり、この最適ウェイトを使用した受信アレイは所望方向の感度が 1 でノイズ成分の到来方向に対して感度が低い指向性を有する受信パターンを形成する。また、所望方向からの電力 P_{out} は、

30

【 数 7 】

$$P_{out} = \frac{1}{2a^H R_{xx}^{-1} a}$$

で表せる。ここまでが DCMF の基本原理である。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、上記の原理はノイズ成分と所望波とが相関性を持たない場合は成立するが、ノイズ成分と所望波とが相関性を有する場合は成立しない。具体的には所望波と相関性を有するノイズ成分が受信された場合、所望波の方向に感度 1 だが、ノイズ成分の方向にも逆位相で感度を有する指向性の受信パターンを形成してしまう。これは、出力される信号を最小化するためにノイズ成分を逆位相で所望波に加算することで、出力信号を 0 に近づけようとするためである。

40

【 0 0 0 7 】

ところで、超音波の送受信や光音響効果を利用した画像化を行なう場合、所望方向以外から入射（到来）してくるノイズ成分は所望成分と高い相関性を有する。なぜならば、超音波による画像化においては画像情報を得るために素子アレイから送信した超音波の反射波を用いて画像化するため、所望方向からの反射波と、所望以外の方向から反射してくる反射波とが強い相関を有するためである。また、光音響効果を利用した画像化においても入射した光が散乱効果によって広範囲に広がる。そして、被検体内に相関性の高い（類似した）光音響波の発生原因（吸収体等）が存在した場合にはその広範囲から発生する超音

50

波は互いに相関性の高いものが生じる可能性が大きい。

【 0 0 0 8 】

このような相関性の高いノイズに対しても D C M P が動作するようにする手法が空間平均法である。先ほどの相関マトリクスから部分行列を複数抽出し、それらの平均から算出する部分相関行列を用いて最適ウェイトを出すのが空間平均法である。

【 0 0 0 9 】

部分相関行列 $R_{p \times p}$ は以下の式で算出することが出来る。

【 数 8 】

$$X_n(t) = [x_n(t), x_{n+1}(t), \dots, x_{n+M-1}(t)]^T \quad (n = 1, 2, \dots, N) \quad 10$$

$$R_{p \times p} = \sum_{n=1}^N z_n E[X_n(t) X_n^H(t)]$$

なお、N は抽出する部分行列の数、M は $K - N + 1$ で求められる部分行列のサイズである。また z_n は部分行列を平均化する際の重み係数であって、 $z_n = 1 / N$ の時は単純平均となるが、重み関数としてハミング窓やハニング窓、Dolph-Chebyshev 窓などを使用することも可能である。

【 0 0 1 0 】

上記のような部分相関行列 $R_{p \times p}$ を用いて最適ウェイトを算出することで、所望波と相関性の高いノイズ成分が受信された場合であっても、ノイズ成分の方向に感度を有することは回避される。そのため、送受信に超音波を用いた場合や、光音響効果を利用した画像化の場合であっても、D C M P による効果つまりは方位方向の空間分解能向上の効果を得ることが可能となる。

20

【 0 0 1 1 】

なお、特許文献 1 には受信開口を分割し、それぞれの開口で受信したデータを同じように信号処理した結果のうち、出力の小さい方を選択する装置が開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 2 】

30

【 特許文献 1 】 特開平 2 - 2 0 9 1 3 5 号公報

【 非特許文献 】

【 0 0 1 3 】

【 非特許文献 1 】 IEEE Trans. Antennas & Propag. Vol. AP-24, No.5, pp.662-669 (Sep. 1976)

【 非特許文献 2 】 Proc. Acoustics, Speech Signal Process., pp. 489-492 (Mar. 2005)

【 非特許文献 3 】 OPTICS LETTERS, Vol. 33, No. 12, pp1291-1293 (June 15, 2008)

【 非特許文献 4 】 IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process., Vol. ASSP-33, No.3, pp. 527-536 (June 1985)

【 発明の概要 】

40

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 4 】

上記で説明したように、空間平均法を使用することで、送受信に超音波を用いた場合や、光音響効果を利用した画像化の場合であっても適応型信号処理を行うことが可能となった。しかしながら、本発明者らは空間平均法を用いることで新たな課題が発生することを見出した。

【 0 0 1 5 】

実際に D C M P で処理したシミュレーション結果を例示しながら課題を説明する。図 8 A は、11 素子の受信アレイに対して 0 度方向と 20 度方向から信号が来ている場合の角度ごとの到来電力をプロットしたものである。固定型 (Boxcar) はウェイトベクト

