

(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2011-80902
(P2011-80902A)

(43) 公開日 平成23年4月21日(2011.4.21)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
GO1S	13/34 (2006.01)	GO1S 13/34	5H180
GO1S	13/93 (2006.01)	GO1S 13/93 Z	5H181
GO1S	7/02 (2006.01)	GO1S 7/02 G	5J070
GO8G	1/16 (2006.01)	GO8G 1/16 C	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-234369 (P2009-234369)
(22) 出願日 平成21年10月8日 (2009.10.8)

(71) 出願人 000237592
富士通テン株式会社
兵庫県神戸市兵庫区御所通1丁目2番28号
(74) 代理人 100094525
弁理士 土井 健二
(74) 代理人 100094514
弁理士 林 恒徳
(72) 発明者 岸田 正幸
兵庫県神戸市兵庫区御所通1丁目2番28号 富士通テン株式会社内
Fターム(参考) 5H180 AA01 CC12 CC14 LL01
5H181 AA01 CC12 CC14 LL01

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信号処理装置、及びレーダ装置

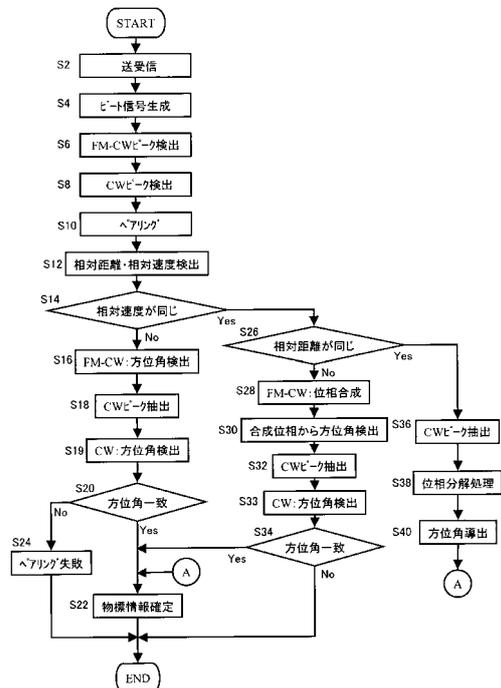
(57) 【要約】

【課題】 FM - CW方式と位相モノパルス方式とを併用したレーダ装置において、同じ相対距離と相対速度を有する複数の物標が存在する場合であっても、個々の物標の方位角を正確に検出する。

【解決手段】

一対の物標に対応して一対の前記ビート信号が生成されたときに、第1の物標に対応する前記ビート信号の第1のレベルと第2の物標に対応する前記ビート信号の第2のレベルとを記憶するレベル記憶手段と、一対の物標に対応して単一のビート信号が生成されたときに、当該単一のビート信号のレベルから、前記第1のレベルに対応する第1の位相と、前記第2のレベルに対応する第2の位相を導出する位相導出手段を有し、前記一対のアンテナにおける前記第1、第2の位相の差に基づいて、第1、第2の物標の方位角をそれぞれ導出するので、個々の物標の方位角を正確に検出できる。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周波数変調した送信信号を送信して、受信用のアンテナごとに送受信信号の周波数差を有するビート信号を生成するレーダ送受信機の信号処理装置であって、

前記ビート信号の周波数に基づいて物標の相対距離を検出する距離検出手段と、

前記ビート信号の位相を検出する位相検出手段と、

複数の物標のそれぞれに対応して前記ビート信号が生成されたときに、第 1 の物標に対応する前記ビート信号の第 1 のレベルと第 2 の物標に対応する前記ビート信号の第 2 のレベルとを記憶するレベル記憶手段と、

前記複数の物標に対応して単一のビート信号が生成されたときに、当該単一のビート信号のレベルが第 1 の位相に対応する前記第 1 のレベルと第 2 の位相に対応する前記第 2 のレベルの和と一致するような当該第 1、第 2 の位相を、前記ビート信号の波長と前記複数の物標の相対距離とに基づき導出する位相導出手段と、

アンテナ対における前記第 1 の位相の差に基づいて第 1 の物標の方位角を、前記第 2 の位相の差に基づいて第 2 の物標の方位角をそれぞれ導出する方位角検出手段を有することを特徴とする信号処理装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記レーダ送受信機が、さらに所定周波数の送信信号を送信して、受信用の前記アンテナごとに送受信信号の周波数差を有するビート信号を生成し、

20

前記位相導出手段は、前記複数の物標に対応して、前記周波数変調された送信信号に基づく単一の第 1 のビート信号が生成され、かつ前記所定周波数の送信信号に基づく単一の第 2 のビートが生成されたときに、前記第 1、第 2 の位相を、前記第 1 のビート信号の波長と、前記複数の物標の相対距離と、さらに前記第 1、第 2 のビート信号のレベル比とに基づいて導出することを特徴とする信号処理装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の信号処理装置を有するレーダ装置。

【請求項 4】

車両に搭載され、前記車両周囲の物標の相対距離、方位角を検出する請求項 3 に記載のレーダ装置。

30

【請求項 5】

周波数変調した送信信号を送信して、受信用のアンテナごとに送受信信号の周波数差を有するビート信号を生成するレーダ送受信機の信号処理装置における信号処理方法であって、

前記ビート信号の周波数に基づいて物標の相対距離を検出する工程と、

前記ビート信号の位相を検出する工程と、

複数の物標のそれぞれに対応して前記ビート信号が生成されたときに、第 1 の物標に対応する前記ビート信号の第 1 のレベルと第 2 の物標に対応する前記ビート信号の第 2 のレベルとを記憶する工程と、

前記複数の物標に対応して単一のビート信号が生成されたときに、当該単一のビート信号のレベルが第 1 の位相に対応する前記第 1 のレベルと第 2 の位相に対応する前記第 2 のレベルの和と一致するような当該第 1、第 2 の位相を、前記複数の物標の相対距離に基づき導出する工程と、

40

アンテナ対における前記第 1 の位相の差に基づいて第 1 の物標の方位角を、前記第 2 の位相の差に基づいて第 2 の物標の方位角をそれぞれ導出する工程とを有することを特徴とする信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、F M - C W (Frequency Modulated-Continuous Wave : 周波数変調連続波)

50

方式と位相モノパルス方式とを併用し、FM-CW方式により物標の相対距離や相対速度を、位相モノパルス方式により物標の方位角を検出するレーダ装置とその信号処理装置に関し、特に、複数の物標の相対距離と相対速度がそれぞれ一致する場合に、各物標の方位角を正確に検出する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車などの車両の制御支援手段として、車両周囲の物標の相対距離、相対速度、及び方位角を検出する車載用のレーダ装置が知られている。特許文献1、2には、車載用レーダ装置の例が記載されている。従来のレーダ装置の一例は、FM-CW方式と位相モノパルス方式とを併用し、FM-CW方式により物標の相対距離や相対速度を、位相モノパルス方式により物標の方位角を検出する。

10

【0003】

かかるレーダ装置は、周波数変調したレーダ信号を送信し、物標により反射された送信信号を一对の受信アンテナにより受信する。ここで、受信信号は、物標からアンテナまでの伝搬距離に応じた時間遅延とドップラシフトの影響により周波数偏移して受信される。また、アンテナ対における受信信号の伝搬距離には、受信信号の到来方位とアンテナ対の間隔とに応じた差が生じる。

