

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4926155号  
(P4926155)

(45) 発行日 平成24年5月9日(2012.5.9)

(24) 登録日 平成24年2月17日(2012.2.17)

(51) Int. Cl. F I  
 GO 1 S 13/34 (2006.01) GO 1 S 13/34  
 GO 1 S 7/02 (2006.01) GO 1 S 7/02 F

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2008-283220 (P2008-283220)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成20年11月4日 (2008.11.4)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2010-112736 (P2010-112736A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成22年5月20日 (2010.5.20)	(74) 代理人	100073759
審査請求日	平成20年11月4日 (2008.11.4)		弁理士 大岩 増雄
		(74) 代理人	100093562
			弁理士 児玉 俊英
		(74) 代理人	100088199
			弁理士 竹中 考生
		(74) 代理人	100094916
			弁理士 村上 啓吾
		(72) 発明者	中川 才
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

時間の経過にともない周波数が変化するように周波数変調された複数変調区間を有し、  
変調区間ごとに周波数変調幅が異なる送信信号を送信する送信手段と、  
 前記送信信号がターゲットで反射された反射信号を複数のチャンネルを有するアレーアンテナで受信する受信手段と、  
 前記送信信号と複数チャンネル分の受信信号とをそれぞれミキシングして複数チャンネル分のビート信号を得るミキシング手段と、  
 前記複数チャンネル分のビート信号をそれぞれ周波数解析する周波数解析手段と、  
 前記複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、前記ターゲットの方向を算出する方向算出手段と、  
 を備えたレーダ装置において、  
 前記方向算出手段は、前記複数変調区間のピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいて前記ターゲットの方向を算出することを特徴とするレーダ装置。

【請求項2】

時間の経過にともない周波数が変化するように周波数変調された複数変調区間を有し、  
変調区間ごとに変調時間が異なる送信信号を送信する送信手段と、  
 前記送信信号がターゲットで反射された反射信号を複数のチャンネルを有するアレーアンテナで受信する受信手段と、

前記送信信号と複数チャンネル分の受信信号とをそれぞれミキシングして複数チャンネル分のビート信号を得るミキシング手段と、  
前記複数チャンネル分のビート信号をそれぞれ周波数解析する周波数解析手段と、  
前記複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、前記ターゲットの方向を算出する方向算出手段と、  
を備えたレーダ装置において、  
前記方向算出手段は、前記複数変調区間のピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいて前記ターゲットの方向を算出することを特徴とするレーダ装置。

【請求項3】

時間の経過にともない周波数が変化するように周波数変調された複数変調区間を有し、変調区間ごとに周波数変調幅と変調時間が異なる送信信号を送信する送信手段と、  
前記送信信号がターゲットで反射された反射信号を複数のチャンネルを有するアレーアンテナで受信する受信手段と、  
前記送信信号と複数チャンネル分の受信信号とをそれぞれミキシングして複数チャンネル分のビート信号を得るミキシング手段と、  
前記複数チャンネル分のビート信号をそれぞれ周波数解析する周波数解析手段と、  
前記複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、前記ターゲットの方向を算出する方向算出手段と、  
を備えたレーダ装置において、  
前記方向算出手段は、前記複数変調区間のピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいて前記ターゲットの方向を算出することを特徴とするレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、対象物体（以下、「ターゲット」という）に送信信号（電波）を照射して、送信信号に基づくターゲットからの反射信号を複数の受信手段で受信した際に、反射信号に基づいてターゲット情報を算出するレーダ装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、ターゲットとの距離や相対速度を算出するレーダ装置として、連続的に周波数を変調した送信信号をターゲットに対して送信し、ターゲットからの反射信号を受信してターゲットとの距離や相対速度を算出する周波数変調レーダ装置が知られている。

