

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5491981号
(P5491981)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 S 13/66 (2006.01) GO 1 S 13/66
GO 1 S 13/34 (2006.01) GO 1 S 13/34
GO 1 S 13/42 (2006.01) GO 1 S 13/42

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-138277 (P2010-138277)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成22年6月17日(2010.6.17)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(65) 公開番号	特開2012-2686 (P2012-2686A)	(74) 代理人	100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
(43) 公開日	平成24年1月5日(2012.1.5)	(74) 代理人	100095500 弁理士 伊藤 正和
審査請求日	平成25年1月28日(2013.1.28)	(74) 代理人	100101247 弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100098327 弁理士 高松 俊雄

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】

FMCW方式のダウンスweepまたはアップスweepの信号を繰り返し送受信する送受信器と、

前記送受信器からの信号に基づく測角値を用いてビート周波数の空間を表す $f_b x - f_b y$ 軸に座標変換するビート周波数軸変換部と、

前記ビート周波数軸変換部における変換によって得られた $f_b x - f_b y$ 軸の空間において位置、速度および加速度を用いて相関追尾を行う相関追尾部と、

前記相関追尾部における相関追尾によって得られた結果を $X - Y$ 軸の位置および速度に変換する $X - Y$ 軸変換部と、

を備えることを特徴とするレーダ装置。

【請求項2】

FMCW方式のダウンスweepおよびアップスweepの信号を繰り返し送受信する送受信器と、

前記送受信器からのダウンスweepおよびアップスweepの信号の各々において、該信号に基づく測角値を用いてビート周波数の空間を表す $f_b x - f_b y$ 軸に座標変換するビート周波数軸変換部と、

前記ビート周波数軸変換部における変換によって得られた $f_b x - f_b y$ 軸の空間において位置、速度および加速度を用いて相関追尾を行う相関追尾部と、

前記相関追尾部における相関追尾によって得られた結果を $X - Y$ 軸の位置および速度に

変換する X - Y 軸変換部と、

前記 X - Y 軸変換部で得られたダウンスweepとアップスweepの位置または速度の少なくとも一方の差が所定値以下であれば、該位置、速度または加速度を重みづけして結合した値を求めるダウンアップ結合部と、
を備えることを特徴とするレーダ装置。

【請求項 3】

ダウンスweepとアップスweepの各々に対する測角値が所定の範囲にあるものをペアリングするペアリング処理部と、

前記ペアリング処理部におけるペアリングにより得られた距離および速度により相関追尾を実施して距離および速度の平滑値を算出する他の相関追尾部を備え、

前記ダウンアップ結合部は、前記他の相関追尾部により得られた平滑値と、前記相関追尾部により得られた平滑値の位置および速度の少なくとも 1 つの差が所定値以下であれば、該位置、速度または加速度を重みづけして結合した値を求めることを特徴とする請求項 2 記載のレーダ装置。

【請求項 4】

ダウンスweepまたはアップスweepに対する測角値が所定の範囲にあるものをペアリングするペアリング処理部と、

前記ペアリング処理部におけるペアリングにより得られた距離および速度により相関追尾を実施して距離および速度の平滑値を算出する他の相関追尾部と、

前記他の相関追尾部により得られた平滑値と、前記相関追尾部により得られた平滑値の位置および速度の少なくとも 1 つの差が所定値以下であれば、該位置、速度または加速度を重みづけして結合した値を求めるダウンアップ結合部とを備えることを特徴とする請求項 1 記載のレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、相関追尾により車両の速度を観測するレーダ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

道路を走行する車両の速度をレーダ装置によって観測する場合は、他車両や背景といった複雑かつ多数の反射点が存在する中で目標車両を検出して相関追尾が行われる。このような環境下において、アンテナビーム幅が広く、FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式によるビート周波数軸の分解能が低い場合は、角度軸でも周波数軸でもメインローブの中に複数の反射点が存在することになる。このため、従来のダウンスweepとアップスweepのペアリングにより距離および速度を算出する方法では、ペアリングの誤りに起因するゴーストが生じる。なお、FMCW方式については、例えば『吉田孝監修、電子情報通信学会、“改訂レーダ技術”、pp.274-275 (1996)』に説明されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】吉田孝監修、‘改定レーダ技術’、電子情報通信学会、pp.264-267(1996)

【非特許文献 2】Paul R.KALATA, "A Generalized Parameter for Target Trackers", IEEE Trans., pp.174-181, AES VOL. AES-20, NO.2, MARCH 1984

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したように、従来のレーダ装置では、ダウンスweepとアップスweepとをペアリングすることにより距離および速度を算出するので、ペアリングの誤りに起因するゴーストが生じ、安定した相関追尾ができないという問題がある。

【 0 0 0 5 】

本発明は、ペアリングを不要にして、安定した相関追尾ができるレーダ装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上記の課題を解決するために、実施形態に係るレーダ装置は、FMCW方式のダウンスweepまたはアップスweepの信号を繰り返し送受信する送受信器と、送受信器からの信号に基づく測角値を用いてビート周波数の空間を表す $f_{bx} - f_{by}$ 軸に座標変換するビート周波数軸変換部と、ビート周波数軸変換部における変換によって得られた $f_{bx} - f_{by}$ 軸の空間において位置、速度および加速度を用いて相関追尾を行う相関追尾部と、相関追尾部における相関追尾によって得られた結果を $X - Y$ 軸の位置および速度に変換する $X - Y$ 軸変換部を備えたことを特徴とする。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図1】第1の実施形態に係るレーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図2】第1の実施形態に係るレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

【図3】第1の実施形態に係るレーダ装置で用いられるスweep波形の例を示す図である。

。

【図4】第1の実施形態に係るレーダ装置で生じる誤差を説明するための $X - Y$ 空間を示す図である。

20

【図5】第1の実施形態に係るレーダ装置で生じる誤差を説明するための $f_{bx} - f_{by}$ 空間を示す図である。

【図6】第1の実施形態に係るレーダ装置で生じる誤差の例を説明するための図である。

【図7】第1の実施形態に係るレーダ装置で誤差が生じる原理を説明するための図である。

。

【図8】第1の実施形態に係るレーダ装置で残留する誤差を説明するための図である。

【図9】第2の実施形態に係るレーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図10】第2の実施形態に係るレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

【図11】第3の実施形態に係るレーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図12】第3の実施形態に係るレーダ装置の動作を示すフローチャートである。

30

【図13】第3の実施形態に係るレーダ装置の動作を説明するための図である。

【図14】第1～第3実施形態に係るレーダ装置で行われる相関追尾を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