【0004】

レーダ装置は、送受信信号を乗算器で混合して送受信信号の周波数差を有するビート信号を生成し、その周波数スペクトルのピークを検出する。ここで検出されたピークは、物標の相対距離と相対速度が反映された周波数を有する。そして、アンテナごとにピークを検出したときに、アンテナ対における同じ周波数のピーク対は、受信信号の伝搬距離差に応じた位相差を有する。

20

【0005】

よって、レーダ装置は、ピークの周波数から物標の相対距離、相対速度を検出し、ピーク対の位相差から方位角を検出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第3964362号公報

【特許文献2】特開2006-317456号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、車両周囲の探索範囲には、複数の物標が存在する場合がある。かかる場合には、物標との衝突回避・衝突対応といった車両制御の安全性を確保するために、物標ごとに個別に相対距離、相対速度、及び方位角を検出することが求められる。

【0008】

通常は物標ごとに相対距離または相対速度が異なるので、上記の方法によれば物標ごとに異なる周波数のビート信号が生成され、物標ごとのピークが検出される。しかしながら、物標は高速で移動する他車両などであるので、複数の物標の相対距離と相対速度が一時的に一致する場合がある。かかる場合には、複数の物標からは同じ周波数の受信信号が得られ、同じ周波数のビート信号が生成されるので、単一のピークが検出される。またこのとき複数の物標からの受信信号間では受信位相が合成され、ビート信号においても位相が合成されるので、単一のピークは合成された位相(合成位相)を有する。そして、かかるピーク対における位相差に基づいて方位角を検出すると、実在する複数物標の方位角とは異なる、虚偽の物標の方位角が検出される。そして、かかる方位角に基づき車両制御を実行すると、安全性が低下するおそれがある。

40

【0009】

そこで、上記に鑑みてなされた本発明の目的は、FM-CW方式と位相モノパルス方式

50

とを併用したレーダ装置において、同じ相対距離と相対速度を有する複数の物標が存在する場合であっても、個々の物標の方位角を正確に検出できるレーダ装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記の目的を達成するために、本発明の第1の側面によれば、周波数変調した送信信号を送信して、受信用のアンテナごとに送受信信号の周波数差を有するビート信号を生成するレーダ送受信機の信号処理装置が提供される。この信号処理装置は、前記ビート信号の周波数に基づいて物標の相対距離を検出する距離検出手段と、前記ビート信号の位相を検出する位相検出手段と、複数の物標のそれぞれに対応して前記ビート信号が生成されたときに、第1の物標に対応する前記ビート信号の第1のレベルと第2の物標に対応する前記ビート信号の第2のレベルとを記憶するレベル記憶手段と、前記複数の物標に対応して単一のビート信号が生成されたときに、当該単一のビート信号のレベルが第1の位相に対応する前記第1のレベルと第2の位相に対応する前記第2のレベルの和と一致するような当該第1、第2の位相を、前記ビート信号の波長と前記複数の物標の相対距離とに基づき導出する位相導出手段と、アンテナ対における前記第1の位相の差に基づいて第1の物標の方位角を、前記第2の位相の差に基づいて第2の物標の方位角をそれぞれ導出する方位角検出手段を有することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、FM-CW方式と位相モノパルス方式とを併用したレーダ装置において、同じ相対距離と相対速度を有する複数の物標が存在する場合であっても、個々の物標の方位角を正確に検出することが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本実施形態におけるレーダ装置の使用例を説明する図である。

【図2】本実施形態におけるレーダ装置の概略構成と動作原理について説明する図である。

【図3】レーダ装置10のブロック図である。

【図4】送信信号 S_t の周波数を説明する図である。

30

【図5】受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} の周波数偏移とビート周波数について説明する図である。

【図6】ビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} の周波数スペクトルについて説明する図である。

【図7】レーダ装置10の動作手順を説明するフローチャート図である。

【図8】2つの物標が存在する場合のピークについて説明する図である。

【図9】変形例におけるレーダ送受信機10aの概略構成を説明する図である。

【図10】変形例におけるレーダ装置10の動作手順を説明する図である。

【図11】位相合成信頼度処理の手順を説明するフローチャート図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

40

以下、図面にしたがって本発明の実施の形態について説明する。但し、本発明の技術的範囲はこれらの実施の形態に限定されず、特許請求の範囲に記載された事項とその均等物まで及ぶものである。

【0014】

図1は、本実施形態におけるレーダ装置の使用例を説明する図である。図1には、レーダ装置の探索領域に対応した搭載位置が示される。たとえば車両1の前方を探索する場合には、レーダ装置は車両前部のバンパやフロントグリル内に搭載される。そして、車両1前方の探索領域に対しレーダ信号を送受信し、探索領域内に存在する物標の相対距離 R 、相対速度 V 、方位角(たとえば物標中心部のレーダ軸に対する角度)といった物標情報を検出する。ここで、物標は、たとえば、先行車両や対向車両、隣接車線の車両などであり

50

、さらに路側の設置物、あるいは歩行者が含まれる。

【0015】

物標情報は、車両1の図示を省略する車両制御装置に出力される。そして車両制御装置は、物標情報に応じて車両1のアクチュエータを制御して、車両1の挙動を制御する。このようにして、たとえば、先行車両に追従走行する追従走行制御や、他車両や設置物、歩行者などとの衝突回避制御や衝突対応制御が行われる。

【0016】

なお、レーダ装置の搭載位置は、上記のほかに種々可能である。たとえば、車両の前側方を探索する場合には、レーダ装置は車両前側部のフォグランプユニット内などに搭載される。また、車両後方を探索する場合には、レーダ装置は車両後部のバンパ内部などに搭載される。さらに、車両後側方を探索する場合には、レーダ装置は車両後側部のテールランプユニット内などに搭載される。

【0017】

図2は、本実施形態におけるレーダ装置の概略構成と動作原理について説明する図である。本実施形態におけるレーダ装置は、FM-CW方式により物標の相対距離や相対速度を検出するとともに、位相モノパルス方式により物標の方位角を検出する。図2に示すように、レーダ装置10は、送信用のアンテナ11と受信用のアンテナ対12_1、12_2を備えるレーダ送受信機10aと、物標の相対距離R、相対速度V、及び方位角を検出する信号処理装置14とを有する。

【0018】

レーダ送受信機10aは、三角波状に周波数が上昇・下降するように周波数変調した送信信号Stを、アンテナ11から送信する。ここで、送信信号Stの送信時の周波数をFとする。すると、物標により反射された送信信号Stは、受信信号Sr1、Sr2として、それぞれアンテナ12_1、12_2により受信される。このとき、受信信号Sr1、Sr2は、物標の相対距離Rや相対速度Vに応じた周波数偏移fを受け、受信時の周波数はF+fになる。また、アンテナ12_1、12_2の間隔dに比して物標は無限遠に存在するとみなした場合、受信信号Sr1、Sr2の伝搬経路は平行とみなすことができるので、受信信号Sr1、Sr2においては、ビーム軸に対する到来方位、つまり物標の方位角と、アンテナ12_1、12_2の間隔dとに応じた伝搬距離差Rが生じる。

【0019】

レーダ送受信機10aは、送信信号Stとアンテナ12_1、12_2における受信信号Sr1、Sr2をそれぞれ乗算して、送信信号Stと、受信信号Sr1、Sr2それぞれの周波数差に対応するビート周波数fを有するビート信号Sb1、Sb2を生成する。ここで、送信信号Stの周波数上昇期間におけるビート周波数fを、周波数下降期間におけるビート周波数fをとすると、物標の相対距離R、相対速度Vは次の式により得られる。ここで、Cは光速、Fは送信信号Stの周波数偏移幅、fmは送信信号Stの周波数変調周期を規定する三角波の周波数、foは送信信号Stの中心周波数である。

