

(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2007-192575
(P2007-192575A)

(43) 公開日 平成19年8月2日(2007.8.2)

(51) Int. Cl.
GO 1 S 13/46 (2006.01)
GO 1 S 13/34 (2006.01)

F I
GO 1 S 13/46
GO 1 S 13/34

テーマコード (参考)
5 J O 7 O

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2006-8801 (P2006-8801)	(71) 出願人	000006013
(22) 出願日	平成18年1月17日 (2006.1.17)		三菱電機株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
		(74) 代理人	100057874
			弁理士 曾我 道照
		(74) 代理人	100110423
			弁理士 曾我 道治
		(74) 代理人	100084010
			弁理士 古川 秀利
		(74) 代理人	100094695
			弁理士 鈴木 憲七
		(74) 代理人	100111648
			弁理士 梶並 順

最終頁に続く

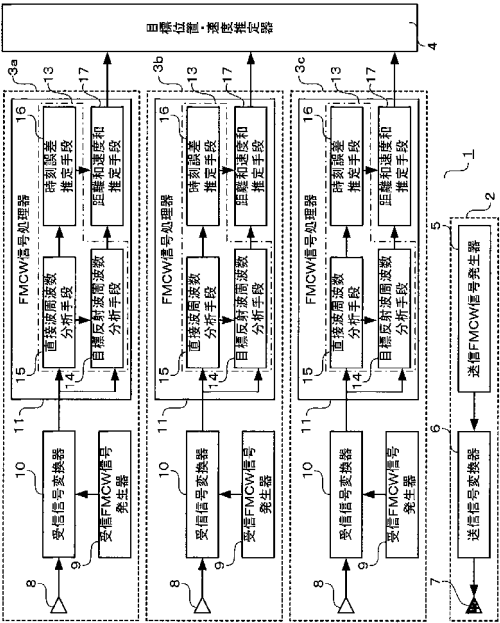
(54) 【発明の名称】 目標測位装置

(57) 【要約】

【課題】狭帯な受信機帯域で低速信号処理且つ高分解能を有し、送信局と受信局間の時刻の同期が必要なく、小口径のアンテナを備える小型の受信局からなり、運用が柔軟で低コストの目標測位装置を提供する。

【解決手段】目標測位装置は、送信局はFMCW電波を放射し、3つ以上の受信局は、FMCW電波と同様なローカル信号で直接波、または目標反射波をミキシングして直接ビート信号または目標反射ビート信号を求め、直接ビート信号の出力が最大になる直接波周波数を算出するとともに目標反射ビート信号の出力が最大になる目標反射波周波数を算出し、算出された直接波周波数と目標反射波周波数とに基づいて送信局と受信局との距離和と相対速度和とを推定し、目標位置・速度推定器は、距離和と相対速度和とから目標の3次元位置座標と3次元相対速度成分とを推定する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電波を放射する送信局、直接にまたは目標物体で反射してから到達する電波を受信する 3 つ以上の受信局および受信する電波に基づいて目標の位置と速度とを推定する目標位置・速度推定器を備える目標測位装置において、

上記送信局は、

送信 F M C W 信号を発生する送信 F M C W 信号発生器と、

電波を上記送信 F M C W 信号により変調する送信信号変換器と、

を備え、

上記受信局は、

上記 F M C W 信号と同様な掃引傾斜および掃引時間のローカル信号を発生する受信 F M C W 信号発生器と、

上記送信局から受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングしてビート信号を求める受信信号変換器と、

上記ビート信号の出力が最大になるビート周波数と時刻誤差を算出する周波数分析手段と、

上記ビート周波数と上記時刻誤差とに基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定する距離和速度和推定手段と、

を備え、

上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記距離和と上記時刻誤差とに基づいて上記目標の 3 次元位置座標を推定し、上記 3 次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記目標の 3 次元相対速度成分を推定することを特徴とする目標測位装置。

【請求項 2】

上記受信信号変換器は、上記送信局から直接受信される電波、または目標で反射してから受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして直接ビート信号または目標反射ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記直接ビート信号の出力が最大になる直接ビート周波数を算出する直接波周波数分析手段と、上記目標反射ビート信号の出力が最大になる目標反射ビート周波数を算出する目標反射波周波数分析手段と、上記直接ビート周波数に基づいて時刻誤差を推定する時刻誤差推定手段とを備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記目標反射ビート周波数と上記時刻誤差とに基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定することを特徴とする請求項 1 に記載する目標測位装置。

【請求項 3】

各上記受信局の上記受信信号変換器に、他の上記受信局の上記受信信号変換器に供給される上記受信 F M C W 信号と同期する受信 F M C W 信号が供給され、上記目標で反射してから受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして目標反射ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記目標反射ビート信号の出力が最大になる目標反射ビート周波数を算出する目標反射波周波数分析手段を備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記目標反射波周波数分析手段で算出される目標ビート周波数に基づいて上記送信局と上記受信局との時刻誤差を含む距離和と相対速度和とを推定し、

上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記時刻誤差を含む距離和から時刻誤差を消去することにより上記目標の 3 次元位置座標を推定し、上記 3 次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記目標の 3 次元相対速度を推定することを特徴とする請求項 1 に記載する目標測位装置。

【請求項 4】

各上記受信局の上記受信信号変換器に、他の上記受信局の上記受信信号変換器に供給される上記受信 F M C W 信号と同期する受信 F M C W 信号が供給され、上記送信局から直接に受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして直接ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記直接ビート信号の出力が最大になる直接ビート周波数を算出する直接波周波数分析手段を備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記直接波周波数分析手段で算出される直接ビート周波数に基づいて上記送信局と上記受信局との時刻誤差を含む距離和と相対速度和とを推定し

、
上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記時刻誤差を含む距離和から時刻誤差を消去することにより上記送信局の３次元位置座標を推定し、上記３次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記送信局の３次元相対速度を推定することを特徴とすることを特徴とする請求項１に記載する目標測位装置。

【請求項５】

電波を放射する３つ以上の送信局、直接にまたは目標で反射してから到達する電波を受信する受信局および受信する電波に基づいて目標の位置座標と相対速度とを推定する目標位置・速度推定器を備える目標測位装置において、

上記送信局は、

送信ＦＭＣＷ信号を発生する送信ＦＭＣＷ信号発生器と、

電波を上記送信ＦＭＣＷ信号により変調する送信信号変換器と、

を備え、

上記受信局は、

上記ＦＭＣＷ信号と同様な掃引傾斜および掃引時間のローカル信号を発生する受信ＦＭＣＷ信号発生器と、

上記送信局から受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングしてビート信号を求める受信信号変換器と、

上記ビート信号の出力が最大になるビート周波数と時刻誤差を算出する周波数分析手段と、

上記ビート周波数と上記時刻誤差とに基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定する距離和速度和推定手段と、

を備え、

上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記距離和と上記時刻誤差とに基づいて上記目標の３次元位置座標を推定し、上記３次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記目標の３次元相対速度成分を推定することを特徴とする目標測位装置。

【請求項６】

上記受信信号変換器は、各上記送信局から直接受信される電波、または目標で反射してから受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして直接ビート信号または目標反射ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記直接ビート信号の出力が最大になる直接ビート周波数を算出する直接波周波数分析手段と、上記目標反射ビート信号の出力が最大になる目標反射ビート周波数を算出する目標反射波周波数分析手段と、上記直接ビート周波数に基づいて時刻誤差を推定する時刻誤差推定手段とを備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記目標反射ビート周波数と上記時刻誤差とに基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定することを特徴とする請求項５に記載する目標測位装置。

【請求項７】

各上記送信局の上記送信信号変換器に、他の上記送信局の上記送信信号変換器に供給される上記送信ＦＭＣＷ信号と同期する送信ＦＭＣＷ信号が供給され、

上記受信信号変換器は、上記目標で反射してから受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして目標反射ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記目標反射ビート信号の出力が最大になる目標反射ビート周波数を算出する目標反射波周波数分析手段を備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記目標反射波周波数分析手段で算出される目標ビート周波数に基づいて上記送信局と上記受信局との時刻誤差を含む距離和と相対速度和とを推

10

20

30

40

50

定し、

上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記時刻誤差を含む距離和から時刻誤差を消去することにより上記目標の3次元位置座標を推定し、上記3次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記目標の3次元相対速度を推定することを特徴とする請求項5に記載する目標測位装置。

【請求項8】

各上記送信局の上記送信信号変換器に、他の上記送信局の上記送信信号変換器に供給される上記送信FMCW信号と同期する送信FMCW信号が供給され、

上記受信信号変換器は、各上記送信局から直接に受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングして直接ビート信号を求め、

上記周波数分析手段は、上記直接ビート信号の出力が最大になる直接ビート周波数を算出する直接波周波数分析手段を備え、

上記距離和速度和推定手段は、上記直接波周波数分析手段で算出される直接ビート周波数に基づいて上記送信局と上記受信局との時刻誤差を含む距離和と相対速度和とを推定し、

上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記時刻誤差を含む距離和から時刻誤差を消去することにより上記受信局の3次元位置座標を推定し、上記3次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記受信局の3次元相対速度を推定することを特徴とする請求項5に記載する目標測位装置。

【請求項9】

上記送信FMCW信号および上記受信FMCW信号は、周波数が一定に維持される時間を含み、

上記送信局と上記受信局との間の距離が既知であり、

上記周波数分析手段は、上記ビート信号から2つのビート周波数を算出し、

上記距離和速度和推定手段は、2つの上記ビート周波数の差の絶対値に基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定することを特徴とする請求項1または5に記載する目標測位装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、送信アンテナと受信アンテナとが異なる地点に設置され、目標の物体の位置を測位する目標測位装置に関する。

