

(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2021-107791
(P2021-107791A)

(43) 公開日 令和3年7月29日(2021.7.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 7/288 (2006.01)	GO 1 S 7/288	5 J 0 7 0
GO 1 S 13/28 (2006.01)	GO 1 S 13/28	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2019-239505 (P2019-239505)	(71) 出願人	504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1
(22) 出願日	令和1年12月27日 (2019.12.27)	(74) 代理人	110000925 特許業務法人信友国際特許事務所
		(72) 発明者	稲葉 敬之 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		(72) 発明者	渡辺 一宏 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		(72) 発明者	秋田 学 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		Fターム(参考)	5J070 AB07 AC02 AH19 AH31 AH39 AJ13 AK22

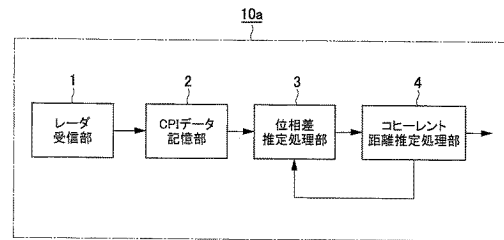
(54) 【発明の名称】 目標検知装置、目標検知方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】使用する周波数帯域を適切な帯域に設定した上で、従来よりも高分解能化や信頼性の向上を図ることができる目標検知装置を提供する。

【解決手段】レーダ受信部1より得た同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号が供給される位相差推定処理部3と、コヒーレント距離推定処理部4とを備える。位相差推定処理部3は、複数単位の観測時間の各受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する。コヒーレント距離推定処理部4は、位相差推定処理部3で得た位相差を用いた得た信号から最適評価値を判定して、最適評価値から目標の距離を得る。ここで、位相差推定処理部3での位相差の推定と、その推定した位相差を使ったコヒーレント距離推定処理部4での最適評価値の判定で、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評価値での推定距離を、目標の距離として出力する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号を取得し、取得した複数単位の観測時間の受信信号を記憶する記憶部と、

前記記憶部が記憶した複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理部と、

前記位相差推定処理部で得た位相差を用いて得た信号から最適評価値を判定し、最適評価値から目標の距離を得るコヒーレント距離推定処理部とを備え、

前記位相差推定処理部での位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記コヒーレント距離推定処理部での最適評価値の判定とを複数回繰り返して、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評価値での推定距離を、目標の距離として出力する

目標検知装置。

【請求項 2】

前記記憶部が記憶した複数単位の観測時間の受信信号から、それぞれの受信信号ごとに最適評価値を算出し、算出した各周波数帯域の最適評価値の和が最大となる最適評価値を探索して、目標の距離情報を得るノンコヒーレント距離推定処理部をさらに備え、

前記位相差推定処理部は、前記ノンコヒーレント距離推定処理部で得た目標の距離情報から、各受信信号の位相差を推定する

請求項 1 に記載の目標検知装置。

【請求項 3】

前記ノンコヒーレント距離推定処理部で得た目標の距離情報から、目標以外の距離情報を除いて距離推定を行う推定対象選択距離推定部をさらに備え、

前記位相差推定処理部は、前記推定対象選択距離推定部で得た目標の距離情報から、分離した複数の周波数帯の受信信号の位相差を推定する

請求項 2 に記載の目標検知装置。

【請求項 4】

前記コヒーレント距離推定処理部は、目標以外の距離情報を除いて距離推定を行うようにした

請求項 3 に記載の目標検知装置。

【請求項 5】

前記位相差推定処理部による位相差の推定処理と、前記コヒーレント距離推定処理部による最大となる最適評価値を探索する処理を同時の演算で行うようにした

請求項 1 に記載の目標検知装置。

【請求項 6】

前記位相差推定処理部による位相差の推定処理と、前記コヒーレント距離推定処理部による最大となる最適評価値を探索する処理を同時の演算で行う際に、位相差の初期値は、乱数値とした

請求項 5 に記載の目標検知装置。

【請求項 7】

前記複数単位の観測時間の受信信号は、1つの受信アンテナで受信された同じ周波数帯の異なる時間の受信信号である

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の目標検知装置。

【請求項 8】

前記記憶部は、アレーアンテナ受信信号記憶部であり、

前記アレーアンテナ受信信号記憶部が記憶した同じ周波数帯又は異なる周波数帯の同じ時間の受信信号である

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の目標検知装置。

【請求項 9】

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理部と、

10

20

30

40

50

前記位相差推定処理部で得た複数の受信信号の位相差から、目標以外の距離情報を除いて距離推定を行う推定対象選択距離推定部とを備え、

前記位相差推定処理部での位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記推定対象選択距離推定部での距離推定とを複数回繰り返して、終了判定条件を満たすときの推定距離を、目標の距離として出力する

目標検知装置。

【請求項 10】

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理と、

前記位相差推定処理で得た位相差を用いて得た信号から最適評価値を判定し、最適評価値から目標の距離を得るコヒーレント距離推定処理と、

前記位相差推定処理での位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記コヒーレント距離推定処理での最適評価値の判定とを複数回繰り返して、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評価値での推定距離を、目標の距離として出力する目標距離探索処理と、を含む

目標検知方法。

【請求項 11】

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理と、

前記位相差推定処理で得た複数の周波数帯の受信信号の位相差から、目標以外の距離情報を除いて距離推定を行う推定対象選択距離推定処理と、

前記位相差推定処理での位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記推定対象選択距離推定処理での距離推定とを複数回繰り返して、終了判定条件を満たすときの推定距離を、目標の距離として出力する目標距離探索処理と、を含む

目標検知方法。

【請求項 12】

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理ステップと、

前記位相差推定処理ステップで得た位相差を用いた得た信号から最適評価値を判定し、最適評価値から目標の距離を得るコヒーレント距離推定処理ステップと、

前記位相差推定処理ステップでの位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記コヒーレント距離推定処理ステップでの最適評価値の判定とを複数回繰り返して、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評価値での推定距離を、目標の距離として出力する目標距離探索処理ステップと、をコンピュータに実行させる

プログラム。

【請求項 13】

レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定ステップと、

前記位相差推定ステップで得た複数の受信信号の位相差から、目標以外の距離情報を除いて距離推定を行う推定対象選択距離推定ステップと、

前記位相差推定ステップでの位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記推定対象選択距離推定ステップでの距離推定とを複数回繰り返して、終了判定条件を満たすときの推定距離を、目標の距離として出力する目標距離探索ステップと、をコンピュータに実行させる

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーダにより高性能な計測を可能とする目標検知装置、目標検知方法及びプログラムに関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

近年、ミリ波帯の利用による車載レーダ装置やインフラとして設置されたレーダ装置の高分解能化や高信頼性が求められている。すなわち、既存の車載レーダ装置であっても、車両などの比較的大きな物体の検知は可能であるが、歩行者やさらに小さな対象物の検知を可能とする必要があり、ミリ波レーダのさらなる高分解能化や高信頼性が求められている。

【0003】

レーダ装置の高分解能化を図るためには、例えば使用する周波数帯を増やして、それぞれの周波数帯域での受信信号を合成することが考えられる。

例えば本出願は先に、離隔した複数の周波数帯のレーダ群の受信信号を取得して、それぞれの離隔した複数の周波数帯の受信信号の位相差を推定し、推定した位相差を使って、コヒーレント距離推定処理で最適評価値を判定して、目標の距離を得る離隔周波数合成レーダ装置を提案した（特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2018-132523号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載されたように、複数の周波数帯を使用することで、実質的に受信周波数帯が広がり、目標の検出精度が向上する。

しかしながら、レーダ装置が利用できる周波数帯域は、使用する国での法規などにより制約があり、利用できる周波数帯は限られている。また、複数の周波数帯を使用するためには、レーダ装置で複数の周波数帯を受信する受信回路が必要になり、それだけレーダ装置の構成が複雑化してしまうという問題がある。

【0006】

本発明はこれらの点に鑑みてなされたものであり、使用する周波数帯域を適切な帯域に設定した上で、従来よりも高分解能化や信頼性の向上を図ることができる目標検知装置、目標検知方法及びプログラム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】

【0007】

本発明の目標検知装置は、レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号を取得し、取得した複数単位の観測時間の受信信号を記憶する記憶部と、記憶部が記憶した複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理部と、位相差推定処理部で得た位相差を用いて得た信号から最適評価値を判定し、最適評価値から目標の距離を得るコヒーレント距離推定処理部とを備える。

そして、位相差推定処理部での位相差の推定と、その推定した位相差を使ったコヒーレント距離推定処理部での最適評価値の判定とを複数回繰り返して、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評価値での推定距離を、目標の距離として出力するようにした。

【0008】

また、本発明の目標検知方法は、レーダ受信部より得たそれぞれ同じ周波数帯又は異なる周波数帯の複数単位の観測時間の受信信号に基づいて、各受信信号の位相差を推定する位相差推定処理と、位相差推定処理で得た位相差を用いて得た信号から最適評価値を判定し、最適評価値から目標の距離を得るコヒーレント距離推定処理と、位相差推定処理での位相差の推定と、その推定した位相差を使った前記コヒーレント距離推定処理での最適評価値の判定とを複数回繰り返して、最大となる最適評価値を探索して、最大となる最適評

10

20

30

40

50

価値での推定距離を、目標の距離として出力する目標距離探索処理と、を含む。

【0009】

また、本発明のプログラムは、目標検知方法の各処理をコンピュータに実行させるものである。

【発明の効果】

【0010】

本発明によると、レーダ受信部より得た受信信号を単純に平均化した場合よりも高分解能化を図ることができ、目標を検出する上で信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施の形態例によるレーダ装置の受信信号を得る構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態例による受信信号の合成処理の例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態例によるレーダ装置のブロック図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態例による処理例を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第1の実施の形態例による推定距離と尤度値との関係の例を示す説明図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態例によるRMS改善状況の例を示す特性図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態例によるレーダ装置の受信信号を得る構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態例による受信信号の合成処理の例を示す図である。