以下、実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 0 9 】

(第1の実施形態)

第1の実施形態に係るレーダ装置において採用されている方式をFSAT (Frequency Space data Association and Tracking) と呼ぶ。図1は、第1の実施形態に係るレーダ装置の構成を示す系統図である。このレーダ装置は、アンテナ10、送受信器20および信号処理器30を備えている。

40

【 0 0 1 0 】

アンテナ10は、アンテナ送信素子11と複数のアンテナ受信素子12とから構成されている。アンテナ送信素子11は、送受信器20から送信信号として送られてくる電気信号を電波に変換して外部に送出する。複数のアンテナ受信素子12は、外部からの電波を受信して電気信号に変換し、受信信号として送受信器20に送る。

【 0 0 1 1 】

送受信器20は、送信器21と複数のミキサ22を備えており、複数のミキサ22は、複数のアンテナ受信素子12にそれぞれ対応して設けられている。一般的なアップチャー

50

プとダウンチャープの信号を送信信号として用いる F M C W方式の場合は、送信器 2 1 でスイープした送信信号を生成し、アンテナ送信素子 1 1 および複数のミキサ 2 2 に送る。複数のミキサ 2 2 は、複数のアンテナ受信素子 1 2 からそれぞれ受け取った受信信号を、送信器 2 1 からの信号に応じて周波数変換してビート周波数信号を生成し、信号処理器 3 0 に送る。

【 0 0 1 2 】

信号処理器 3 0 は、A D 変換器 3 1、F F T 部 3 2、D B F 部 3 3、検出部 3 4、測角部 3 5、ビート周波数軸変換部 3 6、相関追尾部 3 7 および X - Y 軸変換部 3 8 を備えている。

【 0 0 1 3 】

A D 変換器 3 1 は、送受信器 2 0 からアナログ信号として送られてくるビート周波数信号をデジタル信号に変換し、素子信号として F F T 部 3 2 に送る。F F T 部 3 2 は、A D 変換器 3 1 から送られてくる素子信号を高速フーリエ変換により周波数軸上の信号に変換し、D B F 部 3 3 に送る。

【 0 0 1 4 】

D B F 部 3 3 は、F F T 部 3 2 から送られてくる周波数軸上の信号を用いて、ビームとビームを形成する。この D B F 部 3 3 で形成されたビームは検出部 3 4 に送られ、ビームは測角部 3 5 に送られる。

【 0 0 1 5 】

検出部 3 4 は、D B F 部 3 3 から送られてくるビームに基づき距離および速度を検出し、それらを表す値をビート周波数軸変換部 3 6 に送る。また、検出部 3 4 は、D B F 部 3 3 から送られてきたビームを測角部 3 5 に送る。

【 0 0 1 6 】

測角部 3 5 は、検出部 3 4 から送られてくるビームおよび D B F 部 3 3 から送られてくるビームを用いて、位相モノパルス測角方式により測角を行う。なお、位相モノパルス測角方式については、例えば『電子情報通信学会、“改訂レーダ技術”、pp.262-264 (1996)』に説明されている。

【 0 0 1 7 】

位相モノパルス測角の場合のビームは次式で表すことができる。

【数 1】

$$b_m(\theta) = \sum_{n=1}^N W_m(n) e_n(\theta) \cdot \exp(j \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d(n-1 - \frac{N-1}{2})) \dots (1)$$

【 0 0 1 8 】

ここで、

b_m () ; ビーム出力
 e_n () ; 素子パターン ($n = 1 \sim N$)
 W_m () ; 複素ウェイト ($n = 1 \sim N$)
 n ; 素子番号 ($n = 1 \sim N$)
 λ ; 波長

また、位相モノパルス測角の場合には、次式のビームを用いて測角することができる。

。

10

20

30

40

【数 2】

$$\Delta m(\theta) = \sum_{n=1}^{N/2} Wm(n) \cdot en(\theta) \cdot \exp(j \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d(n-1 - \frac{N-1}{2})) \\ - \sum_{n=N/2+1}^N Wm(n) \cdot en(\theta) \cdot \exp(j \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d(n-1 - \frac{N-1}{2})) \quad \dots (2)$$

【0019】

ここで、

$m(\quad)$; ビーム出力
 $en(\quad)$; 素子パターン
 $Wm(n)$; 複素ウェイト ($n = 1 \sim N$)
 n ; 素子番号 ($n = 1 \sim N$)
 λ ; 波長

bm と m を用いて、誤差電圧 は、次式で表すことができる。

【数 3】

$$\varepsilon = \text{Re} \left[\frac{bm \cdot \Delta m^*}{bm \cdot bm^*} \right] \dots (3)$$

【0020】

ここで、

* ; 複素共役

この誤差電圧 と、予め保存されている誤差電圧 と測角値 の対応テーブル(または、多項式近似値)を用いて、測角値を算出できる。以上のようにして測角部35で算出された測角値は、ビート周波数軸変換部36に送られる。

【0021】

ビート周波数軸変換部36は、検出部34から送られてくる距離および速度を表す値と、測角部35から送られてくる測角値とに基づき、ビート周波数軸変換を行う。ここで、ビームと ビームの信号をビート周波数 fb で代表して表記すると、ビート周波数 fb は、次のように表すことができる。

【数 4】

$$fb = \frac{B}{T} \cdot \frac{2R}{c} - \frac{2V}{\lambda} \dots (4) \\ = \kappa r \cdot R - \kappa v \cdot V$$

【0022】

ここで、

fb : ビート周波数
 B : 周波数帯域
 T : スイープ時間
 R : 距離
 c : 光速
 V : 速度
 λ : 波長

κr : $2B / (Tc)$

κv : $\quad / 2$

10

20

30

40

50

ビート周波数 f_b の微分、更にその微分で表現すると、次の通りである。

【数 5】

$$\begin{aligned}fb &= \kappa r \cdot R - \kappa v \cdot V \\ \dot{fb} &= \kappa r \cdot \dot{R} - \kappa v \cdot \dot{V} \dots (5) \\ \ddot{fb} &= \kappa r \cdot \ddot{R} - \kappa v \cdot \ddot{V}\end{aligned}$$

【0023】

これらを距離 R 、速度 V および加速度 A で表現すると、次の通りである。

10

【数 6】

$$\begin{aligned}fb &= \kappa r \cdot R - \kappa v \cdot V \\ \dot{fb} &= \kappa r \cdot \dot{V} - \kappa v \cdot A \dots (6) \\ \ddot{fb} &= \kappa r \cdot A - \kappa v \cdot \dot{A}\end{aligned}$$