50

ルを一様な大きさになるように固定したもので処理した結果であり、固定型 (H a m m i n g) はウェイトベクトルをハミング窓の係数として固定したもので処理した結果である。また、適応型 (D C M P) は空間平均法を用いて処理した結果である。部分行列のサイズは5にした。図中の横軸は角度を、縦軸は到来した信号の電力を表している。

【0016】

いずれの処理手法においても0度方向と20度方向から信号が来ていることが分かる。特に適応型 (D C M P) で処理した結果は方位分解能も高く、また信号の到来方向以外の方向における電力が低く抑えられている。また、固定型 (B o x c a r) や固定型 (H a m m i n g) などの手法においては、受信アレイによって形成される受信パターンの指向性と信号位置とのコンボリューションが到来電力としてプロットされている。固定型では、到来方向ではない方向に生じている山は受信パターンのサイドローブ101、102を反映している。

10

【0017】

次にそれぞれの手法によって形成された受信パターンの指向性を考える。図8Bは0度方向に受信方向を拘束した際の、前記3種類の手法によって形成されるアレイ応答値をプロットし、受信パターンの指向性を示したものである。固定型 (B o x c a r) と固定型 (H a m m i n g) は素子の位置と固定されたウェイトによって指向性パターンが固定されている。固定型 (H a m m i n g) はメインローブ幅201が固定型 (B o x c a r) よりも広いが、サイドローブレベルは低いことが分かる。また、適応型 (D C M P) に注目すると20度方向には感度の低い部分 n u l l 202 を形成しており、所望方向 (0度) 以外からの信号を抑圧していることが分かる。しかしながら適応型 (D C M P) のメインローブ幅203は他の固定型よりも広く、サイドローブレベルも高いことが分かる。

20

【0018】

つまり適応型の処理は、到来方向の信号強度をプロットした際には、方位分解能も高くサイドローブレベルも低い、実際の受信パターンの指向性はメインローブが広くサイドローブレベルが高い。これは空間平均法を用いたことによって実質的な受信開口のサイズが小さくなったことと、空間平均法によってノイズ成分抑圧のための自由度を使用していることが原因である。

【0019】

ここまでの例では、空間平均法を用いることで受信パターンの悪化は見られたものの、最終的な結果つまり角度ごとの到来電力は適応型の処理が3種の中で一番好ましい結果となっている。

30

【0020】

次に図8Cはバックグラウンドのノイズが増大した場合の角度ごとの到来電力をプロットしたものである。3種類の処理手法を比較すると、適応型 (D C M P) の方位分解能が一番高いが、サイドローブレベルは固定型 (B o x c a r) や固定型 (H a m m i n g) よりも高く、10度方向の到来電力は固定型 (B o x c a r) よりも高い。これはバックグラウンドのノイズが増大した場合、適応型処理では、受信パターンのメインローブが広い、もしくは受信サイドローブレベルが高いため、到来電力のサイドローブレベルが固定型と比較して高くなってしまう場合があることを意味する。このように空間平均法を用いた適応型の信号処理を実施した場合においては、受信信号の状況によってはサイドローブレベルが高くなり、画像のコントラスト比が低下するという課題がある。

40

【0021】

本発明は上記の課題を鑑みてなされたものであり、方位分解能が高く、且つ、画像のコントラスト比も良好な超音波装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0022】

本発明にかかる超音波装置は、被検体からの超音波を受信し被検体の情報を取得する超音波装置であって、超音波を受信して受信信号に変換する複数の変換素子と、前記複数の変換素子から得られた複数の受信信号を用いて適応型信号処理を行い、第1の中間信号を

50

生成する適応型信号処理部と、前記複数の受信信号と予め定められた重み係数とを用いて第2の中間信号を生成する固定型信号処理部と、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号に基づいて前記被検体の情報の取得に用いるための出力信号を生成する処理部と、を備え、前記第1の中間信号より前記第2の中間信号の強度が小さい場合に前記処理部から出力される出力信号は、前記第2の中間信号、又は、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第1の中間信号よりも強度が小さい信号であり、それ以外の場合に前記処理部から出力される出力信号は、前記第1の中間信号、又は、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第2の中間信号よりも強度が小さい信号であることを特徴とするものである。

本発明にかかる方法は、被検体からの超音波を受信し被検体の情報を取得する方法であって、超音波を受信して受信信号に変換する複数の変換素子から得られた複数の受信信号を用いて適応型信号処理を行い、第1の中間信号を生成する適応型信号処理ステップと、前記複数の受信信号と予め定められた重み係数とを用いて第2の中間信号を生成する固定型信号処理ステップと、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号に基づいて前記被検体の情報の取得に用いるための出力信号を生成する処理ステップと、を備え、前記第1の中間信号より前記第2の中間信号の強度が小さい場合に前記処理ステップにより出力される出力信号は、前記第2の中間信号、又は、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第1の中間信号よりも強度が小さい信号であり、それ以外の場合に前記処理ステップにより出力される出力信号は、前記第1の中間信号、又は、前記第1の中間信号と前記第2の中間信号を用いて生成された前記第2の中間信号よりも強度が小さい信号であることを特徴とする方法である。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、方位分解能が高く、且つ、画像のコントラスト比も良好な超音波装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】超音波装置のブロック図。