【0020】

$$R = C \cdot (\quad + \quad) / (4 \cdot F \cdot f_m) \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V = C \cdot (\quad - \quad) / (4 \cdot f_o) \quad \dots \text{式(2)}$$

また、ビート信号Sb1、Sb2はいずれも同じビート周波数fを有するが、ビート信号Sb1の位相1とビート信号Sb2の位相2には、受信信号Sr1、Sr2の伝搬距離差Rに応じた位相差が生じている。すると、位相差と方位角には、次式の関係が成立する。ここで、λはビート信号Sb1、Sb2の波長である。

$$\theta = \arcsin(\quad \cdot \quad / (2 \cdot d)) \quad \dots \text{式(3)}$$

信号処理装置14は、上記のようなビート信号Sb1、Sb2を周波数スペクトルのピークとして検出し、ビート信号Sb1、Sb2のうちいずれかの周波数fから、上記式(1)、(2)により相対距離Rと相対速度Vを検出する。また、信号処理装置14は、

10

20

30

40

50

ビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} の位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を検出し、その位相差 $\Delta\phi$ から上記式 (3) により方位角 θ を検出する。

【0021】

図3は、レーダ装置10のブロック図である。レーダ送受信機10aでは、変調指示信号生成部16がレーダ信号の周波数を規定する変調指示信号 S_m を生成する。VCO (Voltage Controlled Oscillator: 電圧制御発振器) 18は、変調指示信号 S_m の電圧に応じた周波数のレーダ信号 (電磁波)、つまり送信信号 S_t を生成する。送信信号 S_t は、増幅器31により増幅される。送信用のアンテナ11は、増幅された送信信号 S_t を探索領域に向けて送出する。

【0022】

10

物標により送信信号 S_t が反射されると、一对の受信用のアンテナ12_1、12_2がこれを受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} として受信する。受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} は、それぞれ増幅器32_1、32_2により増幅される。受信信号切替部21は、信号処理装置14からの制御信号に应答して、増幅された受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} を時分割で後段の回路に出力する。混合器22は、分配器20により電力分配された送信信号 S_t の一部と受信信号切替部21から出力される受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} とをそれぞれ乗算して、両者の周波数差に対応したビート周波数を有するビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} を生成する。ビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} は、帯域通過フィルタ23により不要な帯域が除去され、A/D変換器24によりデジタルデータに変換されて、信号処理装置14に取り込まれる。

【0023】

20

ここで、送信信号 S_t の周波数変調について説明する。レーダ装置10は、上述したようにFM-CW方式で周波数変調したレーダ信号を送受信することにより、物標の相対距離 R 、相対速度 V を検出する。これに加え、レーダ装置10は、一定周波数のレーダ信号を送受信し、その検出結果を用いてFM-CW方式における検出結果の正確性を担保する (詳細な方法は後述する)。

【0024】

周波数変調指示部16は、信号処理装置14からの制御信号に应答して、三角波状に電圧が上昇・下降する変調指示信号 S_m 、または一定電圧の変調指示信号 S_m を生成してVCO18に入力する。VCO18は、それぞれの場合ごとに、入力された変調指示信号 S_m の電圧に対応した周波数の送信信号 S_t を発振する。

30

【0025】

図4は、送信信号 S_t の周波数を説明する図である。VCO18は、三角波状の変調指示信号 S_m が入力されたときには、三角波の上昇区間ごとに周波数が直線的に漸増し、下降区間ごとに周波数が直線的に漸減する送信信号 S_t を発振する。以下、かかる動作をFM-CWモードという。FM-CWモードでは、周波数 f_m (例えば1kHz) の三角波に従って、一对の周波数上昇期間と周波数下降期間が1回以上実行される。また、送信信号 S_t の周波数は、中心周波数 f_0 (例えば76.5GHz) を中心とする周波数帯域幅 F (例えば100MHz) で上昇と下降を反復する。

【0026】

またVCO18は、一定電圧の変調指示信号 S_m が入力されたときには、一定周波数の送信信号 S_t を発振する。以下、かかる動作をCWモードという。CWモードでは、送信信号 S_t の周波数は、例えばFM-CWモードの中心周波数 f_0 に一定に保たれる。

40

【0027】

このようなFM-CWモードとCWモードとは、たとえば数十ミリ秒ごとに繰り返されるように、信号処理装置14により制御される。

【0028】

次に、受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} の周波数偏移とビート周波数について図5を用いて説明する。

【0029】

図5(A)は、送信信号 S_t と受信信号 S_{r1} または S_{r2} の時間 (横軸) に対する周

50

波数（縦軸）の変化を示す。実線で示す送信信号 S_t の周波数変化は、図 4 で示したとおりである。一方、破線で示す受信信号 S_{r1} 、または S_{r2} の周波数は、送信信号 S_t の周波数に対し物標の相対距離 R による時間的遅延 T と、物標の相対速度 V に応じたドップラシフトの偏移を受ける。その結果、FM-CWモードでの送信信号 S_t と受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} には、周波数上昇期間で周波数差、周波数下降期間で周波数差が生じる。また、CWモードでの送信信号 S_t と受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} には、ドップラシフトに対応する周波数差が生じる。

【0030】

図 5 (B) は、FM-CWモードとCWモードとにおいて生成されるビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} の時間（横軸）に対するビート周波数（縦軸）を示す。図 5 (A) で示した受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} の周波数偏移により、FM-CWモードでのビート周波数は、周波数上昇期間で周波数、周波数下降期間で周波数となる。また、CW方式のビート周波数は、周波数となる。

10

【0031】

ここで、FM-CWモードのビート周波数、と、物標の相対距離 R 、相対速度 V との間には、上述した式 (1)、(2) が成立する。

【0032】

一方、CWモードでのビート周波数と物標の相対速度 V との間には、次式に示す関係が成立する。ここで C は光速である。

【0033】

$$V = (\cdot C) / [2 \cdot (f_o -)] \quad \dots \text{式 (4)}$$

20

図 3 に説明を戻し、信号処理装置 14 の構成について説明する。信号処理装置 14 は、ビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} を FFT（高速フーリエ変換）処理して周波数スペクトルを検出する周波数スペクトル検出部 14a を有する。周波数スペクトル検出部 14a は、DSP などの演算回路で構成される。

【0034】

また、信号処理装置 14 は、各種制御プログラムや処理プログラムを格納した ROM と、ROM から各種制御プログラムや処理プログラムを読み出して実行する CPU と、演算データを一時的に保持する RAM とを備えたマイクロコンピュータを有する。変調信号生成部 16 や受信信号切替部 21 の制御や、距離速度検出手段 14b、位相検出手段 14c、方位角検出手段 14d、レベル記憶手段 14e、位相導出手段 14f などによる処理は、それぞれの手順に対応した制御プログラムまたは処理プログラムと、これらを実行する CPU により実現される。

30

【0035】

図 6 は、周波数スペクトル検出部 14a が検出するビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} の周波数スペクトルについて説明する図である。ここでは、図 5 (B) で示したビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} を例として、図 6 (A) に FM-CWモードの周波数上昇期間での周波数スペクトル、図 6 (B) に FM-CWモードの周波数下降期間での周波数スペクトル、そして図 6 (C) に CWモードでの周波数スペクトルを示す。

