

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3975883号

(P3975883)

(45) 発行日 平成19年9月12日(2007.9.12)

(24) 登録日 平成19年6月29日(2007.6.29)

(51) Int. Cl.		F I		
GO 1 S	13/34	(2006.01)	GO 1 S	13/34
GO 8 G	1/16	(2006.01)	GO 8 G	1/16
GO 1 S	13/93	(2006.01)	GO 1 S	13/93
				E
				Z

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2002-311386 (P2002-311386)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成14年10月25日(2002.10.25)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2004-144665 (P2004-144665A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成16年5月20日(2004.5.20)	(74) 代理人	100082500
審査請求日	平成17年2月9日(2005.2.9)		弁理士 足立 勉
		(72) 発明者	夏目 一馬
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		(72) 発明者	菅見 浩史
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		審査官	川瀬 徹也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離予測方法、及びレーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数変調されたレーダ波の送信信号と、前記レーダ波を反射したターゲットからの反射波の受信信号とを混合することにより得られるビート信号に基づいて、予め設定された一定時間後における前記ターゲットまでの予測距離を求める距離予測方法であって、

前記一定時間を T_f 、前記レーダ波の変調範囲の中心周波数を F_o として、前記レーダ波の時間に対する周波数の変化率を F_o / T_f に設定し、

前記予測距離を R_p 、前記レーダ波の時間に対する周波数の変化率を $K (= F_o / T_f)$ 、前記ビート信号の周波数を f_b 、光速を C として、前記変調範囲の最小値から最大値へ又は最大値から最小値へのいずれか一方に掃引することで得られる前記ビート信号の周波数と前記予測距離との間に成立する次の関係式

$$f_b = (2 \cdot K / C) \cdot R_p$$

を用いて、該予測距離を求めることを特徴とする距離予測方法。

【請求項2】

周波数変調されたレーダ波の送信信号を生成する送信信号生成手段と、

該送信信号生成手段が生成する送信信号と、前記レーダ波を反射したターゲットからの反射波の受信信号とを混合してビート信号を生成するビート信号生成手段と、

該ビート信号が生成するビート信号に基づき、予め設定された一定時間後における前記ターゲットまでの予測距離を求める距離予測手段と、

を備えたレーダ装置であって、

10

20

前記送信信号生成手段は、前記一定時間を T_f 、前記レーダ波の変調範囲の中心周波数を F_o として、時間に対する周波数の変化率が F_o / T_f に設定された送信信号を生成し

、
前記距離予測手段は、前記予測距離を R_p 、前記レーダ波の時間に対する周波数の変化率を $K (= F_o / T_f)$ 、前記ビート信号の周波数を f_b 、光速を C として、前記変調範囲の最小値から最大値へ又は最大値から最小値へのいずれか一方向に掃引することで得られる前記ビート信号の周波数と前記予測距離との間に成立する次の関係式

$$f_b = (2 \cdot K / C) \cdot R_p$$

を用いて、該予測距離を求めることを特徴とするレーダ装置。

【請求項 3】

前記距離予測手段にて時系列的に求められる予測距離に基づき、前記ターゲットとの相対速度を求める相対速度算出手段を備え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】

前回の測定時に前記距離予測手段にて求めた予測距離、及び前記相対速度算出手段にて求めた相対速度に基づき、前記ビート信号生成手段が生成するビート信号の周波数を推定し、該推定値と今回の測定での測定値とを比較することにより、前回の測定値と今回の測定値との連続性を判定する連続性判定手段を備えることを特徴とする請求項 3 記載のレーダ装置。

【請求項 5】

車両に搭載され、該車両の衝突を事前に判断するブリクラッシュセンサとして用いられることを特徴とする請求項 2 乃至請求項 4 いずれか記載のレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、周波数変調されたレーダ波を送受信してターゲットとの距離を予測する距離予測方法及びレーダ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、レーダ波を送受信してターゲットを検出するレーダ装置の一つとして、FMCW方式のレーダ装置（以下単に「FMCWレーダ」と呼ぶ。）が知られている。