【図2】実施例1の比較合成処理を示す図。

【図3】実施例1の効果を説明する図。

【図4】実施例1の効果を説明するための断層像シミュレーションを示す図。

【図5】実施例2の比較合成処理とその効果を説明する図。

【図6】実施例3の比較合成処理を示す図。

【図7】実施例4の比較合成処理とその効果を説明する図。

【図8】適応型と固定型の処理例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下に図面を参照して、この発明の好適な実施の形態を例示的に詳しく説明する。本発明にかかる超音波装置は、被検体から受信した超音波信号（弾性波信号）を用いて生体情報（断層像、3次元画像など）を取得する装置である。この装置は、例えば医療用の超音波診断に利用される。本発明の特徴的な構成は、超音波の受信信号処理（受信ビームのフォーミング）に関して、適応型信号処理の結果（第1の中間信号）と固定型信号処理の結果（第2の中間信号）を合成して、生体情報の構成に用いるための出力信号を生成する点である。この出力信号から画像を構成することで、方位分解能の向上と画像のコントラスト比の向上を実現する。適応型信号処理とは、所望の観察方向の感度を向上させるために、複数の変換素子（トランスデューサ）で得られた受信電気信号を合成する際の重み係数（ウェイトベクトル）を信号に応じて適応的に変化させる方法である。適応型信号処理としては、例えば方向拘束付電力最小化規範（DCMP）を好ましく利用できる。さらに、最小平均2乗誤差アルゴリズム（LMS）、最大S/N規範（MSN）、MUSIC法（Multiple Signal Classification）などの適応型信号処理を用いることもできる。また所

望波とノイズの相関性抑制のために、適応型信号処理にいわゆる空間平均法を組み合わせることが好ましい。空間平均法とは、受信電気信号同士の相関行列を求め、相関行列から複数の部分行列を抽出し、複数の部分行列を平均化することで部分相関行列を算出し、その部分相関行列から重み係数を決定する方法である。一方、固定型信号処理とは、予め定められた（固定の）重み係数を用いて複数の受信電気信号を合成する方法である。固定型信号処理としては、重み係数を一様な大きさに設定する方法（固定型（Boxcar）とよぶ）、重み係数をハミング窓の係数に設定する方法（固定型（Hanning）とよぶ）などがある。なお重み係数の窓関数にはどのようなものを用いてもよい。以下、第1および第2の中間信号の具体的な合成手法について説明する。

【0026】

<実施例1>

実施例1では信号電力を用いて処理を行う超音波装置について説明する。

【0027】

（超音波装置の構成）

図1は超音波装置のシステム概略図である。超音波装置は、超音波プローブ001、送信回路系003、システム制御部004、受信回路系005、固定型信号処理ブロック006、適応型信号処理ブロック007、比較合成処理ブロック008、画像処理系009を備える。超音波プローブ001は、複数の振動子（変換素子；トランスデューサ）002を備える。この超音波装置には、画像処理系009から出力される画像を表示するための画像表示装置010が接続されている。適応型信号処理ブロック007は、空間平均法を適用したDCMPにより、受信電気信号から第1の中間信号を生成する適応型信号処理部である。固定型信号処理ブロック006は、固定型（Boxcar）と固定型（Hanning）のいずれか又は両方により、受信電気信号から第2の中間信号を生成する固定型信号処理部である。また比較合成処理ブロック008は、第1の中間信号と第2の中間信号を比較し合成する合成部である。なお、空間平均法を適用したDCMP、固定型（Boxcar）、固定型（Hanning）の各処理の内容は既に述べたため、詳しい説明を省略する。

【0028】

（超音波装置の動作）

超音波を送信する位置（送信フォーカス）が設定されると、システム制御部004から送信回路系003にその設定情報が送られる。送信回路系003はその情報に基づいて、時間遅延ならびに強度を決定した後、超音波プローブ001内の複数の振動子002を駆動するための電気信号を送信する。この電気信号は振動子002において変位に変換され、被検体内を超音波として伝播する。このようにして送信された超音波は被検体内の音響的性質により散乱・反射された超音波信号として振動子002に戻ってくる。この複数の振動子002が超音波・電気の変換素子として動作することで超音波信号を複数の受信電気信号に変換する。この複数の受信電気信号は受信回路系005に入力される。受信回路系005はシステム制御部004から与えられた情報に対応して、深さに応じた信号増幅率の調整や、受信位置による時間遅延の調整などを行う。このような調整を行った後、受信電気信号は固定型信号処理ブロック006ならびに適応型信号処理ブロック007に入力される。

