

(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2005-241602

(P2005-241602A)

(43) 公開日 平成17年9月8日(2005.9.8)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 7/40	GO 1 S 7/40	5 J 0 7 0
GO 1 S 13/34	GO 1 S 13/34	
GO 1 S 13/93	GO 1 S 13/93	Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-55054 (P2004-55054)	(71) 出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22) 出願日	平成16年2月27日 (2004.2.27)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	稲常 茂穂 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		Fターム(参考)	5J070 AB17 AB24 AC04 AC06 AD02 AE01 AF03 AH25 AH35 AJ06 BA01 BF00

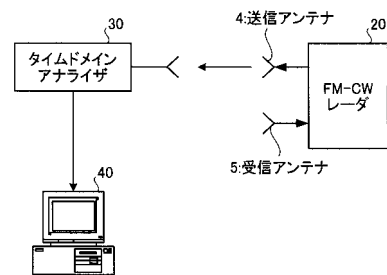
(54) 【発明の名称】 レーダ試験方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 FM - CWレーダのターゲット検出性能を安価な設備で容易かつ短時間で検査できるようにすること。

【解決手段】 FM - CWレーダから周波数変調された送信波を受信し、受信した前記送信波をタイムドメイン解析して、複数の異なる時点での周波数値から構成されるタイムドメイン周波数データを取得し、取得したタイムドメイン周波数データを補間処理することにより、前記複数の異なる時点からそれぞれ所定の遅延時間だけ遅延させた複数の時点での送信波の周波数値を取得し、取得した複数の周波数値と前記取得した複数の周波数値との差分をそれぞれ取得し、取得した複数の差分値をビート周波数として前記複数の時点でのビート信号を生成し、生成したビート信号を周波数解析してターゲットスペクトルを求め、このターゲットスペクトルに基づいてFM - CWレーダのターゲット検出性能を試験評価する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

F M - C W レーダのターゲット検出性能を試験評価するレーダ試験方法において、前記 F M - C W レーダから周波数変調された送信波を受信し、受信した前記送信波をタイムドメイン解析して、複数の異なる時点での周波数値から構成されるタイムドメイン周波数データを取得する第 1 ステップと、

前記取得したタイムドメイン周波数データを補間処理することにより、前記複数の異なる時点からそれぞれ所定の遅延時間だけ遅延させた複数の時点での前記送信波の周波数値を取得する第 2 ステップと、

前記第 2 ステップで取得した複数の周波数値と前記第 1 のステップで取得した複数の周波数値との差分をそれぞれ取得する第 3 ステップと、 10

前記取得した複数の差分値をビート周波数として前記複数の時点でのビート信号を生成する第 4 ステップと、

前記ビート信号を周波数解析してターゲットスペクトルを求め、このターゲットスペクトルに基づいて F M - C W レーダのターゲット検出性能を試験評価する第 5 ステップと、を備えることを特徴とするレーダ試験方法。

【請求項 2】

前記第 3 ステップで取得した周波数の差分を $h (= h_1, h_2, \dots)$ とすると、前記第 4 ステップでは、ビート信号を式 $\sin(2 h t)$ に従って生成することを特徴とする請求項 1 に記載のレーダ試験方法。 20

【請求項 3】

F M - C W レーダのターゲット検出性能を試験評価するレーダ試験装置において、前記 F M - C W レーダからの周波数変調された送信波を受信し、受信した前記送信波をタイムドメイン解析して、複数の異なる時点での周波数値から構成されるタイムドメイン周波数データを求めるタイムドメイン解析手段と、

前記タイムドメインアナライザが求めたタイムドメイン周波数データを記憶するテーブルメモリと、

前記第 1 のテーブルメモリに記憶されたタイムドメイン周波数データを補間処理することにより、前記複数の異なる時点からそれぞれ所定の遅延時間だけ遅延させた複数の時点での前記送信波の周波数値を演算する第 1 の演算手段と、 30

前記テーブルメモリに記憶した複数の周波数値と前記第 1 の演算手段が演算した複数の周波数値との差分をそれぞれ取得し、該取得した複数の差分値をビート周波数として前記複数の時点でのビート信号を生成する第 2 の演算手段と、