【図9】本発明の第2の実施の形態例によるレーダ装置の例を示すブロック図である。

【図10】本発明の第3の実施の形態例によるレーダ装置の受信信号を得る構成を示すブロック図である。

【図11】本発明の第3の実施の形態例によるレーダ装置の例を示すブロック図である。

【図12】本発明の第4の実施の形態例によるレーダ装置の例を示すブロック図である。

【図13】本発明の第5の実施の形態例によるレーダ装置の例を示すブロック図である。

【図14】本発明の第6の実施の形態例によるレーダ装置の例を示すブロック図である。

【図15】本発明の第6の実施の形態例による処理例を示すフローチャートである。

【図16】本発明の実施の形態例の変形例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】

【0012】

以下、本発明の各実施の形態例を、図面を参照して順に説明する。各実施の形態例を説明する図面において、同一の部分には同一の符号を付し、別の実施の形態例で既に説明した構成や処理についての重複説明は省略する。

【0013】

< 第1の実施の形態例 >

まず、本発明の第1の実施の形態例の多周波ステップレーダ装置を、図1～図6を参照して説明する。ここでの多周波ステップレーダ装置は、周囲の物体を検知する目標検知装置として使用するものである。

図1は、第1の実施の形態例のレーダ装置の受信信号を得るまでの構成を示す。

第1の実施の形態例のレーダ装置は、レーダ受信素子101、アナログ/デジタル変換器102、パルス圧縮部103a～103n、パルスドップラフィルタ104a～104n、及び位相補償部105a～105nを備える。

【0014】

レーダ受信素子101は、不図示の送信系から特定の周波数 F_0 で送信された信号の反射波を受信するアンテナ素子である。ここでの周波数 F_0 は、2.4GHz帯、6.0GHz帯、7.6GHz帯、7.9GHz帯などの周波数帯域が使用される。ここでの送信信号としては、例えば相補の関係にある2つのパルス(Code 1、2)を、1単位の観測時間内にM回繰り返し送信する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

レーダ受信素子 1 0 1 で得られたレーダ受信信号は、アナログ/デジタル変換器 1 0 2 でデジタル信号に変換される。なお、図 1 では説明を簡単にするために、レーダ受信素子 1 0 1 を直接アナログ/デジタル変換器 1 0 2 に接続してあるが、実際にはレーダ受信素子 1 0 1 に受信系回路が接続され、受信系回路で処理された特定の周波数 f_0 の受信信号が、アナログ/デジタル変換器 1 0 2 でデジタル信号に変換される。

【 0 0 1 6 】

アナログ/デジタル変換器 1 0 2 で変換されたデジタル信号は、1 単位の観測時間の信号ごとに個別のパルス圧縮部 1 0 3 a ~ 1 0 3 n に供給される。すなわち、 n 個 (n は 2 以上の整数) のパルス圧縮部 1 0 3 a ~ 1 0 3 n を備え、1 単位の観測時間 (1 C P I : Coherent Pulse Interval) の受信信号ごとに、それぞれ別のパルス圧縮部 1 0 3 a ~ 1 0 3 n に供給される。それぞれのパルス圧縮部 1 0 3 a ~ 1 0 3 n では、送信信号に含まれるパルス (C o d e 1、2) に対してパルス圧縮が行われる。

【 0 0 1 7 】

各パルス圧縮部 1 0 3 a ~ 1 0 3 n でパルス圧縮された受信信号は、パルストップラフィルタ (P D F) 1 0 4 a ~ 1 0 4 n を介して位相補償部 1 0 5 a ~ 1 0 5 n に供給されて位相補償処理が行われ、各単位の観測時間の受信信号 f_{0-0} 、 f_{0-1} 、 \dots 、 f_{0-n} 、 \dots 、 f_{0-N-1} が得られる。

【 0 0 1 8 】

本実施の形態例では、各単位の観測時間の受信信号 f_{0-1} 、 f_{0-2} 、 \dots 、 f_{0-n} 、 \dots 、 f_{0-N-1} が、次に説明する構成にて、図 2 に示すように 1 つの受信信号に接続される。

すなわち、図 2 の上側に示すように、各位相補償部 1 0 5 a ~ 1 0 5 n では、観測時間が順に異なる各単位の観測時間の受信信号 f_{0-0} 、 f_{0-1} 、 \dots 、 f_{0-n} 、 \dots 、 f_{0-N-1} が得られる。各単位の観測時間の受信信号 f_{0-0} 、 f_{0-1} 、 \dots 、 f_{0-n} 、 \dots 、 f_{0-N-1} は、それぞれ異なる観測時間の 1 点の信号である。この 1 点の受信信号 f_{0-0} 、 f_{0-1} 、 \dots 、 f_{0-n} 、 \dots 、 f_{0-N-1} のデータ点を並べることで、図 2 の上段に示すように、レーダ装置の出力波形が得られる。この図 2 の上段に示すひとまとまりの波形の信号は、スナップショット (S S) と称される。それぞれのスナップショット間では不連続点がある。なお、大文字で「S S」と示したとき、スナップショットの総数を示し、小文字で「s s」と示したとき、各スナップショットの番号を示す。すなわち、図 2 の上段に記載したように、各スナップショットは、 $s s = 0$ から $s s = S S - 1$ までの番号を持つ。それぞれのスナップショットは、各点の受信信号 f_{0-0} 、 f_{0-1} 、 \dots などを 1 つに繋げたものである。

さらに、本実施の形態例では、以下に説明する処理にて、図 2 の下側に示すように、それぞれのスナップショットが、1 つの周波数軸上の受信信号 f_{0-X-1} に接続される。

このように接続された受信信号 f_{0-X-1} から目標物までの距離が検出される。

【 0 0 1 9 】

図 3 は、レーダ装置 1 0 a の構成を示す。

レーダ装置 1 0 a は、レーダ受信部 1、C P I データ記憶部 2、位相差推定処理部 3、及びコヒーレント距離推定処理部 4 を備える。

【 0 0 2 0 】

レーダ受信部 1 は、図 1 に示す構成にて、それぞれのスナップショットの信号、すなわち図 2 の上側に示す各正弦波信号を得る。このレーダ受信部 1 で得られたスナップショットの信号は、C P I データ記憶部 2 に供給され、C P I データ記憶部 2 で各単位のスナップショットの信号が記憶される。

【 0 0 2 1 】

C P I データ記憶部 2 に記憶された各単位のスナップショットの信号は、位相差推定処理部 3 に供給され、各単位の観測時間の信号の位相差が推定される。各単位の観測時間の信号の位相差が推定されることで、図 2 に示すように、各単位のスナップショットの信号は、その推定した位相差を持って連結した 1 つの受信信号 f_{0-X-1} として扱えるように

10

20

30

40

50

なる。

【 0 0 2 2 】

そして、位相差推定処理部 3 で得た位相差を用いて得た信号から、コヒーレント距離推定処理部 4 が最適評価値を判定し、最適判定値から目標の距離を得る。

ここで、位相差推定処理部 3 での位相差の推定と、その推定した位相差を使ったコヒーレント距離推定処理部 4 での最適評価値の判定は、複数回繰り返し行い、最大となる最適評価値を探索する。そして、レーダ装置 10 a は、コヒーレント距離推定処理部 4 で得られた最大となる最適評価値を、目標の距離として出力する。

【 0 0 2 3 】

ここで、レーダ装置 10 a で行われる処理を、数式を用いて説明する。

10

C P I データ記憶部 2 に記憶される各スナップショットの出力 $z_{ss}(n)$ は次式で表される。

この [数 1] 式において、 f は搬送波周波数、 Δf は周波数方向のサンプルの刻み幅、 n は周波数番号、 ss はスナップショット番号 (C P I 番号)、 K は目標の数、 k は目標番号 (個々の目標に設定した番号)、 R_k は目標の周波数 (目標の距離) である。なお、図 2 の説明でも述べたように、小文字の「 ss 」との表記は、スナップショットの番号であり、大文字の「 SS 」との表記 (数 7 式以降に記載) は、スナップショットの数 (総数) である。

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

20

$$z_{ss}(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{k,ss} \cdot e^{\frac{-4\pi j R_k}{c} (f + \Delta f \cdot n)}$$

【 0 0 2 5 】

ここで、次の [数 2] 式に示すように設定すると、[数 3] 式のように表される。

【 0 0 2 6 】

【 数 2 】

$$a_{ss}(R) = \left(\exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ss})R}{c}\right), \exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ss} + \Delta f)R}{c}\right), \dots, \exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ss} + (N-1)\Delta f)R}{c}\right) \right)^T$$

$$f_{ss} = 0, N\Delta f, \dots, ss \cdot N\Delta f, \dots, (SS-1) \cdot N\Delta f$$

$$A_{ss}(R) = (a_{ss}(R_0), a_{ss}(R_1), \dots, a_{ss}(R_{K-1}))$$

$$a_{ss} = (\alpha_{0,ss}, \alpha_{1,ss}, \dots, \alpha_{K-1,ss})^T$$

【 0 0 2 7 】

【 数 3 】

$$z_{ss} = A_{ss} a_{ss}$$

【 0 0 2 8 】

このとき、位相差推定処理部 3 では、以下の [数 4] 式より [数 5] に示すあるスナップショット ss における各目標の位相差 (ベクトル) が求められる。

【 0 0 2 9 】

【数4】

$$\hat{\alpha}_{SS} = \left(\hat{A}_{SS}^H \cdot \hat{A}_{SS} \right)^{-1} \cdot \hat{A}_{SS}^H \cdot \mathbf{z}_{SS}$$

【0030】

【数5】

$$\hat{\alpha}_{SS} = \left(\hat{\alpha}_{0,SS}, \hat{\alpha}_{1,SS}, \dots, \hat{\alpha}_{K-1,SS} \right)^T$$

【0031】

ここでは、 $(\hat{\cdot}) A_{SS}$ を以下の【数6】式のように定義する。

【0032】

【数6】

$$\hat{A}_{SS}(R) = \left(a_{SS}(\hat{R}_0), a_{SS}(\hat{R}_1), \dots, a_{SS}(\hat{R}_{K-1}) \right)$$

【0033】

そして、コヒーレント距離推定処理部4では、位相差推定処理部3において求めた複素振幅を用いて、次の【数6】式の演算で、距離推定対象外の波形が減算される。

【0034】

【数7】

$$\hat{\mathbf{X}}_{SS} = \mathbf{X}_{SS} - \sum_{k=0, k \neq i}^{\hat{K}-1} \mathbf{x}_{k,SS}$$