【0029】

固定型信号処理ブロック006は、予め定められた固定ウェイトベクトルを用いて、複数の受信電気信号から信号電力P2（第2の中間信号）を生成し、比較合成処理ブロック008へと出力する。なお、固定ウェイトベクトルは受信電気信号に応じて変化はしないが、深さや信号周波数、超音波プローブの種類に応じて変化させても良い。

【0030】

適応型信号処理ブロック007は、空間平均法で得た部分相関行列と指定された観察方向とからウェイトベクトルを適応的に決定し、そのウェイトベクトルを用いて、複数の受信電気信号から信号電力P1（第1の中間信号）を生成する。なお、観察方向を指定する

10

20

30

40

50

ためのベクトルは受信回路系 005 で信号の時間遅延処理が終了していれば特に指定する必要はない。ただし、別途観察方向を指定する場合はシステム制御部 004 から情報を送信する。このようにして算出された信号電力 P1 は比較合成処理ブロック 008 へと出力される。

【0031】

比較合成処理ブロック 008 は、入力された 2 つの信号電力 P1、P2 を元に処理を行う。この処理については後述する。比較合成処理ブロック 008 から出力された信号は画像処理系 009 へ入力され、スキャン領域に合わせた並べ替えやスムージング、エッジ強調などの各種画像処理が行われ、断層像もしくは 3 次元画像が生成される。その画像は画像表示装置 010 に表示される。以上が主な信号の流れとなる。

10

【0032】

(比較合成処理)

次に図 2 を用いて比較合成処理ブロック 008 における処理について述べる。比較合成処理ブロック 008 は、適応型信号処理によって求められた信号電力 P1 と固定型信号処理によって求められた信号電力 P2 を入力として、2 つの信号電力を比較する。信号電力 P2 が信号電力 P1 よりも小さい場合、つまり適応型よりも固定型の信号処理の信号電力が小さい場合、比較合成処理ブロック 008 は、固定型の信号処理の結果である P2 を採用し出力する。それ以外の場合は、比較合成処理ブロック 008 は、適応型の信号処理の結果である P1 を採用し出力する。

【0033】

図 3 A は、本実施例の比較合成処理で得られた信号を図 8 C に加えたものである。図 3 A において、「適応型 (DCMP)」の信号電力が第 1 の中間信号 P1 に対応し、「固定型 (Hamming)」の信号電力が第 2 の中間信号 P2 に対応している。比較合成処理では、固定型 (Hamming) の信号電力が適応型 (DCMP) の信号電力よりも小さい場合は、固定型 (Hamming) の信号電力が出力され、それ以外では適応型 (DCMP) の信号電力が出力される。その結果、図 3 A の太線で示すような出力信号が得られる。また、図 3 B は「固定型 (Hamming)」の信号電力と「固定型 (Boxcar)」の信号電力の 2 つを第 2 の中間信号 P2 とし、「適応型 (DCMP)」の信号電力を第 1 の中間信号 P1 として処理した結果を示している。つまり、固定型 (Hamming)、固定型 (Boxcar)、適応型 (DCMP) の内、最小の電力が出力される。

20

30

【0034】

図 4 A ~ 図 4 C は、点ターゲットを可視化した場合の断層像シミュレーションである。図 4 A は固定型信号処理ブロック 006 の出力信号 P2 をそのままプロットしたもの、図 4 B は適応型信号処理ブロック 007 の出力信号 P1 をそのままプロットしたもの、図 4 C は比較合成処理ブロック 008 の出力信号 Pout をプロットしたものである。図 4 A ~ 図 4 C を見て分かるように、本実施例の信号処理を行うことで、点ターゲットの空間分解能を高く保持したまま、点ターゲット周辺に存在するサイドローブが原因と思われるノイズも抑制できている。

【0035】

以上、説明したように本実施例においては、固定型と適応型の 2 種類の信号処理によって算出された信号電力を選択することで、空間分解能が高くコントラスト比の低下を抑制した画像を得ることが出来る。

40

【0036】

なお、本実施例では超音波を送信し、その反射波を使用して画像化した。送信を超音波ではなく、特定の波長の光エネルギーを入射することに変更すれば、光音響効果によって生じた超音波に対して同様の受信信号処理を行うことができ、その際も空間分解能が高くコントラスト比の低下を抑制した画像を得ることが可能である。