【0003】

この種のレーダ装置におけるターゲット方向算出方法としては、送信手段を機械的に回動して送信信号を走査することにより、ターゲットの方向を算出する方法が知られている。また、送信手段を機械的に回動せずに送信信号を出力し、複数チャンネルからなるアレイ状のアンテナで受信した受信信号をデジタル信号処理してターゲットの方向を算出する MUSIC (Multiple Signal Classification) 法などの超分解能到来方向推定処理などが知られている（例えば、非特許文献1参照）。MUSIC法は、ピーク周波数スペクトラムの共分散行列を演算し、共分散行列を固有値展開し、固有ベクトルから角度スペクトラムを演算し、角度スペクトラムからターゲットの方向を算出する方法である。

【0004】

また、ピーク波形のピーク周波数だけから受信ベクトルを生成するのではなく、これと同じピーク波形に属する他の周波数からも受信ベクトルを生成し、それぞれの共分散行列を演算すると共に、それを加算することにより、共分散行列の算出に用いるスナップショット数を確保するものも知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

10

20

30

40

50

【非特許文献1】R. O. Schmidt「Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation」IEEE Trans. AP-34, No. 3, pp. 276-280 (1986)

【特許文献1】特開2006-145251号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記非特許文献1の技術に代表される超分解能到来方向推定処理は、各到来波が互いに無相関であることを前提としているため、各到来波間の相関が非常に高い陸上移動通信等には、そのまま適用することができない。一般に、到来波間の相関を抑圧するためには、共分散行列の生成に用いる受信信号の数（スナップショット数）を多くすることが望ましい。

10

【0007】

そこでレーダ装置では、測定毎に共分散行列が得られるため、過去複数周期の測定で得られた共分散行列を利用してスナップショット数を確保する、いわゆる時間平均法を用いることが知られている。

しかしながら、過去複数周期の測定で得られた共分散行列を利用してスナップショット数を確保する時間平均法では、車載用レーダ装置等の移動体に適用する場合、測定のタイミングによってターゲットとの位置関係、ひいては電波の到来方向が変化してしまうため、スナップショット数の確保に要する時間が長くなると、却って共分散行列の精度（ひいては電波到来方向の推定精度）を低下させてしまうという問題があった。

20

【0008】

一方、特許文献1の方法では、スナップショット数を確保するために、ピーク波形のピーク周波数だけから受信ベクトルを生成するのではなく、これと同じピーク波形に属する他の周波数からも受信ベクトルを生成し、それぞれの共分散行列を演算するようにしているので、演算が複雑になる他、ピーク周波数以外の周波数を利用しているためターゲットの方向を高精度に算出することができないという問題があった。

【0009】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、ターゲットの方向を算出するレーダ装置において、短時間でスナップショット数を確保し、高精度にターゲットの方向を算出することができるレーダ装置を実現することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明のレーダ装置においては、時間の経過にともない周波数に変化するよう周波数変調された複数変調区間を有し、変調区間ごとに周波数変調幅および変調時間のいずれか一方あるいは両方が異なる送信信号を送信する送信手段と、

前記送信信号がターゲットで反射された反射信号を複数のチャンネルを有するアレーアンテナで受信する受信手段と、

前記送信信号と複数チャンネル分の受信信号とをそれぞれミキシングして複数チャンネル分のビート信号を得るミキシング手段と、

40

前記複数チャンネル分のビート信号をそれぞれ周波数解析する周波数解析手段と、

前記複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、前記ターゲットの方向を算出する方向算出手段と、

を備えたレーダ装置において、

前記方向算出手段は、前記複数変調区間のピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいて前記ターゲットの方向を算出することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0011】

50

本発明によれば、ターゲットの方向を算出するために、同じ測定周期で得られた複数変調区間のピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を利用することでスナップショット数を確保し、複数の共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいてターゲットの方向を算出するようにしたので、短時間でスナップショット数が確保でき、変調区間数が増えれば増えるほどより高精度に角度を算出することができる効果を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1に係るレーダ装置を示すブロック図である。

図1において、レーダ装置は、マイクロコンピュータからなるターゲット検出部1と、ターゲット検出部1の制御下で制御電圧を出力する制御電圧発生器2と、制御電圧に基づいて周波数がUP/DOWN変調された送信信号を出力するVCO(Voltage Controlled Oscillator)3と、送信信号を分配する分配器4と、ターゲット40に対して送信信号W1を出射する送信アンテナ5(送信手段)とを備えている。