前記取得されたビート信号を周波数解析してターゲットスペクトルを求め、このターゲットスペクトルに基づいて F M - C W レーダのターゲット検出性能を試験評価する試験評価手段と、

を備えることを特徴とするレーダ試験装置。

【請求項 4】

前記第 2 の演算手段、取得した周波数の差分を $h (= h_1, h_2, \dots)$ とすると、ビート信号を式 $\sin(2 h t)$ に従って生成することを特徴とする請求項 3 に記載のレーダ試験装置。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、F M - C W レーダのターゲット検出性能を試験評価するレーダ試験方法および装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

F M - C W レーダシステムは、ミリ波帯の電磁波を使用し、前方の車両との距離・速度 50

の検知によるクルーズコントロールや衝突不可避時のドライバーへの被害軽減などの安全性対策に適用されている。このFM-CWレーダは、前方に向けて放射した電波が先行車両にあたって跳ね返ってくる受信波と送信波との差からビート周波数を求め、そのビート周波数を使って目標までの距離および相対速度を算出することができるものである。

【0003】

このようなFM-CWレーダにおいては、周波数を三角波状に変調させた送信波を目標に向けて送出するが、送信周波数が直線状に変化している場合には、1つの周波数を有する安定なビート信号が得られるが、送信周波数が正確な直線状ではなくリップルノイズが重畳されていると、ビート信号にはリップルノイズの周期に従う周波数だけピーク周波数からずれた位置に別のピーク(スプリアス)が現われる。このような、スプリアスは、目標物の距離、速度を正確に計算する場合の大きな障害となる。

10

【0004】

このようにFM-CWレーダのターゲット検出性能としては、ターゲットスペクトル幅が狭くまた余計な周波数にスプリアスが発生しないことが重要である。FM-CWレーダターゲットスペクトルを確認するために、従来、つぎのような手法が一般的に用いられていた。

(a) フィールドで反射物(コーナリフレクタ)を必要な距離だけ離間させてFM-CWレーダに対峙させ、FM-CWレーダに通常のレーダの動作をさせて前記反射物からの反射波を受信して、この受信波に基づいてターゲットスペクトルの形状を実際確認する手法、

20

(b) レーダから出力される送信信号を受信し、試験距離相当分の遅延線で時間遅延を加えて、レーダの受信機に戻す機能を有するターゲット模擬装置(ターゲットシミュレータ)を用いて試験を行う。

【0005】

しかしながら、上記(a)の手法は、フィールドに反射物を配し、レーダの送受信機能を実際に動作させて試験を行うので、試験設備が大がかりとなり、また試験時間も長くなり、レーダの大量生産時の試験方式には不向きである。また、(b)の手法は、高価なターゲット模擬装置が必要になり、また試験時間も長くなるので、レーダの大量生産時の試験方式には不向きである。

【0006】

一方、特許文献1においては、通常のレーダ処理と並行して試験評価を行う評価用信号処理部を有するFM-CWレーダが開示されており、ビート信号の周波数の検出を行う検出期間(送受信信号の両者の周波数が共に増加する所定期間)を複数の小期間に分割し、各小期間毎のビート信号のスペクトル分布を夫々求め、各小区間におけるビート信号のスペクトル分布の特性を相互に比較し、それらが相互に略一致するか否かによりレーダの検出の性能の良否を判断するようにした発明が開示されている。

30

【0007】

【特許文献1】特開平07-146359号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0008】

しかしながら、特許文献1の従来技術は、各小期間毎にFFT処理を行って各小区間のスペクトル分布を求めるようにしているので、処理および構成が複雑になり、処理時間が長くなる。また、この従来技術では、レーダの送受信機能を実際に動作させて試験を行うので、試験のためにレーダの受信機能も動作させなくてはならず、不良の原因が送信系か受信系か判らなくなり、検査処理が複雑となる。このように、特許文献1の従来技術は、レーダの大量生産時の試験方式には不向きである。

【0009】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、FM-CWレーダのターゲット検出性能を安価な設備で容易かつ短時間で検査できるようにして、レーダの大量生産時の試験方

