

(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2018-132523

(P2018-132523A)

(43) 公開日 平成30年8月23日(2018.8.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 13/32 (2006.01)	GO 1 S 13/32	5 J 0 7 0
GO 1 S 7/288 (2006.01)	GO 1 S 7/288	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2018-22503 (P2018-22503)	(71) 出願人	504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
(22) 出願日	平成30年2月9日(2018.2.9)	(74) 代理人	110000925 特許業務法人信友国際特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2017-24199 (P2017-24199)	(72) 発明者	稲葉 敬之 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
(32) 優先日	平成29年2月13日(2017.2.13)	(72) 発明者	秋田 学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	渡辺 優人 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

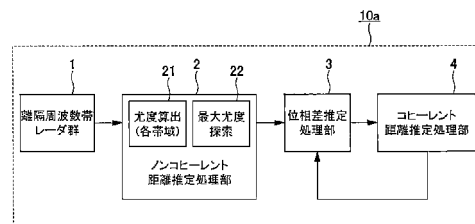
(54) 【発明の名称】 離隔周波数合成レーダ装置、距離推定方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】使用可能な複数の周波数帯域を使って、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離隔周波数合成レーダ装置を提供する。

【解決手段】離隔周波数帯レーダ群1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、離隔周波数帯レーダ群1より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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

10

離隔周波数合成レーダ装置。

## 【請求項 2】

離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号から、各周波数帯域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、離隔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 1 に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【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、

20

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、離隔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 に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【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 に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【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

30

請求項 1 に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【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 に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【請求項 7】

離隔した複数の周波数帯で目標から反射した受信信号を得る離隔周波数帯レーダ群を備え、

40

前記位相差推定処理部は、前記離隔周波数帯レーダ群から受信信号を得るようにした

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の離隔周波数合成レーダ装置。

## 【請求項 8】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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

50

離を、目標の距離として出力する

離隔周波数合成レーダ装置。

【請求項 9】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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

距離推定方法。

【請求項 10】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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

距離推定方法。

【請求項 11】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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 12】

離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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、複数の離隔した周波数帯の信号を合成することで、高性能な計測を可能とする離隔周波数合成レーダ装置、距離推定方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

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。

例えば特許文献1には、2つの周波数の信号を送信し、その反射信号の受信信号を時間積分して平均化した信号の周波数成分から目標を検出する技術についての記載がある。この特許文献1に記載された技術は、受信信号に含まれる不要成分を抑圧するために行うものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平5-281344号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、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、例えば車載レーダ装置がミリ波帯全てを使用することは困難である。例えば、日本においては、60GHz帯や76GHz帯などがレーダ装置に使用可能な周波数帯域として割り当てられ、これらの周波数帯の間の帯域をレーダ装置が使用することはできない。このため、レーダ装置が使用する周波数帯を増やすためには、使用可能な離隔した複数の周波数帯域を使って、それぞれの周波数帯域の受信信号を合成することが考えられる。

【0006】

ここで、特許文献1に記載されたように、従来から複数の周波数の受信信号を合成することは提案されているが、その合成処理としては、それぞれの周波数の信号を時間積分して平均化する比較的単純な処理であり、平均化による精度の向上は(1/2)が限度で、高性能化に限界があった。

【0007】

本発明はこれらの点に鑑みてなされたものであり、使用可能な複数の周波数帯域を使って、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離隔周波数合成レーダ装置、距離推定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】

【0008】

本発明の離隔周波数合成レーダ装置は、離隔周波数帯レーダ群1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、離隔周波数帯レーダ群1より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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。

また、本発明の距離推定方法は、離隔した複数の周波数帯を用いる離隔周波数帯レーダ群より得た各周波数帯域の受信信号に基づいて、離隔した複数の周波数帯の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コヒーレント距離推定処理

10

20

30

40

50

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。

また、本発明のプログラムは、上記距離推定方法の位相差推定処理と、コヒーレント距離推定処理と、目標距離探索処理とをコンピュータに実行させるものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明によると、複数の周波数帯域で得た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ようになる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置の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離隔周波数合成レーダ装置による処理例を示すフローチャートである。

【図3】離隔周波数合成レーダ装置の周波数帯域のイメージ例（位相推定なし）を示す説明図である。

【図4】離隔周波数合成レーダ装置の周波数帯域のイメージ例（位相推定後）を示す説明図である。

【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2の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第3の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置での処理例を示すフローチャートである。

【図9】本発明の第4の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第4の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置での処理例を示すフローチャートである。

【図11】本発明の実施の形態例の変形例による離隔周波数合成レーダ装置の構成（変形例1）を示すブロック図である。

【図12】本発明の実施の形態例の変形例による離隔周波数合成レーダ装置の構成（変形例2）を示すブロック図である。

【図13】本発明の実施の形態例の変形例による離隔周波数合成レーダ装置の構成（変形例3）を示すブロック図である。

【図14】本発明の実施の形態例の変形例による離隔周波数合成レーダ装置の構成（変形例4）を示すブロック図である。

【図15】本発明の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置により目標を検出した場合の効果の例を示す説明図である。

【図16】本発明の第5の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の第5の実施の形態例による離隔周波数合成レーダ装置での処理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】

【0011】

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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 2 】

< 第 1 の実施の形態例 >

まず、本発明の第 1 の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置を、図 1 ~ 図 5 を参照して説明する。

図 1 は、第 1 の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置 10 a の構成を示す。

離隔周波数合成レーダ装置 10 a は、離隔周波数帯レーダ群 1 と、ノンコヒーレント距離推定処理部 2 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。

## 【 0 0 1 3 】

離隔周波数帯レーダ群 1 は、離隔した複数の周波数帯を使用しているレーダ群であり、合成帯域レーダの帯域合成前の周波数方向信号もしくはパルス圧縮レーダの出力信号と、周波数領域で参照関数の複素共役とを乗算したものである。離隔周波数帯レーダ群 1 は、送信周波数と目標距離に依存した信号を出力する。ここでは、離隔した複数の周波数帯として、60 GHz 帯と 76 GHz 帯の 2 つの周波数帯を使用する例とする。

なお、離隔周波数帯レーダ群 1 は、離隔した複数の周波数帯を使用しているレーダ群であれば、様々な方式のものが適用可能である。また、離隔した複数の周波数帯として、3 つ以上の周波数帯を使用してもよい。

## 【 0 0 1 4 】

離隔周波数帯レーダ群 1 の出力は、各帯域  $f_{c_m}$  の搬送波周波数、帯域内周波数  $f_n$  からなる。

このとき、各周波数帯域のレーダでの計測される周波数軸上信号  $X$  は、次の [ 数 1 ] 式で示される。この [ 数 1 ] 式において、 $f_0$  は基準送信周波数、 $f_c$  は搬送波周波数、 $f$  は周波数方向のサンプルの刻み幅、 $m$  は周波数帯域の番号、 $n$  は各帯域内の周波数番号、 $s$  は計測回数を示すスナップショット番号 (CPI 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。

## 【 0 0 1 5 】

【 数 1 】

$$X(m, n, s) = \sum_{k=0}^{K-1} \beta_{m,s} \cdot \left( \frac{f_{c_m} + n \cdot \Delta f}{f_0} \right)^{\alpha_k} \cdot a_k \cdot e^{\frac{4\pi j R_k}{c} (f_{c_m} + \Delta f \cdot n)}$$

30

## 【 0 0 1 6 】

[ 数 1 ] 式では、目標反射電力に帯域間での周波数依存と帯域内での周波数依存を考慮した場合を示す。もし、目標の反射電力に帯域間周波数が存在しない場合には、周波数軸上信号  $X$  は、次の [ 数 2 ] 式で示される。[ 数 2 ] 式において、 $\alpha_k$  は目標の形状等で決まる定数である。

## 【 0 0 1 7 】

【 数 2 】

$$X(m, n, s) = \sum_{k=0}^{K-1} \beta_{m,s} \cdot \left( \frac{f_{c_m}}{f_0} \right)^{\alpha_k} \cdot a_k \cdot e^{\frac{4\pi j R_k}{c} (f_{c_m} + \Delta f \cdot n)}$$