10

【0013】

また、レーダ装置は、送信信号W1がターゲット40で反射された反射信号W2を受信する複数チャンネル(たとえば、6チャンネル)からなるアレイ状の受信アンテナ6~11(受信手段)と、分配器4で分配された送信信号と複数チャンネル分の受信信号とをそれぞれミキシングして複数チャンネル分のビート信号を得るミキサ12~17(ミキシング手段)と、複数チャンネル分のビート信号をA/D変換するA/Dコンバータ18~23と、A/D変換された複数チャンネル分のビート信号をそれぞれ周波数解析するFFT(Fast Fourier Transform:高速フーリエ変換)演算部24~29(周波数解析手段)とを備えている。

20

【0014】

FFT演算部24~29からの複数チャンネル分のビート信号の周波数解析結果(複数チャンネル分のビート周波数スペクトラム)は、ターゲット検出部1に入力される。

ターゲット検出部1は、ターゲット40の距離、相対速度または方向を算出して、ターゲット情報として外部装置(図示せず)に出力する。

【0015】

上記ターゲット情報を得るため、ターゲット検出部1は、ビート信号の周波数解析結果からピーク周波数を検出するピーク検出部30と、ピーク周波数に基づいてターゲット40の距離Rおよび相対速度Vを算出する距離・相対速度算出部31と、複数チャンネル分のビート周波数スペクトラム、距離Rおよび相対速度Vからターゲット40の方向を算出する方向算出部32とを備えている。

30

【0016】

以下、図1に示したこの発明の実施の形態1の動作について説明する。

まず、ターゲット検出部1から制御電圧発生器2に対して変調開始命令が出力されると、制御電圧発生器2から変調区間(たとえば、三角状のUP/DOWN)の制御電圧がVCO(Voltage Controlled Oscillator)3に印加され、VCO3からは、制御電圧にしたがってUP区間/DOWN区間に周波数変調された送信信号が出力される。

40

【0017】

送信信号は、分配器4を介して送信アンテナ5とミキサ12~17とに分配され、送信アンテナ5からターゲット40に向けて出射される。

一方、ターゲット40で反射された反射信号W2は、複数(たとえば、6個)の受信アンテナ6~11により、6チャンネル分(CH1~CH6とする)の受信信号として受信され、個別のミキサ12~17により送信信号とミキシングされる。

【0018】

これにより、ミキサ12~17からは、6チャンネル分のビート信号が生成され、各ビー

50

ト信号は、周波数が時間経過にともなって上昇するUP区間と、周波数が時間経過にともなって下降するDOWN区間とのそれぞれについて、A/Dコンバータ18~23で各々デジタルデータに変換される。

【0019】

A/Dコンバータ18~23から生成されたデジタルデータは、FFT演算部24~29(周波数解析手段)により、個別にFFTを用いた周波数解析が施される。

FFT演算部24~29により算出された6チャンネル分の周波数解析結果(ビート周波数スペクトラム)は、UP区間およびDOWN区間のそれぞれについて、ターゲット検出部1に入力される。

【0020】

ターゲット検出部1内において、まず、ピーク検出部30は、6チャンネル分の周波数解析結果からピーク周波数を検出する。

次に、距離・相対速度算出部31は、ピーク周波数からターゲット40の距離および相対速度を算出する。このとき、ありえない距離または相対速度の演算値は、ターゲット40の情報とは見なされずに除外される。

【0021】

最後に、方向算出部32は、距離および相対速度の算出に用いたピーク周波数に対応するビート周波数スペクトラムに対し、超分解能到来方向推定処理を施すことにより、ターゲット40の方向を算出する。ここでは、超分解能到来方向推定処理として、前述のMUSIC法を用いるものとする。

【0022】

具体的には、後述するように、方向算出部32は、複数チャンネル分の周波数解析結果に基づいて、UP区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列とDOWN区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列を生成し、加算共分散行列の固有値および固有ベクトルから、ターゲット40の方向または個数を算出する。