【背景技術】

【0002】

バイスタティックレーダは、送信アンテナと受信アンテナとを異なる地点に設置し、目標の物体の位置を測位する。そして、目標の物体との距離を計測するために送信局と受信局間の時刻が同期されていなければならないので、ロラン(Long Range Navigation)電波を用いる時刻同期用のパルスを送信する、送信パルス周期、時刻、位相を示す送信パルス情報を生成し送受信する方法が採用されている(例えば、特許文献1、特許文献2参照)。

また、送信局と受信局間の時刻同期を行わず、受信局を複数を用意し、直接波と目標反射波との相関処理により目標反射パルスの時間差を求め、複数の時刻差から目標の位置を特定する(例えば、特許文献3参照)。

【0003】

【特許文献1】特開平7-140124号公報

【特許文献2】特開2003-156557号公報

【特許文献3】特開平6-148318号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、送信局と受信局間の時刻を同期するためには、同期パルスや送信パルス情報が必要としており、高い距離精度を得るためには、広帯域の受信系と高速の信号処理が必要である。また、受信系において角度を高精度に計測するために開口径の大きい大規模な高価なアンテナが必要となるという問題がある。

また、受信局にて直接波パルスと目標反射パルスの時刻差を高精度に求めるためには、広帯域受信機と高速の相関処理が必要であり装置規模が大きくなるという問題がある。また、ドップラ周波数を利用した高精度な相対速度の計測ができないという問題がある。

【 0 0 0 5 】

この発明の目的は、狭帯な受信機帯域で低速信号処理且つ高分解能を有し、送信局と受信局間の時刻の同期が必要なく、小口径のアンテナを備える小型の受信局からなり、運用が柔軟で低コストの目標測位装置を提供することである。 10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

この発明に係わる目標測位装置は、電波を放射する送信局、直接にまたは目標物体で反射してから到達する電波を受信する3つ以上の受信局および受信する電波に基づいて目標の位置と速度とを推定する目標位置・速度推定器を備える目標測位装置において、上記送信局は、送信FMCW信号を発生する送信FMCW信号発生器と、電波を上記送信FMCW信号により変調する送信信号変換器と、を備え、上記受信局は、上記FMCW信号と同様な掃引傾斜および掃引時間のローカル信号を発生する受信FMCW信号発生器と、上記送信局から受信される電波と上記ローカル信号とをミキシングしてビート信号を求める受信信号変換器と、上記ビート信号の出力が最大になるビート周波数と時刻誤差を算出する周波数分析手段と、上記ビート周波数と上記時刻誤差とに基づいて上記送信局と上記受信局との距離和と相対速度和とを推定する距離和速度和推定手段と、を備え、上記目標位置・速度推定器は、上記受信局から入力される上記距離和と上記時刻誤差とに基づいて上記目標の3次元位置座標を推定し、上記3次元位置座標と上記相対速度和とに基づいて上記目標の3次元相対速度成分を推定する。 20

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

この発明に係わる目標測位装置の効果は、FMCW信号により変調された電波を用い、受信局の時刻を送信局の時刻に同期する必要がなく、同期パルスや送信パルス情報を必要としないので、狭帯域の受信系と低速の信号処理であっても高精度の位置分解能を実現でき、小型で移動可能な受信局となり、運用の柔軟性を確保できる。また、FMCW信号により変調された電波を用いているので、ドップラ現象を利用して高精度な相対速度の計測ができる。 30

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 0 8 】

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1に係わる目標測位装置の構成図である。図2は、送信局、受信局および目標のXY座標面上の位置を示す図である。図3は、送信局および受信局でのFMCW信号の周波数の変化の様子を示す図である。 40

この発明の実施の形態1に係わる目標測位装置1は、図1に示すように、1つの送信局2、3つの受信局3a、3b、3cおよび目標位置・速度推定器4を備える。各受信局3a~3cにおいて求められる距離和および相対速度和は一般的な通信手段を用いて目標位置・速度推定器4に送られる。なお、実施の形態1に係わる目標測位装置1は、3つの受信局3を備えるが、4つ以上の受信局3を備えてもよい。

【 0 0 0 9 】

送信局2、受信局3a~3cおよび目標20は、図2に示すように、配置されている。送信局2の座標をXYZ座標系の原点に置くと受信局3a~3cの位置ベクトルは X_n になる。 n は受信局3a~3cを識別する番号であり、3つの受信局3a~3cが備えられているので、 $n=1, 2, 3$ である。この位置ベクトル X_n は、既知である。目標20の 50

位置ベクトル X は、この目標測位装置 1 により求める未知の値である。

また、図 2 における R_0 は、送信局 2 と目標 20 間の距離、 R_n は、目標 20 と識別番号 n の受信局 3 間の距離、 R_{0n} は、送信局 2 と識別番号 n の受信局 3 間の距離である。

また、 v_0 は、送信局 2 と目標 20 との相対速度、 v_n は、目標 20 と識別番号 n の受信局 3 との相対速度、 v_{0n} は、送信局 2 と識別番号 n の受信局 3 との相対速度である。

【0010】

送信局 2 は、図 1 に示すように、送信 Frequency Modulated Continuous Wave 信号（以下、FMCW 信号と略記する。）を発生する送信 FMCW 信号発生器 5、送信 FMCW 信号発生器 5 から入力される送信 FMCW 信号に従って電波を変調する送信信号変換器 6、電波を空中に放射する送信アンテナ 7 を備える。

10

送信 FMCW 信号発生器 5 は、送信信号変換器 6 において行われる周波数変調処理の周波数を指定する送信 FMCW 信号を発生する。送信 FMCW 信号は、図 3 (a) に示すように、中心周波数 f 、掃引帯域幅 B 、掃引時間 T_c であり、掃引傾斜が掃引時間 T_c 毎に $\mu_1 = B / T_c$ と $\mu_2 = -B / T_c$ とに切り替わる。

【0011】

送信信号変換器 6 は、送信 FMCW 信号により指定される周波数の連続波に変調して送信アンテナ 7 に出力する。そして、放射される電波 T_{xi} は、式 (1) で表される。 i は、掃引傾斜 μ_1 または掃引傾斜 μ_2 を識別する番号であり、1 または 2 である。なお、説明を理解しやすくするためにエンベロープ 1 の一定振幅とした。

【0012】

20

【数 1】

$$T_i(t) = \cos \left\{ 2\pi \left(f + \frac{1}{2} \mu_i t \right) t \right\} \quad \cdots (1)$$

【0013】

各受信局 3a ~ 3c は、図 1 に示すように、空中を伝搬して到達する電波を受信する受信アンテナ 8、受信 FMCW 信号に基づいてローカル信号を発生する受信 FMCW 信号発生器 9、受信する電波にローカル信号をミキシングし、ローパスフィルタにより周波数の和信号を除去し、ビート信号を生成する受信信号変換器 10、ビート信号を処理して距離和と相対速度和とを推定する FMCW 信号処理器 11 を備える。

30

【0014】

受信アンテナ 8 には、送信アンテナ 7 から空中に放射された電波が直接または目標 20 の物体で反射してから到達する。以下の説明において目標 20 の物体で反射してから到達する電波を目標反射波、直接に到達する電波を直接波と称す。

目標反射波 $R_{x_1, n}$ は、式 (2) で表される。 t_0 は、時刻 $t = 0$ での送信局 2 と目標 20 間の電波の伝搬時間であり、送信局 2 と目標 20 間の距離 R_0 を用いると式 (3) で表される。 t_n は、時刻 $t = 0$ での目標 20 と識別番号 n の受信局 3 間の電波の伝搬時間であり、目標 20 と識別番号 n の受信局 3 間の距離 R_n を用いると式 (4) で表される。 v_0 は、時刻 $t = 0$ での送信局 2 と目標 20 との相対速度、 v_n は、時刻 $t = 0$ での目標 20 と識別番号 n の受信局 3 との相対速度である。 c は光速である。

40

【0015】

【数 2】

$$\begin{aligned}
 Rx_{i,n}(t) &= Tx_i(t - \tau_0 - \tau_n - \frac{v_0 + v_n}{c}t) \\
 &= \cos\left(2\pi\left(f + \frac{1}{2}\mu_i(t - \tau_0 - \tau_n - \frac{v_0 + v_n}{c}t)\right) \cdot (t - \tau_0 - \tau_n - \frac{v_0 + v_n}{c}t)\right) \\
 &\quad \dots(2)
 \end{aligned}$$

$$\tau_0 \equiv \tau_0(0) = R_0(0)/c \quad \dots(3)$$

$$\tau_n \equiv \tau_n(0) = R_n(0)/c \quad \dots(4)$$

10

【0016】

また、直接波 $R \times 0_{i,n}$ は、式(5)で表される。なお、直接波を目標反射波と区別する方法は、時分割して目標 20 が無い時に計測したり、アンテナビームスキャンによる利得差を計測したりするなどにより区別する。なお、同時に観測されたとした場合も、送信局 2 と受信局 3 間の相対速度がある程度既知(たとえばともに静止しているなど)とすることで、目標反射波と直接波を分離可能である。以下の説明では、別個に受信したものとして説明する。

20

【0017】

【数 3】

$$\begin{aligned}
 Rx0_{i,n}(t) &= \cos\left\{2\pi\left(f + \frac{1}{2}\mu_i(t - \tau_{0n} - \frac{v_{0n}}{c}t)\right)(t - \tau_{0n} - \frac{v_{0n}}{c}t)\right\} \\
 &\quad \dots(5)
 \end{aligned}$$

30

【0018】

受信 FMCW 信号発生器 9 は、受信した電波を受信信号変換器 10 においてミキシングするためのローカル信号を生成する受信 FMCW 信号を生成し、その受信 FMCW 信号を用いてローカル信号を生成して受信信号変換器 10 に出力する。受信 FMCW 信号は、図 3(b)に示すように、送信 FMCW 信号と同様に中心周波数 f 、掃引帯域幅 B 、掃引時間 T_c であり、掃引傾斜が掃引時間 T_c 毎に $\mu_1 = B/T_c$ と $\mu_2 = -B/T_c$ とに切り替わる。但し、送信局 2 と受信局 3 との間には時刻ずれ t_n がある。