40

## 【 0 0 1 8 】

ここで、

$$\left( \frac{f_{c_m}}{f_0} \right)^{\alpha_k}$$

を、 $m, k$  とおけば、周波数軸上信号  $X$  は、次の [ 数 3 ] 式で示される。

## 【 0 0 1 9 】

【数 3】

$$X(m, n, s) = \sum_{k=0}^{K-1} \beta_{m,s} \cdot \alpha_{m,k} \cdot a_k \cdot e^{\frac{4\pi j R_k}{c} (f c_m + \Delta f \cdot n)}$$

【0020】

以下の説明では、簡単のため、目標反射電力に帯域間、帯域内の周波数異存はないものとし、離隔周波数の数を2（ここでは60GHz帯と76GHz帯の2つ）であり、目標数を2として説明する。

10

このとき、それぞれの周波数帯域のレーダでの計測される周波数軸上信号  $X_{60}$  及び  $X_{76}$  は、次の【数4】式及び【数5】式で示される。この【数4】式及び【数5】式は、【数1】式を行列式の形式で示したものであり、2つの目標の距離  $R_0, R_1$  が存在している例を示す。この2つの目標の距離  $R_0, R_1$  が、最終的に求めたい値である。

【0021】

【数4】

$$\mathbf{X}_{60} = \begin{bmatrix} e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 0}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 0}{c} R_1} & & & \\ e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 1}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 1}{c} R_1} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_1} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{60_0} \cdot \alpha_{60_0} \cdot a_0 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{60}}{c} R_0} & \cdots & \beta_{60_{S-1}} \cdot \alpha_{60_0} \cdot a_0 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{60}}{c} R_0} \\ \beta_{60_0} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{60}}{c} R_1} & \cdots & \beta_{60_{S-1}} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{60}}{c} R_1} \end{bmatrix} \quad 20$$

【0022】

【数5】

$$\mathbf{X}_{76} = \begin{bmatrix} e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 0}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 0}{c} R_1} & & & \\ e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 1}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot 1}{c} R_1} & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_0} & e^{\frac{4\pi j \Delta f \cdot (N-1)}{c} R_1} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{76_0} \cdot \alpha_{76_0} \cdot a_0 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{76}}{c} R_0} & \cdots & \beta_{76_{S-1}} \cdot \alpha_{76_0} \cdot a_0 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{76}}{c} R_0} \\ \beta_{76_0} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{76}}{c} R_1} & \cdots & \beta_{76_{S-1}} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{\frac{4\pi j f_{76}}{c} R_1} \end{bmatrix} \quad 30$$

【0023】

このようにして、離隔周波数帯レーダ群1において、各周波数帯域のレーダでの計測される周波数軸上信号  $X_{60}, X_{76}$  が、ノンコヒーレント距離推定処理部2に供給される。

【0024】

ノンコヒーレント距離推定処理部2は、図1に示すように、各帯域での評価値（ここでは評価値を尤度とする）を算出する尤度算出部21と、尤度算出部21で得た各帯域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22とを有する。なお、尤度算出部21が評価値として尤度を算出し、最大尤度探索部22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。

40

【0025】

ノンコヒーレント距離推定処理部2の尤度算出部21は、【数4】式及び【数5】式で

50

示される周波数軸上信号  $X_{60}$ ,  $X_{76}$  を入力としたとき、次の [数6] 式及び [数7] 式に示す演算を行い、それぞれの帯域での尤度を算出する。これら [数6] 式及び [数7] 式に示す  $A$  は、[数8] 式に示す。[数6] 式及び [数7] 式において、 $H$  は複素共役転置、 $\text{trace}$  は行列の対角項の和を示す。

【0026】

【数6】

$$ML60(R_0, R_1) = \left( \text{trace} \left[ A (A^H A)^{-1} A^H X_{60} X_{60}^H \right] \right)$$

【0027】

【数7】

$$ML76(R_0, R_1) = \left( \text{trace} \left[ A (A^H A)^{-1} A^H X_{76} X_{76}^H \right] \right)$$

10

【0028】

【数8】

$$A = \begin{bmatrix} e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R_0} & e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R_1} \\ \vdots & \vdots \\ e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R_0} & e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R_1} \end{bmatrix}$$

20

【0029】

そして、最大尤度探索部22が、帯域ごとの周波数軸上信号  $X_{60}$ ,  $X_{76}$  と各関数  $m$ ,  $n$ ,  $s$  との尤度が最大となる最大尤度を探索する。例えば、2つの周波数軸上信号  $X_{60}$ ,  $X_{76}$  の尤度の和を、次の [数9] 式に示すように求める。[数9] 式において、 $\arg \max$  は、評価関数の値（ここでは尤度の値）を最大とする引数を返す関数である。

【0030】

【数9】

$$(R_0, R_1) = \arg \max_{R_0, R_1} (ML60(R_0, R_1) + ML76(R_0, R_1))$$

30

【0031】

そして、最大尤度探索部22は、尤度の和が最大となる距離  $R_0$ ,  $R_1$  を、準ニュートン法、レーベンバーグ・マーカート法などの非線形探索で求め、その探索結果を最大尤度探索部22での探索結果として、2つの目標の距離  $R_0$ ,  $R_1$  を得る。なお、[数9] 式は尤度の和が最大となる距離を求めるようにしたが、これは一例であり、例えば算術平均値、調和平均値の最大探索、算術平均値の逆数、調和平均値の逆数の最小探索などに置き換えることも可能である。

ノンコヒーレント距離推定処理部2は、得られた2つの目標の距離  $R_0$ ,  $R_1$  を出力する。

【0032】

40

ノンコヒーレント距離推定処理部2が出力する距離  $R_0$ ,  $R_1$  の情報は、位相差推定処理部3に供給する。

位相差推定処理部3は、ノンコヒーレント距離推定処理部2の出力である距離  $R_0$ ,  $R_1$  を入力として、距離  $R_0$  の目標に対応する以下の複素振幅

$$\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{60}}{c} \cdot R_0}, \quad \beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{76}}{c} \cdot R_0}$$

及び、距離  $R_1$  の目標に対応する以下の複素振幅



$$\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{60}}{c} R_1}, \quad \beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{76}}{c} R_1}$$

を、最小二乗法等によりそれぞれ推定する。

【 0 0 3 3 】

ここで、距離  $R_0, R_1$  に対応する各スナップショットの目標の離隔周波数帯間の振幅位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  は、次の [ 数 1 0 ] 式に示すように求める。

【 0 0 3 4 】

【 数 1 0 】

$$\alpha_{0,s} = \frac{\beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{76}}{c} R_0}}{\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{60}}{c} R_0}}, \quad \alpha_{1,s} = \frac{\beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{76}}{c} R_1}}{\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{60}}{c} R_1}}$$

10

$$\alpha_{1,s} = \frac{\beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{76}}{c} R_1}}{\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \frac{f_{60}}{c} R_1}}$$

【 0 0 3 5 】

このようにして、位相差推定処理部 3 は、距離  $R_0, R_1$  に対応する目標の離隔周波数帯間の振幅位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  を得、得られた振幅位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  を、コヒーレント距離推定処理部 4 に供給する。

20

【 0 0 3 6 】

コヒーレント距離推定処理部 4 は、位相差推定処理部 3 で得た振幅位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  を初期位相として、最大尤度探索処理を行い、その最大尤度探索処理結果から、距離  $R_0, R_1$  の推定を行う。ここで、最大尤度探索処理は、予め設定された回数だけ繰り返し実行する。また、予め設定された回数だけ繰り返し最大尤度探索処理を行った後、さらに予め設定されたグローバル試行回数だけ、位相差推定処理部 3 での位相差推定から繰り返して、最大尤度探索処理を実行する。

【 0 0 3 7 】

図 2 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流れを示す。なお、図 1 に示す離隔周波数合成レーダ装置 1 0 a 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 での処理動作を統括する制御部（不図示）を備え、この制御部による制御下で、図 2 のフローチャートに示す手順で、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が行われる。

30

まず、位相差推定処理部 3 は、距離  $R_0, R_1$  から位相差を推定処理する（ステップ S 1 1）。ここでの位相差推定処理は、上述した [ 数 1 0 ] 式に示す演算で実行される。

【 0 0 3 8 】

位相差推定処理部 3 で得た離隔周波数帯間の位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  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 1 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  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  と、その位相差  $\alpha_{0,s}, \alpha_{1,s}$  の推定に使用した距離  $R_0, R_1$  とから、最大尤度の探索処理を行う（ステップ S 1 3）。