【0023】

次に、図2~図4を参照しながら、図1に示したターゲット検出部1の動作について具体的に説明する。

図2はターゲット検出部1の動作手順を示すフローチャートである。図3は図2内のステップS101の処理を示す説明図であり、入力された6チャンネル分のビート周波数スペクトラムの振幅を示している。また、図4は図2内のステップS106の処理を示す説明図であり、MUSICスペクトラムの一例を示している。

【0024】

図2において、まず、ピーク検出部30は、6チャンネル分のビート周波数スペクトラムの振幅に対して、ピークを検出する(ステップS101)。

具体的には、図3に示すように、6チャンネル分のビート周波数スペクトラムの振幅に対して、検出閾値を設け、検出閾値以上かつ前後のビート周波数の振幅より大きい振幅をピークと判定する。

【0025】

図3において、(a)~(f)はUP時の6チャンネル分のビート周波数スペクトラムの振幅を示し、(g)~(l)はDOWN時の6チャンネル分のビート周波数スペクトラムの振幅を示しており、それぞれ、横軸はビート周波数、縦軸は振幅である。

また、ピークとなった振幅のピーク周波数は、UP区間については「f b u」で示され、DOWN区間については「f b d」で示されている。

【0026】

図2に戻り、続いて、距離・相対速度算出部31は、ステップS1で得られたピーク周波数f b u、f b dから、ターゲット40の距離Rおよび相対速度Vを、一般的なFM-CW(Frequency Modulation Continuous Wave)レーダの原理に基づいて算出する(ステップS102)。

10

20

30

40

50

すなわち、以下の式(1)により距離Rを算出する。

【数1】

$$R = \frac{cT}{4f_m}(f_{bu} + f_{bd}) \quad \dots (1)$$

【0027】

また、以下の式(2)により相対速度Vを算出する。

【数2】

$$V = -\frac{c}{4f_c}(f_{bu} - f_{bd}) \quad \dots (2)$$

10

【0028】

なお、式(1)、式(2)において、cは光速、Tは1つの変調時間、f<sub>m</sub>は周波数変調幅、f<sub>c</sub>は搬送波周波数である。

続いて、距離・相対速度算出部31は、算出されたターゲット40の個数Kをカウントして記憶する(ステップS103)。

【0029】

次に、方向算出部32は、MUSIC法に用いるための共分散行列を生成する(ステップS104)。UP区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列とDOWN区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を加算した加算共分散行列R<sub>c</sub>は、6×6次で、以下の式(3)のように表される。

20

【数3】

$$R_c = \begin{bmatrix} X_1 \cdot X_1^* & X_1 \cdot X_2^* & \Lambda & X_1 \cdot X_6^* \\ X_2 \cdot X_1^* & X_2 \cdot X_2^* & \Lambda & X_2 \cdot X_6^* \\ M & M & O & M \\ X_6 \cdot X_1^* & X_6 \cdot X_2^* & \Lambda & X_6 \cdot X_6^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \cdot Y_1^* & Y_1 \cdot Y_2^* & \Lambda & Y_1 \cdot Y_6^* \\ Y_2 \cdot Y_1^* & Y_2 \cdot Y_2^* & \Lambda & Y_2 \cdot Y_6^* \\ M & M & O & M \\ Y_6 \cdot Y_1^* & Y_6 \cdot Y_2^* & \Lambda & Y_6 \cdot Y_6^* \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

【0030】

30

なお、(3)式において、X<sub>i</sub>はi番目(i=1, ..., 6)のチャンネル(CH<sub>i</sub>)におけるピーク周波数f<sub>bu</sub>のビート周波数スペクトラム、Y<sub>i</sub>はi番目(i=1, ..., 6)のチャンネル(CH<sub>i</sub>)におけるピーク周波数f<sub>bd</sub>のビート周波数スペクトラムである。また、X<sub>i</sub><sup>\*</sup>はX<sub>i</sub>の複素共役、Y<sub>i</sub><sup>\*</sup>はY<sub>i</sub>の複素共役を表している。

【0031】

また、方向算出部32は、共分散行列R<sub>c</sub>について固有値、固有ベクトル解析を行い、固有値1~6およびそれぞれに対応する固有ベクトルe<sub>1</sub>~e<sub>6</sub>を求める(ステップS105)。