受信 FMCW 信号発生器 9 が生成するローカル信号 $L_{i,n}$ は、式(6)で表される。

【0019】

【数 4】

$$L_{i,n}(t) = \cos\left\{2\pi\left(f + \frac{1}{2}\mu_i(t - \delta t_n)\right)(t - \delta t_n)\right\} \quad \dots(6)$$

40

【0020】

受信信号変換器 10 は、目標反射波 $R \times i,n$ をローカル信号 $L_{i,n}$ でミキシングし、ローパスフィルタを通過して周波数の和信号が除去され、目標反射ビート信号 $B_{i,n}$ が得られる。目標反射ビート信号 $B_{i,n}$ は、式(7)で表される。なお、光速 c 比べて速度 v_0 、 v_n は十分小さいと仮定している。

また、直接波 $R \times 0_{i,n}$ をローカル信号 $L_{i,n}$ でミキシングし、ローパスフィル

50

ターを通過して周波数の和信号が除去され、直接ビート信号 $B_{0_{i,n}}$ が得られる。直接ビート信号 $B_{0_{i,n}}$ は、式(8)で表される。

【0021】

【数5】

$$B_{i,n}(t) = \exp\left(2\pi j\left(-\left(\frac{v_n}{c} + \frac{v_0}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_n - \tau_0 + \delta t_n)\right)t\right) \quad \dots(7)$$

10

$$B_{0_{i,n}}(t) = \exp\left(2\pi j\left(-\left(\frac{v_{0n}}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_{0n} + \delta t_n)\right)t\right) \quad \dots(8)$$

【0022】

FMCW信号処理器11は、図1に示すように、周波数分析手段13としての目標反射波周波数分析手段14、直接波周波数分析手段15および時刻誤差推定手段16と距離和速度和推定手段17とを有する。

目標反射波周波数分析手段14は、目標反射ビート信号 $B_{i,n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる目標反射ビート周波数 $f_{i,n}$ (バー)を、式(9)から求める。 20

【0023】

【数6】

$$\bar{f}_{i,n} = -\left(\frac{v_n}{c} + \frac{v_0}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_n - \tau_0 + \delta t_n) \quad \dots(9)$$

【0024】

直接波周波数分析手段15は、直接ビート信号 $B_{0_{i,n}}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる直接ビート周波数 $f_{0_{i,n}}$ (バー)を、式(10)から求める。 30

【0025】

【数7】

$$\bar{f}_{0_{i,n}} = -\left(\frac{v_{0n}}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_{0n} + \delta t_n) \quad \dots(10)$$

【0026】

時刻誤差推定手段16は、検出された目標反射ビート周波数 $f_{i,n}$ (バー)と直接ビート周波数 $f_{0_{i,n}}$ (バー)を用いて、式(11)から送信局2と各受信局3a~3bの間の時刻誤差 \hat{t}_n (ハット)を求める。 40

【0027】

【数8】

$$\hat{t}_n = \tau_{0,n} + (\bar{f}_{0_{1,n}} - \bar{f}_{0_{2,n}}) \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} \quad \dots(11)$$

【0028】

距離和速度和推定手段17は、送信局2と各受信局3a~3bの間の時刻誤差 \hat{t}_n (ハット)を用いて、式(12)から送信局2と目標20および目標20と各受信局3a~3c間の距離和 \hat{r}_n (ハット)を求める。 50

式(12)において、周波数 μ_1 、 μ_2 は設定値であり、目標反射ビート周波数 $f_{1,n}$ (バー)、目標反射ビート周波数 $f_{2,n}$ (バー)、時刻誤差 t_n (ハット)はフーリエ変換により求められている。そして、送信局2と各受信局3間の距離 $R_{0,n}$ は既知であるので、時間遅延 $\tau_{0,n}$ は既知となり、式(12)から距離和 ξ_n (ハット)が求められる。

【0029】

【数9】

$$\hat{\xi}_n \equiv c \cdot (\tau_n + \tau_0) = c \cdot \left(\hat{\delta}t_n - (\bar{f}_{1,n} - \bar{f}_{2,n}) \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} \right) \cdots (12)$$

10

【0030】

また、距離和速度和推定手段17は、時刻誤差 t_n (ハット)、距離和 ξ_n (ハット)および目標反射ビート周波数 $f_{1,n}$ (バー)を用いて、各受信局3a~3cでの送信局2と目標20および目標20と各受信局3a~3c間の相対速度和 V_n (ハット)を式(13)から求める。

【0031】

【数10】

$$\hat{V}_n \equiv v_n + v_0 = \frac{c}{f} (\mu_1 \hat{\delta}t_n - \mu_1 \hat{\xi}_n - \bar{f}_{1,n}) \cdots (13)$$

20

【0032】

目標位置・速度推定器4は、以下の手順により目標20の3次元座標と3次元相対速度成分を推定する。

既知の送信局2の位置ベクトル、既知の各受信局3の位置ベクトルおよび推定対象の未知の目標20の位置ベクトルは、それぞれ X_0 、 X_n 、 X であるので、式(12)の距離和 ξ_n を用いることにより、式(14)の関係式が成り立つ。

そして、目標20の位置ベクトル X の推定値 \hat{X} (ハット)は、3つの受信局3a~3cでの距離和 ξ_n (ハット)を用いて、共役勾配法、準Newton法、Levenberg-Marquardt法などの一般的な非線形手法を用いて求められる。

また、目標20の相対速度ベクトルを V とすると、式(13)の線形方程式は式(15)に書き直せる。

そして、目標20の相対速度ベクトル V の推定値 \hat{V} (ハット)は、3つの受信局3a~3cでの相対速度和 V_n (ハット)と推定値 \hat{X} (ハット)から、逆行列や一般逆行列を用いて求められる。

【0033】

【数11】

$$|X - X_0| + |X - X_n| = \hat{\xi}_n \cdots (14)$$

40

$$V \cdot \left(\frac{\hat{X} - X_0}{|\hat{X} - X_0|} + \frac{\hat{X} - X_n}{|\hat{X} - X_n|} \right) = \hat{V}_n \cdots (15)$$

【0034】

このような目標測位装置1は、電波としてFMCW電波を用い、3つ以上の受信局を備えており、受信局3の時刻を送信局2の時刻に同期する必要がなく、同期パルサや送信パ

50

ルス情報を必要としないので、狭帯域の受信系と低速の信号処理系であっても高精度の位置分解能を実現でき、小型で移動可能な受信局 3 となり、運用の柔軟性を確保できる。また、FMCW 電波を用いているので、ドップラ現象を利用して高精度な相対速度の推定ができる。

【0035】

なお、送信局 2 が送信機能とともに受信機能を有するときには、3 つの受信局 3 の 1 つを送信局 2 に負わせることができるので、受信局 3 は 2 つでよい。

また、目標 20 の位置座標および相対速度の推定を水平面座標上の 2 次元推定を行うときには、受信局 3 を 2 つとしてもよい。

また、受信局 3 が 2 つのときに、式 (13) で求めた 2 つの距離和 r_n を用い、目標位置・速度推定器 4 では、回転楕円体の交点として目標 20 の位置を測位することも可能である。すなわち、目標 20 は送信局 2 と受信局 3 とを焦点とした距離和 r_n の 2 つの回転楕円体の交点に存在するが、水平面座標を正とするなどの制約条件を付加することで、2 つの回転楕円体の交点の中で目標 20 の位置として妥当な解を選択することにより目標 20 の位置座標を推定できる。

【0036】

また、FMCW をパルス化した FM パルス (FMICW (FM Interrupted CW) とも呼ばれる。) とし、距離ゲート化により、更なる狭帯域、直接波と目標反射波の分離、多目標の分離、近距離クラッタの回避などができる。

【0037】

実施の形態 2 .

図 4 は、この発明の実施の形態 2 に係わる目標測位装置の構成図である。図 5 は、送信局、受信局および目標の XY 座標面上の位置を示す図である。

この発明の実施の形態 2 に係わる目標測位装置 1 B は、実施の形態 1 に係わる目標測位装置 1 と送信局 2 B a ~ 2 B c と受信局 3 B の局数が異なっており、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

実施の形態 2 に係わる目標測位装置 1 B は、図 4 に示すように、3 つの送信局 2 B a ~ 2 B c と 1 つの受信局 3 B とを備える。なお、実施の形態 2 に係わる目標測位装置 1 B は、3 つの送信局 2 B a ~ 2 B c を備えるが、4 つ以上の送信局を備えても同様な効果が得られる。

【0038】

送信局 2 B a ~ 2 B c、受信局 3 B および目標 20 は、図 5 に示すように、配置されている。受信局 3 B の座標を XYZ 座標系の原点に置くと送信局 2 B a ~ 2 B c の位置ベクトルは X_n になる。n は送信局 2 B a ~ 2 B c を識別する番号であり、3 つの送信局 2 B a ~ 2 B c が備えられているので、 $n = 1, 2, 3$ である。この位置ベクトル X_n は、既知である。目標 20 の位置ベクトル X は、この目標測位装置 1 B により求める未知の値である。

【0039】

各送信局 2 B a ~ 2 B c からは、3 つの目標反射波を分離するために、送信を時分割している。なお、送信局 2 B a ~ 2 B c 毎に異なる中心周波数の FMCW 信号の電波を放射し、受信局 3 B の受信信号変換器 10 でそれぞれの FMCW 信号のローカル信号に対しミキシングしてもよい。

【0040】

FMCW 信号処理器 11 は、図 4 に示すように、周波数分析手段 13 B としての目標反射波周波数分析手段 14、直接波周波数分析手段 15 および時刻誤差推定手段 16 と距離和速度和推定手段 17 とを有する。

各送信局 2 B a ~ 2 B c と受信局 3 B との FMCW 信号の時刻誤差に起因する位相誤差 t_n とすると、目標反射ビート信号 $B_{i, n}$ は、式 (7) と同様に表される。

そして、目標反射波周波数分析手段 14 は、実施の形態 1 と同様にして、目標反射ビート信号 $B_{i, n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる目標反射ビート周波数 $f_{i, n}$ (

バー)を式(9)から求める。

【0041】

また、直接波周波数分析手段15は、実施の形態1と同様にして、直接ビート信号 $B_{0i,n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる直接ビート周波数 $f_{0i,n}$ (バー)を式(10)から求める。

【0042】

このようにして求められた目標反射ビート周波数 $f_{i,n}$ (バー)、直接ビート周波数 $f_{0i,n}$ (バー)を用いて、実施の形態1と同様に、目標20の位置ベクトルの推定値 X (ハット)、相対速度ベクトルの推定値 V (ハット)を推定することができる。

【0043】

このような目標測位装置1Bは、送信局2を3つ以上備えれば、実施の形態1と同様に、受信局3の時刻を送信局2の時刻に同期する必要がなく、同期パルスや送信パルス情報を必要としないので、狭帯域の受信系と低速の信号処理系であっても高精度の位置分解能を実現でき、小型で移動可能な受信局3となり、運用の柔軟性を確保できる。

なお、送信局数が2であっても、2つの距離和 r_n から回転楕円体の交点を求めることで目標20の位置座標を推定可能である。

【0044】

実施の形態3.