40

ここでは、コヒーレント距離推定処理部 4 が、[ 数 4 ] 式に示す周波数軸上信号  $X_{6,0}$  と、[ 数 5 ] 式に示す周波数軸上信号  $X_{7,6}$  を縦に結合した  $X$  を入力とする、[ 数 1 1 ] 式及び [ 数 1 2 ] 式に示す演算を行う。

【 0 0 3 9 】

【 数 1 1 】

$$(R_0, R_1) = \arg \max_{R_0, R_1} \left( \text{trace} \left[ C(C^H C)^{-1} C^H X X^H \right] \right)$$

50

【 0 0 4 0 】

【 数 1 2 】

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix}
 e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R0} & e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R1} \\
 \vdots & \vdots \\
 e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R0} & e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R1} \\
 \alpha_{1,s} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R0} & \alpha_{2,s} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R1} \\
 \vdots & \vdots \\
 \alpha_{1,s} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R0} & \alpha_{2,s} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R1}
 \end{bmatrix}$$

10

【 0 0 4 1 】

なお、

$$\mathbf{a}_{if}(R) = \begin{bmatrix} e^{4\pi j \frac{fc_{if} - R}{c}} \\ e^{4\pi j \frac{fc_{if} + \Delta f}{c} \cdot R} \\ \vdots \\ e^{4\pi j \frac{fc_{if} + (N-1)\Delta f}{c} \cdot R} \end{bmatrix}$$

( $fc_{iF} = fc_0, fc_1, \dots, fc_{N_F-1}$  または  $f_{iF} = 0, N\Delta f, \dots, N \cdot iF \cdot \Delta f, \dots, N \cdot (N_F - 1)\Delta f$  であり  $iF$  は  
10 周波数帯番号を示す) を用い、各帯域における目標の複素振幅  $a_{0,k}, a_{1,k}$  を以下の式で求め、

$$\begin{pmatrix} a_{0,0} \\ \vdots \\ a_{0,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}_0^H \hat{A}_0)^{-1} \hat{A}_0^H z, \quad \begin{pmatrix} a_{1,0} \\ \vdots \\ a_{1,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}_1^H \hat{A}_1)^{-1} \hat{A}_1^H z$$

$$\hat{A}_{if} = (\mathbf{a}_{if}(\hat{R}_0) \cdots \mathbf{a}_{if}(\hat{R}_{K-1}))$$

20

Cとして、

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} a_{0,0} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R_0} & a_{0,1} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R_1} \\ \vdots & \vdots \\ a_{0,0} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R_0} & a_{0,1} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R_1} \\ a_{1,0} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot N}{c} \cdot R_0} & a_{1,1} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot N}{c} \cdot R_1} \\ \vdots & \vdots \\ a_{1,0} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (2N-1)}{c} \cdot R_0} & a_{1,1} \cdot e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (2N-1)}{c} \cdot R_1} \end{bmatrix}$$

30

を用いることも可能であり。これにより、より高分解能化が期待される。

【0042】

コヒーレント距離推定処理部4は、この周波数軸上信号  $X_{60}, X_{76}$  を入力として、  
40 尤度が最大となる距離  $R_0, R_1$  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  $R_0, R_1$  の推定値を得る(ステップS13)。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  $R_0, R_1$  を一旦記憶し(ステップS  
14)、ステップS13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S15)。

ステップS15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  
S15のNO)、コヒーレント距離推定処理部4は、ステップS13に戻り、探索初期値  
である距離  $R_0, R_1$  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  $R_0, R_1$  の非線形探索を行う。

【0043】

また、ステップS15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  
50

ップ S 1 5 の Y E S )、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  $R_0, R_1$  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 1 6)。

【 0 0 4 4 】

その後、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 1 6 で最大尤度となる距離  $R_0, R_1$  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 1 7)。

ステップ S 1 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 1 7 の N O)、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 1 6 で格納した最大尤度判定結果の推定距離  $R_0, R_1$  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  $R_0, R_1$  を使ったステップ S 1 1 での位相差推定から、再度処理を実行させる。

10

【 0 0 4 5 】

また、ステップ S 1 7 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 S 1 7 の Y E S)、コヒーレント距離推定処理部 4 は、ステップ S 1 6 で格納した結果の中から最大尤度となる距離  $R_0, R_1$  を取り出し、取り出した最大尤度となる距離  $R_0, R_1$  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 S 1 8)。

【 0 0 4 6 】

図 3 及び図 4 は、本実施の形態例による位相差推定が行われる概要を説明する図である。

位相差推定処理部 3 で位相差推定を行い、その結果を使ってコヒーレント距離推定処理部 4 で距離推定を行うことで、2つの帯域を繋げることができ、それぞれの帯域で求めた距離の平均を単純に求めるよりも高い距離分解能や精度が得られるようになる。

20

すなわち、例えば図 3 A に示すように、第 1 周波数帯 Band1 の受信信号と、第 2 周波数帯 Band2 の受信信号とが離れた周波数で存在し、その 2 つの周波数帯 Band1, Band2 の受信信号の位相があっていない場合には、図 3 B に示すように、第 1 周波数帯 Band1 と第 2 周波数帯 Band2 とを破線で示すようにそのまま接続しても、2つの受信信号の位相が一致せず、破線で示す 2 つの帯域の間の情報を距離推定に使用することができない。

【 0 0 4 7 】

一方、位相差推定処理部 3 で 2 つの帯域の位相差 を推定することで、2つの周波数帯 Band1, Band2 の信号の位相のずれが補償され、図 4 A に示すように、第 1 周波数帯 Band1 の受信信号と、第 2 周波数帯 Band2 の受信信号とが離れた周波数で存在した場合でも、その 2 つの周波数帯 Band1, Band2 の受信信号は、図 4 B に破線で示すように位相がほぼ一致して接続されるようになる。したがって、破線で示す 2 つの帯域の間の情報が、距離推定に使用できるようになり、高い距離分解能や精度が得られるようになる。

30

【 0 0 4 8 】

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  $R_0, R_1$  の検出精度が上がる状態の概要を示す。

図 5 A, B, C は、いずれも縦軸が尤度値、横軸が推定距離を示す。

このノンコヒーレント距離推定処理部 2 でそれぞれの帯域毎に距離を算出した場合には、図 5 A 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、ノンコヒーレント距離推定処理部 2 でそれぞれの帯域毎に距離を推定した場合、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 5 A に示すように、推定距離のピーク (尤度値が最も高い点) が明確でない状態である。

40

【 0 0 4 9 】

一方、図 5 B 及び図 5 C 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 5 B は、複素振幅係数の推定精度が悪い場合であり、図 2 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 5 B 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

50

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。

#### 【0050】

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5C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5C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5B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。

#### 【0051】

具体的には、各周波数帯域の信号の平均化を行うノンコヒーレント距離推定処理部2では、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、個別周波数帯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。

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離隔周波数合成レーダ装置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。

例えば、図15に示すように、車両100の前方に近接して二人の人物(目標)P1, P2がいる状況のとき、従来のレーダ装置での距離を推定するための信号S1(図15の左下)では、2つの目標P1, P2が合成されたピークが検出されて、それぞれの目標P1, P2の距離を分離して検出することは困難であった。これに対して、本実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10aを車両100に搭載した場合に得られる信号S2(図15の右下)では、近接した2つの目標P1, P2のピークが個別に検出され、それぞれの目標P1, P2の距離を正確に推定できるようになる。

#### 【0052】

<第2の実施の形態例>

次に、本発明の第2の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置を、図6を参照して説明する。

図6は、第2の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10bの構成を示す。

離隔周波数合成レーダ装置10bは、離隔周波数帯レーダ群1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。すなわち、第1の実施の形態例で説明した離隔周波数合成レーダ装置10a(図1)では、ノンコヒーレント距離推定処理部2を備えて、それぞれの周波数帯ごとに距離推定を行った後、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でのコヒーレント距離推定処理を行うようにした。