【0036】

40

ここで、物標からの受信信号 S_{r1} 、 S_{r2} は、路面などからの反射による受信信号よりも相対的にレベルが大きいので、ビート信号 S_{b1} 、 S_{b2} の周波数スペクトルにおいてピークが形成される。よって、探索領域に 1 つの物標が存在する場合に、FM-CWモードでは、周波数上昇期間で図 6 (A) に示すようにビート周波数のピーク P_{ku} が形成され、周波数下降期間で図 6 (B) に示すようにビート周波数のピーク P_{kd} が形成される。また、CWモードでは、図 6 (C) に示すようにビート周波数のピーク P_{kc} が形成される。信号処理装置 14 は、各周波数スペクトルをたとえば 2 次近似することにより、極大値を形成するピーク P_{ku} 、 P_{kd} 、 P_{kc} を検出する。

【0037】

図 7 は、レーダ装置 10 の動作手順を説明するフローチャート図である。ここで、たと

50

えば一対のFM-CWモードとCWモードを1つの処理サイクルとしたとき、図7の手順は1処理サイクルごとに実行される。

【0038】

レーダ送受信機10aは、手順S2で信号処理装置14からの制御信号に応答してFM-CWモードとCWモードとで送信信号Stの送信と受信信号Sr1、Sr2の受信を行い、手順S4でビート信号Sb1、Sb2を生成する。

【0039】

手順S6では、周波数スペクトル検出部14aがFM-CWモードでのビート信号Sb1、Sb2の周波数スペクトルを検出し、信号処理装置14が周波数スペクトルのピークを検出する。以下では、FM-CWモードでのビート信号から検出されたピークを便宜上、FM-CWピークという。手順S8では、周波数スペクトル検出部14aがCWモードでのビート信号Sb1、Sb2の周波数スペクトルを検出する。そして、信号処理装置14は周波数スペクトルのピークを検出する。以下では、CWモードでのビート信号から検出されたピークを便宜上、CWピークという。

【0040】

ここで、通常だと探索領域には複数の物標が存在する。よって、以下の手順では、複数の物標が存在する場合を例として説明する。ただし、説明の簡単のために、2つの物標の場合を例とする。ここで、2つの物標が存在する場合のピークについて、図8を用いて説明する。

【0041】

図8(A)、(B)は、2つのFM-CWピークが検出された場合を示す。ここでは、2つの物標の相対距離、相対速度の少なくともいずれかが異なり、それぞれの物標から得られたビート信号Sb1、Sb2が異なるビート周波数を有する場合が示される。よって、周波数上昇期間では、図8(A)に示すように、ビート周波数1のFM-CWピークPk_u1とビート周波数2のFM-CWピークPk_u2が検出され、周波数下降期間では、図8(B)に示すように、ビート周波数1のFM-CWピークPk_d1とビート周波数2のFM-CWピークPk_d2が検出される。

【0042】

図7に戻り、手順S10では、信号処理装置14は、周波数上昇期間でのFM-CWピークと周波数下降期間でのFM-CWピークをペアリングする。図8(A)、(B)の例では、信号処理装置14は、周波数上昇期間と周波数下降期間のそれぞれで、たとえばレベルが一致するピーク同士をペアリングする。すなわち、レベルL1のFM-CWピークPk_u1、Pk_d1をペアリングし、レベルL2のFM-CWピークPk_u2、Pk_d2をペアリングする。

【0043】

手順S12では、距離速度検出手段14bが、ペアリングされたFM-CWピーク対のビート周波数、つまりFM-CWピークPk_u1のビート周波数1とFM-CWピークPk_d1のビート周波数1、及びFM-CWピークPk_u2のビート周波数2とFM-CWピークPk_d2のビート周波数2に基づき、上記の式(1)、(2)によりそれぞれの物標の相対速度・相対距離を検出する。ここにおいて、距離速度検出手段14bは、本発明における「距離検出手段」に対応する。

【0044】

このようにして、FM-CWピークPk_u1、Pk_u2、Pk_d1、Pk_d2に基づき、各物標の相対距離、相対速度が検出される。次に、手順S14以降は、FM-CWモードでの検出結果の正確性を確認するために実行される。

【0045】

手順S14では、信号処理装置14は、2つの物標の相対速度が同じかを判断する。判断結果が「No」の場合には、手順S16に進む。

【0046】

手順S16では、位相検出手段14cがFM-CWピークPk_u1、Pk_u2、P

10

20

30

40

50

k_d1 、 Pk_d2 それぞれの位相を検出し、方位角検出手段14dが各ピークのアンテナ12_1、12_2における位相差に基づいて方位角を検出する。このとき、ペアリングしたFM-CWピークのうち、周波数上昇期間のFM-CWピーク Pk_u1 、 Pk_u2 のそれぞれにおける位相差から方位角を検出してよいし、周波数下降期間でのFM-CWピーク Pk_d1 、 Pk_d2 それぞれにおける位相差から方位角を検出してよい。あるいは、両者の平均を求めてもよい。

【0047】

手順S18では、信号処理装置14は、FM-CWモードで検出した2つの物標の相対速度を基準として、それぞれの相対速度が検出されるようなCWピークを抽出する。このとき、上記の式(4)において、相対速度を特定することでビート周波数が導出される。よって、導出されたビート周波数に対応するCWピークを抽出する。ここで、図8(C)に示すように、2つの物標の相対速度が異なる場合には、ビート周波数1を有するCWピーク Pk_c1 と、ビート周波数2を有するCWピーク Pk_c2 が検出されており、CWピーク Pk_c1 、 Pk_c2 のそれぞれがFM-CWモードで検出された2つの物標の相対距離のいずれかに対応づけられる。

10

【0048】

手順S19では、位相検出手段14cが抽出されたCWピークのそれぞれの位相を検出し、方位角検出手段14dが検出された位相のアンテナ12_1、12_2における位相差に基づいて方位角を検出する。なお、CWピークに基づく方位角の検出方法は、図2により説明される。この場合、図2におけるビート信号 $Sb1$ 、 $Sb2$ のビート周波数 f はドップラ周波数に対応する。

20

【0049】

そして、手順S20では、信号処理装置14は、FM-CWピークに基づき検出した方位角と、相対速度により対応づけられたCWピークに基づき検出した方位角が一致するかを確認する。ここでは、物標ごとにCWピーク Pk_c1 、 Pk_c2 が検出されており、受信位相が合成されていないので、CWピーク Pk_c1 、 Pk_c2 に基づいて求めた方位角が正確な方位角の判定基準として用いられる。

【0050】

方位角が一致するとき、判断結果は「Yes」であるので、手順S22に進み、信号処理装置14は、検出した相対距離、相対速度、及び方位角を出力する物標情報として確定し、処理を終了する。そして、確定された物標情報の履歴が複数回接続する場合には、車両制御装置に出力される。

30

【0051】

一方、手順S20で、FM-CWピークに基づく方位角がCWピークに基づく方位角と異なる場合、手順S10で誤ったペアリングをしていると判断する。たとえば、周波数上昇期間と周波数下降期間とでそれぞれFM-CWピークのレベルが近似する場合に、誤ったペアリングが行われる場合がある。よって、かかる場合には、判断結果は「No」であるから手順S24に進み、信号処理装置14は、ペアリングが失敗したと判断して物標情報を確定せずに処理を終了する。