【0037】

< 実施例 2 >

次に、本発明の実施例 2 について説明する。本実施例では、実施例 1 で示した図 1 のシ

50

システムを用いることが可能であるが、比較合成処理ブロック 008 において違う処理を行う。図 5 A はその処理を示したものである。比較合成処理ブロック 008 は、適応型信号処理によって求められた信号電力 P_1 と固定型信号処理によって求められた信号電力 P_2 を入力として、2 つの信号電力を比較する。信号電力 P_2 が信号電力 P_1 よりも小さい場合、つまり適応型よりも固定型の信号処理の信号電力が小さい場合、比較合成処理ブロック 008 は、信号電力 P_1 と信号電力 P_2 とを合成して出力する。それ以外の場合、比較合成処理ブロック 008 は、適応型の信号処理の結果である P_1 を採用し出力する。信号電力 P_1 と信号電力 P_2 との合成手法は、例えば単純平均、相乗平均などを用いることができる。またシステム制御部 004 から送信される係数 α を用いて、重み付き平均、重み付き相乗平均などを計算してもよい。それぞれの合成手法により得られる信号 $P_{out} = f(P_1, P_2)$ は、以下のように表せる。

【数 9】

$$\text{単純平均 : } P_{out} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$\text{相乗平均 : } P_{out} = \sqrt{P_1 \times P_2}$$

$$\text{重み付き平均 : } P_{out} = (1 - \alpha)P_1 + \alpha P_2$$

$$\text{重み付き相乗平均 : } P_{out} = P_1^{(1-\alpha)} \times P_2^\alpha$$

【0038】

図 5 B はそれぞれの手法の処理結果を示している。係数 α は 0.8 とした。このように P_1 と P_2 とを合成して出力することで、出力 P_{out} が適応型とそれ以外とに切り替わる部分での急激な信号電力の変化を抑制することが出来る。このことによって画像を表示した際の輝度の不自然な変化が強調されることを防止し、より見やすい画像を提供することが可能となる。なお、係数 α はあらかじめ設定されている値を用いても構わないが、画像表示中に操作者が変更することも可能である。

【0039】

< 実施例 3 >

次に、本発明の実施例 3 について説明する。本実施例も実施例 1 で用いた図 1 のシステムで実現可能である。ただし、処理ブロック間でやり取りする信号が異なるため、再度図 1 を用いて固定型信号処理ブロック 006、適応型信号処理ブロック 007、および比較合成処理ブロック 008 の動作を説明する。

【0040】

実施例 1 と同様、受信電気信号が受信回路系 005 から固定型信号処理ブロック 006 ならびに適応型信号処理ブロック 007 に入力される。固定型信号処理ブロック 006 は、予め定められた固定ウェイトベクトルを用いて、複数の受信電気信号から振幅信号 S_2 (第 2 の中間信号) を生成し、比較合成処理ブロック 008 へと出力する。なお、固定ウェイトベクトルは受信電気信号に応じて変化はしないが、深さや信号周波数、超音波プローブの種類に応じて変化させても良い。適応型信号処理ブロック 007 は、空間平均法で得た部分相関行列と指定された観察方向とからウェイトベクトルを適応的に決定し、そのウェイトベクトルを用いて、複数の受信電気信号から振幅信号 S_1 (第 1 の中間信号) を生成する。観察方向の指定方法は実施例 1 と同様である。振幅信号 S_1 は比較合成処理ブロック 008 へと出力される。

【0041】

次に図 6 を用いて比較合成処理ブロック 008 における処理について述べる。比較合成処理ブロック 008 は、適応型信号処理によって求められた振幅信号 S_1 と固定型信号処理によって求められた振幅信号 S_2 を入力として、2 つの信号電力 P_1 、 P_2 を算出する。比較合成処理ブロック 008 は、この信号電力 P_1 、 P_2 を比較する。信号電力 P_2 が信号電力 P_1 よりも小さい場合、つまり適応型よりも固定型の信号処理の信号電力が小

10

20

30

40

50

い場合、比較合成処理ブロック 008 は、固定型の信号処理の結果である S2 と適応型の信号処理結果である S1 とを合成して出力する。それ以外の場合、比較合成処理ブロック 008 は、適応型の信号処理の結果である S1 を採用し出力する。合成の手法は実施例 2 と同様、単純平均、相乗平均、重み付き平均、重み付き相乗平均などを用いることができる。本実施例では、信号電力ではなく振幅信号を出力可能なため、この後の処理としてドップラ処理による被検体内の速度を求めたりするなどの位相情報を必要とする処理を実施することが可能となる。