【0003】

FMCWレーダでは、図 6 に示すように、時間に対して周波数が三角波状に直線的に増減するよう変調されたレーダ波を使用し、このレーダ波の送信信号 S_s と、ターゲットに反射したレーダ波（反射波）の受信信号 S_r とを混合することで得られるビート信号に基づいて、レーダ波を反射したターゲットに関する情報を得るようにされている。

【0004】

具体的には、レーダ波の周波数が増加する上り変調時、及び周波数が減少する下り変調時のそれぞれについて、ビート信号に対し高速フーリエ変換（FFT）処理を施すことにより、ビート信号の各変調時毎のパワースペクトルを求める。そして、パワースペクトルから抽出したピークを両変調時間で適宜組み合わせ、その組み合わせたピーク（以下「ピークペア」という）の各周波数 f_{b1} 、 f_{b2} を、以下に示す（1）～（4）式に当てはめることにより、そのピークペアにて特定されるターゲットとの距離 R や相対速度 V を求めている（例えば、特許文献 1 参照。）。

【0005】

【数 1】

10

20

30

40

$$f_r = \frac{f_{b1} + f_{b2}}{2} \quad (1)$$

$$f_d = \frac{f_{b1} - f_{b2}}{2} \quad (2)$$

$$R = \frac{c \cdot f_r}{4 \cdot f_m \cdot \Delta F} \quad (3)$$

$$V = \frac{c \cdot f_d}{2 \cdot F_0} \quad (4)$$

10

【0006】

但し、 F はレーダ波の変調幅、 F_0 はレーダ波の中心周波数 F_0 、 $1/f_m$ は上り/下り各変調時の変調期間を表す。

【0007】

【特許文献1】

20

特開平11-271432号公報(段落[0002]~[0003])

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、ピークペアを求める処理(以下「ペアマッチ処理」という。)では、検出された上り変調時のピークと下り変調時のピークとを総当たりで組み合わせ、その全てについて距離 R や相対速度 V を算出し、前回の測定で得られたピークペアの情報と整合するものを、同じターゲットからの反射波に基づくピークが正しく組み合わせられたピークペアとして抽出しており、膨大な演算量を要する。

【0009】

しかも、FM CWレーダでは、上り変調及び下り変調のそれぞれにてビート信号を取得しなければならぬため、データの収集にも多くの時間を要する。

30

このため、FM CWレーダを、例えば車両に搭載し、ターゲットとの衝突の回避や予測など、極めて短時間でターゲットの検出を行う必要がある場合に、処理が間に合わない可能性があるという問題があった。

【0010】

そこで、本発明は、上記問題点を解決するために、周波数変調されたレーダ波を送受信するレーダ装置において、少ない演算量にてターゲットの検出を可能とすることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

40

上記目的を達成するためになされた第1発明の距離予測方法では、周波数変調されたレーダ波の送信信号と、前記レーダ波を反射したターゲットからの反射波の受信信号とを混合することにより得られるビート信号に基づいて、予め設定された一定時間後における前記ターゲットまでの予測距離を求める。

【0012】

但し、一定時間を T_f 、レーダ波の変調範囲の中心周波数を F_0 として、レーダ波の時間に対する周波数の変化率(以下「変調の勾配」ともいう。)を F_0/T_f に設定する。そして、変調範囲の最小値から最大値へ又は最大値から最小値へのいずれか一方向に掃引することで得られるビート信号(つまり、一般的なFM CWレーダにおいて上り変調又は下り変調のいずれか一方にて得られるビート信号)の周波数と予測距離との間に成立する関

50

係式を用いて予測距離を求める。

【0013】

即ち、上記ビート信号の周波数を f_b 、ターゲットとの距離を R 、相対速度を V 、光速を C 、変調期間を $1 / (2 \cdot f_m)$ とすると、ビート信号 B の周波数 f_b は (5) 式にて表される。なお、右辺の \pm は、ビート信号の生成に上り変調及び下り変調のいずれを用いるか、また、相対速度の符号を接近、離隔のいずれを正にするかにより一意に決まるものである (後述する (7) 式でも同様)。