#### 【0053】

これに対して、図6に示す離隔周波数合成レーダ装置10bでは、離隔周波数帯レーダ群1で得た各帯域 $f_{c_m}$ の搬送波周波数、帯域内周波数 $f_n$ を、位相差推定処理部3に供給して、位相差の推定処理を行う。例えば、第1の実施の形態例と同様に、位相差推定処理部3は、距離 $R_0, R_1$ に対応する目標の離隔周波数帯間の振幅位相差 $\theta_0, \theta_1$ を得る。そして、得られた振幅位相差 $\theta_0, \theta_1$ を、コヒーレント距離推定処理部4に供給する。この位相差推定処理部3での位相差推定処理と、コヒーレント距離推定処理部4での距離推定処理は、図2のフローチャートで説明したように、最大の尤度の探索時に、ローカル設定

10

20

30

40

50

回数 of 繰り返し及びグローバル設定回数 of 繰り返しを行うようにする。

【0054】

この図6に示す構成の離隔周波数合成レーダ装置10bによっても、第1の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10aと同様に、高精度かつ高分解能な測距性能を達成できる。

【0055】

<第3の実施の形態例>

次に、本発明の第3の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置を、図7及び図8を参照して説明する。

図7は、第3の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10cの構成を示す。

離隔周波数合成レーダ装置10cは、離隔周波数帯レーダ群1と、ノンコヒーレント距離推定処理部2と、推定対象選択距離推定部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。

【0056】

離隔周波数帯レーダ群1及びノンコヒーレント距離推定処理部2は、第1の実施の形態例(図1)で説明した離隔周波数帯レーダ群1及びノンコヒーレント距離推定処理部2と同じである。また、位相差推定処理部3と、コヒーレント距離推定処理部4についても、第1の実施の形態例で説明した位相差推定処理部3及びコヒーレント距離推定処理部4と同じである。

【0057】

そして、離隔周波数合成レーダ装置10cは、ノンコヒーレント距離推定処理部2で得た目標の距離の情報を、推定対象選択距離推定部5に供給する。推定対象選択距離推定部5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行うものである。推定対象選択距離推定部5が行う処理の詳細については後述する(図8)。

【0058】

そして、推定対象選択距離推定部5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離隔周波数合成レーダ装置10aと同様に構成する。

【0059】

図8のフローチャートは、推定対象選択距離推定部5で行う処理の流れを示す。

推定対象選択距離推定部5は、まずノンコヒーレント距離推定処理部2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(ステップS21)。

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1/100程度の値とする。

そして、推定対象選択距離推定部5は、初期値の更新処理を行う(ステップS22)。試行回数1回目ではステップS21で付与した初期値を、そのままステップS22での更新値として使用する。

【0060】

その後、更新された目標距離(後述するステップS27で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S23)。試行回数1回目ではステップS21で付与した初期値を、そのままステップS23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5は、減算目標の振幅推定処理を行う(ステップS24)。ここでは、目標推定距離

$$\hat{R}_j (j=0,1,\dots,K-1)$$

が入力される。そして、減算対象目標距離

10

20

30

40

50

$$\hat{R}_k (k=0,1,\dots,K-1, k \neq j)$$

に対応する複素振幅  $a_{m,k}$  をフーリエ変換等により求める。

離隔周波数帯レーダ群 1 で得られる 2 つの周波数軸上信号  $X_{60}$  及び  $X_{76}$  での複素振幅  $a_{m,k}$  を、[ 数 1 3 ] 式及び [ 数 1 4 ] 式に示す。

【 0 0 6 1 】

【 数 1 3 】

$$a_{0,k} = \frac{\mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{60} \quad (k=0,1,\dots,K-1, k \neq j) \quad 10$$

【 0 0 6 2 】

【 数 1 4 】

$$a_{1,k} = \frac{\mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{76} \quad (k=0,1,\dots,K-1, k \neq j) \quad 20$$

【 0 0 6 3 】

ここで、 $\mathbf{a}(R)$  は、次式で定義される。

【 0 0 6 4 】

【 数 1 5 】

$$\mathbf{a}(R) = \begin{pmatrix} e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R} \\ \vdots \\ e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R} \end{pmatrix} \quad 30$$

【 0 0 6 5 】

次に、推定対象選択距離推定部 5 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 2 5）。各周波数帯における減算目標波形は、次の [ 数 1 6 ] 式及び [ 数 1 7 ] 式で示される。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 6 】

$$\mathbf{x}_{0,k} = \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{60} = a_{0,k} \mathbf{a}(\hat{R}_k) \quad 40$$

【 0 0 6 7 】

【 数 1 7 】

$$\mathbf{x}_{1,k} = \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{76} = a_{1,k} \mathbf{a}(\hat{R}_k) \quad 50$$

【 0 0 6 8 】

そして、推定対象選択距離推定部 5 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 26）、次の [ 数 18 ] 式及び [ 数 19 ] 式に示すように減算された信号に更新する。

【 0 0 6 9 】

【 数 1 8 】

$$\hat{\mathbf{X}}_{60} = \mathbf{X}_{60} - \sum_k \mathbf{x}_{0,k}$$

【 0 0 7 0 】

【 数 1 9 】

$$\hat{\mathbf{X}}_{76} = \mathbf{X}_{76} - \sum_k \mathbf{x}_{1,k}$$

【 0 0 7 1 】

減算された信号を得た後、推定対象選択距離推定部 5 は、各帯域でのステアリングベクトルを  $B_{60\_1}$ 、 $B_{76\_1}$  として、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（ $\hat{R}_j$ ）を推定し、推定結果で目標距離を更新する（ステップ S 27）。なお、本明細書において、（ $\hat{\phantom{x}}$ ）は、その後の記号の上に $\hat{\phantom{x}}$ 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、 $\hat{\phantom{x}}$ を本来の位置に記載する。

以下の [ 数 20 ] 式 ~ [ 数 25 ] 式は、目標距離の推定処理を示し、[ 数 25 ] 式に示す評価式の最大探索より目標距離を推定する。

【 0 0 7 2 】

【 数 2 0 】

$$B_{60\_1} = \left( \mathbf{I} - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^{K-1} \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \right) \mathbf{a}(R)$$

【 0 0 7 3 】

【 数 2 1 】

$$B_{76\_1} = \left( \mathbf{I} - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^{K-1} \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \right) \mathbf{a}(R)$$

【 0 0 7 4 】

なお、[ 数 20 ] 式から [ 数 21 ] 式は、特に目標間距離が近接しているとき、上記に対して、

$$B_{60\_1} = \left( \mathbf{I} - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^{K-1} \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \right) \hat{\mathbf{A}}(R) \hat{\mathbf{a}}_0^H$$

$$B_{76\_1} = \left( \mathbf{I} - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^{K-1} \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \right) \hat{\mathbf{A}}(R) \hat{\mathbf{a}}_1^H$$

を用いることで距離推定精度の向上が期待される。

【 0 0 7 5 】

また、減算目標数が既知の場合は、[ 数 16 ] 式および [ 数 17 ] 式における減算波形

10

20

30

40

50



の複素振幅  $a_{0,k}$ 、 $a_{1,k}$  は、は以下の式により求められる。

$$\begin{pmatrix} a_{0,0} \\ \vdots \\ a_{0,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}^H \hat{A})^{-1} A^H \mathbf{X}_{60}, \quad \begin{pmatrix} a_{1,0} \\ \vdots \\ a_{1,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}^H \hat{A})^{-1} A^H \mathbf{X}_{76}$$

$$\hat{A} = (\mathbf{a}(\hat{R}_0) \cdots \mathbf{a}(\hat{R}_{K-1}))$$

10

【 0 0 7 6 】

上式を用いた場合、[数 2 0] 式および [数 2 1] 式の B 6 0 \_ 1 および B 7 6 \_ 1 はそれぞれ、 $B 6 0 _ 1 = B 7 6 _ 1 = a(R)$  となる。上記により同様に距離推定精度の向上が期待される。

【 0 0 7 7 】

【数 2 2】

$$\mathbf{a}(R) = \begin{pmatrix} e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 0}{c} \cdot R} \\ e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot 1}{c} \cdot R} \\ \vdots \\ e^{4\pi j \frac{\Delta f \cdot (N-1)}{c} \cdot R} \end{pmatrix}$$

20

【 0 0 7 8 】

【数 2 3】

$$TR60\_1 = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{B60\_1} \cdot (\mathbf{B60\_1}^H \mathbf{B60\_1})^{-1} \cdot \mathbf{B60\_1}^H \cdot \hat{\mathbf{X}}_{60} \hat{\mathbf{X}}_{60}^H$$