図6は、この発明の実施の形態3に係わる目標測位装置の構成図である。図7は、送信局、受信局および目標の XY 座標面上の位置を示す図である。

この発明の実施の形態3に係わる目標測位装置1Cは、図6に示すように、実施の形態1に係わる目標測位装置1の3つの受信局3a~3cの受信信号変換器10に共通の受信FMCW信号発生器9からローカル信号が供給され、それに伴ってFMCW信号処理器11Cが異なっており、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

実施の形態3に係わる周波数分析手段13Cは、実施の形態1に係わる周波数分析手段13から直接波周波数分析手段15および時刻誤差推定手段16が削除されている。

【0045】

実施の形態3に係わる目標測位装置1Cでは、図7に示すように、目標反射波だけを受信する。

各受信局3Ca~3Ccには、1つの受信FMCW信号発生器9から受信FMCW信号がケーブル長の違いによる遅延などを補正して位相が一定値となるよう調整されながらケーブル18で接続されている。

【0046】

この実施の形態3に係わる受信FMCW信号は、各受信局3Ca~3Cc間で位相が揃っているため、送信局2と各受信局3Ca~3Ccの時刻誤差 t_n は等しく、時刻誤差 t となる。従って、各受信局3Ca~3Ccでの受信信号変換器10でミキシングされた後の目標反射ビート信号 $B_{i,n}$ は、式(16)で表される。

【0047】

目標反射波周波数分析手段14Cは、目標反射ビート信号 $B_{i,n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる目標反射ビート周波数 $f_{i,n}$ (バー)を式(17)から求める。

距離和速度和推定手段17Cは、検出した目標反射ビート周波数 $f_{i,n}$ (バー)を用いて式(18)から送信局2と目標20間と目標20と各受信局3Ca~3Cc間の時刻誤差 t を含む距離和 r_n (ハット)を求める。

また、距離和速度和推定手段17Cは、式(19)から相対速度和 V_n (ハット)を求める。

【0048】

10

20

30

40

【数 1 2】

$$B_{i,n}(t) = \exp \left(2\pi j \left(- \left(\frac{v_n}{c} + \frac{v_0}{c} \right) f + \mu_i (-\tau_n - \tau_0 + \delta t) \right) t \right) \quad \dots (16)$$

$$\bar{f}_{i,n} = - \left(\frac{v_n}{c} + \frac{v_0}{c} \right) f + \mu_i (-\tau_n - \tau_0 + \delta t) \quad \dots (17)$$

$$\hat{\xi}_n \equiv c \cdot (\tau_n + \tau_0 - \delta t) = c \cdot \left(\frac{\bar{f}_{1,n} - \bar{f}_{2,n}}{\mu_1 - \mu_2} \right) \quad \dots (18)$$

$$\hat{V}_n \equiv v_n + v_0 = \frac{\mu_1 \hat{f}_{2,n} - \mu_2 \hat{f}_{1,n}}{(\mu_1 - \mu_2) \frac{f}{c}} \quad \dots (19)$$

10

20

【0049】

目標位置・速度推定器4Cは、以下の手順により目標20の3次元座標と3次元相対速度成分を推定する。

既知の送信局2の位置ベクトル、既知の各受信局3の位置ベクトルおよび推定対象の未知の目標20の位置ベクトルを、それぞれ X_0 、 X_n 、 X とすると、式(18)の距離和 ξ_n を用いることにより、時刻誤差 t を消去可能な式(20)～式(22)が成り立つ。

そして、目標20の位置ベクトル X の推定値 X (ハット)は、3つの受信局3Ca～3Ccでの距離和 ξ_n (ハット)を用いて、共役勾配法、準Newton法、Levenberg-Marquardt法などの一般的な非線形手法を用いて求められる。

30

【0050】

【数 1 3】

$$|X - X_1| - |X - X_2| = \hat{\xi}_1 - \hat{\xi}_2 \quad \dots (20)$$

$$|X - X_2| - |X - X_3| = \hat{\xi}_2 - \hat{\xi}_3 \quad \dots (21)$$

$$|X - X_3| - |X - X_1| = \hat{\xi}_3 - \hat{\xi}_1 \quad \dots (22)$$

40

【0051】

また、目標20の相対速度ベクトルを V とすると、式(19)の線形方程式は式(23)に書き直せる。

そして、目標20の相対速度ベクトル V の推定値 V (ハット)は、3つの受信局3での相対速度和 V_n (ハット)と推定値 X (ハット)を用いて、逆行列や一般逆行列を用いて求められる。

【0052】

【数 1 4】

$$V \cdot \left(\frac{\hat{X} - X_0}{|\hat{X} - X_0|} + \frac{\hat{X} - X_n}{|\hat{X} - X_n|} \right) = \hat{V}_n \quad \dots (23)$$

【0053】

このような目標測位装置 1 C は、各受信局 3 C a ~ 3 C c への受信 F M C W 信号間に時刻誤差の差異が発生しないので、直接波を計測する必要がなくなる。

なお、複数の受信 F M C W 信号を備え、それらが時刻同期している構成でも同様である。

【0054】

実施の形態 4 .

図 8 は、この発明の実施の形態 4 に係わる目標測位装置の構成図である。図 9 は、送信局、受信局および目標の X Y 座標面上の位置を示す図である。

この発明の実施の形態 4 に係わる目標測位装置 1 D は、実施の形態 2 に係わる目標測位装置 1 B と送信 F M C W 信号が同期されて供給され、それによってもなつて F M C W 信号処理器 1 1 D が異なっており、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

実施の形態 4 に係わる目標測位装置 1 D は、3 つの送信局 2 D a ~ 2 D c と 1 つの受信局 3 D とを備える。なお、実施の形態 4 に係わる目標測位装置 1 D は、3 つの送信局 2 D a ~ 2 D c を備えるが、4 つ以上の送信局を備えても同様な効果が得られる。

各送信局 2 D a ~ 2 D c には、1 つの送信 F M C W 信号発生器 5 から送信 F M C W 信号がケーブル長の違いによる遅延などを補正して位相が一定値となるよう調整されながらケーブル 1 8 で接続されている。また、各送信局 2 D a ~ 2 D c からは、目標反射波を分離するために、送信を時分割している。

【0055】

この実施の形態 4 に係わる送信 F M C W 信号は、各送信局 2 D a ~ 2 D c 間で位相が揃っているため、各送信局 2 D a ~ 2 D c と受信局 3 D の時刻誤差 t_n は等しく、時刻誤差 t となる。従つて、受信局 3 D の受信信号変換器 1 0 でミキシングされた後の目標反射ビート信号 $B_{i, n}$ は、式 (1 6) で表される。

【0056】

実施の形態 4 に係わる周波数分析手段 1 3 D は、実施の形態 2 に係わる周波数分析手段 1 3 B から直接波周波数分析手段 1 5 および時刻誤差推定手段 1 6 が削除されている。

目標反射波周波数分析手段 1 4 D は、目標反射ビート信号 $B_{i, n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる目標反射ビート周波数 $f_{i, n}$ (バー) を式 (1 7) から求める。

【0057】

距離和速度和推定手段 1 7 D は、検出した目標反射ビート周波数 $f_{i, n}$ (バー) を用いて式 (1 8) から各送信局 2 と目標 2 0 間と目標 2 0 と受信局 3 間の時刻誤差 t を含む距離和 r_n (ハット) を求める。

また、距離和速度和推定手段 1 7 D は、式 (1 9) から相対速度和 V_n (ハット) を求める。

【0058】

目標位置・速度推定器 4 D は、以下の手順により目標 2 0 の 3 次元座標と 3 次元相対速度成分を推定する。

既知の受信局 3 D の位置ベクトル、既知の各送信局 2 D a ~ 2 D c の位置ベクトルおよび推定対象の未知の目標 2 0 の位置ベクトルを、それぞれ X_0 、 X_n 、 X とすると、式 (1 8) の距離和 r_n を用いることにより、時刻誤差 t が消去可能な式 (2 0) ~ 式 (2 2) が成り立つ。

そして、目標 2 0 の位置ベクトル X の推定値 X (ハット) は、3 つの送信局 2 D a ~ 2

10

20

30

40

50

D c からの距離和 V_n (ハット) を用いて、共役勾配法、準Newton法、Levenberg-Marquardt法などの一般的な非線形手法を用いて求められる。

【0059】

また、目標20の相対速度ベクトルをVとすると、式(19)の線形方程式は式(23)に書き直せる。

そして、目標20の相対速度ベクトルVの推定値V(ハット)は、3つの送信局2Da~2Dcでの相対速度和 V_n (ハット)と推定値X(ハット)を用いて、逆行列や一般逆行列を用いて求められる。

【0060】

このような目標測位装置1Dは、各送信局2Da~2Dcへの送信FMCW信号間に時刻誤差の差異が発生しないので、直接波を計測する必要がなくなる。

なお、複数の送信FMCW信号を備え、それらが時刻同期している構成でも同様である。

【0061】

実施の形態5.