【0052】

次に、2つの物標の相対速度が同じ場合について説明する。この場合、手順S14での判断結果は「Yes」であるので、手順S26に進む。

40

【0053】

手順S26では、信号処理装置14は、2つの物標の相対距離が同じであることを確認する。そして、判断結果が「No」であれば、手順S28に進む。

【0054】

手順S28では、位相導出手段14fは、FM-CWピークの位相を合成し、合成位相を導出する。図8(A)、(B)の例では、周波数上昇期間のFM-CWピーク Pk_u1 と Pk_u2 の位相を検出してその合成位相を導出する。そして、手順S30では、方位角検出手段14dが、合成された位相から方位角を検出する。ここで、合成した位相が

50

らは虚偽の方位角が検出される。

【0055】

手順S32では、信号処理装置14は、手順S18と同様にして、FM-CWピークに基づいて検出した相対速度が検出されるようなCWピークを抽出する。このとき、2つの物標の相対速度が同じなので、CWモードでは同じ周波数のビート信号の位相が合成されている。よって、図8(D)に示すように、合成位相を有する単一のCWピークPk_{c3}が検出される。

【0056】

手順S33では、方位角検出手段14dがCWピークPk_{c3}における位相に基づいて方位角を検出する。このときの位相は上述したように合成位相であるので、虚偽の方位角が検出される。

10

【0057】

手順S34では、信号処理装置14は、手順S30で検出したFM-CWピークの合成位相に基づく方位角と、手順S33で検出したCWピークの合成位相に基づく方位角とが一致するかを確認する。判断結果が「Yes」の場合、つまり合成位相に基づく虚偽の方位角同士が一致した場合、少なくともFM-CWピークのペアリングは正確に行われていることが確認される。よって、手順S22に進み、信号処理装置14は物標情報を確定する。

【0058】

一方、判断結果が「No」の場合、ペアリングが失敗したと判断し、物標情報を確定することなく処理を終了する。あるいは、後述する変形例における手順を実行する。

20

【0059】

次に、2つの物標の相対距離と相対速度がいずれも同じ場合について説明する。この場合、FM-CWモードでは2つの物標からは同じ周波数の受信信号が得られるので、同じビート周波数のビート信号が生成される。そして、同じ周波数の受信信号の位相が合成されるので、ビート信号でも位相が合成される。よって、周波数上昇期間では図8(E)に示すように、合成位相を有する単一のFM-CWピークPk_{u3}が検出され、周波数下降期間では図8(F)に示すように、合成位相を有する単一のFM-CWピークPk_{d3}が検出される。

【0060】

このような場合、FM-CWモードでは単一の物標が存在しこれに起因して単一のFM-CWピークPk_{u3}、Pk_{d3}が検出されたのか、あるいは2つのビート信号が合成されたことにより単一のFM-CWピークPk_{u3}、Pk_{d3}が検出されたのか判断できない。よって、たとえば、単一のFM-CWピークが検出されたときに、2つの物標の相対距離と相対速度が一致すると判断することが可能である。あるいは、物標情報の履歴において、物標情報が確定した物標数が減少した場合に、受信信号の合成が生じた蓋然性が高いので、2つの物標の相対距離と相対速度が一致すると判断してもよい。

30

【0061】

手順S26における判断結果が「Yes」の場合には、手順S36に進み、信号処理装置14は、手順S18、S32と同様にして、FM-CWピークPk_{u3}、Pk_{d3}に基づき検出した相対速度が検出されるようなCWピークを検出する。このとき、図8(D)に示したような合成位相を有する単一のCWピークPk_{c3}が検出される。

40

【0062】

そして、手順S38で、位相導出手段14fが、FM-CWピークPk_{u3}またはPk_{d3}の合成位相を分解する処理を実行する。具体的には、次のような演算処理を実行する。

【0063】

まず、FM-CWピークPk_{u3}またはPk_{d3}のレベルをPf、検出された合成位相をf、2つの物標の検出された相対距離(ここでは同じ相対距離)をR、ビート信号Sb1、Sb2(ここでは、FM-CWピークPk_{u3}またはPk_{d3}のいずれか

50

)の波長を、2つの物標に対応するFM-CWピークのレベルをPf1、Pf2、2つの物標から得られるべきFM-CWピークの位相を、 θ_1 、 θ_2 とすると、次の関係が成立する。

【0064】

$$P_f \cdot \sin(2\pi \cdot R + f) = P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + P_{f2} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2)$$

・・・式(5)

以降の処理は、式(5)における θ_1 、 θ_2 を導出するために行われる。ここで、2つの物標に対応するFM-CWピークのレベル比を α とすると、 $P_{f2} = \alpha \cdot P_{f1}$ となるので、上記の式(5)は次のように変形できる。

【0065】

$$P_f \cdot \sin(2\pi \cdot R + f) = P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + \alpha \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2)$$

・・・式(6)

次に、CWピークのレベルをPc、合成位相を θ_c 、2つの物標に対応するCWピークのレベルをPc1、Pc2とすると、次の関係が成立する。

【0066】

$$P_c \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_c) = P_{c1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + P_{c2} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2)$$

・・・式(7)

ここで、レーダ送受信機10aのハードウェア特性に基づき公知のレーダ方程式によるシミュレーションを行うことにより、あるいは実験により、同一物標から得られるFM-CWピークのレベルとCWピークのレベルとの相関を求めることができる。相関係数を β として $\beta \cdot P_f = P_c$ とすると、上記式(7)は、次のように変形できる。

【0067】

$$\begin{aligned} & \beta \cdot P_f \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_c) \\ &= \beta \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + \beta \cdot P_{f2} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2) \\ &= \beta \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + \alpha \cdot \beta \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2) \end{aligned}$$

・・・式(8)

ここで、2つの物標からの受信信号が合成されたときのFM-CWピークのレベルは、物標ごとに検出されるFM-CWピークのレベルの和と考えると、上記において $P_f = P_{f1} + P_{f2}$ であるから、式(6)、式(8)から位相 θ_1 、 θ_2 を導出できる。たとえば、式(6)、(8)はそれぞれ次のように変形できる。

$$\begin{aligned} \text{式(6): } & (P_{f1} + P_{f2}) \cdot \sin(2\pi \cdot R + f) \\ &= P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + \alpha \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2) \end{aligned}$$

・・・式(9)

$$\begin{aligned} \text{式(8): } & \beta \cdot (P_{f1} + P_{f2}) \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_c) \\ &= \beta \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_1) + \alpha \cdot \beta \cdot P_{f1} \cdot \sin(2\pi \cdot R + \theta_2) \end{aligned}$$

・・・式(10)

ここにおいて、2つの物標に対応するFM-CWピークのレベルPf1、Pf2として、過去に検出された物標情報のうち、相対距離や相対速度が近似する2つの物標を抽出し、それぞれに対応するFM-CWピークのレベルを用いることが可能である。具体的には、レベル記憶手段14eが、2つの物標から2つのピークが検出されたとき、つまり2つの物標の相対距離、相対速度の少なくともいずれかが異なるときに、相対距離や相対速度が近似する2つの物標を抽出してかかる物標のFM-CWピークのレベルを信号処理装置14内のRAMに記憶しておく。かかる処理は、たとえば処理サイクルごとに行われる。そして、位相導出手段14fがこれを読み出す。そうすることにより、上記の式(9)、(10)において、Pf1、Pf2、R、f、 α 、 θ_c はいずれも既知の値であり、未知数は θ_1 、 θ_2 となるので、式(9)、(10)を解くことにより θ_1 、 θ_2 を導出できる。