30

【 0 0 7 9 】

【数 2 4】

$$TR76\_1 = \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{B76\_1} \cdot (\mathbf{B76\_1}^H \mathbf{B76\_1})^{-1} \cdot \mathbf{B76\_1}^H \cdot \hat{\mathbf{X}}_{76} \hat{\mathbf{X}}_{76}^H$$

【 0 0 8 0 】

【数 2 5】

$$\hat{R}_j = \underset{R}{\operatorname{argmax}}(TR60\_1 + TR76\_1)$$

40

【 0 0 8 1 】

次に、推定対象選択距離推定部 5 は、ステップ S 2 7 での目標距離の推定及び更新が行われた試行回数 tr 1 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滿かを判断する (ステップ S 2 8)。ここで、試行回数が設定された試行回数未滿であるとき (ステップ S 2 8 の NO)、推定対象選択距離推定部 5 は、ステップ S 2 3 の処理に戻り、ステップ S 2 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 0 8 2 】

また、ステップ S 2 8 で、試行回数 tr 1 が予め設定された試行回数に到達したとき (ステップ S 2 8 の YES)、推定対象選択距離推定部 5 は、ステップ S 2 2 での初期値を更新した試行回数 tr 2 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滿かを判

50

断する（ステップS29）。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S29のNO）、推定対象選択距離推定部5は、ステップS22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。

【0083】

また、ステップS29で、試行回数tr2が予め設定された試行回数に到達したとき（ステップS29のYES）、推定対象選択距離推定部5は、ステップS21で初期値を生成した試行回数tr3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S30）。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S30のNO）、推定対象選択距離推定部5は、ステップS21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。

10

【0084】

また、ステップS30で、試行回数tr3が予め設定された試行回数に到達したとき（ステップS20のYES）、推定対象選択距離推定部5は、ステップS27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S31）。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(^)R<sub>j</sub>を決定する。

推定対象選択距離推定部5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。

【0085】

この推定対象選択距離推定部5を備えることで、離隔周波数帯レーダ群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。

20

【0086】

<第4の実施の形態例>

次に、本発明の第4の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置を、図9を参照して説明する。

図9は、第4の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10dの構成を示す。

離隔周波数合成レーダ装置10dは、離隔周波数帯レーダ群1と、ノンコヒーレント距離推定処理部2と、推定対象選択距離推定部5と、位相差推定処理部3と、推定対象選択距離推定部5とを備える。

30

ノンコヒーレント距離推定処理部2、及び推定対象選択距離推定部5での処理については、第3の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10cと同じである。

【0087】

そして、本実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置10dでは、推定対象選択距離推定部5で得た推定距離から、位相差推定処理部3が位相差を推定し、位相差推定処理部3が推定した位相差を使って、推定対象選択距離推定部5が距離を推定する際に、推定対象選択距離推定部5と同様に対象となる目標以外の情報を減算しながら、それぞれの目標の距離を推定する処理を行う。

【0088】

図10のフローチャートは、位相差推定処理部3及び推定対象選択距離推定部5で行う処理の流れを示す。

40

まず、位相差推定処理部3は、位相差を推定する（ステップS41）。

ここでは、位相差推定処理部3は、距離R<sub>0</sub>、R<sub>1</sub>を入力として、距離R<sub>0</sub>、R<sub>1</sub>の目標に対する複素振幅

$$a60_0^{<s>} = \beta60_s \cdot a60_0 \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f60}{c} \cdot R_0}, \quad a60_1^{<s>} = \beta60_s \cdot a60_1 \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f60}{c} \cdot R_1}$$

及び

$$\alpha 76_0^{<s>} = \beta 76_s \cdot \alpha 76_0 \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f76}{c} \cdot R_0}, \quad \alpha 76_1^{<s>} = \beta 76_s \cdot \alpha 76_1 \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f76}{c} \cdot R_1}$$

を、最小二乗法（一般化逆行列）等にてそれぞれ推定する。この複素振幅において、 $S$  はスナップショット数、 $s$  はスナップショット番号である。

ここで、 $60 < S >$  及び  $76 < S >$  は、次の [数 26] 式及び [数 27] で定義される。[数 26] 式及び [数 27] に示す  $A$  は、[数 8] 式に示す  $A$  である。

【0089】

【数 26】

10

$$\alpha 60^{<s>} = (A^H A)^{-1} A^H X_{60}$$

【0090】

【数 27】

$$\alpha 76^{<s>} = (A^H A)^{-1} A^H X_{76}$$

【0091】

このとき、距離  $R_0, R_1$  に対する目標の離隔周波数帯域間の振幅位相差  $\alpha_0, \alpha_1$  は、次の [数 28] 式で表される。 20

【0092】

【数 28】

$$\alpha_0^{<s>} = \frac{\alpha 76_0^{<s>}}{\alpha 60_0^{<s>}}, \quad \alpha_1^{<s>} = \frac{\alpha 76_1^{<s>}}{\alpha 60_1^{<s>}}$$

【0093】

なお、ステップ S 4 1 での位相差推定処理時において、入力距離  $R_0, R_1$  に値が入っていないループの 1 回目では、位相差を 1 などの値に初期化する。 30

位相差推定処理部 3 は、このように算出される振幅位相差  $\alpha_0, \alpha_1$  と、複素振幅  $60, 76$  を出力とする。

この振幅位相差  $\alpha_0, \alpha_1$  と、複素振幅  $60, 76$  が入力された推定対象選択距離推定部 5 は、減算波形生成処理を行う（ステップ S 4 2）。ここでは、[数 29] 式及び [数 30] 式に示す減算目標波形を周波数帯ごとに生成する。

【0094】

【数 29】

$$\mathbf{x}_{0,k} = \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{60} = a_{0,k} \mathbf{a}(\hat{R}_k)$$

40

【0095】

【数 30】

$$\mathbf{x}_{1,k} = \frac{\mathbf{a}(\hat{R}_k) \mathbf{a}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}(\hat{R}_k)|^2} \mathbf{X}_{76} = a_{1,k} \mathbf{a}(\hat{R}_k)$$

【0096】

50

そして、推定対象選択距離推定部 5 は、減算処理を行う（ステップ S 4 3）。ここでは、次の [ 数 3 1 ] 式及び [ 数 3 2 ] 式に示すように、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。

【 0 0 9 7 】

【 数 3 1 】

$$\hat{X}_{60} = X_{60} - \sum_k x_{0,k}$$

【 0 0 9 8 】

【 数 3 2 】

$$\hat{X}_{76} = X_{76} - \sum_k x_{1,k}$$

10

【 0 0 9 9 】

さらに、推定対象選択距離推定部 5 は、目標距離推定・更新処理を行う（ステップ S 4 4）。ここでは、ステップ S 4 3 で得た [ 数 3 1 ] 式に示す周波数軸上信号（ $\hat{X}_{60}$ ）と、[ 数 3 2 ] 式に示す周波数軸上信号（ $\hat{X}_{76}$ ）を縦に結合した（ $\hat{X}$ ）を入力とする。

このとき、ステアリングベクトルを  $B_{60\_1}$ 、 $B_{76\_1}$  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 [ 3 3 ] 式の評価式の最大探索より、目標距離（ $\hat{R}_j$ ）を推定し、更新する。[ 3 3 ] 式の  $TR$  は、[ 数 3 4 ] 式で示される。

20

【 0 1 0 0 】

【 数 3 3 】

$$\hat{R}_j = \arg \max_R (TR)$$

【 0 1 0 1 】

【 数 3 4 】

$$TR = \sum_{n=0}^{Nsb-1} B \cdot (B^H B)^{-1} \cdot B^H \cdot \hat{X} \hat{X}^H$$

30

【 0 1 0 2 】

なお、特に目標間距離が近接しているとき、

$$\mathbf{a}_{if}(R) = \begin{bmatrix} e^{4\pi j \frac{f_{if} R}{c}} \\ e^{4\pi j \frac{f_{if} + \Delta f}{c} R} \\ \vdots \\ e^{4\pi j \frac{f_{if} + (N-1)\Delta f}{c} R} \end{bmatrix}$$

( $f_{c_{iF}} = f_{c_0}, f_{c_1}, \dots, f_{c_{N_F-1}}$  または  $f_{iF} = 0, N\Delta f, \dots, N \cdot iF \cdot \Delta f, \dots, N \cdot (N_F - 1)\Delta f$  であり  $iF$  は周波数帯番号を示す) を用い、