図10は、この発明の実施の形態5に係わる目標測位装置の構成図である。図11は、目標である送信局および受信局のXY座標面上の位置を示す図である。

この発明の実施の形態5に係わる目標測位装置1Eは、1つの送信局2、3つの受信局3Ea~3Ecおよび目標位置・速度推定器4Eを備え、送信局2の位置と相対速度とを推定する。各受信局3Ea~3Ecにて求められる距離和および相対速度和は通信手段を用いて目標位置・速度推定器4Eに送られる。なお、実施の形態5に係わる目標測位装置1Eは、3つの受信局3Ea~3Ecを備えるが、4つ以上の受信局を備えても同様な効果が得られる。

【0062】

また、実施の形態5に係わる目標測位装置1Eでは、3つの受信局3Ea~3Ecの受信信号変換器10に共通の受信FMCW信号発生器9から受信FMCW信号が供給されている。各受信局3Ea~3Ecには、1つの受信FMCW信号発生器9から受信FMCW信号がケーブル長の違いによる遅延などを補正して位相が一定値となるよう調整されながらケーブル18で接続されている。この実施の形態5に係わる受信FMCW信号は、各受信局3Ea~3Ec間で位相が揃っているため、送信局2と各受信局3Ea~3Ecの時刻誤差 t_n は等しく、時刻誤差 t となる。

【0063】

送信局2は、実施の形態1に係わる送信局2と同様であるので、説明は省略する。そして、放射される電波 $T \times i$ は、式(24)で表される。

【0064】

【数15】

$$T_i(t) = \cos \left\{ 2\pi \left(f + \frac{1}{2} \mu_i t \right) t \right\} \cdots (24)$$

40

【0065】

受信局3Ea~3Ecは、それぞれ、空中を伝搬して到達する電波を受信する受信アンテナ8、受信する電波に受信FMCW信号をミキシングし、ローパスフィルタにより周波数の和信号を除去し、ビート信号を生成する受信信号変換器10、ビート信号を処理して距離和と相対速度和とを推定するFMCW信号処理器11Eを備える。また、受信局3Eaは、受信FMCW信号を発生する受信FMCW信号発生器9を備え、受信信号変換器10にはケーブル18が接続されている。

【0066】

受信アンテナ8には、送信アンテナ7から空中に放射された電波が直接に到達する。以下の説明において、直接に到達する電波を直接波と称す。直接波 $R \times 0_i, n$ は、式(2

50

5) で表される。なお、 τ_{0n} は、送信局と受信局間を電波が伝搬する伝搬時間であり、送信局と受信局間の距離 R_{0n} と式 (26) の関係式が成り立つ。

【0067】

【数16】

$$Rx0_{i,n}(t) = \cos \left\{ 2\pi \left(f + \frac{1}{2} \mu_i \left(t - \tau_{0n} - \frac{v_{0n}}{c} t \right) \right) \left(t - \tau_{0n} - \frac{v_{0n}}{c} t \right) \right\} \quad \dots (25)$$

10

$$R_{0n} = c \tau_{0n} \quad \dots (26)$$

【0068】

受信 FMCW 信号発生器 9 は、受信した直接波を受信信号変換器 10 においてミキシングするためのローカル信号を生成する受信 FMCW 信号を生成し、その受信 FMCW 信号を用いてローカル信号を生成して受信信号変換器 10 に出力する。

受信 FMCW 信号発生器 9 が生成するローカル信号 $L_{i,n}$ は、式 (27) で表される。

【0069】

【数17】

20

$$L_{i,n}(t) = \cos \left\{ 2\pi \left(f + \frac{1}{2} \mu_i (t - \delta t) \right) (t - \delta t) \right\} \quad \dots (27)$$

【0070】

受信信号変換器 10 は、直接波 $Rx0_{i,n}$ をローカル信号 $L_{i,n}$ でミキシングし、ローパスフィルタを通過して周波数の和信号が除去され、直接ビート信号 $B0_{i,n}$ が得られる。直接ビート信号 $B0_{i,n}$ は、式 (28) で表される。

【0071】

【数18】

30

$$B0_{i,n}(t) = \exp \left(2\pi j \left(- \left(\frac{v_{0n}}{c} \right) f + \mu_i (-\tau_{0n} + \delta t) \right) t \right) \quad \dots (28)$$

【0072】

FMCW 信号処理器 11E は、周波数分析手段 13E としての直接波周波数分析手段 15 および距離和速度和推定手段 17E を有する。

直接波周波数分析手段 15E は、直接ビート信号 $B0_{i,n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる直接ビート周波数 $f0_{i,n}$ (バー) を式 (29) から求める。

【0073】

【数19】

40

$$\bar{f}0_{i,n} = - \left(\frac{v_{0n}}{c} \right) f + \mu_i (-\tau_{0n} + \delta t) \quad \dots (29)$$

【0074】

距離和速度和推定手段 17E は、検出した直接ビート周波数 $f0_{i,n}$ (バー) を用いて、式 (30) から送信局 2 と目標 20 間と目標 20 と各受信局 3 間の時刻誤差 t を含む距離和 τ_n (ハット) を求める。

また、距離和速度和推定手段 17E は、式 (31) から相対速度和 V_n (ハット) を求

50

める。

【 0 0 7 5 】

【 数 2 0 】

$$\hat{\xi}_n \equiv c \cdot (\tau_{0n} - \delta t) = c \cdot \left(\frac{\bar{f}0_{1,n} - \bar{f}0_{2,n}}{\mu_1 - \mu_2} \right) \cdots (30)$$

$$\hat{v}_{0n} = \frac{\mu_1 \hat{f}0_{2,n} - \mu_2 \hat{f}0_{1,n}}{(\mu_1 - \mu_2) \frac{f}{c}} \cdots (31)$$

10

【 0 0 7 6 】

目標位置・速度推定器 4 E は、以下の手順により目標である送信局 2 の 3 次元座標と 3 次元相対速度成分とを推定する。

推定対象の未知の送信局 2 E の位置ベクトルおよび既知の各受信局 3 の位置ベクトルを、それぞれ X 、 X_n とすると、式 (30) の距離和 ξ_n を用いることにより、時刻誤差 t が消去される式 (32) ~ 式 (34) の関係式が成り立つ。

20

そして、送信局 2 の位置ベクトル X の推定値 X (ハット) は、3 局の受信局 3 E a ~ 3 E c での距離和 ξ_n (ハット) を用いて、共役勾配法、準 Newton 法、Levenberg - Marquardt 法などの一般的な非線形手法を用いて求められる。

【 0 0 7 7 】

【 数 2 1 】

$$|X - X_1| - |X - X_2| = \hat{\xi}_1 - \hat{\xi}_2 \cdots (32)$$

$$|X - X_2| - |X - X_3| = \hat{\xi}_2 - \hat{\xi}_3 \cdots (33)$$

30

$$|X - X_3| - |X - X_1| = \hat{\xi}_3 - \hat{\xi}_1 \cdots (34)$$

【 0 0 7 8 】

また、送信局 2 の相対速度ベクトルを V とすると、相対速度ベクトル V は、式 (35) の関係式が成り立つ。

そして、送信局 2 の相対速度ベクトル V の推定値 V (ハット) は、3 つの受信局 3 E a ~ 3 E c での相対速度和 V_n (ハット) と推定値 X (ハット) を用いて、逆行列や一般逆行列を用いて求められる。

40

【 0 0 7 9 】

【 数 2 2 】

$$-V \cdot \left(\frac{\hat{X} - X_n}{|\hat{X} - X_n|} \right) = \hat{v}_{0n} \cdots (35)$$

【 0 0 8 0 】

50

このような目標測位装置 1 E は、推定する対象の目標が送信局 2 である運用形態においても、実施の形態 1 と同様に、受信局 3 E a ~ 3 E c の時刻を送信局 2 の時刻に同期する必要がなく、同期パルサや送信パルス情報を必要としないので、狭帯域の受信系と低速の信号処理系であっても高精度の位置分解能を実現でき、小型で移動可能な受信局 3 E a ~ 3 E c となり、運用の柔軟性を確保できる。

【0081】

実施の形態 6 .