【0014】

【数2】

$$f_b = \frac{4 \cdot f_m \cdot \Delta F \cdot R}{C} \pm \frac{2 \cdot F_o \cdot V}{C} \quad (5)$$

10

【0015】

また、 $2 \cdot f_m \cdot \Delta F$ が変調の勾配に相当するため (6) 式が成立する。

【0016】

【数3】

$$2 \cdot f_m \cdot \Delta F = \frac{F_o}{T_f} (=K) \quad (6)$$

20

【0017】

そして、(5) 式に (6) 式を代入して整理すると (7) 式が得られる。この (7) 式の右辺第1項 ($R \pm V \cdot T_f$) は、ターゲットとの相対速度 V が現状 (測定時) のまま継続すると仮定した場合の一定時間 T_f 後におけるターゲットまでの予測距離を表している。この予測距離を R_p 、変調の勾配を $K (= F_o / T_f)$ とすると、ビート信号の周波数 f_b と予測距離 R_p の間に成立する関係式として、(8) 式が得られる。

【0018】

【数4】

$$f_b = (R \pm V \cdot T_f) \cdot \frac{2}{C} \cdot \frac{F_o}{T_f} \quad (7)$$

$$= \frac{2 \cdot K}{C} \cdot R_p \quad (8)$$

30

【0019】

つまり、この関係式を用いることにより、ビート信号の周波数 f_b から、一定時間 T_f 後におけるターゲットの予測距離 R_p を求めることができるのである。このように本発明では、通常の FMCW レーダとは異なり、上り変調時及び下り変調時のいずれか一方のビート信号のみを用い、ペアマッチ処理を行うことなく、ターゲットの予測距離を求めている。

40

【0020】

従って、本発明によれば、ビート信号の収集期間を半減できると共に、収集したデータの信号処理に要する時間も大幅に削減でき、極めて短時間でターゲットの検出を行うことができる。

次に、第2発明のレーダ装置では、送信信号生成手段が、周波数変調されたレーダ波の送

50

信信号を生成し、ビート信号生成手段が、送信信号生成手段により生成された送信信号と、レーダ波を反射したターゲットからの反射波の受信信号とを混合してビート信号を生成する。そして、距離予測手段が、ビート信号生成手段により生成されたビート信号に基づき、予め設定された一定時間後におけるターゲットまでの予測距離を求める。

【0021】

但し、送信信号生成手段は、一定時間を T_f 、レーダ波の変調範囲の中心周波数を F_o として、時間に対する周波数の変化率が F_o / T_f に設定された送信信号を生成し、距離予測手段は、前記予測距離を R_p 、前記レーダ波の時間に対する周波数の変化率を $K (= F_o / T_f)$ 、前記ビート信号の周波数を f_b 、光速を C として、変調範囲の最小値から最大値へ又は最大値から最小値へのいずれか一方向に掃引することで得られるビート信号の周波数と予測距離との間に成立する次の関係式

$$f_b = (2 \cdot K / C) \cdot R_p$$

を用いて、その予測距離を求めるようにされている。

【0022】

つまり、本発明のレーダ装置は、第1発明の方法を実現するものであり、従って、第1発明の方法を実施した場合と同様の効果を得ることができる。

【0023】

なお、この関係式からは、予測距離しか求めることができないため、例えば、相対速度算出手段が、距離予測手段にて時系列的に求められる予測距離に基づき、ターゲットとの相対速度を求めるように構成してもよい。この場合、周知の簡易な微分演算等により、一般的なFMCWレーダと同様に、相対速度の情報も得ることができる。

【0024】

更に、本発明のレーダ装置では、連続性判定手段が、前回の測定時に前記距離予測手段にて求めた予測距離、及び相対速度算出手段にて求めた相対速度に基づいて、ビート信号生成手段が生成するビート信号の周波数を推定し、その推定値と今回の測定で得られたビート信号の周波数とを比較することにより、前回の測定値と今回の測定値との連続性を判定するように構成してもよい。