10

$$\mathbf{b}_{if} = \left( \mathbf{I} - \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^{K-1} \frac{\mathbf{a}_{if}(\hat{R}_k) \mathbf{a}_{if}^H(\hat{R}_k)}{|\mathbf{a}_{if}(\hat{R}_k)|^2} \right) \hat{\mathbf{A}}'_{if}(R) \hat{\mathbf{a}}_{if}^H$$

$$\hat{\mathbf{A}}'_{if}(R) = (\mathbf{a}'_{if}(0), \mathbf{a}'_{if}(i), \dots, \mathbf{a}'_{if}(K-1)), \quad \mathbf{a}'_{if}(i) = \begin{cases} \mathbf{a}'_{if}(\hat{R}_i) & i \neq k \\ \mathbf{a}'_{if}(R) & i = k \end{cases}$$

20

$$\begin{pmatrix} \hat{\mathbf{a}}_{0,0} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{a}}_{0,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{\mathbf{A}}_0^H \hat{\mathbf{A}}_0)^{-1} \mathbf{A}_0^H \mathbf{X}_{60}, \quad \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{a}}_{1,0} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{a}}_{1,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{\mathbf{A}}_1^H \hat{\mathbf{A}}_1)^{-1} \mathbf{A}_1^H \mathbf{X}_{76}$$

としてステアリングベクトルを、各帯域の  $\mathbf{b}_{if}$  を縦に結合した  $\mathbf{B}$  をステアリングベクトルとして用いることも可能であり、これにより、より高分解能化が期待される。

【0103】

また、減算波形の複素振幅  $(\hat{\mathbf{a}})_{0,k}, (\hat{\mathbf{a}})_{1,k}$  は以下の式でも求められる。

30

$$\begin{pmatrix} \hat{\mathbf{a}}_{0,0} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{a}}_{0,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{\mathbf{A}}_0^H \hat{\mathbf{A}}_0)^{-1} \mathbf{A}_0^H \mathbf{X}_{60}, \quad \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{a}}_{1,0} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{a}}_{1,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{\mathbf{A}}_1^H \hat{\mathbf{A}}_1)^{-1} \mathbf{A}_1^H \mathbf{X}_{76}$$

$$\hat{\mathbf{A}}_{if} = (\mathbf{a}_{if}(\hat{R}_0) \cdots \mathbf{a}_{if}(\hat{R}_{K-1}))$$

上式を用いた場合、 $\mathbf{B}$  は  $\mathbf{a}_{if}$  を縦に結合したものとなる。

【0104】

40

そして、推定対象選択距離推定部5 は、試行回数  $tr1$  が、設定回数に到達したか否かを判断する(ステップS45)。ここで、試行回数  $tr1$  が、設定回数未満のとき(ステップS45のNO)、ステップS42に戻り、減算対象目標距離の更新を繰り返す。また、試行回数  $tr1$  が設定回数になったとき(ステップS45のYES)、ステップS46の初期値更新の回数判定処理に移る。

ステップS46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S45のNO)、ステップS41に戻り、目標距離  $(\hat{\mathbf{R}})_j$  を格納して、位相差推定処理部3 への入力距離  $R_0, R_1$  にランダム値を付与して、位相差推定処理部3 での位相差推定処理を再度実行させる。

50

そして、ステップ S 4 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<sub>j</sub> と TR を出力する。

【 0 1 0 5 】

さらに、推定対象選択距離推定部 5 は、ステップ S 4 6 で出力される目標距離 (^) R<sub>j</sub> と TR の内で、TR の最大値をとる目標距離 (^) R<sub>j</sub> を出力する（ステップ S 4 7）。このステップ S 4 7 で出力される目標距離 (^) R<sub>j</sub> が、本実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置 1 0 d が出力する目標距離になる。

本実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置 1 0 d の場合にも、離隔周波数帯レーダ群 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。

10

【 0 1 0 6 】

< 第 5 の実施の形態例 >

次に、本発明の第 5 の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置を、図 1 6 を参照して説明する。

図 1 6 は、第 5 の実施の形態例の離隔周波数合成レーダ装置 1 0 i の構成を示す。

離隔周波数合成レーダ装置 1 0 i は、離隔周波数帯レーダ群 1 と、位相差推定処理部 3 と、推定対象選択距離推定部 5 とを備える。

【 0 1 0 7 】

図 1 7 のフローチャートは、位相差推定処理部 3 および推定対象選択距離推定部 5 で行う処理の流れを示す。

20

まず、目標数の更新により目標数が 1 として設定される（ステップ S 4 0）。その後、既に説明した第 4 の実施の形態におけるステップ S 4 1 ~ S 4 7 までの処理（図 1 0）を実施し、さらに、以下の式による終了判定を実施する（ステップ S 4 8）。ステップ S 4 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 4 8 の YES）。

【 0 1 0 8 】

$$\left( X_{60} - \sum_{i=0, i \neq k}^{K-1} a_0(\hat{R}_i) \cdot \hat{a}_{0,i} + X_{76} - \sum_{i=0, i \neq k}^{K-1} a_1(\hat{R}_i) \cdot \hat{a}_{1,i} \right) < \epsilon$$

$$\begin{pmatrix} a_{0,0} \\ \vdots \\ a_{0,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}_0^H \hat{A}_0)^{-1} A_0^H X_{60}, \quad \begin{pmatrix} a_{1,0} \\ \vdots \\ a_{1,K-1} \end{pmatrix} = (\hat{A}_1^H \hat{A}_1)^{-1} A_1^H X_{76}$$

30

$$a_{if}(R) = \begin{bmatrix} e^{4\pi \frac{f_{if} R}{c}} \\ e^{4\pi \frac{f_{if} + \Delta f}{c} R} \\ \vdots \\ e^{4\pi \frac{f_{if} + (N-1)\Delta f}{c} R} \end{bmatrix}, \quad \hat{A}_{if} = (a_{if}(\hat{R}_0) \cdots a_{if}(\hat{R}_{K-1}))$$

40

【 0 1 0 9 】

ステップ S 4 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 4 8 の NO）、ステップ S 4 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、図 1 7 に示すフローチャートの場合についても、ステップ S 4 1 での位相差推定処理時において、入力距離 R<sub>0</sub> に値が入っていないループの 1 回目では、(^) a<sub>0,0</sub>、(^) a<sub>1,0</sub> を 1 などの値に初期化する。

第 5 の実施の形態による離隔周波数合成レーダ装置によると、位相差推定処理部と推定対象選択距離推定部は目標数が未知でよく、目標距離の初期値を必要としない。

50

## 【0110】

<変形例>

次に、本発明の各実施の形態例の変形例について、図11～図14を参照して説明する。

図11に示す離隔周波数合成レーダ装置10eは、離隔周波数帯レーダ群1と、コヒーレント位相差・距離推定処理部6を備える。コヒーレント位相差・距離推定処理部6は、離隔周波数帯レーダ群1で得られたそれぞれの周波数帯の信号を入力として、位相差と、目標距離 $R_0$ 、 $R_1$ を得るための最大となる尤度を探索する処理を同時の演算で行う。

ここで、離隔周波数帯レーダ群1が2つの周波数帯域を有する場合、位相差の初期値は、入力信号から求める。また、離隔周波数帯レーダ群1が3つ以上の周波数帯域を有する場合には、位相差は乱数値とする。

10

## 【0111】

図12に示す離隔周波数合成レーダ装置10fは、離隔周波数帯レーダ群1と、ノンコヒーレント距離推定処理部2と、コヒーレント位相差・距離推定処理部6を備える。

この図12の例では、コヒーレント位相差・距離推定処理部6は、ノンコヒーレント距離推定処理部2でそれぞれの周波数帯ごとに個別に算出された距離から得た値を入力とする。

## 【0112】

図13に示す離隔周波数合成レーダ装置10gは、離隔周波数帯レーダ群1と、位相差推定処理部3と、コヒーレント位相差・距離推定処理部6を備える。

この図13の例では、位相差推定処理部3は、離隔周波数帯レーダ群1が出力する各周波数帯の信号から、位相差を推定処理する。

20

## 【0113】

図14に示す離隔周波数合成レーダ装置10hは、離隔周波数帯レーダ群1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を備える。