【0024】

ここで、

R : 距離

V : 速度

A : 加速度

これを、測角値 θ を用いて $X - Y$ 軸に変換できる。

20

【数 7】

$$\begin{bmatrix}fbx \\ fby\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}fb \cdot \sin(\theta) \\ fb \cdot \cos(\theta)\end{bmatrix} \dots (7)$$

【0025】

ここで、

f_b ; ビート周波数

; 測角値

このようにしてビート周波数軸変換部 36 において $f_b x - f_b y$ に座標変換された結果 ($f_b x$ および $f_b y$) は、相関追尾部 37 に送られる。

30

【0026】

相関追尾部 37 は、ビート周波数軸変換部 36 から送られてくる $f_b x$ および $f_b y$ の空間で、位置、速度および加速度を用いて相関追尾処理を実行する。

【0027】

上述した $f_b x$ および $f_b y$ は、1 回微分と 2 回微分を用いて、等加速度運動 (加速度の時間微分は 0) とすると、次式で表現できる。

40

【数 8】

$$fbx = \kappa r \cdot xs - \kappa v \cdot vxs$$

$$\dot{fbx} = \kappa r \cdot vxs - \kappa v \cdot axs \dots (8)$$

$$\ddot{fbx} = \kappa r \cdot axs$$

$$fby = \kappa r \cdot ys - \kappa v \cdot vys$$

$$\dot{fby} = \kappa r \cdot vys - \kappa v \cdot ays \dots (9)$$

10

$$\ddot{fby} = \kappa r \cdot ays$$

$$xs = R \cdot \sin \theta$$

$$ys = R \cdot \cos \theta$$

$$vxs = V \cdot \sin \theta$$

$$vys = V \cdot \cos \theta \dots (10)$$

$$axs = A \cdot \sin \theta$$

$$ays = A \cdot \cos \theta$$

20

【0028】

f b x と f b y の速度（1回微分）と加速度（2回微分）まで観測すれば、（8）式と（9）式に代入して、位置（x s、y s）と速度（v x s、v y s）を算出することができる。

【0029】

この f b x と f b y の速度、加速度は、例えば フィルタを用いると、次式で表される（図14参照）。なお、 フィルタについては、例えば非特許文献1および非特許文献2に追尾フィルタとして説明されているので、必要に応じて参照されたい。

30

【数 9】

$$f_{xs}(n) = f_{xp}(n) + \alpha(f_{xm}(n) - f_{xp}(n))$$

$$f_{vxs}(n) = f_{vxp}(n) + \frac{\beta}{T} \cdot (f_{xm}(n) - f_{xp}(n))$$

$$f_{axs}(n) = f_{axp}(n) + \frac{\gamma}{T^2} \cdot (f_{xm}(n) - f_{xp}(n))$$

$$f_{xp}(n) = f_{xs}(n-1) + T \cdot f_{vxs}(n-1) + \frac{T^2}{2} \cdot f_{asx}(n-1) \quad \dots (11) \quad 10$$

$$f_{vxp}(n) = f_{vxs}(n) + T \cdot f_{axs}(n-1)$$

$$f_{axp}(n) = f_{axs}(n-1)$$

$$f_{ys}(n) = f_{yp}(n) + \alpha(f_{ym}(n) - f_{yp}(n))$$

$$f_{vys}(n) = f_{vyp}(n) + \frac{\beta}{T} \cdot (f_{ym}(n) - f_{yp}(n))$$

$$f_{ays}(n) = f_{ayp}(n) + \frac{\gamma}{T^2} \cdot (f_{ym}(n) - f_{yp}(n)) \quad 20$$

$$f_{yp}(n) = f_{ys}(n-1) + T \cdot f_{vys}(n-1) + \frac{T^2}{2} \cdot f_{ays}(n-1) \quad \dots (12)$$

$$f_{vyp}(n) = f_{vys}(n) + T \cdot f_{ays}(n-1)$$

$$f_{ayp}(n) = f_{ays}(n-1)$$

【0030】

初期値は次の通りである。

30

【数 1 0】

$$f_x(0) = f_{xm}(0)$$

$$f_{vx}(0) = \frac{3f_{xm}(0) - 4f_{xm}(-1) + f_{xm}(-2)}{2T} \quad \dots (13)$$

$$f_{ax}(0) = \frac{f_{xm}(0) - 2f_{xm}(-1) + f_{xm}(-2)}{T^2}$$

$$f_y(0) = f_{ym}(0)$$

$$f_{vy}(0) = \frac{3f_{ym}(0) - 4f_{ym}(-1) + f_{ym}(-2)}{2T} \quad \dots (14)$$

$$f_{ay}(0) = \frac{f_{ym}(0) - 2f_{ym}(-1) + f_{ym}(-2)}{T^2}$$

ここで、

f_{xs} 、 f_{ys} ; 平滑ベクトル

f_{xm} 、 f_{ym} ; 観測ベクトル

f_{xp} 、 f_{yp} ; 予測ベクトル

n ; サイクル番号 ($n = 1 \sim N$)

α ; 定数

β ; $\beta = 2(2 - \alpha) - 4\sqrt{1 - \alpha}$

γ ; $\gamma = \frac{\beta^2}{\alpha}$

T ; サイクルタイム

10

20

【0031】

この相関追尾を用いて平滑値を算出し、(8) ~ (10)式を用いて、位置(x_s 、 y_s)と速度(v_{xs} 、 v_{ys})を算出することができる。相関追尾部37における相関追尾処理により得られる平滑値および予測値は、X-Y軸変換部38に送られる。

【0032】

X-Y軸変換部38は、相関追尾部37から送られてきた平滑値および予測値をX-Y軸の位置および速度に変換し、外部に送る。

【0033】

次に、第1の実施形態に係るレーダ装置の動作を、図2に示すフローチャートを参照しながら説明する。最初に、信号処理が行われる(ステップS10)。具体的には、まず、ダウン送受信が行われる(ステップS11)。すなわち、送受信器20では、送信器21で生成されたダウンスイープの送信信号を、アンテナ10のアンテナ送信素子11および複数のミキサ22に送る。アンテナ送信素子11は、送受信器20から送信信号として送られてくる電気信号を電波に変換して外部に送出する。アンテナ10の複数のアンテナ受信素子12は、外部からの電波を受信して電気信号に変換し、受信信号として送受信器20に送る。送受信器20に含まれる複数のミキサ22は、複数のアンテナ受信素子12からそれぞれ受け取った受信信号を、送信器21からの信号に応じて周波数変換してビート周波数信号を生成し、信号処理器30に送る。