【0042】

< 実施例 4 >

次に本発明の実施例 4 について説明する。本実施例も図 1 のシステムで実施可能であるが、比較合成処理ブロックにおける処理が異なるためその部分に注目して説明を行う。なお、本実施例では比較合成処理ブロックに信号電力 P1、P2 が入力される。

【0043】

図 7A は本実施例の比較合成処理ブロックにおける処理を説明した図である。比較合成処理ブロック 008 は、適応型信号処理によって求められた信号電力 P1 と固定型信号処理によって求められた信号電力 P2 を入力として、2 つの信号電力を比較する。信号電力 P2 が信号電力 P1 よりも小さい場合、つまり適応型よりも固定型の信号処理の信号電力が小さい場合、比較合成処理ブロック 008 は、信号電力 P1 と信号電力 P2 とを第 1 の関数 $f(P1, P2)$ を用いて合成する。それ以外の場合、比較合成処理ブロック 008 は、信号電力 P1 と信号電力 P2 とを第 2 の関数 $g(P1, P2)$ を用いて合成する。関数 f 、 g としては、単純平均、相乗平均、重み付き平均、重み付き相乗平均などを用いることができる。ただし、関数 f 、 g は、合成の式および / または重みの係数が互いに異なっている。

【0044】

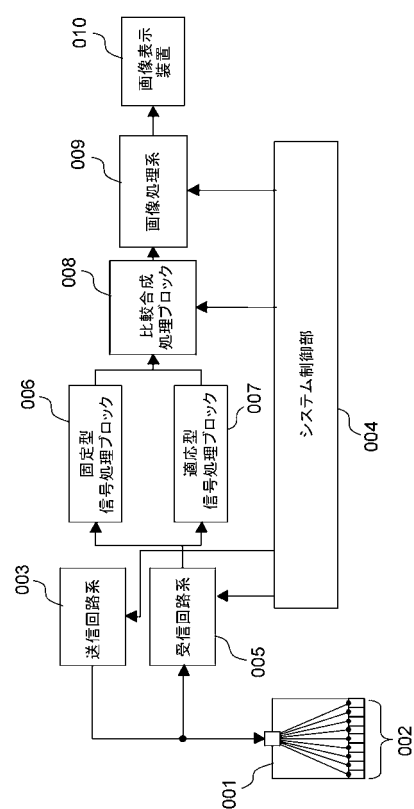
図 7B には本実施例の処理結果を示した。固定型からの信号電力は Boxcar と Hamming 窓の信号電力の小さい方を入力し、適応型からの信号電力は空間平均法を適用した DCMF の処理結果である。また、図 7B は重み付け平均と重み付け相乗平均の結果を示している。なお、固定型の信号電力が小さい場合（関数 f ）の係数の値は 0.1、適応型の信号電力が小さい場合（関数 g ）の係数の値は 0.8 を使用している。つまり、関数 f は、固定型の信号電力 P2 の重みが大きい合成手法であり、関数 g は、適応型の信号電力 P1 の重みが大きい合成手法である。固定型の信号電力が小さい場合は、本実施例のような処理を行うことで空間平均法によって上昇してしまうサイドロープレベルを抑圧し画像のコントラスト比を高く保つ効果があり、さらに信号電力を合成することで、輝度の不自然な変化が強調されること防止する。また、適応型の信号電力が小さい場合にも、P1 と P2 の合成を行うことで、出力 Pout の式が切り替わる部分での急激な信号電力の変化を抑制することが可能となる。また、適応型信号処理は空間分解能を向上させるため、固定型の信号処理では画面上で広がりを持っていた被検体内の反射体であっても、例えば適応型の信号処理を行なうと画面表示上では 1 ピクセルの輝点となってしまう場合がある。このような場合であっても、本実施例のように適応型の信号電力が固定型の信号電力よりも小さい部分で 2 種類の信号電力を合成することで、空間分解能を少し劣化させ、視認性を高めることが可能となる。

【符号の説明】

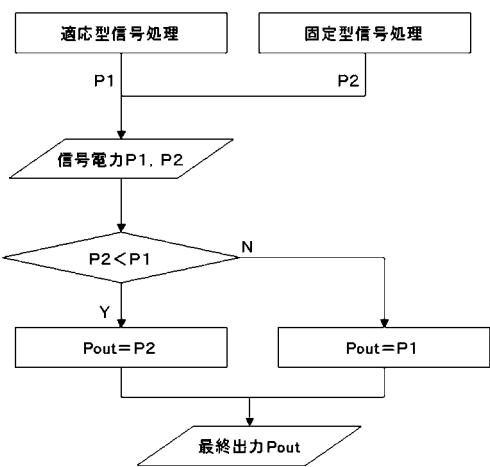
【0045】

002 ... 振動子（変換素子）、006 ... 固定型信号処理ブロック（固定型信号処理部）、007 ... 適応型信号処理ブロック（適応型信号処理部）、008 ... 比較合成処理ブロック（合成部）