この図14の例では、位相差推定処理部3は、離隔周波数帯レーダ群1が出力する各周波数帯の信号から、位相差を推定処理し、推定処理した位相差を使って、コヒーレント距離推定処理部4が距離の推定処理を行う。位相差推定処理部3での位相差の推定と、コヒーレント距離推定処理部4での距離の推定は、第1の実施の形態例などで説明したように繰り返し実行されるものである。

30

## 【0114】

なお、ここまで説明した各実施の形態例では、離隔周波数帯として2つの周波数帯で、2つの目標の距離 $R_0$ 、 $R_1$ を算出する例とした。これらの離隔周波数帯や目標の数は一例であり、本発明はより多数の周波数帯を使用する場合や、より多数の目標の距離を算出する場合にも適用が可能である。また、数式を用いて説明した演算処理は一例を示すものであり、例示した数式とは異なる数式を用いて算出するようにしてもよい。

また、各実施の形態例では、最適評価値の1つとして尤度を算出して、その尤度が最大になる処理を行うようにしたが、尤度以外の評価値を得て、その評価値が最大となる最適評価値を得るように処理してもよい。尤度以外の評価値としては、第1の実施の形態例で説明したように、例えば、最小二乗法における二乗誤差を評価値とする場合、MAP推定における事後確率を評価値とする場合、モーメント法におけるモーメントの一致性を評価値とする場合などがある。

40

## 【0115】

さらに、ここまで説明した各実施の形態例では、離隔周波数帯レーダ群1と、そのレーダ群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、既存の離隔周波数帯レーダ群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

50

実装すればよい。

【0116】

また、第4および第5の実施の形態において、各帯域における複素振幅( $\wedge$ )  $a_{if}$ の精度が悪い(たとえば全周波数帯域の平均値からのずれが大きい)ものは除去して平均値を用いることにより離隔周波数合成レーダ装置の処理における収束の速度の向上が期待される。S/Nが小さい周波数帯域は閾値処理により除去する。

また、第4および第5の実施の形態のステップS41~S44において、ステップS23~S27(図8)を同時に実行し、ステップS27の出力をステップS44の探索の初期値とすることも探索の計算負荷軽減のために有効である。

第4および第5の実施の形態のステップS41~S44において、スナップショットが1のときに信号が縮退することへの対策としては、複数のスナップショットの活用が考えられる。

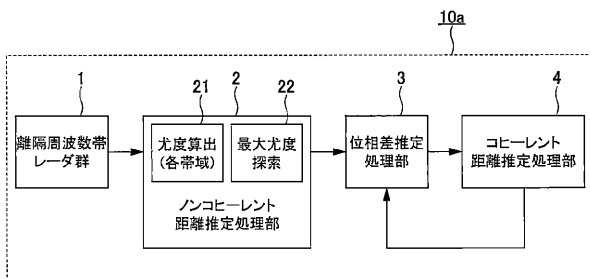
【符号の説明】

【0117】

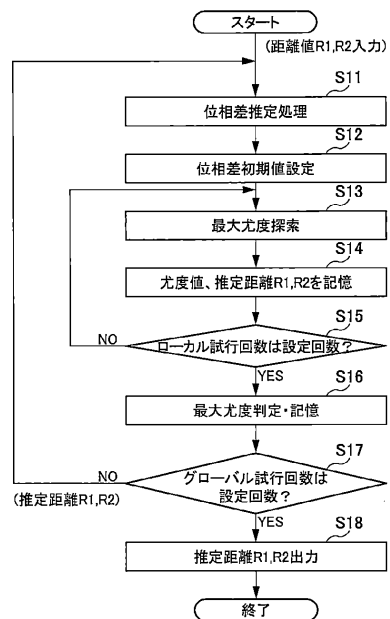
1...離隔周波数帯レーダ群、2...ノンコヒーレント距離推定処理部、3...位相差推定処理部、4...コヒーレント距離推定処理部、5, 5, 5...推定対象選択距離推定部、6...コヒーレント位相差・距離推定処理部、10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f, 10g, 10h, 10i...離隔周波数合成レーダ装置、21...尤度算出部、22...最大尤度探索部