【0035】

ここで、【数7】式における $\mathbf{x}_{k,SS}$ は、以下【数8】式で表現される。

【0036】

【数8】

$$\mathbf{x}_{k,SS} = \hat{\alpha}_{k,SS} \mathbf{a}_{SS}(\hat{R}_k)$$

【0037】

コヒーレント距離推定処理部4では、目標kについて、各スナップショットの分離信号 $\mathbf{x}_{k,SS}$ を、推定複素振幅 $(\hat{\cdot})_{k,SS}$ で除算することで、各スナップショットのモードベクトル位相等しくなるように揃える。なお、本明細書において、 $(\hat{\cdot})$ は、その直後の記号の上に^が付与されることを意味する。イメージデータとして記載した数式では、^を本来の位置に記載する。

除算して得られた信号ベクトルをスナップショット数であるSS個連結して拡張したベクトルを、【数9】式に示すと、このベクトルは、【数10】式のように求められる。

【0038】

【数 9】

$$xc_k \in C^{SS \times N}$$

【0039】

【数 10】

$$xc_k = \left(\frac{x_{k,0}}{\hat{\alpha}_{k,0}}, \frac{x_{k,1}}{\hat{\alpha}_{k,1}}, \dots, \frac{x_{k,SS}}{\hat{\alpha}_{k,SS}}, \dots, \frac{x_{k,SS-1}}{\hat{\alpha}_{k,SS-1}} \right)^T$$

【0040】

各スナップショットのステアリングベクトル $a_i(r)$ を、スナップショット SS 個連結拡張したステアリングベクトル $ac_k \in C^{SS \times N}$ として、[数 11] 式に示すようになる。

【0041】

【数 11】

$$ac_k = \left(a_0(R), a_1(R), \dots, a_{SS-1}(R) \right)^T$$

【0042】

コヒーレント距離推定処理部 4 は、このスナップショット間の位相を揃えた分離信号と対応するステアリングベクトルを連結拡張して、以下の目標距離推定処理を行うことでコヒーレント距離推定を行う。

例えば、最尤推定法にもとづいて評価関数 $P_i(r)$ を用いた探索で目標距離推定を行う。目標 k の推定距離 $(\hat{R})_k$ は、評価関数 $P_i(r)$ が最大となる r を探索することで得られる。

【0043】

【数 12】

$$E_k(R) = \frac{ac_k(R)^H \cdot xc_k \cdot xc_k^H \cdot ac_k(R)}{ac_k(R)^H \cdot ac_k(R)}$$

$$\hat{R}_k = \arg \max_R E_k(R)$$

【0044】

得られた目標 k の推定距離 $(\hat{R})_k$ によって、繰り返し処理で推定距離を更新する。

【0045】

図 4 のフローチャートは、位相差推定処理部 3 及びコヒーレント距離推定処理部 4 で行う処理の流れを示す。まず、目標数の更新により目標数 (\hat{K}) が 1 として設定される (ステップ S10)。

【0046】

位相差推定処理部 3 は、位相差を推定する (ステップ S11)。ここでは、位相差推定処理部 3 は、距離 R_k ($k=0,1, \dots, K-1$) を入力として、距離 R_k の目標に対する複素振幅を、最小二乗法 (一般化逆行列) 等にてそれぞれ推定する。

[数 13] 式に示す A は、上述の [数 2] 式に示す A である。

【0047】

【数 1 3】

$$\hat{\alpha}_{ss} = \left(\hat{A}_{ss}^H \hat{A}_{ss} \right)^{-1} \hat{A}_{ss}^H z_{ss}$$

【0 0 4 8】

複素振幅 (^) a が入力されたコヒーレント距離推定処理部 4 は、減算波形生成処理を行う (ステップ S 1 2)。ここでは、[数 1 4] 式に示す減算目標波形をスナップショットごとに生成する。

【0 0 4 9】

【数 1 4】

$$\mathbf{x}_{k,ss} = \hat{\alpha}_{k,ss} \mathbf{a}_{ss} \left(\hat{R}_k \right)$$

【0 0 5 0】

そして、コヒーレント距離推定処理部 4 は、減算処理を行う (ステップ S 1 3)。ここでは、次の [数 1 5] 式に示すように、i (i=0,1 (^) K 1) 番目の目標を推定するため、元信号 (それぞれのスナップショットのレーダで計測される周波数軸上信号) から減算波形を減算する。

【0 0 5 1】

【数 1 5】

$$\hat{\mathbf{X}}_{ss} = \mathbf{X}_{ss} - \sum_{k=0, k \neq i}^{\hat{K}-1} \mathbf{x}_{k,ss}$$

【0 0 5 2】

さらに、コヒーレント距離推定処理部 4 は、目標距離推定・更新処理を行う (ステップ S 1 4)。ここでは、ステップ S 1 3 で得た [数 1 5] 式に示す周波数軸上信号 (^) X_i を縦に結合し、[数 1 3] 式に示す にて、スナップショット間の位相差補正した (^) X を入力とする。このとき、[数 2] 式で示すステアリングベクトル a_{ss} (R) を縦に結合した B をステアリングベクトルとして、準ニュートン法やレーベンバーグ・マーカット法などを用いて、以下の [数 1 6] 式の評価式の最大探索より、目標距離 (^) R_j を推定し、更新する。[数 1 6] 式の TR は、[数 1 7] 式で示される。

【0 0 5 3】

【数 1 6】

$$\hat{R}_j = \underset{R}{\operatorname{argmax}}(TR)$$

【0 0 5 4】

【数 1 7】

$$TR = (\mathbf{b}^H \mathbf{b})^{-1} \cdot \mathbf{b}^H \hat{\mathbf{X}} \hat{\mathbf{X}}^H \mathbf{b}$$

【0 0 5 5】

ここで、b および ((^) X) は、a_{ss} および ((^) X) の要素を縦に結合したベクトルである。

【0 0 5 6】

そして、コヒーレント距離推定処理部 4 は、試行回数 tr1 が、設定回数 ((^) K) に到達したか否かを判断する (ステップ S 1 5)。ここで、試行回数 tr1 が、設定回数未満のとき (ステップ S 1 5 の NO)、ステップ S 1 2 に戻り、減算対象目標距離の更新を繰り返す。

10

20

30

40

50

返す。また、試行回数tr1が設定回数((^) K)になったとき(ステップS 4 5のYES)、ステップS 1 6の初期値更新の回数判定処理に移る。

【0057】

ステップS 1 6での初期値更新の回数判定処理としては、試行回数tr2が、設定回数に到達したか否かを判断する。ここで、試行回数tr2が、設定回数未満のとき(ステップS 1 6のNO)、ステップS 1 1に戻り、目標距離((^) R_j)を格納する。

そして、ステップS 1 6で試行回数tr2が、設定回数になったとき(ステップS 4 6のYES)、格納した目標距離((^) R_j)とTRを出力する。

【0058】

さらに、コヒーレント距離推定処理部4は、ステップS 1 6で出力される目標距離((^) R_j)とTRの中で、TRの最大値をとる目標距離((^) R_j)を出力する(ステップS 1 7)。

次に、以下の式による終了判定を実施する(ステップS 1 8)。ステップS 1 8の終了判定では、設定値より小さいとき終了する(ステップS 1 8のYES)。すなわち、[数18]式に示すように、設定値より小さいとき終了する。

【0059】

【数18】

$$\sum_{ss} \left\{ X_{ss} - \sum_{k=0, k \neq i}^{\hat{K}-1} x_{k,ss} \right\} < \varepsilon$$

【0060】

ステップS 1 8の終了判定で、設定値より小さいという条件を満たさないときは(ステップS 1 8のNO)、ステップS 1 0の目標数の更新に戻り、目標数に1を加えたものが新たに設定される。なお、ステップS 1 1での位相差推定処理時において、入力距離値が入っていないループの1回目では、複素振幅を1などの値に初期化する。

【0061】

図5は、位相差推定処理部3及びコヒーレント距離推定処理部4で距離推定の処理を繰り返し実行することで、推定距離の検出精度が上がる状態の概要を示す。

図5A, B, Cは、いずれも縦軸が尤度値、横軸が推定距離を示す。

もし、各観測時間の受信信号から個別に距離を算出した場合には、例えば図5Aに示す状態で尤度値が検出され、その尤度値が最も高い点の距離が定まる。但し、この状態では、受信信号が短い観測時間から得た信号であり、推定距離の精度が低い状態である。ここでの推定距離の精度が低い状態とは、図5Aに示すように、推定距離のピーク(尤度値が最も高い点)が1点に定まらず、明確でない状態である。すなわち、図5Aに示すように、尤度値の変化が非常になだらかであり、特定の1点を尤度値が最も高い点に決めることが困難な状態である。

【0062】

一方、図5B及び図5Cは、位相差推定処理部3及びコヒーレント距離推定処理部4で距離推定を行った場合の例である。図5Bは、複素振幅係数の推定精度が悪い場合であり、図4のフローチャートでの試行回数が少ない状態(すなわち、ステップS 1 7でグローバル設定回数が設定回数未満と判断される状態)に相当する。

図5Bに示すように、複素振幅係数の推定精度が悪い場合には、推定距離と尤度値とが一定の関係にはならず、尤度値が変動を繰り返してしまう。この状態では、尤度値が高い状態が探索されたとしても、最大の尤度値とは異なる状態が探索される可能性がある。すなわち、図5Bに示すように波打って変動を繰り返す波形内の、特定の1つの波のピーク位置が最大尤度として探索されて、本来の最大の尤度値とは異なる位置が探索されてしまう可能性がある。

10

30

40

50

【 0 0 6 3 】

ここで、本実施の形態例では、位相差推定処理部 3 及びコヒーレント距離推定処理部 4 で、図 2 のフローチャートで説明したように、最大の尤度の探索処理として、ローカル設定回数の繰り返し及びグローバル設定回数の繰り返しを行うことで、徐々に真の最大の尤度値に近い値が探索されるようになる。

図 5 C は、最大の尤度の探索をグローバル設定回数繰り返したときの尤度値と推定距離との関係の例を示す。

この図 5 C に示す状態は、複素振幅係数の推定精度が良い状態であり、図 5 B に示すような尤度値の波打った変動がなく、最大の尤度値での推定距離を選ぶことで、最適な推定距離が得られるようになる。