【0068】

位相導出手段14fは、上記の演算処理を実行することで、単一のFM-CWピークに

おける合成位相 ϕ をそれぞれ導出して、2つの物標から得られたビート信号のそれぞれの位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を導出する。そして、手順 S 4 0 では、方位角検出手段 1 4 d は、導出された位相 ϕ_1 、 ϕ_2 のアンテナ 1 2 __ 1、1 2 __ 2 における位相差に基づき、2つの物標の方位角をそれぞれ導出する。

【0069】

上記の手順によれば、2つの物標の相対距離と相対速度が同じであって、ビート信号が合成された場合であっても、それぞれの物標の方位角を正確に検出することが可能となる。

【0070】

次に、上記実施形態の変形例を説明する。

10

【0071】

図 9 は、変形例におけるレーダ送受信機 1 0 a の概略構成を説明する図である。ここでは、レーダ送受信機 1 0 a は、図 2 で示した構成に加え、受信信号 $S_r 3$ を受信する受信用アンテナ 1 2 __ 3 を備え、受信信号 $S_r 3$ からビート信号 $S_b 3$ を生成する。そして、信号処理装置 1 4 は、図 2 で説明した方法により、ビート信号 $S_b 2$ の位相 ϕ_2 とビート信号 $S_b 3$ の位相 ϕ_3 の位相差 $\Delta\phi$ から、方位角 θ を検出する。ここで、アンテナ 1 2 __ 1 と 1 2 __ 2 の距離 d と、アンテナ 1 2 __ 2 と 1 2 __ 3 の距離 d' とが異なることにより、ビート信号 $S_b 1$ 、 $S_b 2$ に基づき方位角 θ を検出する場合とは異なった検出値を用いて方位角 θ を検出する。よって、2つの結果を照合することで、方位角 θ の確度を向上させることができる。

20

【0072】

図 1 0 は、変形例におけるレーダ装置 1 0 の動作手順を説明する図である。図 1 0 は、図 7 で示した手順に対し、手順 S 3 4 の後に手順 3 5、手順 5 0 が追加された点が異なる。

【0073】

図 1 0 の手順によれば、手順 S 3 4 において、手順 S 3 0 で検出した FM - CW ピークの合成位相に基づく方位角と、手順 S 3 3 で検出した CW ピークの合成位相に基づく方位角とが一致するかを確認したときに、判断結果が「No」の場合、手順 S 3 5 に進む。

【0074】

手順 S 3 5 では、信号処理装置 1 4 は、FM - CW ピークのアンテナ 1 2 __ 1、1 2 __ 2 における位相差 $\Delta\phi$ と、アンテナ 1 2 __ 2、1 2 __ 3 における位相差 $\Delta\phi'$ のばらつきが大きいかを、たとえば予め設定した閾値と比較することで確認する。ここで、判断結果が「No」の場合、つまりばらつきが小さい場合には、少なくとも FM - CW ピークのペアリングは正確に行われていることが確認される。よって、手順 S 2 2 に進み、信号処理装置 1 4 は物標情報を確定する。

30

【0075】

一方、判断結果が「No」の場合はペアリングが失敗したと判断し、手順 S 5 0 に進み、位相合成信頼度処理が実行される。

【0076】

図 1 1 は、位相合成信頼度処理の手順を説明するフローチャート図である。図 1 1 は、図 1 0 における手順 S 5 0 のサブルーチンに対応する。

40

【0077】

手順 S 5 2 では、方位角検出手段 1 4 d が、アンテナ対 1 2 __ 1、1 2 __ 2 と、1 2 __ 2、1 2 __ 3 ごとに方位角を検出する。そして、手順 S 5 4 では、信号処理装置 1 4 は、検出された方位角のばらつきが大きいか、たとえば検出された方位角が予め設定された誤差範囲内であるかを確認する。ばらつきが小さければ判断結果は「No」であるので、図 1 0 の手順 S 2 2 に進み、物標情報を確定する。一方、ばらつきが大きければ判断結果は「Yes」であるので、手順 S 5 6 に進む。

【0078】

信号処理装置 1 4 は、手順 S 5 6 で、複数物標が存在すると判定し、手順 S 5 8 で、過

50

去に検出された複数物標の物標情報に基づいて、それぞれの物標の現時点での方位角を予測する。たとえば、相対距離と方位角から導出される物標の位置の時間変化と、相対速度とに基づいて、現時点の物標の位置を予測し、予測された位置に対応する方位角を予測値として導出する。

【0079】

手順S60では、距離速度検出手段14bは、予測された複数物標の方位角に対応する、各物標の相対速度、相対距離を導出する。このとき、たとえば相対速度を一定とすることで、処理が簡略化される。そして、導出された相対速度、相対距離に対応する周波数を予測して、現在の処理サイクルで同じ周波数のビート信号が生成されたかを確認する。

【0080】

ここで、判断結果が「No」の場合、手順S70に進む。同じ周波数のビート信号が生成されていない場合には、受信信号が合成されたことによりビート信号の位相が合成され、手順S52で検出された方位角は合成位相に基づく虚偽の方位角である可能性が大きい。よって、信号処理装置14は、これらを物標情報として確定せずに、手順S70では、手順S58で予測した方位角を物標情報として確定する。

10

【0081】

一方、手順S60での判断結果が「Yes」の場合、手順S62に進む。手順S62では、信号処理装置14は、手順S52で検出された方位角が手順S58で予測された方位角と一致（予め設定される任意の誤差範囲内である場合を含む）するかを確認する。一致する場合、判断結果は「Yes」であるので、手順S70に進み、予測された方位角を物標情報として確定する。一致しない場合、判断結果は「No」であるので、手順S64に進む。

20

【0082】

手順S64では、位相導出手段14fが、予測された方位角と、検出された相対距離と、ビート信号の周波数とに基づき、物標ごとに、ビート信号の位相を推定する。具体的には、上述した式(5)を解く演算処理を行う。その際、過去に検出された物標情報のうち、相対距離や相対速度が近似する2つの物標を抽出し、それぞれに対応するFM-CWピークのレベルをPf1、Pf2とし、検出されたFM-CWピークのレベルをPf、位相を ϕ 、検出された相対距離をR、ビート信号の波長を λ 、2つの物標から得られるべきFM-CWピークの位相を ϕ_1 、 ϕ_2 とする。そして、推定した位相を用いて、ビート信号の合成位相を導出する。

30

【0083】

手順S66では、方位角検出手段14dが、導出された合成位相に基づき方位角を導出する。ここで、この方位角は虚偽の方位角である蓋然性が高い。

【0084】

手順S68では、信号処理装置14は、手順S52で検出された方位角と、手順S66で導出された方位角とが一致（予め設定される任意の誤差範囲内である場合を含む）するかを確認する。一致する場合、判断結果は「Yes」となり、手順S52で検出された方位角が、位相合成に基づく虚偽の方位角であることが確認されたので、手順S70に進み、予測された方位角を物標情報として確定する。一致しない場合、判断結果は「No」であるので、物標情報を確定せずに、処理を終了する。

40

【0085】

このような手順によれば、2つの物標の相対距離と相対速度が同じであっても、ビート信号が合成された場合であっても、合成方位角に基づく虚偽の方位角を物標情報として確定することを回避でき、過去に検出された物標情報の履歴に基づいて、より確度良く推測された方位角を物標情報として確定することができる。なお、図11で説明した位相合成信頼度処理は、本発明者らによる特願2008-266504に記載されている。