【0034】

信号処理器30においては、AD変換器31は、送受信器20からアナログ信号として送られてくるビート周波数信号をデジタル信号に変換し、素子信号としてFFT部32に

30

40

50

送る。FFT部32は、AD変換器31から送られてくる素子信号を高速フーリエ変換により周波数軸上の信号に変換し、DBF部33に送る。DBF部33は、FFT部32から送られてくる周波数軸上の信号を用いて、ビームとビームを形成し、それぞれ検出部34および測角部35に送る。検出部34は、DBF部33から送られてくるビームに基づき距離および速度を検出し、それらを表す値をビート周波数軸変換部36に送る。また、検出部34は、DBF部33から送られてきたビームを測角部35に送る。

【0035】

次いで、測角値 b が算出される（ステップS13）。すなわち、測角部35は、検出部34から送られてくるビームおよびDBF部33から送られてくるビームを用いて、位相モノパルス測角方式により測角を行い、測角値 b をビート周波数軸変換部36に送る。

10

【0036】

次いで、 $f b x - f b y$ への座標変換が行われる（ステップS14）。すなわち、ビート周波数軸変換部36は、検出部34から送られてくる距離および速度を表す値と、測角部35から送られてくる測角値とに基づき、ビート周波数軸変換を行い、 $f b x - f b y$ に座標変換された結果（ $f b x$ および $f b y$ ）を相関追尾部37に送る。

【0037】

次いで、グルーピング処理が行われる（ステップS20）。このグルーピング処理はオプションであり、複数ビームを形成する場合に実行される。グルーピング処理の内容は後述する。

20

【0038】

次いで、相関追尾処理が行われる（ステップS30）。この相関追尾処理は、相関処理部37において実行される。相関追尾処理においては、まず、相関処理が行われる（ステップS31）。すなわち、NN値が抽出される。次いで、初航跡が確立される（ステップS32）。次いで、 $f b x$ 、 $f b y$ 空間における追尾が行われる（ステップS33）。すなわち、 $f b x$ 、 $f b y$ の平滑値が算出される。次いで、 $f b x$ 、 $f b y$ の平滑値より、 X 、 Y 、 $V x$ 、 $V y$ 、 $A x$ および $A y$ が算出される（ステップS34）。

【0039】

以上の相関追尾処理が終了すると、次いで、平滑値のフィルタ処理が行われる（ステップS40）。これにより、平滑位置および平滑速度が出力される。その後、信号処理S10のステップS11に戻り、上述した処理が繰り返される。

30

【0040】

図3は、第1の実施形態で用いられるスイープ波形の例を示す。スイープ波形としては、ダウンスイープまたはアップスイープの一方のみでよいが、一般的にダウンスイープとアップスイープの組み合わせで表現している。相関追尾のためのサイクルタイム（相関追尾の時間間隔）内のスイープを、一般にNスイープとした場合、NスイープのFFT波形の同一ビート周波数において、振幅積分した結果によりスレシヨルド判定して検出した後、検出バンク（ビート周波数バンク）において、Nスイープ分の測角を行い、測角値を平均することにより、測角値の精度を高めることができる。

【0041】

また、上述したグルーピング処理は、以下のように構成できる。グルーピング処理においては、まず、複数ビーム間合成が行われる（ステップS21）。すなわち、複数ビーム間の観測値（ $f b x$ 、 $f b y$ ）が合成される。次いで、グルーピングが行われる（ステップS22）。すなわち、複数の観測値の中から、振幅値の大きい順から極値を抽出し、抽出点のビート周波数軸の周りに所定のゲートを形成し、そのゲート内にある観測値（ビート周波数）を各振幅値により重みづけするといった重心演算を用いて、複数点をグルーピングする。このグルーピングした結果は相関追尾部37に送られる。

40

【0042】

また、（ $f b x$ 、 $f b y$ ）より、位置および速度の平滑値を算出後、路肩反射点の速度（自車両速度）や路肩位置等によるフィルタを適用して、不要点を抑圧する処理を付加す

50

るように構成することもできる。

【 0 0 4 3 】

以上説明したように、第 1 の実施形態に係るレーダ装置によれば、ダウンスイープまたはアップスイープのみの繰り返しスイープを用いて、ビート周波数を観測し、ビート周波数空間で相関追尾し、相関追尾の結果（平滑値および予測値）を用いて X - Y 軸に変換するので、ダウンスイープとアップスイープのペアリングが不要であり、誤ペアリングによるゴーストは生じない。その結果、複雑な背景下においても、目標の観測位置精度を高めて、安定した相関追尾を実現できる。

【 0 0 4 4 】

（第 2 の実施形態）

第 2 の実施形態に係るレーダ装置において採用される方式を I F S A T (; Improved F SAT) と呼ぶ。上述した第 1 の実施形態に係るレーダ装置では、ダウンスイープまたはアップスイープの一方のみを用いている。この場合、 $f b x - f b y$ 空間と X - Y 空間の関係により、非線形の誤差が生じる。まず、この誤差について説明する。

【 0 0 4 5 】

X - Y 空間と $f b x - f b y$ 空間の測角値 θ が等しいものとし、等加速度運動を前提とすると、図 4 および図 5 を参照して、ビート周波数 $f b$ 、その 1 回微分および 2 回微分は次式で表現できる。

【数 1 1】

$$\begin{aligned} f b &= k r \cdot (x s \cdot \sin \theta + y s \cos \theta) - k v \cdot (v x s \cdot \sin \theta + v y s \cdot \cos \theta) \\ \dot{f b} &= k r \cdot (v x s \cdot \sin \theta + v y s \cdot \cos \theta) - k v \cdot (a x s \cdot \sin \theta + a y s \cdot \cos \theta) \dots (15) \\ \ddot{f b} &= k r \cdot (a x s \cdot \sin \theta + a y s \cdot \cos \theta) \end{aligned}$$

【 0 0 4 6 】

(1 5) 式を x、y 成分に分離すると次式で表すことができる。ただし、等加速度運動（加速度の時間微分は 0）とする。

【数 1 2】

$$\begin{aligned} f b x &= k r \cdot x s \cdot \sin \theta - k v \cdot v x s \cdot \sin \theta \\ \dot{f b x} &= k r \cdot v x s \cdot \sin \theta - k v \cdot a x s \cdot \sin \theta \dots (16) \\ \ddot{f b x} &= k r \cdot a x s \cdot \sin \theta \\ f b y &= k r \cdot y s \cdot \cos \theta - k v \cdot v y s \cdot \cos \theta \\ \dot{f b y} &= k r \cdot v y s \cdot \cos \theta - k v \cdot a y s \cdot \cos \theta \dots (17) \\ \ddot{f b y} &= k r \cdot a y s \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