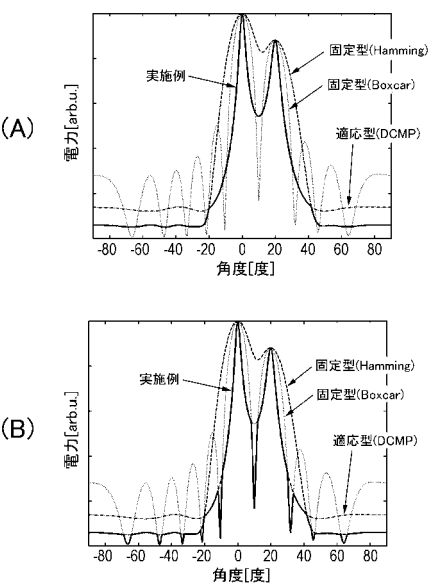
【図 1】



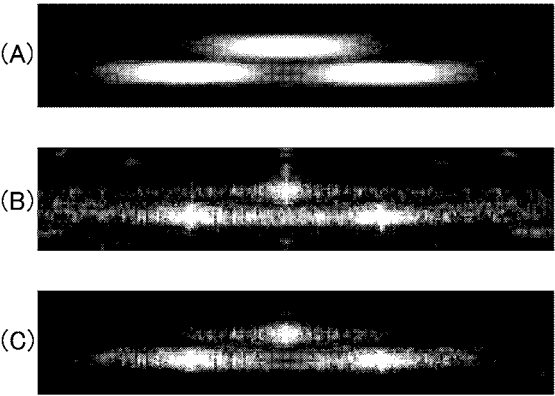
【図 2】



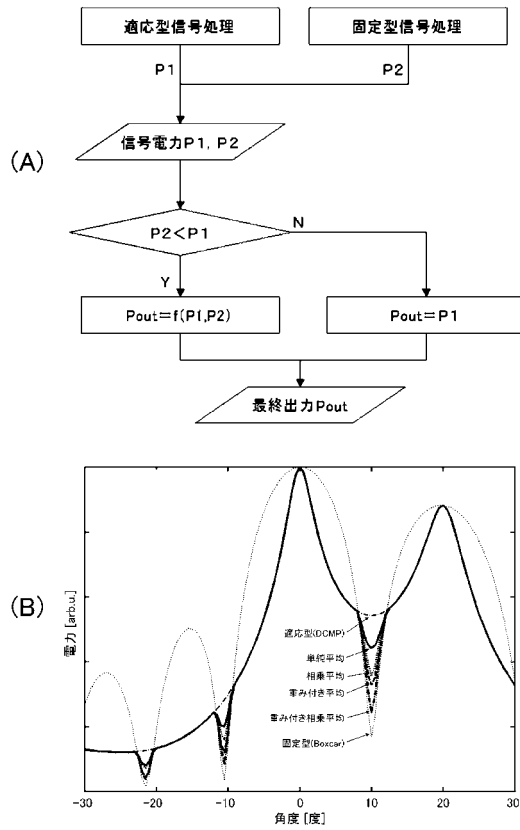
【図 3】



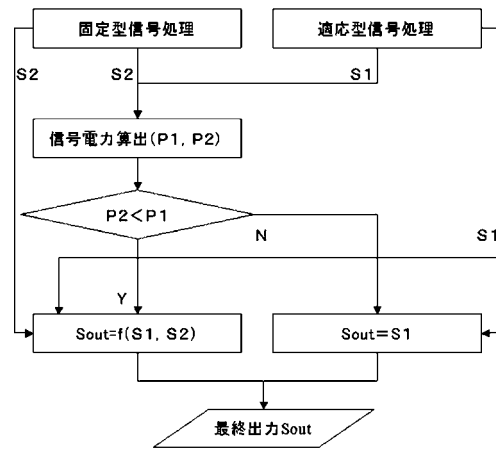
【図 4】



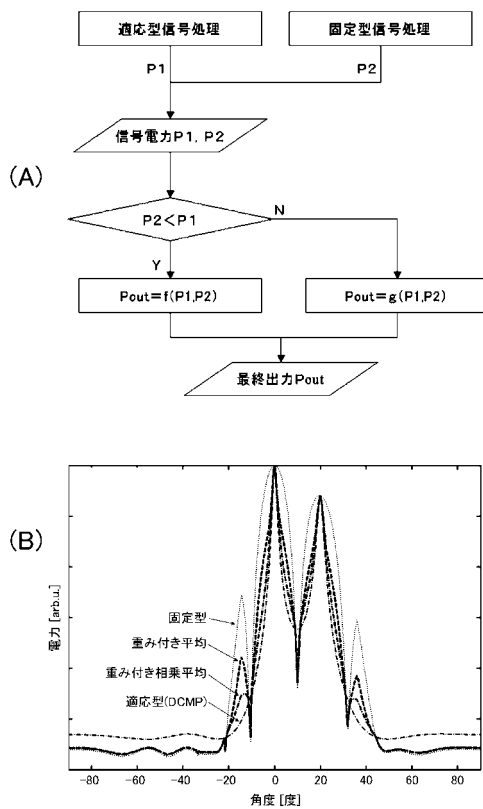
【図 5】



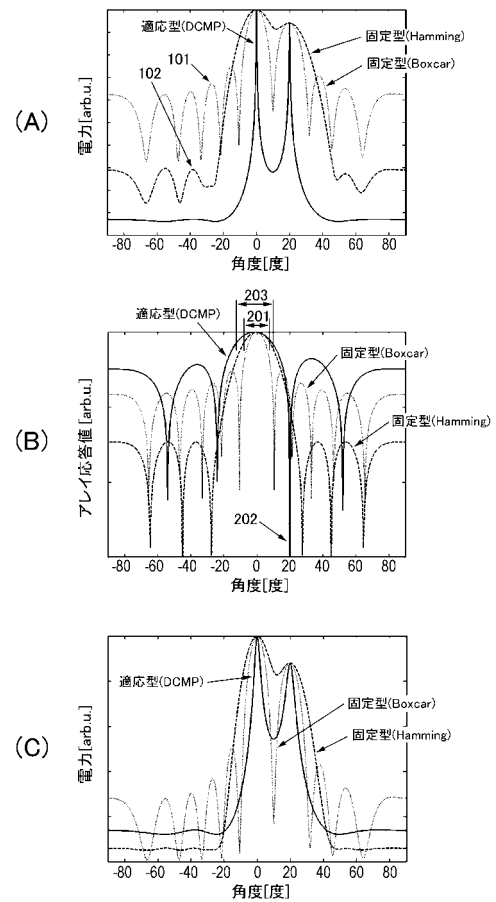
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 長永 兼一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 杉田 翠

(56)参考文献 特開2001-187055(JP,A)

特開2003-038490(JP,A)

特開平02-209135(JP,A)

Suhyun Park, Adaptive beamforming for photoacoustic imaging using linear array transducer, IEEE Ultrasonics Symposium, 2008. IUS 2008., 2008年11月 2日, Pages: 1088 - 1091

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B8/00 - 8/15

G01N29/00 - 29/02

29/04 - 29/06

29/09

29/12 - 29/26

29/28 - 29/30

29/38

29/44

G01S1/72 - 1/82

3/80 - 3/86

5/18 - 5/30

7/52 - 7/64

15/00 - 15/96