【0025】

なお、本発明のレーダ装置によれば、求めた予測距離から、一定時間後におけるターゲットとの位置関係（例えば衝突するか否か）が簡単にわかるため、例えば、車両に搭載され、車両の衝突を事前に判断するプリクラッシュセンサとして好適に用いることができる。

【0026】

【発明の実施の形態】

図1は、本実施形態の車載レーダの全体構成を表すブロック図である。なお、本実施形態の車載レーダは、車両の衝突を事前に判断して、エアバッグの動作を補助する等の目的に使用される、いわゆるプリクラッシュセンサを構成するものである。

【0027】

図1に示すように、本実施形態の車載レーダ2は、変調データ D_m をD/A変換して変調信号 M を生成するD/A変換器10と、D/A変換器10が生成する変調信号 M に従って周波数変調されたミリ波帯の高周波信号を生成する発振器12と、発振器12の出力を送信信号 S_s とローカル信号 L とに電力分配する分配器14と、送信信号 S_s に従ってレーダ波を放射する送信アンテナ16と、レーダ波を受信する受信アンテナ18と、受信アンテナ18からの受信信号 S_r 及びローカル信号 L を混合してビート信号 B を生成するミキサ20と、ミキサ20の出力を増幅する増幅器22と、増幅器22の出力をサンプリングしデジタルデータ D_b に変換するA/D変換器24と、D/A変換器10に対して変調データ D_m を供給し、A/D変換器24を介して取り込んだビート信号 B のサンプリングデータ D_b の信号処理を行うことにより、レーダ波を反射したターゲットに関する情報を求める信号処理部26とを備えている。

【0028】

信号処理部26は、CPU、ROM、RAMからなる周知のマイクロコンピュータを中心

10

20

30

40

50

に構成され、更に、A/D変換器24を介して取り込んだデータについて、高速フーリエ変換（FFT）処理等の信号処理を実行するための演算処理装置（例えばDSP）を備えている。

【0029】

このように構成された本実施形態の車載レーダ2では、変調データDmに従ってD/A変換器10が変調信号Mを生成し、発振器12が、この変調信号Mに従って周波数変調された高周波信号を生成する。その高周波信号を、分配器14が電力分配することにより、送信信号S_s及びローカル信号Lを生成し、このうち送信信号S_sは、送信アンテナ16を介してレーダ波として送出される。

【0030】

そして、送信アンテナ16から送出されターゲットに反射して戻ってきたレーダ波（反射波）を受信アンテナ18が受信し、ミキサ20がその受信信号S_rに分配器14からのローカル信号Lを混合することでビート信号Bを生成する。このビート信号Bは、増幅器22にて増幅された後、A/D変換器24にてサンプリングされ、信号処理部26に取り込まれる。

【0031】

なお、変調信号Mは、発振器の発振周波数、即ち送信信号S_sやローカル信号L、ひいてはレーダ波の周波数を、ノコ歯状に変調するものが用いられ、具体的には、図2に示すように、周波数が最小値から漸次増加して、変調期間 $1/(2 \cdot f_m)$ 後に最大値に到達するように変調する。以下では、その変調幅をF、その中心周波数をF₀にて表すものとする。

【0032】

また、ミキサ20にて生成されるビート信号Bには、送信アンテナ16から回り込んだ直接波が受信アンテナ18にて受信されること等による低周波ノイズ成分が重畳される。この低周波ノイズ成分が発生する周波数帯では、ピーク周波数成分を抽出することが困難となる。この周波数帯に対応する領域を以下では「不感帯」と称する。また、車載レーダ2を搭載した自車両とターゲットとの距離及び相対速度によっては、衝突が不可避となる領域があり、その領域を「衝突帯」と称する。これら不感帯及び衝突帯に対応するビート信号の周波数帯は、信号処理部26を構成するROMに予め記憶されている。

【0033】

ここで、図3は、検出されるビート信号の周波数（以下「ビート周波数」ともいう。）f_bとターゲットとの距離R及び相対速度V（図3では接近時に正値をとるものとする）との関係を表す説明図であり、図中の点線は、ビート信号の周波数f_bが等しい線を表す。