【 0 0 4 7 】

ここで、

$x s$ 、 $y s$: 位置の平滑値
 $v x s$ 、 $v y s$: 速度の平滑値
 $a x s$ 、 $a y s$: 加速度の平滑値
 θ : 測角値

(8) 式と (1 6) 式、(9) 式と (1 7) 式を比較する。左辺の $f b x$ 、 $f b y$ を両者で等しいとすると、

$$\begin{aligned} (8) \text{ 式} &= (16) \text{ 式} \\ x s &= x s \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

$$\begin{array}{l}
 v_x s \quad v_x s \cdot \sin \\
 a_x s \quad a_x s \cdot \sin \\
 (9) \text{式} \quad (17) \text{式} \\
 y_s \quad y_s \cdot \cos \\
 v_y s \quad v_y s \cdot \cos \\
 a_y s \quad a_y s \cdot \cos
 \end{array}$$

が対応しており、による誤差分があることがわかる。これは、 f_b とより、 f_{bx} と f_{by} を(7)式の関係で定義したものと、(16)および(17)式で定義した f_{bx} と f_{by} が異なり、実装上は簡単化のため(7)~(14)式を用いて処理するために生じる誤差である。この誤差の一例を図6に示す。

10

【0048】

ダウンスイープで目標がX軸一定で、Y軸に沿って近づく場合は、ビート周波数空間では、近距離広角において、図6(a)に示すように、距離によるビート周波数成分 f_r と速度によるビート周波数成分 f_d が加算され、外側に膨らむような航跡となる。この原理を、アップスイープの場合と合わせて、図7に示す。

【0049】

ダウンスイープの場合は、距離によるビート周波数 f_{br} と近づく速度によるビート周波数 f_{bv} は同一の正の周波数となる。一方、アップスイープの場合には、距離によるビート周波数 f_{br} は負の周波数となり、近づく速度によるビート周波数 f_{bv} は正の方向の周波数となる。これを正の周波数として観測すると、折り返した周波数となり、ダウンスイープの場合とアップスイープの場合では、図8に示すような関係となる。これを(8)および(9)式により、X-Y軸に換算すると、上述した誤差が残留し、図8(b)に示すように、実際の車両の軌跡が直線の場合であっても、若干ずれた位置に観測される。

20

【0050】

次に、この誤差を補正する手法を考える。ダウンスイープとアップスイープの場合の軌跡は、X-Y軸に変換すると、図8(b)に示すように、真値の軌跡に対して左右の逆方向に誤差が残留する。この逆方向へのズレを利用して、ダウンスイープとアップスイープの各々のX-Y軸に換算後の出力であるダウンスイープのXY換算値(x_{sd} 、 y_{sd})とアップスイープのXY換算値(x_{su} 、 y_{su})が所定のゲート範囲内であれば、一般に、次式で結合することにより、位置精度を改善できる。

30

【数13】

$$\begin{array}{l}
 x_s = W_d \cdot x_{sd} + W_u \cdot x_{su} \\
 y_s = W_d \cdot y_{sd} + W_u \cdot y_{su} \quad \dots (18)
 \end{array}$$

【0051】

ここで、

- (x_s , y_s) ; 結合後のX-Y軸の位置
- (x_{sd} , y_{sd}) ; ダウンスイープのX-Y軸換算後の位置
- (x_{su} , y_{su}) ; アップスイープのX-Y軸換算後の位置
- W_d ; ダウンスイープに対する重みづけ
- W_u ; アップスイープに対する重みづけ = (1 - W_d)

40

重みづけの例としては、ダウンスイープとアップスイープを均等にすれば $W_d = W_u = 0.5$ とすることができる。図8(b)に示すIFSA T補正値は、ダウンスイープのXY換算値とアップスイープのXY換算値とが重み付けされた値である。

【0052】

図9は、上述した誤差の補正を実現するための第2の実施形態に係るレーダ装置の構成を示す系統図である。このレーダ装置は、図1に示した第1の実施形態に係るレーダ装置の信号処理部30にダウンアップ結合部39が追加されて構成されている。

【0053】

50

ダウンアップ結合部 39 は、X - Y 軸変換部 38 から送られてきたダウンスイープに基づく平滑値とアップスイープに基づく平滑値を結合し、外部に送る。

【0054】

次に、第 2 の実施形態に係るレーダ装置の動作を、図 10 に示すフローチャートを参照しながら説明する。最初に、信号処理が行われる（ステップ S 15）。この信号処理は、第 1 の実施形態のステップ S 10（図 2 参照）の処理が、ダウンスイープとアップスイープの信号を交互に送受信するダウン/アップ信号処理（ステップ S 16）に変更されている点を除けば、第 1 の実施形態のそれと同じである。

【0055】

次いで、グルーピング処理が行われる（ステップ S 20）。このグルーピング処理は、第 1 の実施形態のそれと同様にオプションであり、複数ビームを形成する場合に実行される。

【0056】

次いで、相関追尾処理が行われる（ステップ S 30）。この相関追尾処理は、ダウンスイープとアップスイープに対する処理が交互に行われる点を除けば、上述した第 1 の実施形態のそれと同じである。次いで、ダウン・アップ平滑値結合が行われる（ステップ S 50）、すなわち、ダウンアップ結合部 39 は、X - Y 軸変換部 38 から送られてきたダウンスイープに基づく平滑値とアップスイープに基づく平滑値を結合する。

【0057】

次いで、平滑値のフィルタ処理が行われる（ステップ S 40）。これにより、平滑位置および平滑速度が出力される。その後、信号処理 S 10 のステップ S 16 に戻り、上述した処理が繰り返される。

【0058】

なお、ゲートとしては、位置ゲートの他に、速度ゲートを用いて、ダウンスイープとアップスイープの速度である（ v_{xd} 、 v_{yd} ）と（ v_{xu} 、 v_{yu} ）が所定の範囲内にあるという条件を追加するように構成できる。

【0059】

以上説明したように、第 2 の実施形態に係るレーダ装置によれば、ダウンスイープとアップスイープの各々について第 1 の実施形態に係るレーダ装置により得られた結果を用いて、X - Y 軸上で相関をとり、重みづけ平均化するので、位置および速度の精度を向上できる。