図 1 2 は、この発明の実施の形態 6 に係わる目標測位装置の構成図である。図 1 3 は、目標である受信局および送信局の X Y 座標面上の位置を示す図である。

この発明の実施の形態 6 に係わる目標測位装置 1 F は、3つの送信局 2 F a ~ 2 F c、1つの受信局 3 F および目標位置・速度推定器 4 F を備え、受信局 3 F の位置と相対速度とを推定する。受信局 3 F にて求められる距離和および相対速度和は通信手段を用いて目標位置・速度推定器 4 F に送られる。なお、実施の形態 6 に係わる目標測位装置 1 F は、3つの送信局 2 F a ~ 2 F c を備えるが、4つ以上の送信局を備えても同様な効果が得られる。

【0082】

また、実施の形態 6 に係わる目標測位装置 1 F では、3つの送信局 2 F a ~ 2 F c の送信信号変換器 6 に共通の送信 F M C W 信号発生器 5 から送信 F M C W 信号が供給されている。各送信局 2 F a ~ 2 F c には、1つの送信 F M C W 信号発生器 5 から送信 F M C W 信号がケーブル長の違いによる遅延などを補正して位相が一定値となるよう調整されながらケーブル 1 8 で接続されている。この実施の形態 6 に係わる送信 F M C W 信号は、各送信局 2 F a ~ 2 F c 間で位相が揃っているため、送信局 2 F a ~ 2 F c と受信局 3 F の時刻誤差 t_n は等しく、時刻誤差 t となる。

【0083】

受信 F M C W 信号発生器 9 は、受信した直接波を受信信号変換器 1 0 においてミキシングするためのローカル信号を生成する受信 F M C W 信号を生成し、その受信 F M C W 信号を用いてローカル信号を生成して受信信号変換器 1 0 に出力する。

受信 F M C W 信号発生器 9 が生成するローカル信号 $L_{i, n}$ は、式 (2 7) で表される。

【0084】

受信信号変換器 1 0 は、直接波 $R \times 0_{i, n}$ をローカル信号 $L_{i, n}$ でミキシングし、ローパスフィルタを通過して周波数の和信号が除去され、直接ビート信号 $B 0_{i, n}$ が得られる。直接ビート信号 $B 0_{i, n}$ は、式 (2 8) で表される。

【0085】

直接波周波数分析手段 1 5 F は、直接ビート信号 $B 0_{i, n}$ をフーリエ変換し、出力がピークになる直接ビート周波数 $f 0_{i, n}$ (ハット) を式 (2 9) から求める。

【0086】

距離和速度和推定手段 1 7 F は、検出した直接ビート周波数 $f 0_{i, n}$ (ハット) を用いて式 (3 0) から各送信局 2 F a ~ 2 F c と目標 2 0 間と目標 2 0 と受信局 3 間の距離の和 r_n (ハット) を求める。

また、距離和速度和推定手段 1 7 F は、式 (3 1) から相対速度和 V_n (ハット) を求める。

【0087】

目標位置・速度推定器 4 F は、以下の手順により受信局 3 F の 3 次元座標と 3 次元相対速度成分を推定する。

推定対象の未知の受信局 3 F の位置ベクトルおよび既知の各送信局 2 F a ~ 2 F c の位置ベクトルを、それぞれ X 、 X_n とすると、式 (3 0) の距離和 r_n を用いることにより、時刻誤差 t が消去されて、式 (3 2) ~ 式 (3 4) の関係式が成り立つ。

そして、受信局 3 F の位置ベクトル X の推定値 X (ハット) は、3つの送信局 2 F a ~ 2 F c との距離和 r_n (ハット) を用いて、共役勾配法、準 Newton 法、Leven

10

20

30

40

50

berg - Marquardt 法などの一般的な非線形手法を用いて求められる。

【0088】

また、受信局 3 F の相対速度ベクトルを V とすると、相対速度ベクトル V は、式 (35) の関係式が成り立つ。

そして、受信局 3 F の相対速度ベクトル V の推定値 V (ハット) は、3 つの送信局 2 F a ~ 2 F c での相対速度和 V_n (ハット) と推定値 X (ハット) を用いて、逆行列や一般逆行列を用いて求められる。

【0089】

このような目標測位装置 1 F は、位置および速度を推定する目標が受信局 3 F であるような運用形態でも、送信局 2 F a ~ 2 F c の時刻を受信局 3 F の時刻に同期する必要がなく、同期パルサや送信パルス情報を必要としないので、狭帯域の受信系と低速の信号処理系であっても高精度の位置分解能を実現でき、小型で移動可能な受信局 3 F となり、運用の柔軟性を確保できる。

【0090】

実施の形態 7 .

図 1 4 は、この発明の実施の形態 7 に係わる目標測位装置の構成図である。図 1 5 は、送信局および受信局での FMCW 信号の周波数の変化の様子を示す図である。

この発明の実施の形態 7 に係わる目標測位装置 1 G は、実施の形態 1 に係わる目標測位装置 1 と FMCW 信号が異なるとともに受信局 3 G a ~ 3 G c で目標反射波と直接波とを分離せずに受信することが異なっており、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。また、送信局 2 G、受信局 3 G a ~ 3 G c および目標 20 の位置や相対速度は、図 2 と同様である。

この実施の形態 7 に係わる目標測位装置 1 G は、受信局 3 G a ~ 3 G c が送信局 2 G からの直接波と目標反射波とを分離できずに受信するときの目標測位に適用される。但し、実施の形態 7 に係わる目標測位装置 1 G は、送信局と受信局間の相対速度 v_{0n} が既知のときに適用することができる。

【0091】

送信 FMCW 信号発生器 5 G は、図 1 5 (a) に示すように、掃引傾斜 μ_1 、掃引傾斜 $\mu_2 = -\mu_1$ 、掃引傾斜零の 3 つの掃引時間 T_c が連続する周波数パターンの送信 FMCW 信号を発生する。

受信 FMCW 信号発生器 9 G は、図 1 5 (b) に示すように、送信 FMCW 信号を時刻 t_n だけシフトした周波数パターンの受信 FMCW 信号を発生し、受信 FMCW 信号に基づいてローカル信号を生成し、受信信号変換器 10 に送信する。

受信信号変換器 10 は、受信した電波の信号をローカル信号でミキシングし、ローパスフィルタにより周波数の和信号を除去し、ビート信号を求める。

周波数分析手段 19 は、ビート信号をフーリエ変換し、出力がピークになる 2 つのビート周波数を検出する。この 2 つのビート周波数は、式 (36) と式 (37) で表すことができる。しかし、このビート周波数のどちらが直接波または目標反射波に係わるものであるか区別することができない。

【0092】

【数 23】

$$\bar{f}_{a_{i,n}} = -\left(\frac{v_{0n}}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_{0n} + \delta t_n) \quad \cdots (36)$$

$$\bar{f}_{b_{i,n}} = -\left(\frac{v_0 + v_n}{c}\right)f + \mu_i(-\tau_0 - \tau_n + \delta t_n) \quad \cdots (37)$$

【0093】

そこで、距離和速度和推定手段 17 G は、式 (38)、式 (39) のようにビート周波数の差の絶対値を求めることにより、送信局 2 G と目標 20 の間の伝搬時間 τ_0 と目標 20 と各受信局 3 G a ~ 3 G c の間の伝搬時間 τ_n との和 ($\tau_0 + \tau_n$) と、送信局 2 G と目標 20 との相対速度 v_0 と目標 20 と各受信局 3 G a ~ 3 G c との相対速度 v_n との和 ($v_0 + v_n$) を求めることができる。なお、この運用形態では送信局 2 G と受信局 3 G a ~ 3 G c 間の相対速度 v_{0n} が既知であり、送信局 2 G と受信局 3 G a ~ 3 G c の位置も既知である。

【0094】

【数24】

$$|\bar{f}b_{i,n} - \bar{f}a_{i,n}| = \left| - \left(\frac{v_0 + v_n - v_{0n}}{c} \right) f + \mu_i (-\tau_0 - \tau_n + \tau_{0n}) \right| \quad \dots (38)$$

$$|\bar{f}b_{3,n} - \bar{f}a_{3,n}| = \left| - \left(\frac{v_0 + v_n - v_{0n}}{c} \right) f \right| \quad \dots (39)$$

【0095】

式 (38)、式 (39) の観測値が得られることで、例えば、In-phase チャネル (実数のビート信号) のみを計測可能なモノスタティックレーダにおいて、文献 (三本著、「同相信号だけを検波する FMCW レーダの目標距離・速度計測方法」、電子情報通信学会、論文誌 B、Vol. J82-B、No. 12、p. 2355-2363、1999 年 12 月) に記載の距離と相対速度のアンビギュイティ (1 つの目標時) を取り除く手法により距離和 $\tau_n = c (\tau_0 + \tau_n)$ と相対速度和 V_n (ハット) を求めることができる。

そして、実施の形態 1 と同様に、距離和 $\tau_n = c (\tau_0 + \tau_n)$ と相対速度和 V_n (ハット) から目標 20 の位置座標と相対速度を推定できる。

【0096】

このような目標測位装置 1 G は、一部に周波数掃引が行われないパターンを FMCW 信号として採用しているので、ビート信号の差の絶対値から距離和と相対速度和を求めることができ、直接波と目標反射波の受信が分離できないときにも目標の位置座標と相対速度を推定することができる。

【0097】

実施の形態 8 .

図 16 は、この発明の実施の形態 8 に係わる目標測位装置の構成図である。

この発明の実施の形態 8 に係わる目標測位装置 1 H は、実施の形態 2 に係わる目標測位装置 1 B と FMCW 信号が異なるとともに受信局 3 H で目標反射波と直接波とを分離せずに受信することが異なっており、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。また、送信局 2 H a ~ 2 H c、受信局 3 H および目標 20 の位置や相対速度は、図 4 と同様である。

この実施の形態 8 に係わる目標測位装置 1 H は、受信局 3 H が送信局 2 H a ~ 2 H c からの直接波と目標反射波とを分離できずに受信するときの目標測位に適用される。但し、実施の形態 8 に係わる目標測位装置 1 H は、送信局 2 H a ~ 2 H c と受信局 3 H 間の相対速度 v_{0n} が既知のときに適用することができる。

【0098】

送信 FMCW 信号発生器 5 H は、図 15 (a) に示すように、掃引傾斜 μ_1 、掃引傾斜 $\mu_2 = -\mu_1$ 、掃引傾斜零の 3 つの掃引時間 T_c が連続する周波数パターンの送信 FMCW 信号を発生する。

10

20

30

40

50

受信 F M C W 信号発生器 9 H は、図 1 5 (b) に示すように、送信 F M C W 信号を時刻 t_n だけシフトした周波数パターンの受信 F M C W 信号を発生し、受信 F M C W 信号に基づいてローカル信号を生成し、受信信号変換器 1 0 に送信する。

受信信号変換器 1 0 は、受信した電波の信号をローカル信号でミキシングし、ローパスフィルタにより周波数の和信号を除去し、ビート信号を求める。

周波数分析手段 1 9 は、ビート信号をフーリエ変換し、出力がピークになる 2 つのビート周波数を検出する。この 2 つのビート周波数は、式 (3 6) と式 (3 7) で表すことができる。しかし、このビート周波数のどちらが直接波または目標反射波に係わるものであるか区別することができない。