【0034】

図3に示すように、不感帯は、ターゲットとの距離Rや相対速度Vとは関係がなく、これに対応する周波数帯は、ビート周波数f_b = 0の線に沿って一定幅を有しており、一方、衝突帯は、相対速度Vが大きいほど、衝突が不可避となる距離Rも大きくなるため、これに対応する周波数帯も大きくなる。そして、本実施形態では、図中一点鎖線にて衝突帯の境界を示すように、相対速度Vが小さい時には、不感帯の方が大きく、相対速度Vが大きい時には衝突帯の方が大きいものとする。

【0035】

ここで、信号処理部26が実行する処理を、図4に示すフローチャートに沿って説明する。

本処理が起動されると、まず、予め指定された一定時間T_f（例えば、0.3秒）に基づき、上述した変調信号Mの生成に用いる変調データD_mを生成する（S110）。具体的には、上述の（6）式に基づいて、レーダ波の時間に対する周波数の変化率（以下「変調の勾配」という。）Kが、F₀/T_fに一致するように、変調範囲F及び変調期間 $1/(2 \cdot f_m)$ を設定し、その設定に応じた変調データD_mを生成する。この場合、変調範囲F及び変調期間 $1/(2 \cdot f_m)$ をいずれも変化させてもよいが、いずれか一方を固定し、いずれか他方のみを変化させてもよい。

10

20

30

40

50

【0036】

この変調データ D_m を D/A 変換器 10 に供給することにより、発振器 12 の発振周波数の変調を開始させ (S120)、その後、A/D 変換器 24 を介したビート信号 B のサンプリングデータ D_b の取り込み (S130) を、変調期間 $1/(2 \cdot f_m)$ が経過して変調が終了するまでの間 (S140) 繰り返し実行する。

【0037】

そして、変調が終了すると、取り込んだサンプリングデータ D_b について、高速フーリエ変換 (FFT) 処理を実行する (S150)。この FFT 処理により得られたビート信号の周波数分布から、信号強度がピークとなる成分の周波数を特定するピークサーチ処理、及びこのピークサーチ処理にて特定されたピークと、前回の測定までに得られたピークの履歴情報とに基づき、ピークの連続性を判定するピーク追跡処理を実行する (S160)。

10

【0038】

ピーク追跡処理では、ピークサーチ処理にて得られたピーク周波数と、前回の測定時に後述する S200 にて求められた予測ピーク周波数とを比較し、両者の差が予め設定された許容値以下であり、両者が一致していると見なせる場合は、両者に連続性があるものとし、即ち両者は同一のターゲットに基づくものであるとする。

【0039】

そして、S160 にて特定されたターゲットについての履歴情報、及びそのターゲットについて今回の測定で検出されたピーク周波数 f_b に基づき、自車両は衝突帯、又は不感帯に既に進入しているか否かを判断し (S170)、既に進入していると判断された場合には、ターゲットとの衝突は不可避であるものとして、エアバッグシステムの事前動作等を行う衝突対応処理を起動後 (S210)、本処理を終了する。

20

【0040】

一方、自車両は衝突帯や不感帯には未だ進入していないと判断された場合には、先の S160 にて検出されたピーク周波数 f_b から、上述の (8) 式に基づいて、一定時間 T_f 後のターゲットとの予測距離 R_p を算出し (S180)、更に、その算出された予測距離 R_p と履歴情報に残された前回の測定で得られた予測距離とに基づき、ターゲットとの相対速度 V を算出する (S190)。

【0041】

そして、これら予測距離 R_p と相対速度 V とを履歴情報として記憶すると共に、その履歴情報に基づいて、次回の測定で得られるべき予測ピーク周波数を求めて (S200)、S120 に戻る。

30

この S210 にて記憶された履歴情報は、例えば、本処理とは別に実行され、車両各部にターゲットとの衝突を回避するための動作を行わせる衝突回避処理等に用いられる。

【0042】

なお測定周期 (変調開始から次回の変調開始までの期間) は、一定時間 T_f (本実施形態では 0.3 s) 以下であればよく、本実施形態では 10 ~ 30 ms 程度に設定されている。