【0060】

（第 3 の実施形態）

第 3 の実施形態に係るレーダ装置において採用されている方式を A F S A T（Advanced FSAT）と呼ぶ。上述した第 2 の実施形態に係るレーダ装置では、ダウンスイープとアップスイープの位置の結合を用いるので、誤差を補正した位置を算出できる。

【0061】

第 3 の実施形態に係るレーダ装置は、更に精度の高い位置を算出するようにしたものである。従来のレーダ装置においては、誤ペアリングにより、ゴーストが発生するという問題が存在するが、ペアリングが正しければ、より精度の高い位置を算出できる。ここでは、簡単のためダウンスイープとアップスイープによるペアリングを用いた測距測速方式を M P A T（Measured Pairing data Association and Tracking）と呼ぶ。

【0062】

図 11 は、M P A T 方式を用いたレーダ装置の構成を示すブロック図である。このレーダ装置は、図 9 に示した第 2 の実施形態に係るレーダ装置の信号処理部 30 にペアリング処理部 40 および相関追尾部 41 が追加されて構成されている。

【0063】

ペアリング処理部 40 は、測角部 35 からダウンスイープとアップスイープの各々に対する測角値を取得し、両者の測角値が所定の範囲にあるものをペアリングし、（19）式を用いて、距離および速度を算出する。このペアリング処理部 40 で算出された距離およ

10

20

30

40

50

び速度は、相関追尾部 4 1 に送られる。

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{c \cdot T}{2B} f_r \\
 &= \frac{c \cdot T}{2B} \cdot \frac{\Delta f_2 - \Delta f_1}{2} \\
 V &= -\frac{\lambda}{2fd} \quad \dots (19) \\
 &= -\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{\Delta f_2 + \Delta f_1}
 \end{aligned}$$

10

【0064】

ここで、

- B ; 周波数帯域
- R ; 目標距離
- T ; スイープ時間
- c ; 光速
- V ; 目標速度
- λ ; 波長
- f 1 ; ダウンチャープ信号の観測周波数
- f 2 ; アップチャープ信号の観測周波数
- f d ; ドップラー周波数
- f r ; 距離による周波数

20

相関追尾部 4 1 は、ペアリング処理部 4 0 から送られてくる距離および速度により相関追尾を実施し、距離および速度の平滑値を算出してダウンアップ結合部 3 9 に送る。この平滑値の中には、図 1 3 に示すように、誤ペアリングによるゴーストである M P A T ゴースト m も含まれているので、これを排除するために、第 2 の実施形態で算出した位置 X - Y (I F S A T) a を中心に相関ゲート c g を形成し、ペアリングにより算出した X - Y (M P A T) m が相関ゲート内にある場合は、X - Y (I F S A T) a の結果を置き換える。また、置き換える際に X - Y の位置の差により段差が生じることを防ぐために、次式に示すように I F S A T と M P A T の X - Y の値に重みづけする。

30

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
 x_s &= W_a \cdot x_{sa} + W_m \cdot x_{sm} \\
 y_s &= W_a \cdot y_{sa} + W_m \cdot y_{sm} \quad \dots (20)
 \end{aligned}$$

40

【0065】

ここで、

- (x s , y s) ; 結合後の X - Y 軸の位置
- (x s a , y s a) ; I F S A T の X - Y 軸の位置
- (x s m , y s m) ; M P A T の X - Y 軸の位置
- W a ; I F S A T に対する重みづけ
- W m ; M P A T に対する重みづけ = (1 - W a)

重みづけの例としては、I F S A T と M P A T を均等にすれば $W_a = W_m = 0.5$ とすればよい。

【0066】

50

なお、IFSATとMPATの相関をとる際には、両者の速度が所定の範囲内になるという条件を追加するように構成できる。

【0067】

次に、第3の実施形態に係るレーダ装置の動作を、図12に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【0068】

最初に、信号処理が行われる(ステップS17)。この信号処理は、ステップS17の処理に、角度ゲート処理(ステップS18)および第1ペアリング処理(ステップS19)が追加されている点を除けば、第2の実施形態のステップS15(図10参照)で行われる信号処理と同じである。この信号処理では、まず、上述した第2の実施形態と同様に、ステップS16 ステップS12 ステップS13 ステップS14の処理が行われる。

10

【0069】

次いで、グルーピング処理が行われる(ステップS20)。このグルーピング処理は、第1の実施形態のそれと同様にオプションであり、複数ビームを形成する場合に実行される。次いで、相関追尾処理が行われる(ステップS30)。この相関追尾処理は、上述した第2の実施形態のそれと同じである。

【0070】

次いで、ダウン・アップ平滑値結合(近距離)が行われる(ステップS50)、すなわち、ダウンアップ結合部39は、X-Y軸変換部38から送られてきたダウンスイープに基づく平滑値とアップスイープに基づく平滑値を結合する。

20

【0071】

上記ステップS17、S20、S30およびS40の処理と並行して、以下の処理が行われる。すなわち、信号処理では、ステップS14の処理が終了すると、角度ゲート処理が行われる(ステップS18)。すなわち、ペアリング処理部40は、相関ゲートを形成する。次いで、第1ペアリング処理が行われる(ステップS19)。すなわち、ペアリング処理部40は、測角部35からダウンスイープとアップスイープの各々に対する測角値を取得し、両者の測角値が所定の範囲にあるものをペアリングして距離および速度を算出し、相関追尾部41に送る。

【0072】

30

次いで、グルーピング処理が行われる(ステップS20a)。このグルーピング処理は、第1の実施形態のそれと同様にオプションであり、複数ビームを形成する場合に実行される。次いで、相関追尾処理が行われる(ステップS30a)。この相関追尾処理は、上述したステップS30の処理からステップS34の処理、つまりfbx、fbyの平滑値よりX、Y、Vx、Vy、AxおよびAyを算出する処理を除去したものである。

【0073】

次いで、相関があれば置き換える処理が行われる(ステップS60)。すなわち、相関追尾部41は、ペアリングにより算出したX-Y(MPAT)mが相関ゲートcg内にある場合は、X-Y(IFSAT)iの結果を置き換える。

【0074】

40

次いで、平滑値結合が行われる(ステップS70)。すなわち、ダウンアップ結合部39は、X-Y軸変換部38から送られてきたダウンスイープに基づく平滑値とアップスイープに基づく平滑値を結合した結果に、更に、相関追尾部41から送られてきた平滑値を結合する。