10

【 0 0 6 4 】

具体的には、各観測時間の信号の平均化を行うことを想定すると、測距精度は、サンプル数を 2 倍としたとき $1/2$ で示される。これに対して、位相差推定処理部 3 及びコヒーレント距離推定処理部 4 で距離推定を行った場合には、ベクトル長が 2 倍となり測距精度は $1/2^2$ が見込まれ、個別の観測時間の処理結果の平均処理では得られないような、高精度かつ高分解能な測距性能を達成することができる。

【 0 0 6 5 】

図 6 は、本実施の形態例のレーダ装置 10 a によって各観測時間の信号を連結して距離推定を行った場合の特性 1 を、各観測時間の信号の平均化で距離推定を行った場合の特性 0 と比較したものである。図 6 の縦軸は、推定距離の誤差を示し、横軸は得られた受信信号の数を示す。推定距離の誤差は値が小さいほどよく、各観測時間の信号を連結して距離推定を行った場合の特性 1 は、平均化による特性 0 よりも誤差が小さいことが分かる。したがって、本実施の形態例のレーダ装置 10 a によると、使用する周波数帯域を広げることなく、高精度かつ高分解能な測距性能が得られるようになる。

20

【 0 0 6 6 】

高精度かつ高分解能な測距性能が得られるということは、例えば本実施の形態例のレーダ装置 10 a を自動車などの移動体に搭載して、その移動体の周囲の近接した位置に 2 つの目標（車、人、自転車など）が存在するとき、その 2 つの目標を正確に分離してそれぞれの位置を推定できることになる。

【 0 0 6 7 】

< 第 2 の実施の形態例 >

次に、本発明の第 2 の実施の形態例のレーダ装置を、図 7 ~ 図 9 を参照して説明する。

図 7 は、第 2 の実施の形態例のレーダ装置で、受信信号を得るまでの構成を示す。

第 2 の実施の形態例のレーダ装置は、受信素子 111, 121, ..., 191 を備えたアレーアンテナ構成としたものである。ここでは、それぞれの受信素子 111 ~ 191 が受信する周波数は、同じ周波数 f_0 としてある。

【 0 0 6 8 】

受信素子 111 ~ 191 の出力は、アナログ/デジタル変換器 112, 122, ..., 192 に個別に供給され、各受信素子で得た受信信号が個別にデジタル信号に変換される。

40

なお、図 7 に示す構成の場合にも、図 1 の例と同様に、受信素子 111 ~ 191 とアナログ/デジタル変換器 112 ~ 192 との間に、不図示の受信系回路が接続され、受信系回路で処理された特定の周波数 f_0 の受信信号が、アナログ/デジタル変換器 112 ~ 192 でデジタル信号に変換される。

【 0 0 6 9 】

各アナログ/デジタル変換器 112 ~ 192 の出力は、1 単位の観測時間ごとに個別のパルス圧縮部 113 a ~ 113 n, 123 a ~ 123 n, ..., 193 a ~ 193 n に供給され、パルス圧縮される。

パルス圧縮部 113 a ~ 113 n, 123 a ~ 123 n, ..., 193 a ~ 193 n の出力は、パルストップラフィルタ 114 a ~ 114 n, 124 a ~ 124 n, ...,

50

194 a ~ 143 n に供給され、フィルタ処理が行われる。

パルスドップラフィルタ 114 a ~ 114 n, 124 a ~ 124 n, ..., 194 a ~ 143 n の出力は、位相補償部 115 a ~ 115 n, 125 a ~ 125 n, ..., 195 a ~ 195 n に供給され、位相補償処理が行われる。

【0070】

本実施の形態例では、受信素子 111 ~ 191 で得た全ての受信信号は、次に説明する構成にて、図 8 に示すように 1 つの受信信号に接続される。

すなわち、位相補償部 115 a ~ 115 n, 125 a ~ 125 n, ..., 195 a ~ 195 n では、図 8 の左側に示すように、各受信素子 (Ch=0,1, L-1) 111 ~ 191 の受信信号 f_{o-0} , f_{o-1} , ..., f_{o-N-1} が L 個 (0 ~ L-1 まで) 得られる

10

。それぞれの受信素子 (Ch=0,1, L-1) の受信信号は、例えば図 2 に示した受信信号 f_{o-0} , f_{o-1} , ..., f_{o-N-1} を並べて受信波形としたものである。

但し、この段階の受信信号 f_{o-0} , f_{o-1} , ..., f_{o-N-1} は、図 8 の左側に示すようにコヒーレントにつながっていない (スナップショット間で不連続点がある) 状態である。

【0071】

図 7 に示すアレーアンテナ構成で、1 つの周波数軸上の受信信号 f_{o-X2} を得る際には、例えばある同じ観測時間における全ての受信素子 111 ~ 191 の受信信号を連結し、その後、次の観測時間における全ての受信素子 111 ~ 191 の受信信号を連結するようにして、1 つの周波数軸上の受信信号 f_{o-X2} とする。但し、この連結順序は一例であり、その他の連結順序としてもよい。

20

そして、図 8 に示すように連結された受信信号 f_{o-X2} を使って、図 9 に示すレーダ装置 10 b で目標物までの距離を検出する処理が行われる。

【0072】

図 9 は、レーダ装置 10 b の構成を示す。

図 9 に示すレーダ装置 10 b は、図 3 に示すレーダ装置 10 a との相違点として、図 3 に示す C P I データ記憶部 2 の代わりに、アレーアンテナデータ記憶部 2 を用意した。

アレーアンテナデータ記憶部 2 は、図 7 に示す全ての位相補償部 115 a ~ 115 n, 125 a ~ 125 n, ..., 195 a ~ 195 n が出力する受信信号を記憶するものである。

30

すなわち、図 8 の左側に示す各スナップショットの信号 f_{o-A} , f_{o-B} , ..., f_{o-N} が供給される。

そして、位相差推定部 3 は、このアレーアンテナデータ記憶部 2 が記憶した全ての信号を読み出し、各信号の間の位相差を推定する。

【0073】

レーダ装置 10 b の位相差推定部 3 での処理と、コヒーレント距離推定処理部 4 での処理は、第 1 の実施の形態例で説明したレーダ装置 10 a の位相差推定部 3 及びコヒーレント距離推定処理部 4 での処理と同じである。

【0074】

40

ここで、図 7 ~ 図 9 に示す構成にて行われる処理を、数式を用いて説明する。

まず、各受信素子 111 ~ 191 の帯域合成前の出力を、出力 c_h とすると、この出力 c_h は、次の [数 19] 式で表される。

【0075】

【数 19】

$$z_{ch}(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{k,ch} \cdot e^{\frac{-4\pi j R_k}{c} (f + \Delta f \cdot n)}$$

【 0 0 7 6 】

この信号 $z_{ch}(n)$ が、アレーアンテナデータ記憶部 2 に記憶される。

ここで、次の [数 2 0] 式に示すように各データを定義したとき、信号 z_{ch} は、 [数 2 1] 式のように表すことができる。

【 0 0 7 7 】

【 数 2 0 】

$$a_{ch}(R) = \left(\exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ch})R}{c}\right), \exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ch} + \Delta f)R}{c}\right), \dots, \exp\left(\frac{-j4\pi(f_{ch} + (N-1)\Delta f)R}{c}\right) \right)^T$$

$$f_{ch} = 0, N\Delta f, \dots, ss \cdot N\Delta f, \dots, (CH-1) \cdot N\Delta f$$

$$A_{ch}(R) = (a_{ch}(R_0), a_{ch}(R_1), \dots, a_{ch}(R_{K-1}))$$

$$a_{ch} = (\alpha_{0,ch}, \alpha_{1,ch}, \dots, \alpha_{K-1,ch})^T$$

【 0 0 7 8 】

【 数 2 1 】

$$z_{ch} = A_{ch} a_{ch}$$

【 0 0 7 9 】

このとき、位相差推定部 3 では、以下の [数 2 2] 式より位相差が求められる。

【 0 0 8 0 】

【 数 2 2 】

$$\hat{a}_{ch} = \left(\hat{A}_{ch}^H \cdot \hat{A}_{ch} \right)^T \cdot \hat{A}_{ch}^H \cdot z_{ch}$$

【 0 0 8 1 】

この [数 2 2] 式において、 $(\hat{\cdot}) a_{ch}(R)$ と $(\hat{\cdot}) a_{ch}$ は、以下のように定義する。

【 0 0 8 2 】

【 数 2 3 】

$$\hat{A}_{ch}(R) = \left(a_{ch}(\hat{R}_0), a_{ch}(\hat{R}_1), \dots, a_{ch}(\hat{R}_{K-1}) \right)$$

$$\hat{a}_{ch} = (\hat{\alpha}_{ch,0}, \hat{\alpha}_{ch,1}, \dots, \hat{\alpha}_{ch,K-1})$$

【 0 0 8 3 】

コヒーレント距離推定処理部 4 では、位相差推定部 3 において求めた複素振幅を用いて、 [数 2 4] 式に示すように距離推定対象外の波形が減算される。

【 0 0 8 4 】

【 数 2 4 】

$$\hat{\mathbf{X}}_{ch} = \mathbf{X}_{ch} - \sum_{k=0, k \neq i}^{\hat{K}-1} \mathbf{x}_{k,ch}$$

【 0 0 8 5 】

ここで [数 2 4] 式における $x_{k,ch}$ は、以下の [数 2 5] 式のとおり表される。

【 0 0 8 6 】

【 数 2 5 】

$$\mathbf{x}_{k,ch} = \hat{\alpha}_{k,ch} \mathbf{a}_{ch} \left(\hat{R}_k \right)$$

【 0 0 8 7 】

ここで、目標 k について、各受信素子の分離信号 $x_{k,ch}$ を、推定複素振幅 $(\hat{\alpha})$ a_{ch} で除算することで、各素子のモードベクトル位相と等しくなるように揃える。除算して得られた信号ベクトルを受信素子の個数だけ連結して拡張したベクトル $\mathbf{x}_{ck} \in \mathbb{C}^{CH \times N}$ を、次の [数 2 6] 式に示すように求める。