【0086】

なお、上述の説明では、理解を容易にするために2つの物標が存在する場合を例として示した。しかしながら、3つ以上の物標が存在する場合であっても、本実施形態は適用さ

50

れる。

【0087】

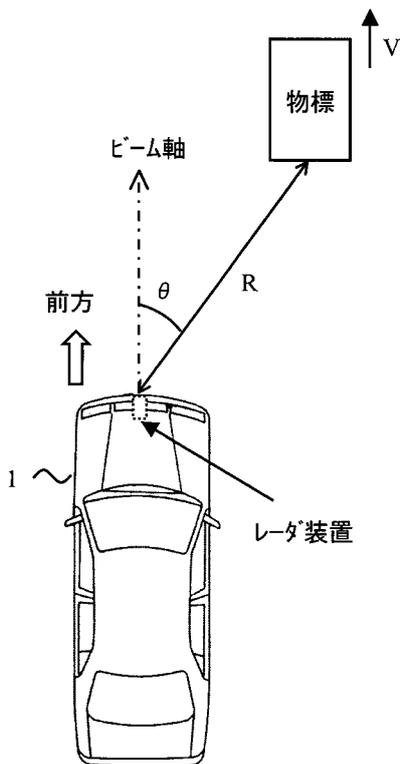
以上、説明したとおり、本発明によれば、FM-CW方式と位相モノパルス方式とを併用したレーダ装置において、同じ相対距離と相対速度を有する複数の物標が存在する場合であっても、個々の物標の方位角を正確に検出することが可能となる。

【符号の説明】

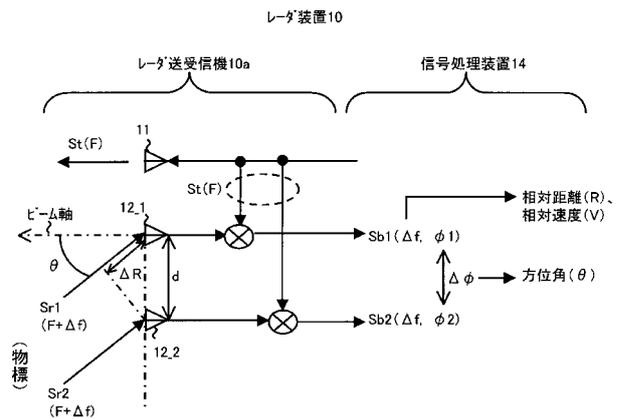
【0088】

10：レーダ装置、10a：レーダ送受信機、12_1、12_2：アンテナ、14：信号処理装置、14b：距離速度検出手段、14c：位相検出手段、14d：方位角検出手段、14e：レベル記憶手段、14f：位相導出手段