【0075】

次いで、平滑値のフィルタが行われる(ステップS40)。その後、ステップS16に戻り、上述した処理が繰り返される。

【0076】

以上説明したように、第3の実施形態に係るレーダ装置によれば、第2の実施形態に係るレーダ装置により得られた結果と、ダウンスイープとアップスイープによるペアリング

50

結果の観測値を用いた相関追尾の結果との相関をとるので、ダウンスイープアップスイープの誤ペアリングによるゴーストを抑えつつ、位置および速度の精度を向上できる。

【 0 0 7 7 】

なお、上述した第 3 の実施形態に係るレーダ装置は、第 2 の実施形態に係るレーダ装置にペアリングを適用して精度向上を図るようにしたものであるが、第 1 の実施形態に係るレーダ装置にペアリングを適用して精度向上を図るように構成することもできる。

【 0 0 7 8 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

10

【 符号の説明 】

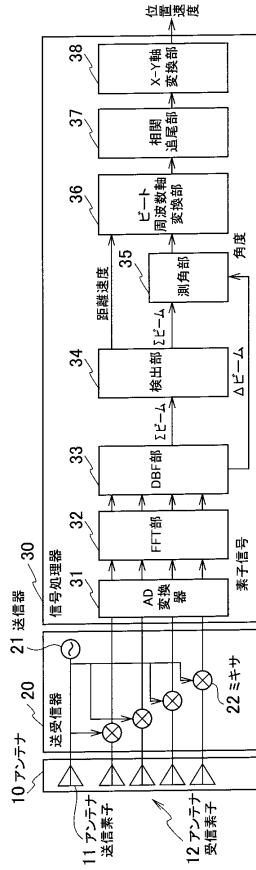
【 0 0 7 9 】

- 1 0 アンテナ
- 1 1 アンテナ送信素子
- 1 2 複数のアンテナ受信素子
- 2 0 送受信器
- 2 1 送信器
- 2 2 複数のミキサ
- 3 0 信号処理器
- 3 1 A D 変換器
- 3 2 F F T 部
- 3 3 D B F 部
- 3 4 検出部
- 3 5 測角部
- 3 6 ビート周波数軸変換部
- 3 7 相関追尾部
- 3 8 X - Y 軸変換部
- 3 9 ダウンアップ結合部
- 4 0 ペアリング処理部
- 4 1 相関追尾部