【 0 0 8 8 】

【 数 2 6 】

$$\mathbf{x}_{ck} = \left(\frac{x_{k,0}}{\hat{\alpha}_{k,0}}, \frac{x_{k,1}}{\hat{\alpha}_{k,1}}, \dots, \frac{x_{k,ch}}{\hat{\alpha}_{k,ch}}, \dots, \frac{x_{k,CH-1}}{\hat{\alpha}_{k,CH-1}} \right)^T$$

【 0 0 8 9 】

各素子のステアリングベクトル $\mathbf{a}_i(r)$ を、受信素子の CH 個連結拡張したステアリングベクトルを $\mathbf{a}_{ck} \in \mathbb{C}^{CH \times N}$ としたとき、次の [数 2 7] 式に示すように表される。

【 0 0 9 0 】

【 数 2 7 】

$$\mathbf{a}_{ck} = \left(\mathbf{a}_0(R), \mathbf{a}_1(R), \dots, \mathbf{a}_{CH-1}(R) \right)^T$$

【 0 0 9 1 】

この受信素子の間の位相を揃えた分離信号と対応するステアリングベクトルを連結拡張して、目標距離推定処理を行うことでコヒーレント距離推定を行う。

例えば、最尤推定法にもとづいて、次の [数 2 8] 式による評価関数 $P_k(r)$ を用いた探索で目標距離推定を行う。目標 k の推定距離 (\hat{R}) R_k は、評価関数 $P_k(r)$ が最大となる r を探索することで得られる。

【 0 0 9 2 】

【 数 2 8 】

$$E_k(R) = \frac{\mathbf{a}_{ck}(R)^H \cdot \mathbf{x}_{ck} \cdot \mathbf{x}_{ck}^H \cdot \mathbf{a}_{ck}(R)}{\mathbf{a}_{ck}(R)^H \cdot \mathbf{a}_{ck}(R)}$$

$$\hat{R}_k = \arg \max_R E_k(R)$$

【 0 0 9 3 】

このようにして推定距離 (\hat{R}) R_k を得る処理を繰り返して、推定距離を更新する。

この図 9 に示す構成のレーダ装置 10 b によっても、第 1 の実施の形態例のレーダ装置 10 a と同様に、高精度かつ高分解能な測距性能を達成できる。

なお、コヒーレント距離推定処理部 4 は、第 1 の実施の形態例と同様に図 4 のフローチャートに示す処理が行われる。

10

20

30

50

【 0 0 9 4 】

< 第 3 の実施の形態例 >

次に、本発明の第 3 の実施の形態例のレーダ装置を、図 1 0 及び図 1 1 を参照して説明する。

図 1 0 は、第 3 の実施の形態例のレーダ装置で、受信信号を得るまでの構成を示す。

第 3 の実施の形態例のレーダ装置は、複数のアレーアンテナ 2 1 1 , 2 2 1 , . . . , 2 9 1 を備えて、それぞれのアレーアンテナ 2 1 1 ~ 2 9 1 に、複数個の受信素子が配置され、複数個の受信素子を使って複数の受信信号を同時に得るようにした。例えば 9 組のアレーアンテナ 2 1 1 ~ 2 9 1 のそれぞれが 1 0 個のレーダ受信素子を備える場合、合計で 9×10 の 9 0 個の受信素子を配置する。

10

【 0 0 9 5 】

各アレーアンテナ 2 1 1 ~ 2 9 1 の出力は、アナログ/デジタル変換器 1 1 2 a ~ 1 1 2 n , 1 2 2 a ~ 1 2 2 n , . . . , 1 9 2 a ~ 1 9 2 n に個別に供給され、各受信素子で得た受信信号が個別にデジタル信号に変換される。各アレーアンテナ 2 1 1 ~ 2 9 1 では、全て同じ受信周波数 f_0 の信号が得られる。

なお、図 1 0 の構成においても、図 1 の例と同様に、各アレーアンテナ 2 1 1 ~ 2 9 1 と各アナログ/デジタル変換器 1 1 2 a ~ 1 1 2 n , 1 2 2 a ~ 1 2 2 n , . . . , 1 9 2 a ~ 1 9 2 n との間に、不図示の受信系回路が接続され、受信系回路で処理された特定の周波数 f_0 の受信信号が、アナログ/デジタル変換器 1 0 2 でデジタル信号に変換される。

20

【 0 0 9 6 】

アナログ/デジタル変換器 1 1 2 a ~ 1 1 2 n , 1 2 2 a ~ 1 2 2 n , . . . , 1 9 2 a ~ 1 9 2 n の出力は、パルス圧縮部 1 1 3 a ~ 1 1 3 n , 1 2 3 a ~ 1 2 3 n , . . . , 1 9 3 a ~ 1 9 3 n に個別に供給され、パルス圧縮される。

パルス圧縮部 1 1 3 a ~ 1 1 3 n , 1 2 3 a ~ 1 2 3 n , . . . , 1 9 3 a ~ 1 9 3 n の出力は、パルスドップラフィルタ 1 1 4 a ~ 1 1 4 n , 1 2 4 a ~ 1 2 4 n , . . . , 1 9 4 a ~ 1 4 3 n に個別に供給され、フィルタ処理が行われる。

パルスドップラフィルタ 1 1 4 a ~ 1 1 4 n , 1 2 4 a ~ 1 2 4 n , . . . , 1 9 4 a ~ 1 4 3 n の出力は、位相補償部 1 1 5 a ~ 1 1 5 n , 1 2 5 a ~ 1 2 5 n , . . . , 1 9 5 a ~ 1 9 5 n に個別に供給され、位相補償処理が行われる。

30

位相補償部 1 1 5 a ~ 1 1 5 n , 1 2 5 a ~ 1 2 5 n , . . . , 1 9 5 a ~ 1 9 5 n の出力は、合成帯域部 1 1 6 a ~ 1 1 6 n , 1 2 6 a ~ 1 2 6 n , 1 9 6 a ~ 1 9 6 n により 1 つの帯域の信号に合成される。

【 0 0 9 7 】

図 1 1 は、本実施の形態例のレーダ装置 1 0 c の構成を示す。

図 1 1 に示すレーダ装置 1 0 c は、図 9 に示すレーダ装置 1 0 b との相違点として、受信信号を得るアレーアンテナごとのレーダ受信部 1 a ~ 1 n を備え、その複数のレーダ受信部 1 a ~ 1 n に得られる受信信号が、複数アレーアンテナデータ記憶部 2 に記憶されるようにした。

複数アレーアンテナデータ記憶部 2 は、図 1 0 に示す全ての合成帯域部 1 1 6 a ~ 1 1 6 n , 1 2 6 a ~ 1 2 6 n , 1 9 6 a ~ 1 9 6 n が出力する全アレーアンテナの受信信号を記憶するものである。そして、位相差推定部 3 は、このアレーアンテナデータ記憶部 2 が記憶した全ての信号を読み出し、各信号の間の位相差を推定する。

40

【 0 0 9 8 】

レーダ装置 1 0 b の位相差推定部 3 での処理と、コヒーレント距離推定処理部 4 での処理は、第 1 の実施の形態例で説明したレーダ装置 1 0 a の位相差推定部 3 及びコヒーレント距離推定処理部 4 での処理と同じである。

【 0 0 9 9 】

ここで、図 1 0 ~ 図 1 1 に示す構成にて行われる処理を、数式を用いて説明する。

ここでは、図 1 0 に示す合成帯域部 1 1 6 a ~ 1 1 6 n , 1 2 6 a ~ 1 2 6 n , 1 9 6

50

a ~ 196nでの各レーダをmとし、そのレーダmの出力（帯域合成後）は、次の[数29]式で表される。

【0100】

【数29】

$$\mathbf{z}_m(ch) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{k,m} \cdot e^{-\frac{4\pi j}{\lambda}(\Delta d(ch+m(L-1))+d_m)\sin(\theta_k)}$$

【0101】

この信号 $\mathbf{z}_m(ch)$ が、複数アレーアンテナデータ記憶部2に記憶される。

ここで、次の[数30]式に示すように各データを定義したとき、信号 $\mathbf{z}_m(ch)$ は、[数31]式のように表すことができる。

【0102】

【数30】

$$\mathbf{a}_m(\theta) = \left(\exp\left(\frac{-j4\pi(d_m)\sin\theta}{\lambda}\right), \exp\left(\frac{-j4\pi(d_m+\Delta d)\sin\theta}{\lambda}\right), \dots, \exp\left(\frac{-j4\pi(d_m+(L-1)\Delta d)\sin\theta}{\lambda}\right) \right)^T$$

$$d_m = 0, (L-1)\Delta d, \dots, m(L-1)\Delta d, \dots, (M-1)(L-1)\Delta d$$

$$\mathbf{A}_m(\theta) = (\mathbf{a}_m(R_0), \mathbf{a}_m(R_1), \dots, \mathbf{a}_m(R_{K-1}))$$

$$\boldsymbol{\alpha}_m = (\alpha_{0,m}, \alpha_{1,m}, \dots, \alpha_{K-1,m})^T$$

【0103】

【数31】

$$\mathbf{z}_m = \mathbf{A}_m \boldsymbol{\alpha}_m$$

【0104】

このとき、位相差推定部3では、以下の[数32]式より位相差が求められる。

【0105】

【数32】

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}}_m = \left(\hat{\mathbf{A}}_m^H \cdot \hat{\mathbf{A}}_m \right)^T \cdot \hat{\mathbf{A}}_m^H \cdot \mathbf{z}_m$$

【0106】

この[数32]式において、 $(\hat{\cdot}) \mathbf{A}_m (\cdot)$ と $(\hat{\cdot}) \mathbf{a}_m$ は、以下のように定義する。

【0107】

【数 3 3】

$$\hat{\mathbf{A}}_m(\theta) = \left(\mathbf{a}_m(\hat{R}_0), \mathbf{a}_m(\hat{R}_1), \dots, \mathbf{a}_m(\hat{R}_{K-1}) \right)$$

$$\hat{\mathbf{a}}_m = \left(\hat{\alpha}_{m,0}, \hat{\alpha}_{m,1}, \dots, \hat{\alpha}_{m,K-1} \right)$$