【0032】

続いて、方向算出部32は、固有値1~6および固有ベクトルe<sub>1</sub>~e<sub>6</sub>を用いて、一般的なMUSIC法に基づいて、以下の式(4)により、角度スペクトラムP<sub>m</sub>(MUSICスペクトラム)を算出する(ステップS106)。

40

## 【数 4】

$$P_m(\theta) = \frac{\|a(\theta)\|^2}{\sum_{i=k+1}^6 |e_i^H a(\theta)|^2}, \quad a(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j\Delta\phi) \\ \exp(j2\Delta\phi) \\ \exp(j3\Delta\phi) \\ \exp(j4\Delta\phi) \\ \exp(j5\Delta\phi) \end{bmatrix}, \Delta\phi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta \quad \dots (4)$$

## 【0033】

なお、式(4)において、 $e_i^H$ は固有ベクトル $e_i$ の複素共役転置、 $K$ は入射信号数、 $\lambda$ は波長、 $d$ は受信アンテナ6～11の素子間隔である。

次に、方向算出部32は、MUSICスペクトラムがピークとなる方向を抽出する(ステップS107)。

具体的には、注目する方向のMUSICスペクトラムが、その前後の方向のMUSICスペクトラムよりも大きい場合に、その方向をピーク方向として算出する。

## 【0034】

このように抽出されたピーク方向のうち、MUSICスペクトラムが大きいものから順に、ターゲット40の方向とする。図4の例では、2個のターゲットの方向として、1および2が算出されている。

なお、ステップS105～S107は、MUSICの基本的な処理であり、すでに様々な公知文献で発表されているので、詳細については省略する。

## 【0035】

最後に、ターゲット検出部1は、ステップS103でカウントしたターゲット個数 $K$ 分の計算が終了したか否かを判定し(ステップS108)、計算が終了していない(すなわち、NO)と判定されれば、ステップS104に戻って、ステップS104～ステップS107の処理を繰り返し実行する。

## 【0036】

一方、ステップS108において、ターゲット個数分の計算が終了した(すなわち、YES)と判定されれば、全てのターゲット40の距離 $R$ 、相対速度 $V$ または方向を、ターゲット情報として、図示しない外部装置に出力する。

## 【0037】

以上のように、この発明の実施の形態1によれば、方向算出部32は、UP区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列とDOWN区間ピーク周波数スペクトラムから生成される共分散行列を利用することでスナップショット数を確保し、両共分散行列を加算した加算共分散行列に基づいてターゲットの方向を算出するため、短時間でスナップショット数が確保でき、高精度にターゲットの方向を算出できる。

## 【0038】

また、上記実施の形態1では、6個の受信アンテナ6～11(図1参照)を用いた場合を例示したが、他の個数の受信アンテナを用いても、同様にこの発明を適用できることは言うまでもない。

## 【0039】

また、上記実施の形態1では、変調区間として、UP区間とDOWN区間の2区間を用いた場合を例示したが、3区間以上の変調区間、無変調など他の変調区間との組み合わせや、区間ごとに周波数変調幅や変調時間を変更させても、同様にこの発明を適用できることは言うまでもない。

## 【0040】

さらに、到来波間の相関を抑圧するために、受信位置を適当に移動させた共分散行列の平均値を求める、いわゆる空間平均法を用いてもよい。

## 【0041】

10

20

30

40

50

また、方向算出部 32 によりターゲット 40 の方向算出処理に MUSIC 法を用いた場合を例示したが、他の方法、たとえばユニタリ MUSIC 法、ESPRI T 法、ユニタリ ESPRI T 法などを用いたレーダ装置にもこの発明を適用することができる。特に、ユニタリ法を用いた場合には、共分散行列の実数部のみを使用すればよいので、演算量をさらに軽減することができる。

【0042】

さらに、ターゲット 40 の距離 R および相対速度 V を検知する方式として、FM - CW 方式を用いた場合を例示したが、送信信号をパルス状に区切って変調したレーダ装置にもこの発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0043】