JSTPlus(JDreamII)

CiNii

专利名称(译)	超音波装置		
公开(公告)号	JP5483905B2	公开(公告)日	2014-05-07
申请号	JP2009048746	申请日	2009-03-03
[标]申请(专利权)人(译)	佳能株式会社		
申请(专利权)人(译)	佳能公司		
当前申请(专利权)人(译)	佳能公司		
[标]发明人	長永兼一		
发明人	長永 兼一		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	G01N29/44 G01N2291/106 G01S7/52047		
FI分类号	A61B8/00		
F-TERM分类号	4C601/EE01 4C601/EE04 4C601/JB41 4C601/JB48 4C601/JB51		
代理人(译)	川口义行 中村刚		
其他公开文献	JP2010200926A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

横向分辨率高，并且图像的对比度也提供良好的超声波装置。超声系统包括自适应信号处理块（007）和所述固定信号处理块（006）。自适应信号处理块获得多个接收的电信号之间的相关性矩阵，提取多个子矩阵的从相关矩阵，通过平均多个子矩阵的计算的部分相关矩阵，该从部分相关矩阵确定所述加权因子通过使用聚合观察系数多个接收到的电信号的组合，以产生一个第一中间信号。固定信号处理块通过使用预先确定的加权因子，所述多个接收到的电信号进行合成来生成第二中间信号。然后，比较和合成处理框008，通过比较合成第一和第二中间信号，以产生输出信号。点域1

$$X_n(t) = [x_n(t), x_{n+1}(t), \dots, x_{n+M-1}(t)]^T \quad (n=1, 2, \dots, N)$$

$$R_{pxx} = \sum_{n=1}^N z_n E[X_n(t) X_n^H(t)]$$