【0108】

10

コヒーレント距離推定処理部4では、位相差推定部3において求めた複素振幅を用いて、以下【数34】式に示すように、下の距離推定対象外の波形【数36】式が減算される。

【0109】

【数34】

$$\hat{\mathbf{X}}_m = \mathbf{X}_m - \sum_{k=0, k \neq i}^{\hat{K}-1} \mathbf{x}_{k,m}$$

【0110】

ここで、【数34】における $\mathbf{x}_{k,m}$ は、以下の【数35】式のとおり表される。

【0111】

【数35】

$$\mathbf{x}_{k,m} = \hat{\alpha}_{k,m} \mathbf{a}_m(\hat{\theta}_k)$$

【0112】

30

ここで、目標kについて、各受信素子の分離信号 $\mathbf{x}_{k,m}$ を、推定複素振幅 $(\hat{\alpha}_{k,m})$ で除算することで、各素子のモードベクトル位相と等しくなるように揃える。除算して得られた信号ベクトルをレーダの個数だけ連結して拡張したベクトル $\mathbf{x}_{c_k} \in \mathbb{C}^{M \times L}$ を、次の【数36】式に示すように求める。

【0113】

【数36】

$$\mathbf{x}_{c_k} = \left(\frac{x_{k,0}}{\hat{\alpha}_{k,0}}, \frac{x_{k,1}}{\hat{\alpha}_{k,1}}, \dots, \frac{x_{k,ch}}{\hat{\alpha}_{k,ch}}, \dots, \frac{x_{k,M-1}}{\hat{\alpha}_{k,M-1}} \right)^T$$

【0114】

各レーダのステアリングベクトル $\mathbf{a}_m(\theta)$ を、レーダの数(アレーアンテナ211~291の数)だけ連結拡張したステアリングベクトルを $\mathbf{a}_{c_k} \in \mathbb{C}^{M \times L}$ としたとき、次の【数37】式に示すように表される。

【0115】

【数37】

$$\mathbf{a}_{c_k} = \left(\mathbf{a}_0(\theta), \mathbf{a}_1(\theta), \dots, \mathbf{a}_{M-1}(\theta) \right)^T$$

【0116】

50

この受信素子間の位相を揃えた分離信号と対応するステアリングベクトルを連結拡張して、目標距離推定処理を行うことでコヒーレント距離推定を行う。

例えば、最尤推定法にもとづいて、次の[数38]式による評価関数 $P_k(r)$ を用いた探索で目標距離推定を行う。目標 k の推定距離 $(\hat{r})_k$ は、評価関数 $P_k(\hat{r})$ が最大となるを探索することで得られる。

【0117】

【数38】

$$E_k(\theta) = \frac{ac_k(\theta)^H \cdot xc_k \cdot xc_k^H \cdot ac_k(\theta)}{ac_k(\theta)^H \cdot ac_k(\theta)}$$

$$\hat{\theta}_k = \arg \max_{\theta} E_k(\theta)$$

【0118】

このようにして推定距離 $(\hat{r})_k$ を得る処理を繰り返して、推定距離を更新する。

この図11に示す構成のレーダ装置10cによっても、第1の実施の形態例のレーダ装置10aや第2の実施の形態例のレーダ装置10bと同様に、高精度かつ高分解能な測距性能を達成できる。

20

なお、コヒーレント距離推定処理部4は、第1の実施の形態例と同様に図4のフローチャートに示す処理が行われる。

【0119】

<第4の実施の形態例>

次に、本発明の第4の実施の形態例のレーダ装置を、図12を参照して説明する。

図12は、第4の実施の形態例のレーダ装置10dの構成を示す。

図12に示すレーダ装置10dは、離隔周波数レーダ受信部1を備え、離隔周波数レーダ受信部1で得られる複数単位の受信信号が、離隔した異なる周波数帯の信号としたものである。離隔した異なる周波数帯の信号は、例えば異なる観測時間の複数単位の受信信号とするが、同じ観測時間の複数単位の受信信号でもよい。

30

図12に示すレーダ装置10dのその他の構成は、図3に示すレーダ装置10aと同じである。

【0120】

図12に示すように、離隔した異なる周波数帯の信号を複数単位の受信信号として取得して、位相差推定処理部3での各信号の位相差の推定と、コヒーレント距離推定処理部4での距離推定を行うことでも、第1の実施の形態例のレーダ装置10aと同様に精度の高い距離推定が可能になる。

【0121】

<第5の実施の形態例>

次に、本発明の第5の実施の形態例のレーダ装置を、図13を参照して説明する。

図13は、第5の実施の形態例のレーダ装置10eの構成を示す。

レーダ装置10eは、レーダ受信部1と、CPIデータ記憶部2と、ノンコヒーレント距離推定処理部5と、位相差推定処理部3と、コヒーレント距離推定処理部4とを備える。

40

【0122】

レーダ受信部1は、ここまで説明した第1~第4の実施の形態例のレーダ受信部1, 1a~1nや離隔周波数レーダ群受信部1のいずれを適用してもよい。

そして、レーダ受信部1で得た受信信号を、CPIデータ記憶部2が記憶し、CPIデータ記憶部2が記憶した各スナップショットの信号をノンコヒーレント距離推定処理部5

50

に供給する。

【0123】

ノンコヒーレント距離推定処理部5は、各帯域又は信号での評価値（ここでは評価値を尤度とする）を算出する尤度算出部51と、尤度算出部51で得た各信号の尤度の和が最大となる最大尤度（最適評価値）を探索する最大尤度探索部52とを有する。なお、尤度算出部51が評価値として尤度を算出し、最大尤度探索部52が最適評価値として最大尤度を探索するのは一例であり、その他の評価値及び最適評価値を算出するようにしてもよい。すなわち、最尤推定における尤度を探索する場合の他に、最小二乗法における二乗誤差を評価値として最適評価値を探索する場合、MAP推定における事後確率を評価値として最適評価値を探索する場合、モーメント法におけるモーメントの一致性を評価値として最適評価値を探索する場合などがある。

10

【0124】

そして、ノンコヒーレント距離推定処理部5で推定した距離を、位相差推定部3に供給する。さらに、位相差推定部3で推定した位相差に基づいて、コヒーレント距離推定処理部4が距離を推定する。この位相差推定部3での位相差推定と、ノンコヒーレント距離推定処理部4での距離推定は、所定回繰り返して実行する。

【0125】

本実施の形態例のように、ノンコヒーレント距離推定処理部5で距離を推定した後、位相差推定部3での位相差の推定と、コヒーレント距離推定処理部4での距離推定を繰り返すことでも、目標の距離を得ることができる。

20

【0126】

<第6の実施の形態例>

次に、本発明の第6の実施の形態例のレーダ装置を、図14及び図15を参照して説明する。

図14は、第6の実施の形態例のレーダ装置10fの構成を示す。

レーダ装置10fは、レーダ受信部1と、CPIデータ記憶部2と、ノンコヒーレント距離推定処理部5と、推定対象選択距離推定処理部6と、位相差推定処理部3と、コヒーレント距離推定処理部4とを備える。

【0127】

レーダ受信部1は、上述した第1～第4の実施の形態例のレーダ受信部1、1a～1nや離隔周波数レーダ群受信部1のいずれを適用してもよい。

30

そして、レーダ受信部1で得た受信信号を、CPIデータ記憶部2が記憶し、CPIデータ記憶部2が記憶した各スナップショットの信号をノンコヒーレント距離推定処理部5に供給する。ノンコヒーレント距離推定処理部5は、第5の実施の形態例のレーダ装置10eが備えるノンコヒーレント距離推定処理部5と同じである。

【0128】

そして、ノンコヒーレント距離推定処理部5が推定した距離を、推定対象選択距離推定処理部6に供給する。推定対象選択距離推定部6は、射影行列を使って、対象となる目標以外の情報を除く処理を行った上で、距離を推定する処理を行う。例えば2つの目標距離 R_0 、 R_1 が存在するとき、目標距離 R_0 を推定する際には、目標距離 R_1 についての情報を除去（抑圧）して推定し、目標距離 R_1 を推定する際には、目標距離 R_0 についての情報を除去（抑圧）して推定することをを行うものである。

40

【0129】

そして、推定対象選択距離推定部6で不要成分が抑圧された目標の距離の情報を、位相差推定処理部3に供給する。その他の構成については、第1の実施の形態例に示したレーダ装置10aと同様に構成する。

【0130】

図15のフローチャートは、推定対象選択距離推定部6で行う処理の流れを示す。

推定対象選択距離推定部6は、まずノンコヒーレント距離推定処理部5で得た目標の距離 R_0 、 R_1 に対して、微少な値を付加して初期値をランダムにシフトした値とする（ステッ

50

プ S 3 1)。ここで付加する微少な値としては、例えば距離の探索範囲に対して $1 / 10$ 程度の値とする。

そして、推定対象選択距離推定部 6 は、初期値の更新処理を行う (ステップ S 3 2)。試行回数 1 回目ではステップ S 3 1 で付与した初期値を、そのままステップ S 3 2 での更新値として使用する。

【 0 1 3 1 】

その後、更新された目標距離を、減算対象目標距離として更新する (ステップ S 3 3)。試行回数 1 回目ではステップ S 3 1 で付与した初期値を、そのままステップ S 3 3 での減算対象目標距離として使用する。

次に、推定対象選択距離推定部 6 は、減算目標の振幅推定処理を行う (ステップ S 3 4)。ここでは、目標推定距離が入力され、減算対象目標距離に対応する複素振幅をフーリエ変換等により求める。

【 0 1 3 2 】

次に、推定対象選択距離推定部 6 は、減算対象目標 (例えば目標距離 R_0, R_1) に対応する各周波数帯における減算波形を生成する (ステップ S 3 5)。

そして、推定対象選択距離推定部 6 は、元信号 (それぞれの周波数帯域のレーダで計測される周波数軸上信号 (X_{60}, X_{76})) から、減算波形を減算する減算処理を行い (ステップ S 3 6)、減算された信号に更新する。

【 0 1 3 3 】

減算された信号を得た後、推定対象選択距離推定部 6 は、準ニュートン法やレーベンバーグ・マーカート法等を用いて、目標距離を推定し、推定結果で目標距離を更新する (ステップ S 3 7)。