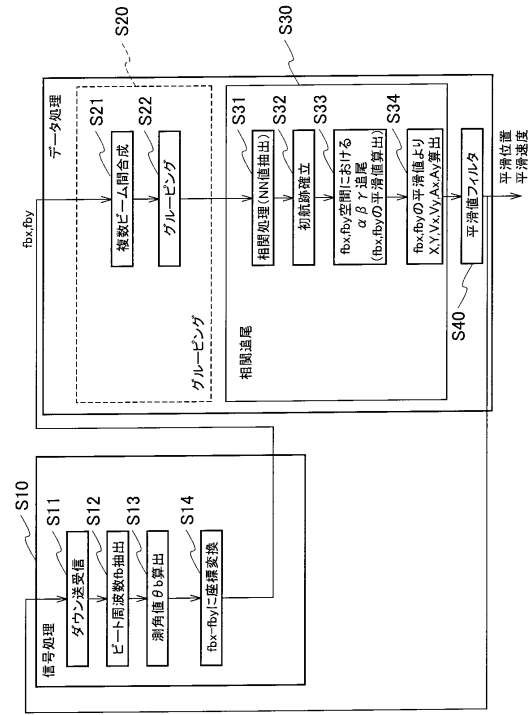
20

30

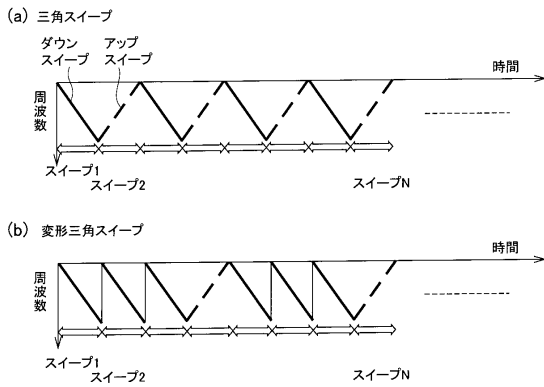
【図1】



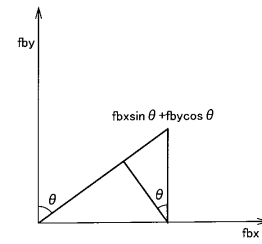
【図2】



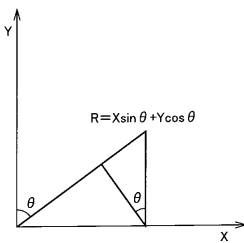
【図3】



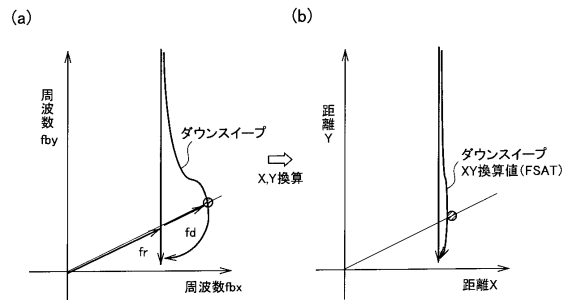
【図5】



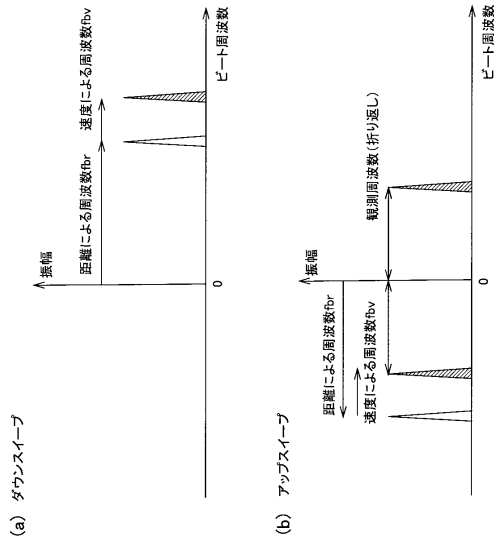
【図4】



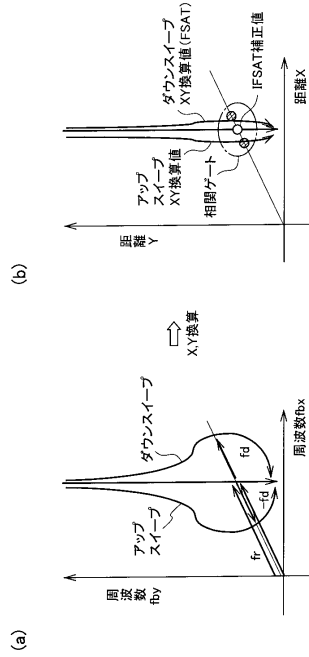
【図6】



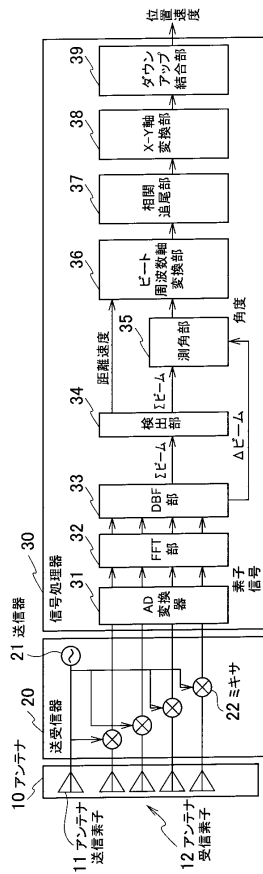
【 図 7 】



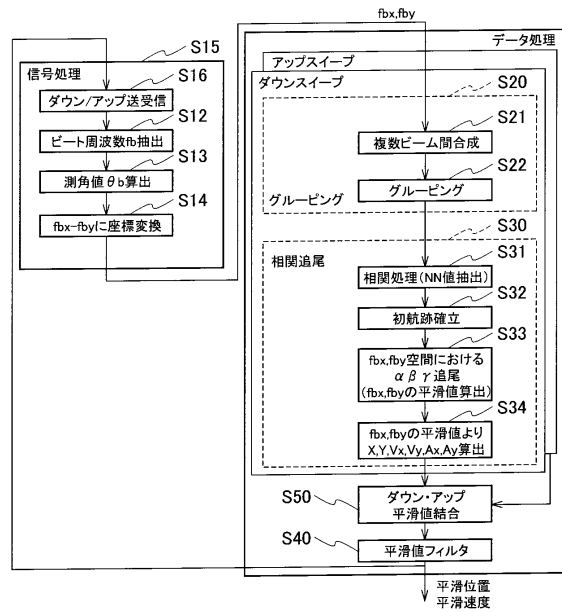
【 図 8 】



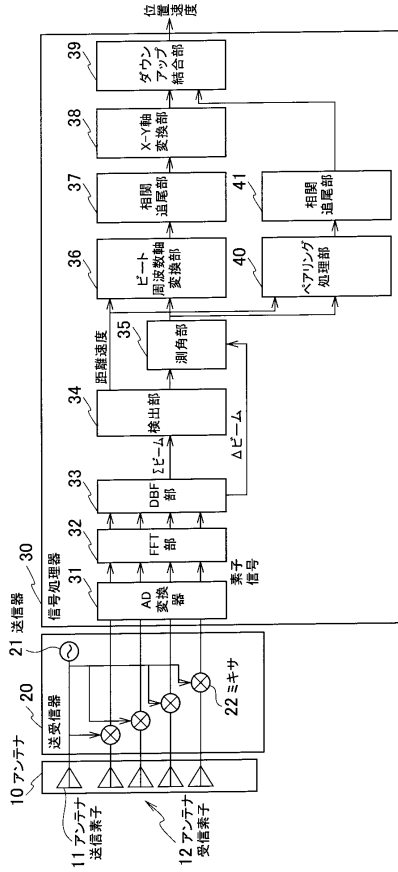
【 図 9 】



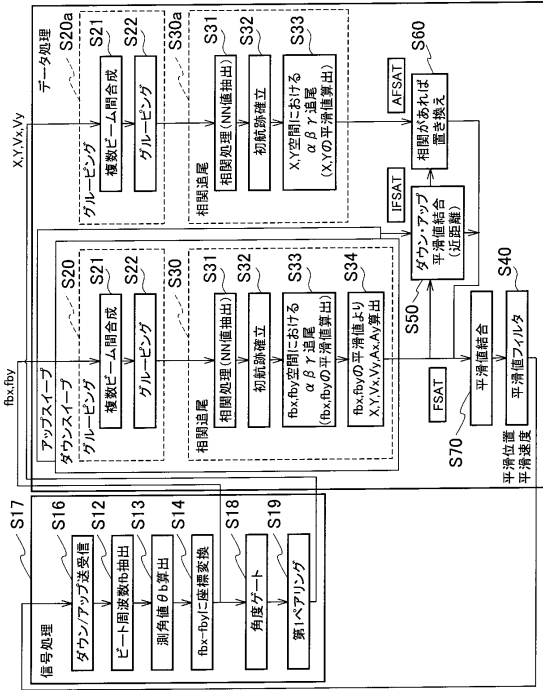
【 図 10 】



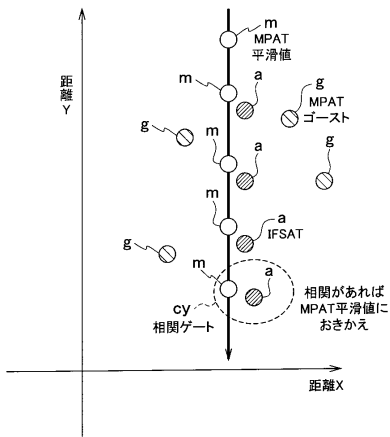
【図 1 1】



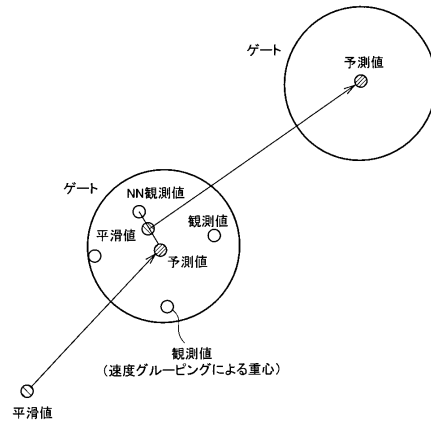
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 竹谷 晋一
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 川端 一彰
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 吉田 卓司
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 吉田 大広
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 大須賀 万城
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 丹羽 雅人
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 山下 雅人

- (56)参考文献 特開2004-144696(JP,A)
特開2009-522575(JP,A)
特開2010-2389(JP,A)
特開2005-55240(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01S 7/00-17/95