10

【図1】



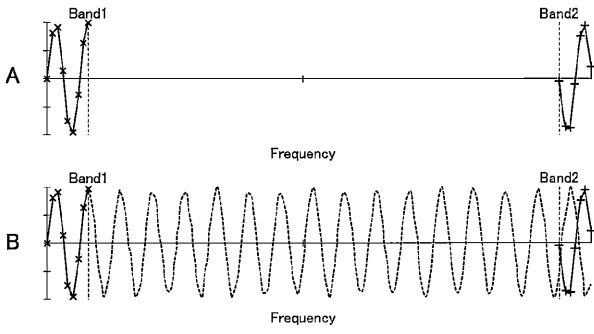
【図2】





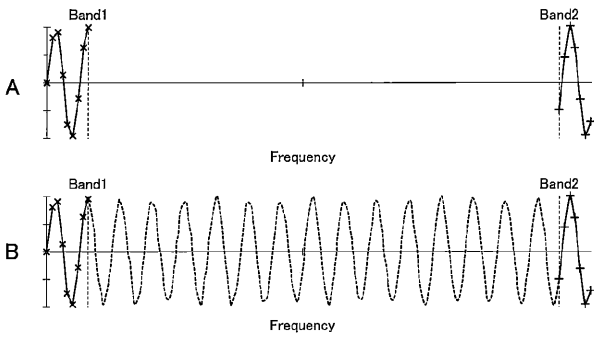
【 図 3 】

離隔周波数帯域レーダのイメージ

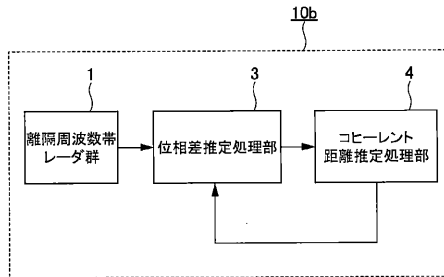


【 図 4 】

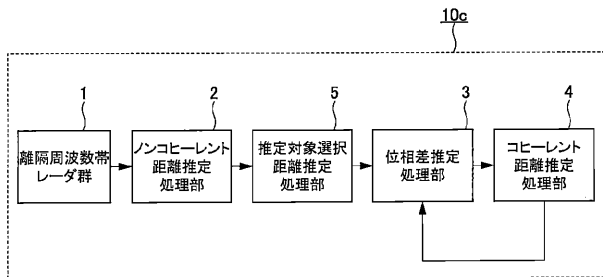
離隔周波数帯域レーダのイメージ  
位相差推定後



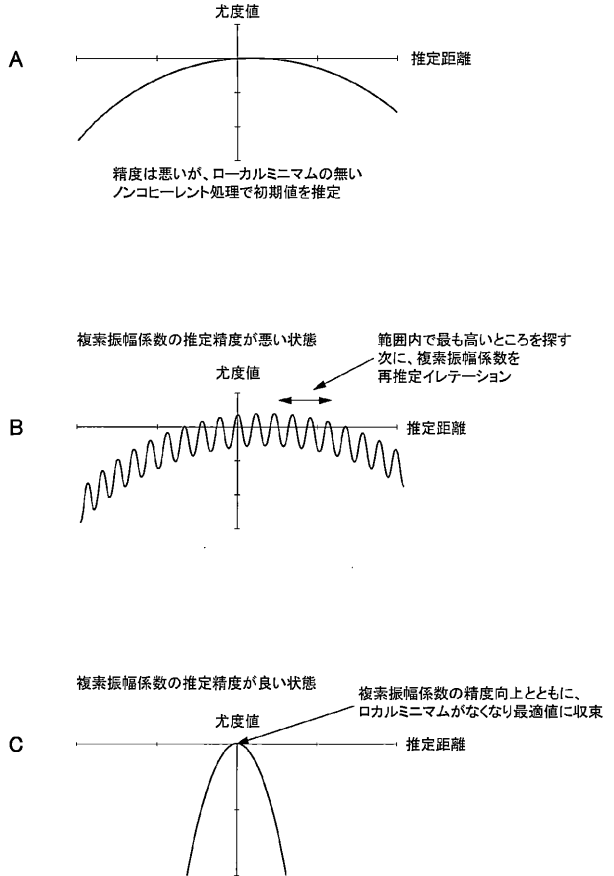
【 図 6 】



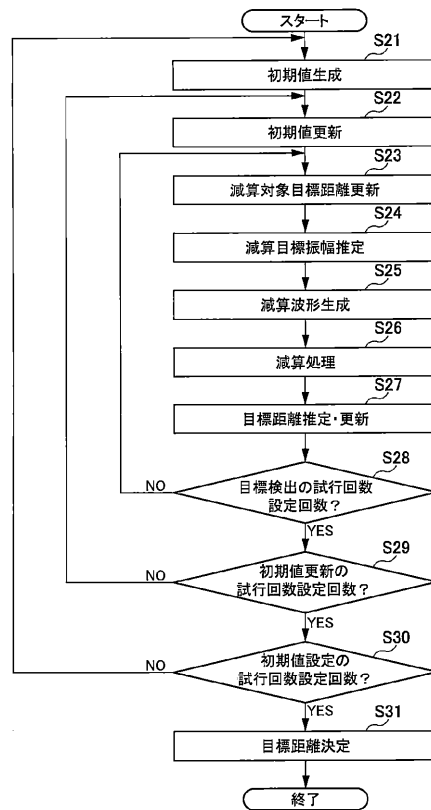
【 図 7 】



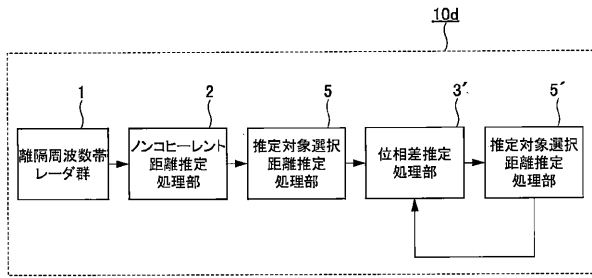
【 図 5 】



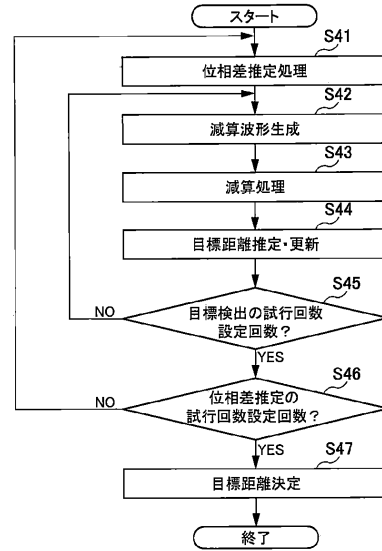
【 図 8 】



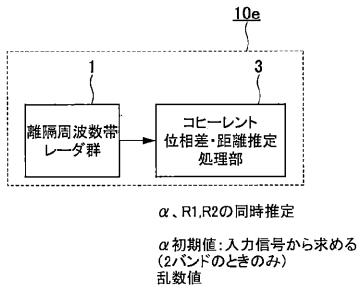
【 図 9 】



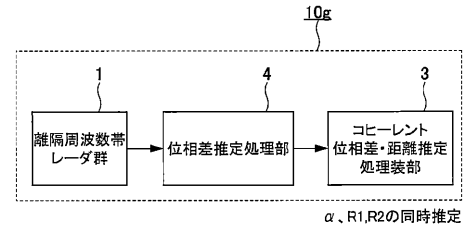
【 図 10 】



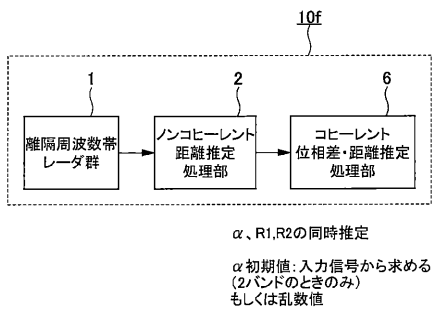
【 図 11 】



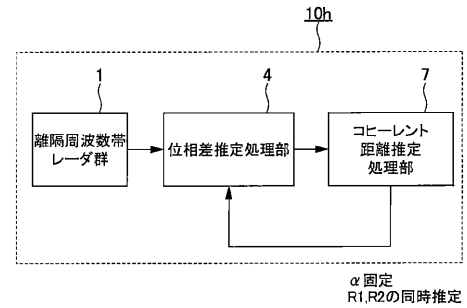
【 図 13 】



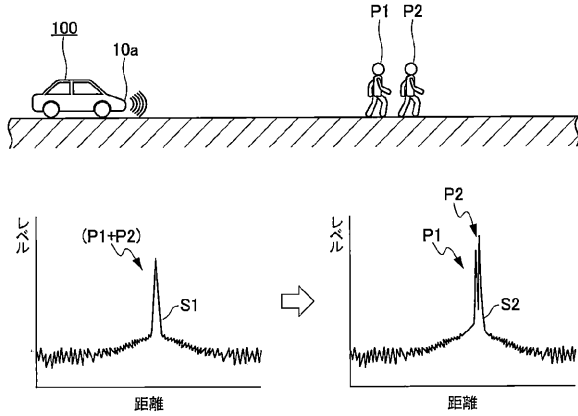
【 図 12 】



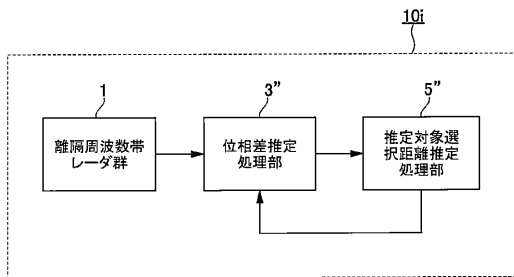
【 図 14 】



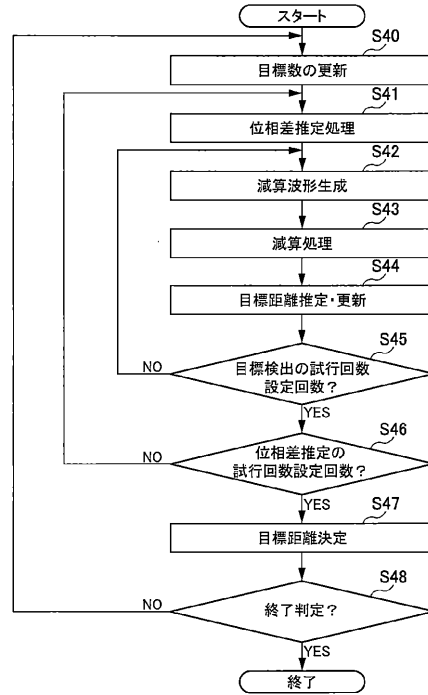
【図15】



【図16】



【図17】



【手続補正書】

【提出日】平成30年2月13日(2018.2.13)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

【数10】

$$\alpha_{0,s} = \frac{\beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f_{76}}{c} \cdot R_0}}{\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_0} \cdot a_0 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f_{60}}{c} \cdot R_0}}, \quad \alpha_{1,s} = \frac{\beta_{76_s} \cdot \alpha_{76_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f_{76}}{c} \cdot R_1}}{\beta_{60_s} \cdot \alpha_{60_1} \cdot a_1 \cdot e^{4\pi j \cdot \frac{f_{60}}{c} \cdot R_1}}$$

---

フロントページの続き

特許法第30条第2項適用申請有り 平成29年11月16日公開 [http://www.ieice.org/ken/program/index.php?mode=program&tgs\\_regid=1492363d98741916c2ed704a5baa635bf9baf6b2979a963220bc39e7ac871325&tgid=IEICE-SANE&layout=&lang=eng](http://www.ieice.org/ken/program/index.php?mode=program&tgs_regid=1492363d98741916c2ed704a5baa635bf9baf6b2979a963220bc39e7ac871325&tgid=IEICE-SANE&layout=&lang=eng) 平成29年12月7日公開 [http://www.ieice.org/ken/program/index.php?tgs\\_regid=875ab377fb0bdbdd982b074a3b88beaad904c5ecf593aa4fae1348ee21cf41a0&tgid=IEICE-WBS&lang=](http://www.ieice.org/ken/program/index.php?tgs_regid=875ab377fb0bdbdd982b074a3b88beaad904c5ecf593aa4fae1348ee21cf41a0&tgid=IEICE-WBS&lang=)

Fターム(参考) 5J070 AB15 AB24 AB30 AC02 AE09 AF03 AH02 AH19 AK15 AK22  
BD01