【 0 1 3 4 】

次に、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 7 での目標距離の推定及び更新が行われた試行回数が、予め設定された試行回数であるか、あるいは試行回数未満かを判断する (ステップ S 3 8)。ここで、試行回数が設定された試行回数未満であるとき (ステップ S 3 8 の NO)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 3 の処理に戻り、ステップ S 3 7 で得た目標距離の推定値で減算目標距離を更新させる。

【 0 1 3 5 】

また、ステップ S 3 8 で、試行回数が予め設定された試行回数に到達したとき (ステップ S 3 8 の YES)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 2 での初期値を更新した試行回数が、予め設定された試行回数であるか、あるいは試行回数未満かを判断する (ステップ S 3 9)。ここで、試行回数が設定された試行回数未満であるとき (ステップ S 3 9 の NO)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 2 の初期値の更新処理に戻り、試行回数ごとに初期値の更新処理として得た目標距離を得る。

【 0 1 3 6 】

また、ステップ S 3 9 で、試行回数が予め設定された試行回数に到達したとき (ステップ S 3 9 の YES)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 1 で初期値を生成した試行回数が予め設定された試行回数であるか、あるいは試行回数未満かを判断する (ステップ S 4 0)。ここで、初期値を生成した試行回数が設定された試行回数未満であるとき (ステップ S 4 0 の NO)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 1 の初期値の生成処理に戻り、初期値の生成処理から繰り返す。

【 0 1 3 7 】

また、ステップ S 4 0 で、試行回数が予め設定された試行回数に到達したとき (ステップ S 4 0 の YES)、推定対象選択距離推定部 6 は、ステップ S 3 7 で格納した目標距離の組を使って、目標距離を決定する (ステップ S 4 1)。ここでは、例えば入力される目標距離の組の中央値もしくは最頻値により、目標距離を決定する。

推定対象選択距離推定部 6 は、このようにして決定した目標距離を、位相差推定処理部 3 に出力する。

【 0 1 3 8 】

10

20

30

40

50

この推定対象選択距離推定部 6 を備えることで、レーダ受信部 1 の出力に多数の目標の信号が含まれる場合であっても、ターゲットとなる目標の信号を取り出して、位相差推定処理部 3 での位相差推定及びコヒーレント距離推定処理部 4 で距離推定を行うことができ、高精度かつ高分解能な測距性能を達成できる。

【 0 1 3 9 】

< 変形例 >

なお、ここまで説明した各実施の形態例では、レーダ受信部 1 と、そのレーダ受信部 1 から得られる信号で距離を推定する処理部（位相差推定部 3，コヒーレント距離推定処理部 4 など）とを一体としたレーダ装置としたが、既存のレーダ受信部 1 から得た信号を処理する装置として構成してもよい。

さらに、ここまで説明した距離推定を行う装置は、各実施の形態例で説明した処理を演算により実行するコンピュータにより構成してもよい。この場合、各実施の形態例で説明したそれぞれの処理を実行するプログラムを作成して、そのプログラムをコンピュータに実装すればよい。

【 0 1 4 0 】

また、図 4 や図 1 5 のフローチャートなどで説明した処理の流れは一例であり、他の処理の流れを適用してもよい。

例えば、実施の形態例によっては、図 1 6 のフローチャートに示す処理を適用してもよい。

図 1 6 のフローチャートは、位相差推定処理部 3 での位相差推定と、コヒーレント距離推定処理部 4 での最大尤度探索処理の別の例を示す。

まず、位相差推定処理部 3 は、各観測時間の信号の位相差を推定処理する（ステップ S 5 1）。ここでの位相差推定処理は、例えば上述した [数 4] 式に示す演算で実行される。

【 0 1 4 1 】

位相差推定処理部 3 で得た各観測時間の信号の位相差は、コヒーレント距離推定処理部 4 に初期位相として設定する（ステップ S 5 2）。そして、コヒーレント距離推定処理部 4 は、格納された位相差と、その位相差の推定に使用した距離とから、最大尤度の探索処理を行う（ステップ S 5 3）。すなわち、コヒーレント距離推定処理部 4 は、この周波数軸上信号を入力として、尤度が最大となる距離を、準ニュートン法やレーベンバーグ・マーカート法などで非線形探索を行い、距離の推定値を得る。ここで、コヒーレント距離推定処理部 4 は、得られた尤度値と推定した距離を一旦記憶し（ステップ S 5 4）、ステップ S 5 3 での推定値を得る試行を予め決められたローカル設定回数だけ実行したか否かを判断する（ステップ S 5 5）。

ステップ S 5 5 で、試行回数がローカル設定回数未満であると判断したとき（ステップ S 5 5 の NO）、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 5 3 に戻り、探索初期値である距離に対して乱数値を付与して探索初期値を更新し、再度、尤度が最大となる距離の非線形探索を行う。

【 0 1 4 2 】

また、ステップ S 5 5 で、試行回数がローカル設定回数になったと判断したとき（ステップ S 5 5 の YES）、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 1 4 で格納した結果の中から最大尤度となる距離を取り出して、最大尤度判定結果として記憶する（ステップ S 5 6）。

【 0 1 4 3 】

その後、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 5 6 で最大尤度となる距離を取り出す試行を予め決められたグローバル設定回数だけ実行したか否かを判断する（ステップ S 5 7）。

ステップ S 5 7 で、試行回数がグローバル設定回数未満であると判断したとき（ステップ S 5 7 の NO）、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 5 6 で格納した最大尤度判定結果の推定距離を位相差推定処理部 3 に供給し、その最大尤度判定結果の推定距離

10

20

30

40

50

を使ったステップS51での位相差推定から、再度処理を実行させる。

【0144】

また、ステップS57で、試行回数がグローバル設定回数になったと判断したとき（ステップS57のYES）、コヒーレント距離推定処理部4は、ステップS56で格納した結果の中から最大尤度となる距離を取り出し、取り出した最大尤度となる距離を、コヒーレント距離推定処理部4での推定結果として出力する（ステップS58）。

この図16のフローチャートに示す処理によっても、距離の推定結果を得ることができる。

【符号の説明】

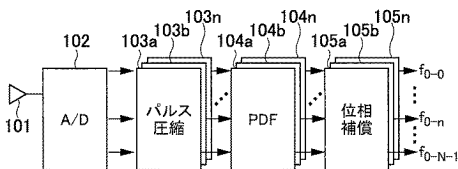
【0145】

1, 1a~1n レーダ受信部、1 離隔周波数レーダ受信部、2 C P I データ記憶部、2 アレーアンテナデータ記憶部、2 複数アレーアンテナデータ記憶部、3 位相差推定処理部、4 コヒーレント距離推定処理部、5 ノンコヒーレント距離推定処理部、6 推定対象選択距離推定部、10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f レーダ装置、51 尤度算出部、52 最大尤度探索部、101, 111, 121, 191 受信素子、102, 112, 122, 192 アナログ/デジタル変換器、103a~103n, 113a~113n, 123a~123n, 193a~193n パルス圧縮部、104a~104n, 114a~114n, 124a~124n, 194a~194n パルスドップラフィルタ、105a~105n, 115a~115n, 125a~125n, 195a~195n 位相補償部、116a~116n, 126a~126n, 196a~196n 合成帯域部