【 0 0 9 9 】

10

そこで、距離和速度和推定手段 1 7 H は、式 (3 8)、式 (3 9) のようにビート周波数の差の絶対値を求めることにより、送信局 2 H a ~ 2 H c と目標 2 0 の間の伝搬時間 t_n と目標 2 0 と受信局 3 H の間の伝搬時間 t_0 との和 ($t_0 + t_n$) と、送信局 2 H a ~ 2 H c と目標 2 0 との相対速度 v_n と目標 2 0 と受信局 3 H との相対速度 v_0 との和 ($v_0 + v_n$) を求めることができる。なお、この運用形態では送信局 2 H a ~ 2 H c と受信局 3 H 間の相対速度 v_{0n} が既知であり、送信局 2 H a ~ 2 H c と受信局 3 H の位置も既知である。

【 0 1 0 0 】

式 (3 8)、式 (3 9) の観測値が得られることで、例えば、In - phase チャネル (実数のビート信号) のみを計測可能なモノスタティックレーダにおいて、文献 (三本 20 著、「同相信号だけを検波する F M C W レーダの目標距離・速度計測方法」、電子情報通信学会、論文誌 B、Vol. J 8 2 - B、No. 1 2、p. 2 3 5 5 - 2 3 6 3、1 9 9 9 年 1 2 月) に記載の距離と相対速度のアンビギュイティ (1 つの目標時) を取り除く手法により距離和 $R_n = c (t_0 + t_n)$ と相対速度和 V_n (ハット) を求めることができる。

そして、実施の形態 1 と同様に、距離和 $R_n = c (t_0 + t_n)$ と相対速度和 V_n (ハット) から目標 2 0 の位置と相対速度を推定できる。

【 0 1 0 1 】

このような目標測位装置 1 H は、一部に周波数掃引が行われないパターンを F M C W 信号として採用しているので、ビート信号の差の絶対値から距離和と相対速度和を求めることができ、直接波と目標反射波の受信が分離できないときにも目標の位置と相対速度を推定することができる。

30

【 0 1 0 2 】

なお、実施の形態 1 乃至 8 における距離和速度和推定手段を受信局で角度計測を行うことが可能とした場合の目標位置推定法と組み合わせることもできる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 0 3 】

【 図 1 】 この発明の実施の形態 1 に係わる目標測位装置の構成図である。

【 図 2 】 送信局、受信局および目標の X Y 座標面上の位置を示す図である。

【 図 3 】 送信局および受信局での F M C W 信号の周波数の変化の様子を示す図である。

40

【 図 4 】 この発明の実施の形態 2 に係わる目標測位装置の構成図である。

【 図 5 】 送信局、受信局および目標の X Y 座標面上の位置を示す図である。

【 図 6 】 この発明の実施の形態 3 に係わる目標測位装置の構成図である。

【 図 7 】 送信局、受信局および目標の X Y 座標面上の位置を示す図である。

【 図 8 】 この発明の実施の形態 4 に係わる目標測位装置の構成図である。

【 図 9 】 送信局、受信局および目標の X Y 座標面上の位置を示す図である。

【 図 1 0 】 この発明の実施の形態 5 に係わる目標測位装置の構成図である。

【 図 1 1 】 目標である送信局および受信局の X Y 座標面上の位置を示す図である。

【 図 1 2 】 この発明の実施の形態 6 に係わる目標測位装置の構成図である。

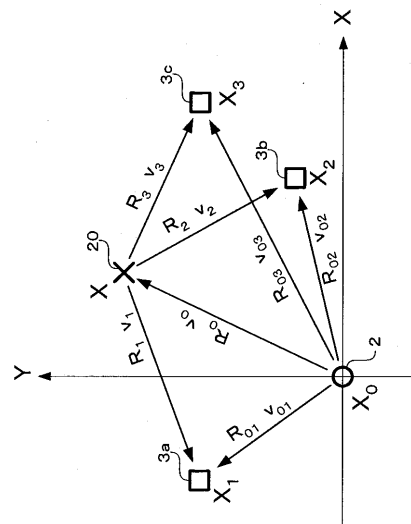
【 図 1 3 】 目標である受信局および送信局の X Y 座標面上の位置を示す図である。