【図1】この発明の実施の形態1に係るレーダ装置を示すブロック図である。

【図2】この発明の実施の形態1によるターゲット検出部の動作を示すフローチャートである。

【図3】この発明の実施の形態1によるチャンネル毎、変調区間毎における複素スペクトラムの振幅を表す図である。

【図4】この発明の実施の形態1によるMUSICスペクトラムの処理を示す説明図である。

【符号の説明】

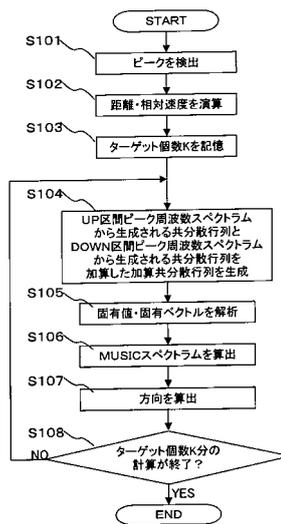
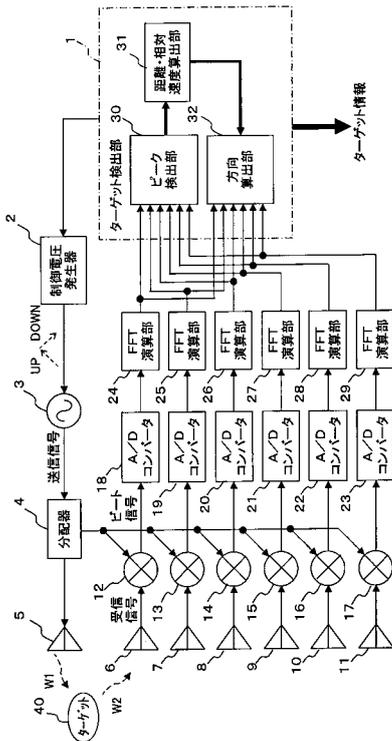
20

【0044】

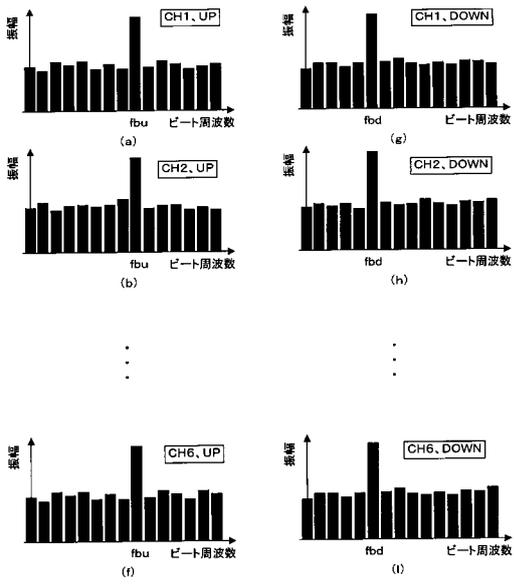
1 ターゲット検出部、2 制御電圧発生器、3 VCO、4 分配器、5 送信アンテナ、6~11 受信アンテナ、12~17 ミキサ、18~23 A/Dコンバータ、24~29 FFT演算部、30 ピーク検出部、31 距離・相対速度算出部、32 方向算出部、40 ターゲット、 $f_{bu}$ 、 $f_{bd}$  ピーク周波数、 $t_1$ 、 $t_2$  時間範囲、 $W_1$  送信信号、 $W_2$  反射信号、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  ターゲットの方向。

【図1】

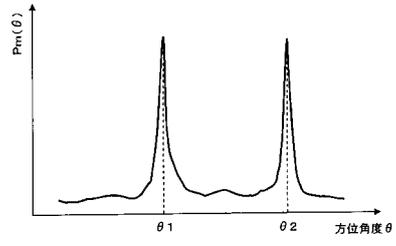
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

審査官 中村 説志

(56)参考文献 特開2006-145251(JP,A)  
特開2007-040806(JP,A)  
特開2008-128657(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01S 7/00 - 7/42  
G01S13/00 - 13/95