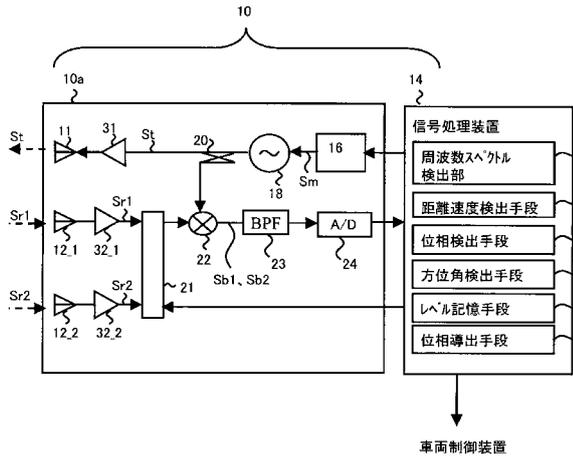
【図1】



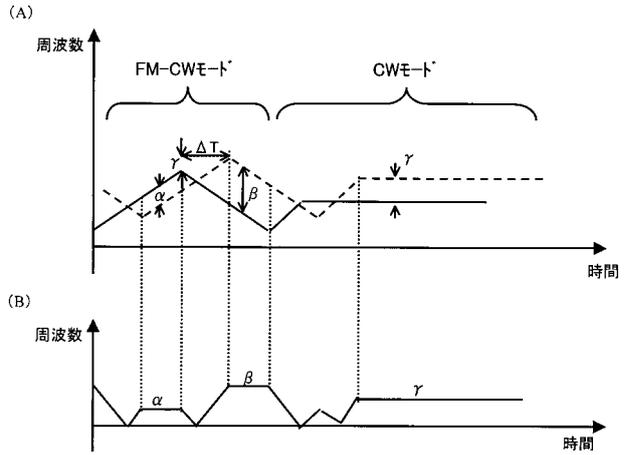
【図2】



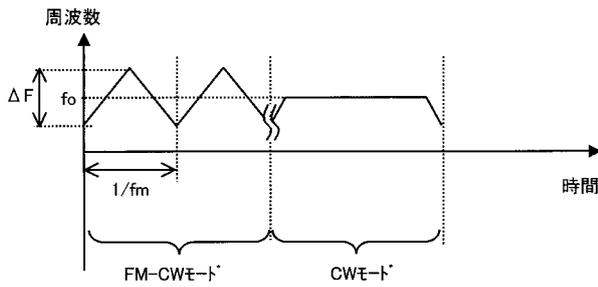
【図3】



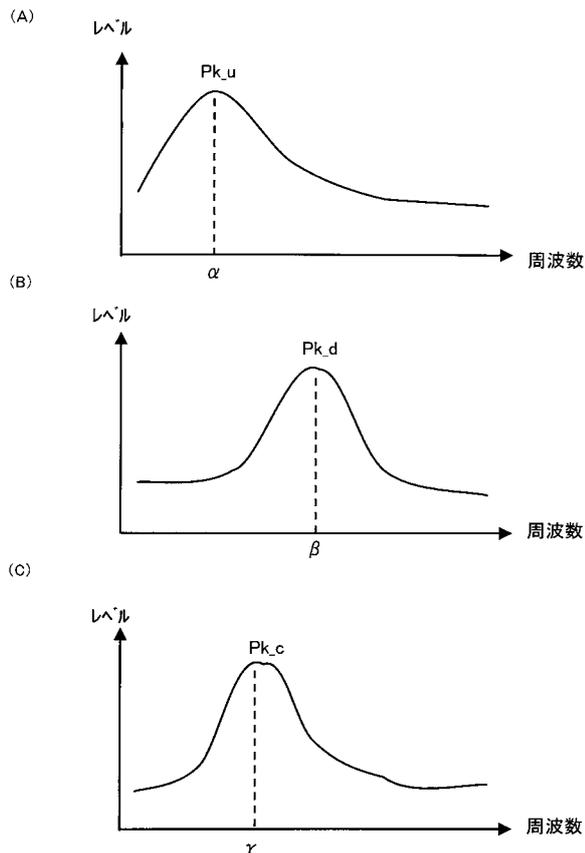
【図5】



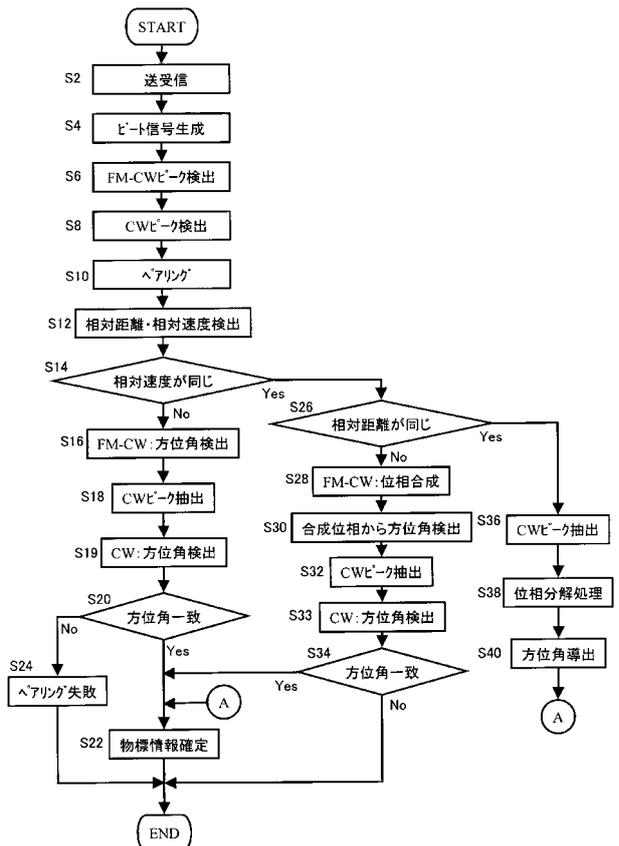
【図4】



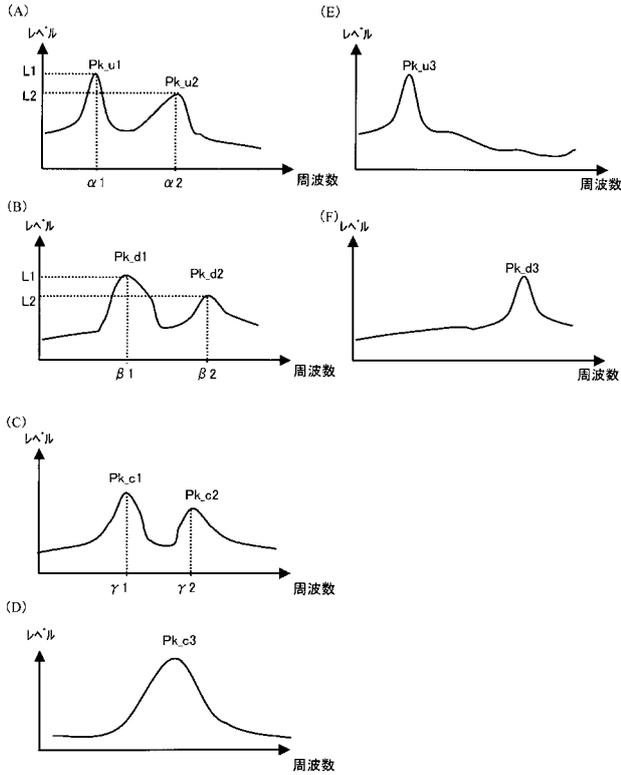
【図6】



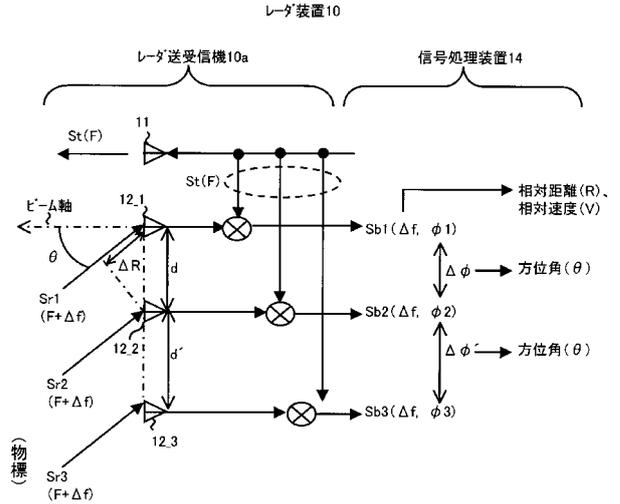
【図7】



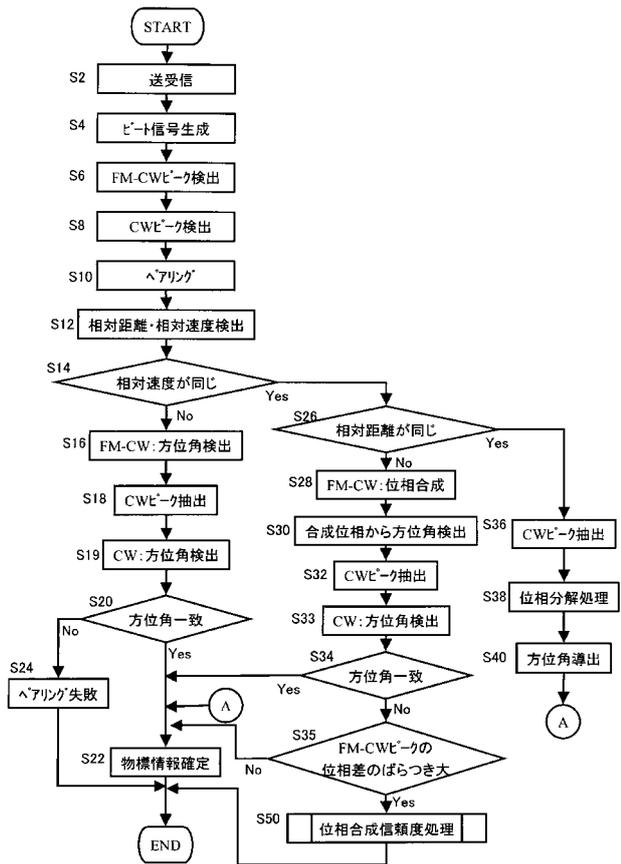
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】

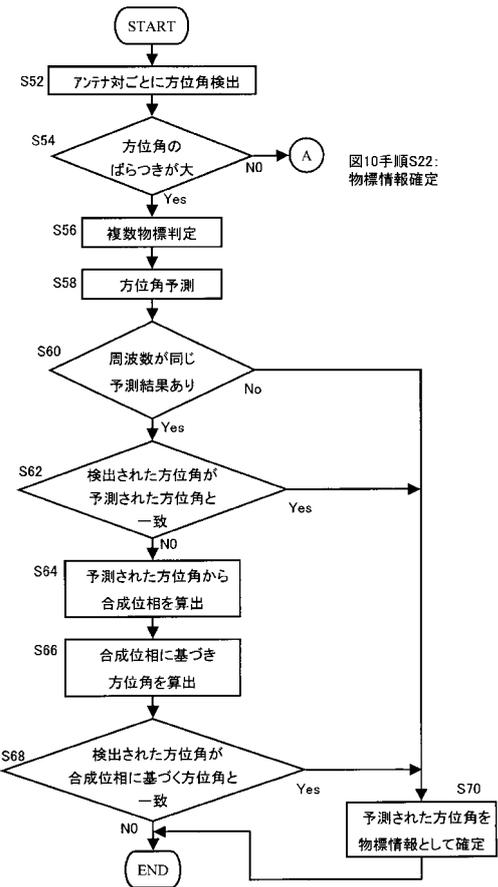


図10手順S22: 物標情報確定

フロントページの続き

Fターム(参考) 5J070 AB19 AC02 AC06 AC13 AD02 AD07 AE01 AE07 AE09 AF03
AH31 AH35 AH40 AJ14 AL02 BF16