50

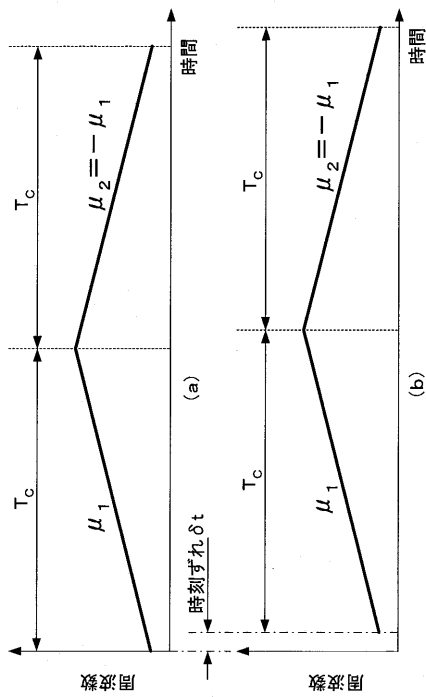
【 0 1 0 4 】

10

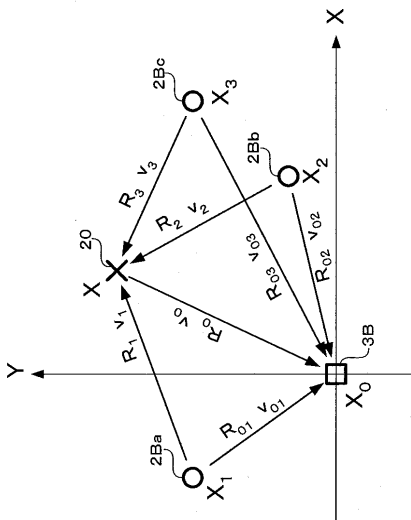
【 図 2 】



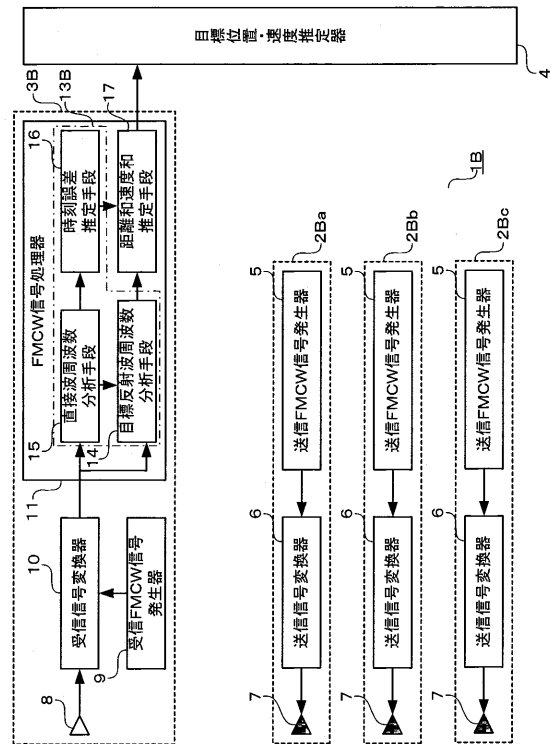
【図 3】



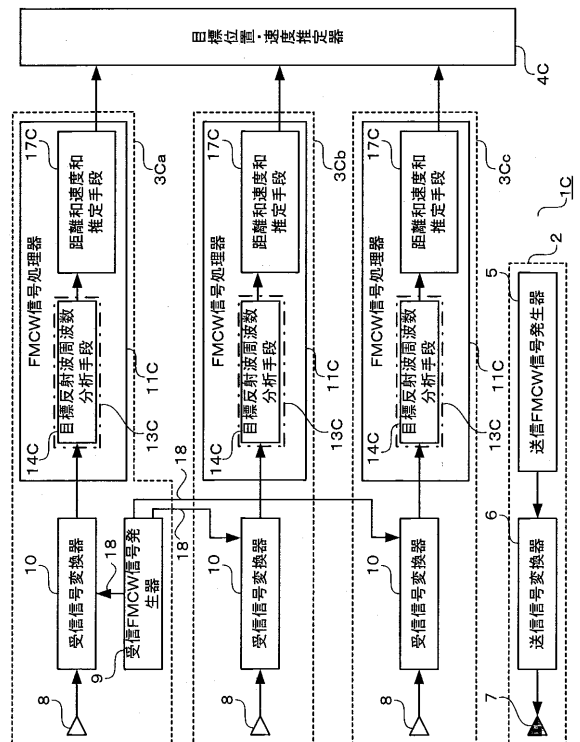
【図 5】



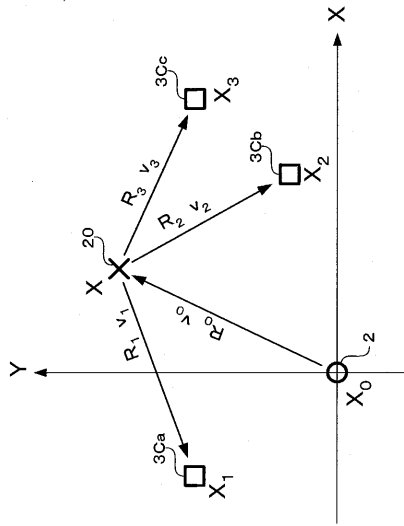
【図 4】



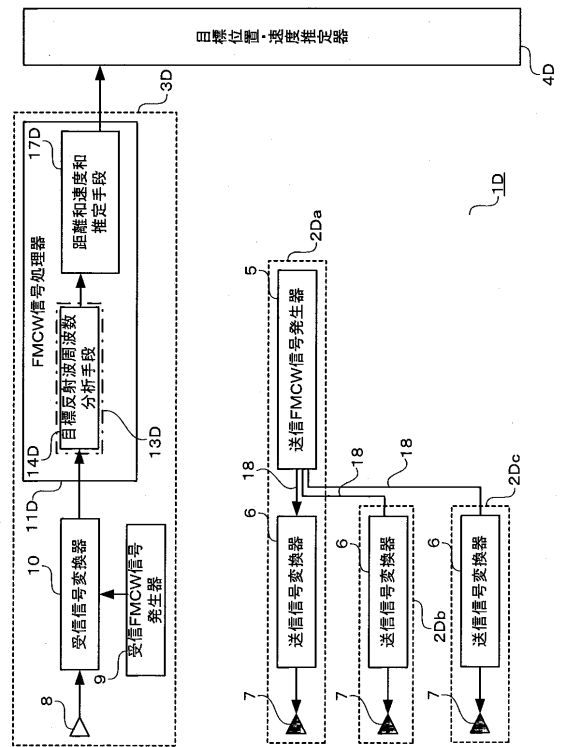
【図 6】



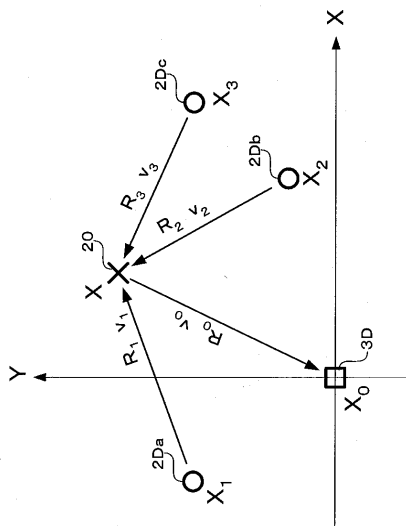
【図 7】



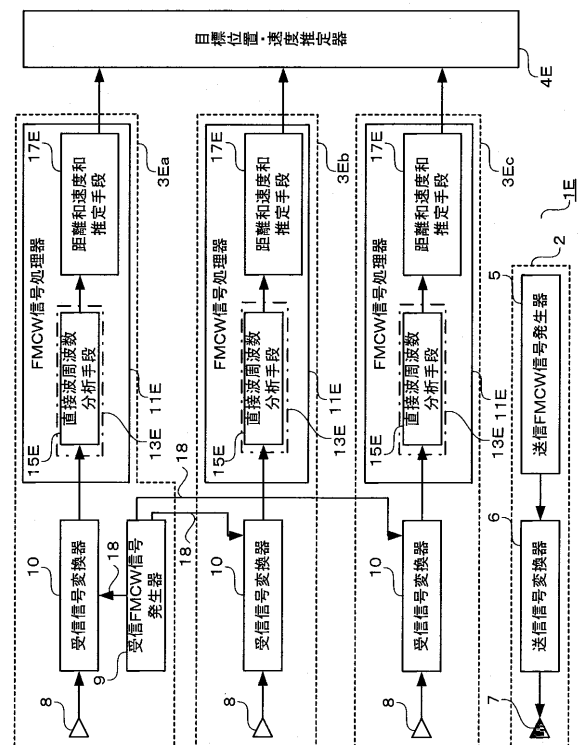
【図 8】



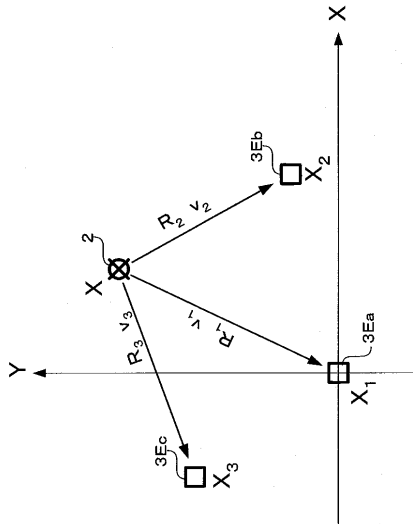
【図 9】



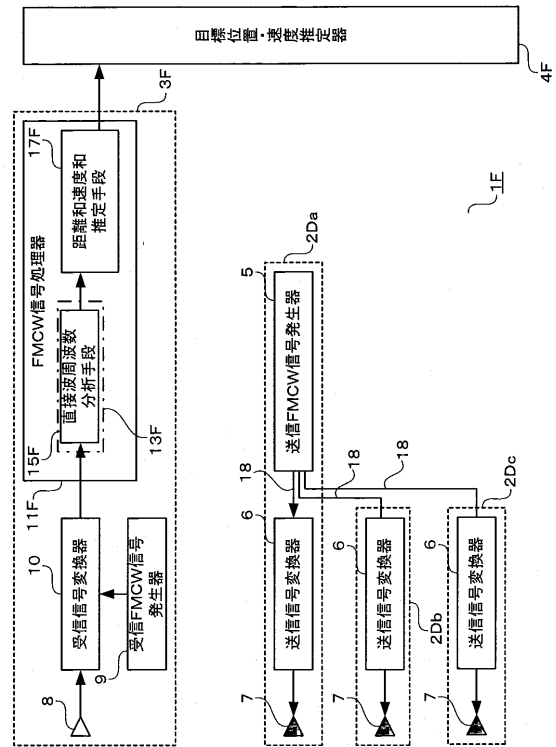
【図 10】



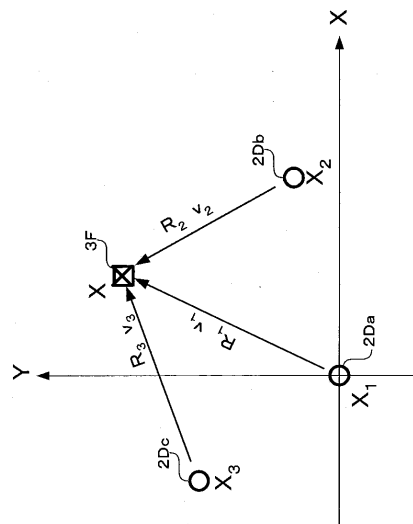
【図 1 1】



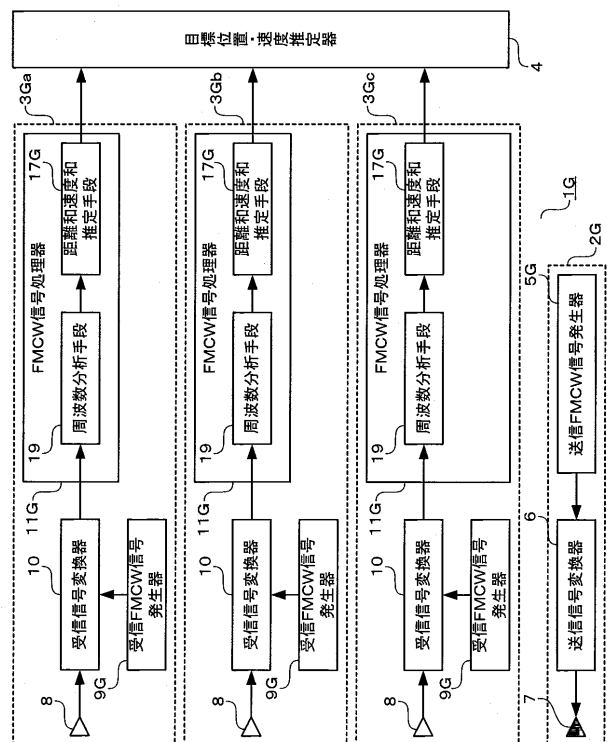
【図 1 2】



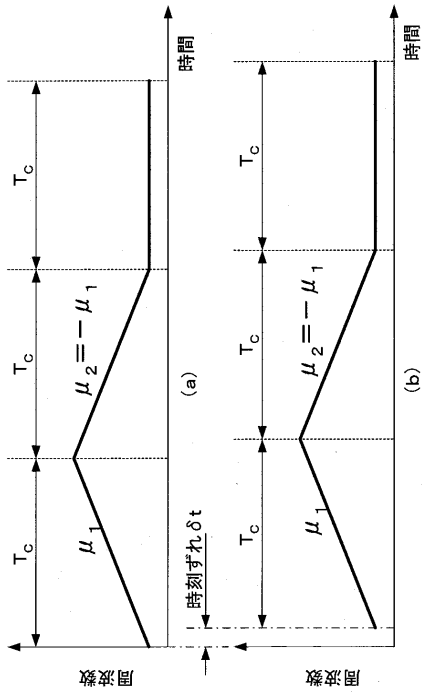
【図 1 3】



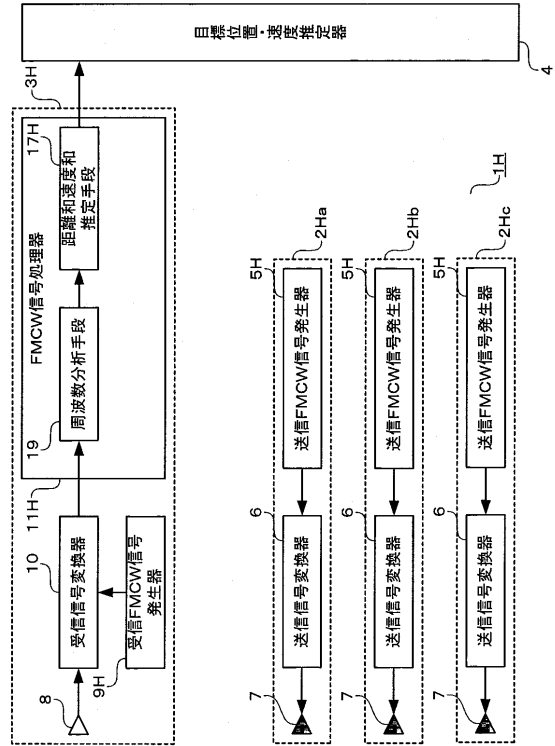
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(72)発明者 稲葉 敬之

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

F ターム(参考) 5J070 AB17 AC01 AC02 AC06 AD02 AD06 AH25 AH26 AK22 BD02