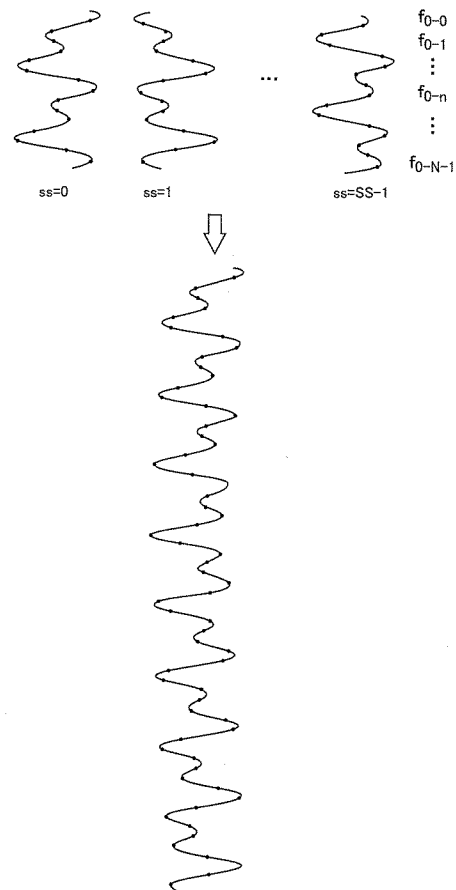
10

20

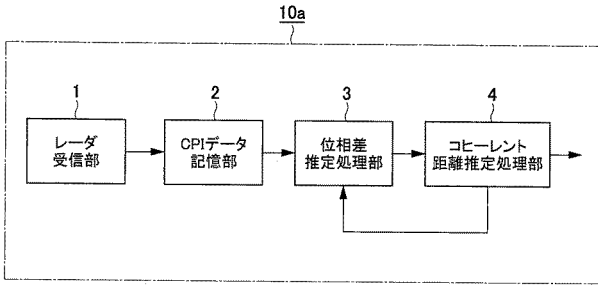
【図1】



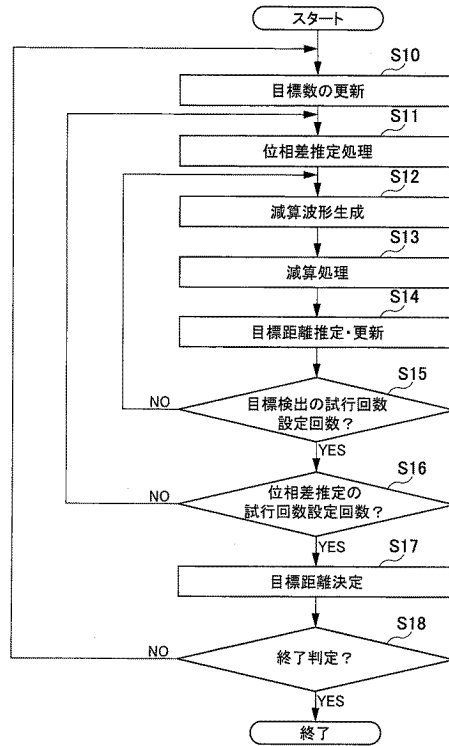
【図2】



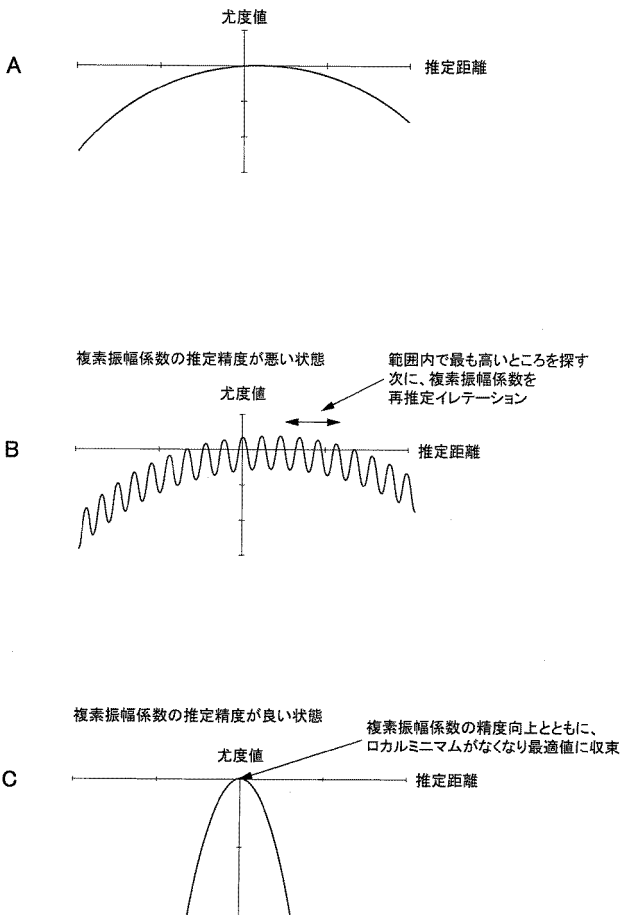
【 図 3 】



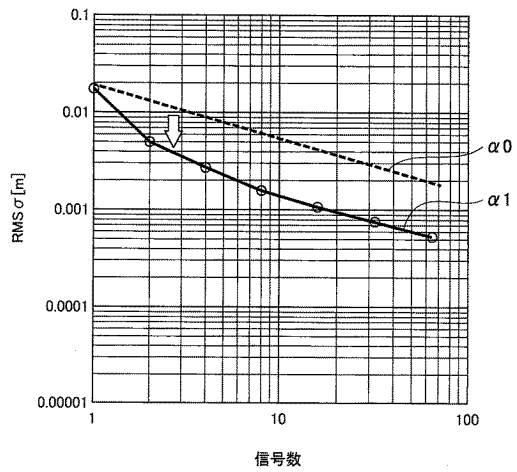
【 図 4 】



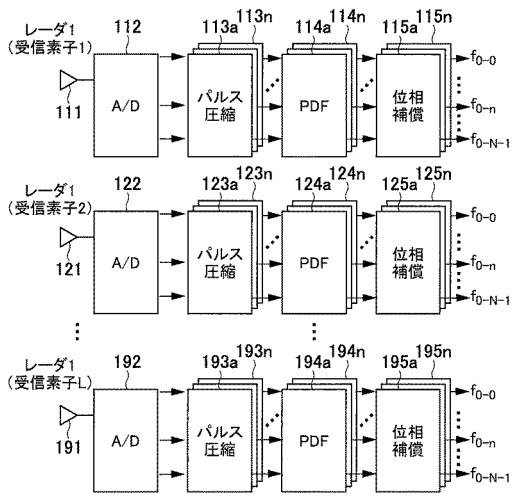
【 図 5 】



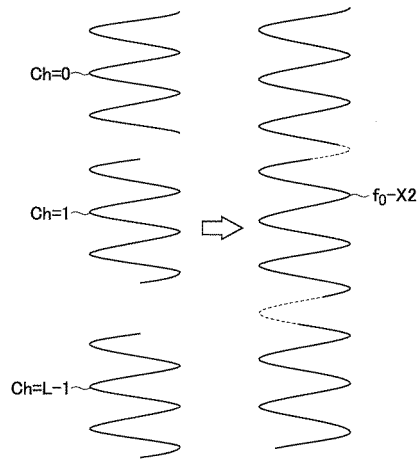
【 図 6 】



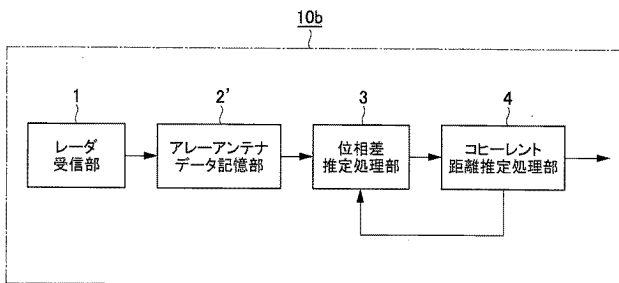
【 図 7 】



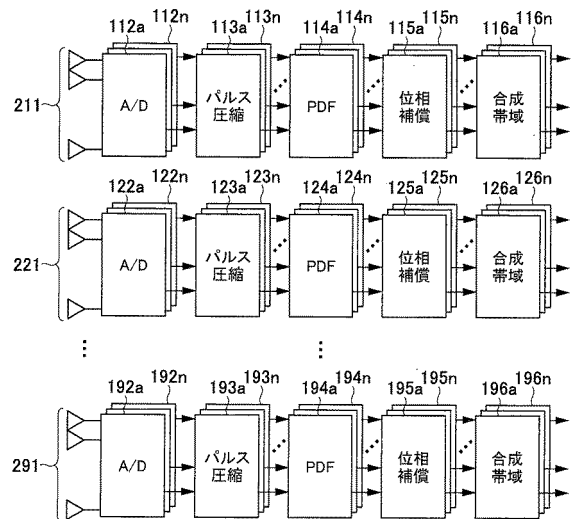
【 図 8 】



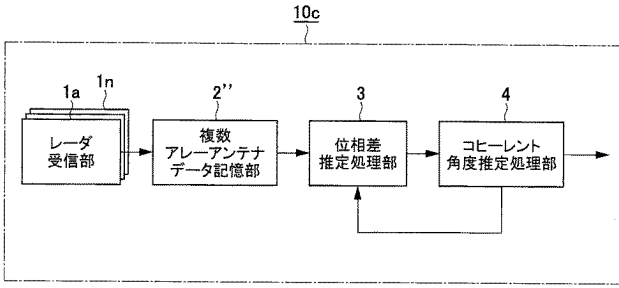
【 図 9 】



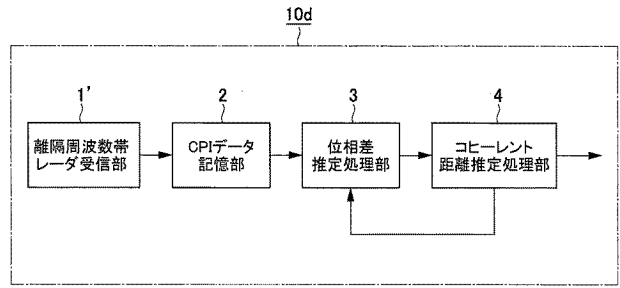
【 図 10 】



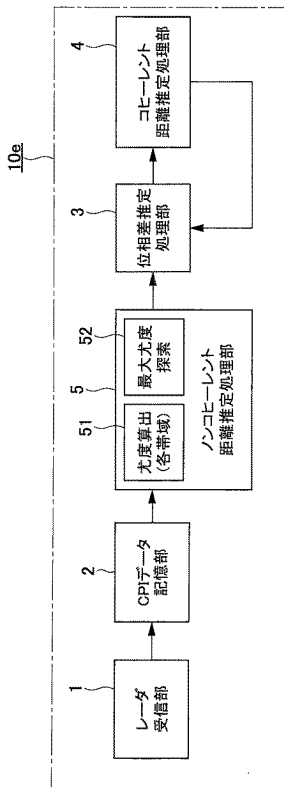
【図 1 1】



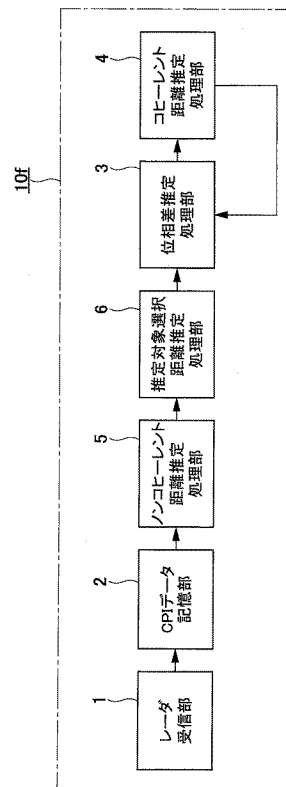
【図 1 2】



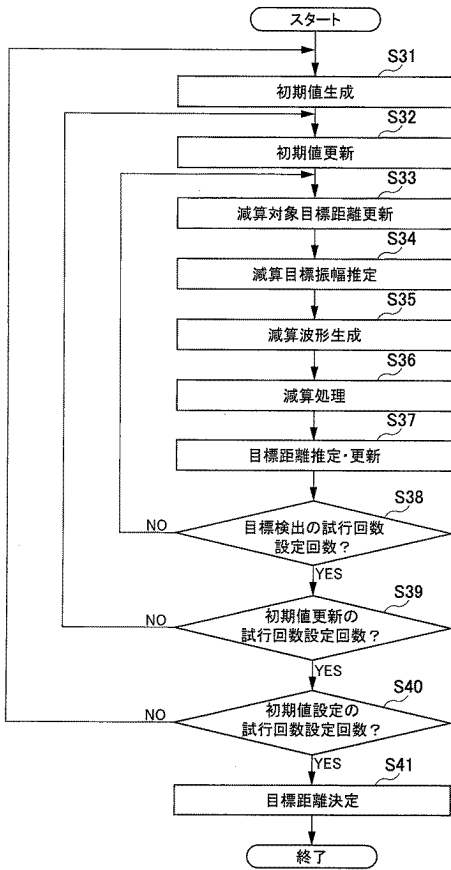
【図 1 3】



【図 1 4】



【図15】



【図16】