以上説明したように、本実施形態の車載レーダ 2 では、一般的な FMCW レーダとは異なり、上り変調又は下り変調のうちいずれか一方 (本実施形態では上り変調のみ) によって得られるビート信号から一定時間 T_f 後におけるターゲットの予測距離 R_p を算出し、また、予測距離 R_p から相対速度 V を算出している。

40

【0043】

つまり、本実施形態の車載レーダ 2 によれば、ターゲット検出のために、ペアマッチ処理を行う必要がないため、ターゲットの検出に必要な演算量を大幅に削減できるだけでなく、ビート信号のサンプリングデータを取得するのに要する時間を半減できるため、短い周期で処理を繰り返すことができ、その結果、応答性のよい検出を行うことができる。

【0044】

しかも、本実施形態の車載レーダ 2 によれば、現在の距離 R ではなく、一定時間 T_f 後に

50

おける予測距離 R_p を求めており、ターゲットの異常接近等を事前に予測できるため、衝突回避や、衝突が不可避である場合のエアバッグシステムの事前動作などを速やかに実施することができ、制御の確実性、ひいては乗員の安全性を向上させることができる。

【0045】

なお、本実施形態において、S110及びD/A変換器10、発振器12が送信信号生成手段、ミキサ20がビート信号生成手段、S180が距離予測手段、S190が相対速度算出手段、S160が連続性判定手段に相当する。

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、様々な態様にて実施することが可能である。

【0046】

例えば、上記実施形態では、車載レーダ2をプリクラッシュセンサとしてのみ使用しているが、これを一般的な車間制御(ACC)用のFMCWレーダと組み合わせて用いてもよい。

この場合、図5に示すように、周波数が漸次増加する上り変調、周波数が漸次減少する下り変調を連続して行い、ビート信号から距離R及び相対速度Vを求める一般的なFMCWレーダとしての動作を周期的(例えば100ms周期)に実行し、その合間に、上記実施形態にて説明したプリクラッシュセンサとしての動作を、短い周期(10~30ms周期)で繰り返し実行する。

【0047】

即ち、従来の車間制御用FMCWレーダでは、ターゲットの距離・相対速度を正確に検出する必要があるが、比較的遠方(5~150m程度)のターゲットを検出対象とするため、検出周期は長くてもよく、一方、プリクラッシュセンサ用や衝突回避用に使用されるレーダでは、近距離(0~5m程度)のターゲットを検出対象とするため、できるだけ早い周期で検出する必要があるのである。

【0048】

これにより、単一のハードウェアにより、車間制御レーダと衝突判定レーダを同時に実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態の車載レーダの構成を示すブロック図である。

【図2】 レーダ波の変調方法を示すグラフである。

【図3】 車載レーダの検知範囲、不感帯、衝突帯等を示す説明図である。

【図4】 信号処理部が実行する処理の内容を示すフローチャートである。

【図5】 レーダ波の他の変調方法を示すグラフである。

【図6】 一般的なFMCWレーダの動作原理を示すための説明図である。

【符号の説明】

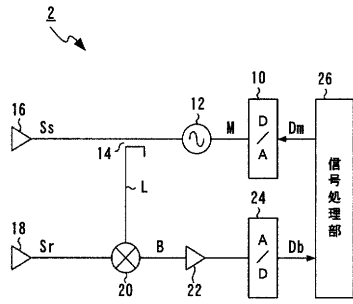
2...車載レーダ、10...D/A変換器、12...発振器、14...分配器、16...送信アンテナ、18...受信アンテナ、20...ミキサ、22...増幅器、24...A/D変換器、26...信号処理部、B...ビート信号、Db...サンプリングデータ、Dm...変調データ、M...変調信号、Sr...受信信号、Ss...送信信号。

10

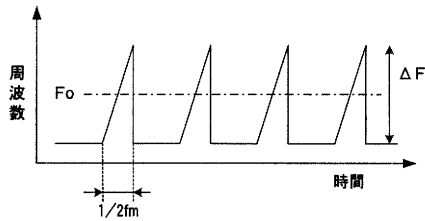
20

30

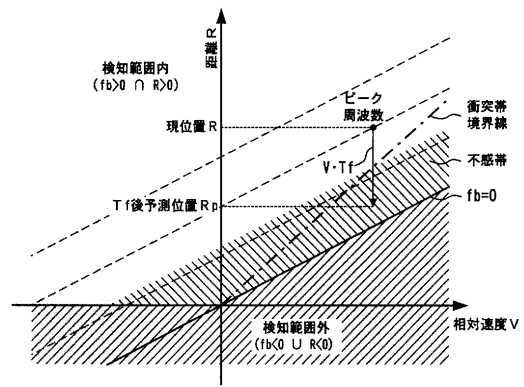
【図1】



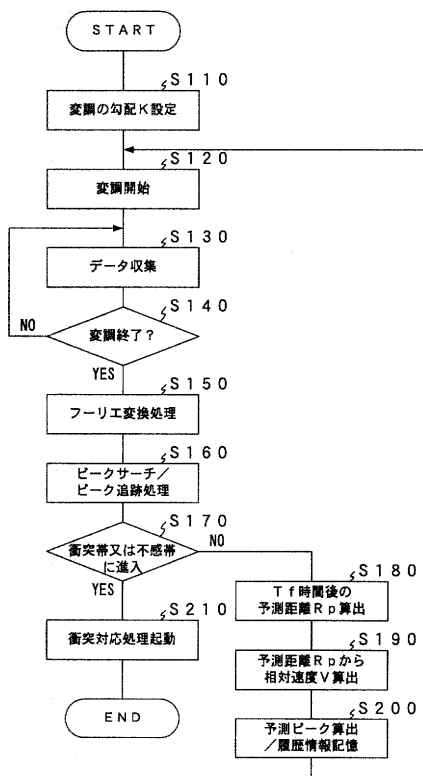
【図2】



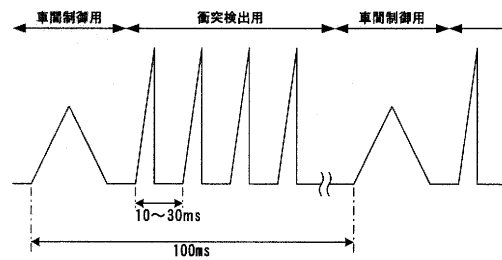
【図3】



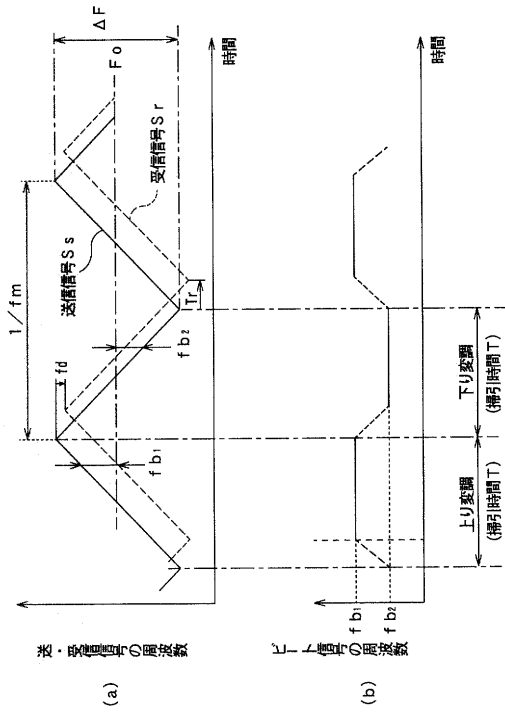
【図4】



【図5】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第02/067010(WO, A1)

特開平05-142338(JP, A)

特開平05-333143(JP, A)

特開平08-094749(JP, A)

特開平08-262130(JP, A)

特開平10-148669(JP, A)

特開平11-038129(JP, A)

特開平11-271429(JP, A)

特開平11-211811(JP, A)

特開2000-241536(JP, A)

特開2003-149325(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00- 7/42

G01S 13/00-13/95

G08G 1/16