50

式として好適なレーダ試験方法および装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、FM-CWレーダのターゲット検出性能を試験評価するレーダ試験方法において、前記FM-CWレーダから周波数変調された送信波を受信し、受信した前記送信波をタイムドメイン解析して、複数の異なる時点での周波数値から構成されるタイムドメイン周波数データを取得する第1ステップと、前記取得したタイムドメイン周波数データを補間処理することにより、前記複数の異なる時点からそれぞれ所定の遅延時間だけ遅延させた複数の時点での前記送信波の周波数値を取得する第2ステップと、前記第2ステップで取得した複数の周波数値と前記第1のステップで取得した複数の周波数値との差分をそれぞれ取得する第3ステップと、前記取得した複数の差分値をビート周波数として前記複数の時点でのビート信号を生成する第4ステップと、前記ビート信号を周波数解析してターゲットスペクトルを求め、このターゲットスペクトルに基づいてFM-CWレーダのターゲット検出性能を試験評価する第5ステップとを備えることを特徴とする。

【0011】

この発明によれば、FM-CWレーダからの送信波をタイムドメイン解析してタイムドメイン周波数データを求め、このタイムドメイン周波数データに基づいて、受信周波数特性を仮想的に演算によって求め、この受信周波数特性を用いてビート信号を形成し、形成したビート信号を周波数解析してターゲットスペクトルを求め、このターゲットスペクトルに基づいてFM-CWレーダのターゲット検出性能を試験評価するようにしている。

【発明の効果】

【0012】

この発明によれば、計測した送信波のタイムドメイン周波数データに基づいて、受信周波数特性を仮想的に演算によって求め、この受信周波数特性を用いてビート信号を形成するようにしているので、変調特性の直線性などの送信特性、すなわちターゲット検出性能を安価でかつ簡単な構成によって極めて効率よくなし得る。また、ビート信号を求めた後、1回の周波数解析処理を行えば、レーダの送信特性を試験評価できるので、各小期間毎にFFT処理を行って各小区間のスペクトル分布を求める従来技術に比べ、処理および構成が簡単になり、また処理も高速化される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下に、本発明にかかるレーダ試験方法および装置の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0014】

本発明の実施の形態を説明する前に、FM-CWレーダの一般的な構成および目標物の距離、速度の測定原理について簡単に説明する。

【0015】

図5は一般的なFM-CWレーダ20の構成を示す図である。図5に示すように、FM-CWレーダ20は、変調回路1、発振器2、方向性結合器3、送信アンテナ4、受信アンテナ5、ミキサ6、増幅器7、A/D変換器8、周波数分析手段9、目標検出手段10、および距離・速度算出手段11を備えている。

【0016】

変調回路1は周波数変調(FM)信号を発生し、発振器2へ送る。発振器2はFM信号で変調された高周波信号を発生し、方向性結合器3を介して送信アンテナ4とミキサ6に送る。送信アンテナ4は送られてきた高周波信号を前方の目標物に送信波として発射する。目標物が存在する場合、時間遅れを生じた受信波(反射波)が受信アンテナ5によって受信され、ミキサ6へ送られる。ミキサ6は反射波と方向性結合器3によって分配された送信波の周波数差の信号(以後、ビート信号という。)を発生し、増幅器7へ送る。増幅器7はビート信号を増幅してA/D変換器8に送る。

10

20

30

40

50

【0017】

A/D変換器8はビート信号をアナログからデジタルに変換して周波数分析手段9へ送る。周波数分析手段9はデジタル化されたビート信号を取り込み、FFT(高速フーリエ変換)等の処理により周波数分布(周波数スペクトル)を求める。目標検出手段10は周波数分布と閾値とを比較して、閾値を越えたものの中で極大となるものを目標物とする。距離・速度算出手段11は目標検出手段10でピックアップされた周波数により、目標物の相対距離及び相対速度を算出する。

【0018】

図6は、送信波SDと受信波ZDとの関係を示したものである。アップチャープ区間では送信波SDの周波数を直線的に上昇させ、ダウンチャープ区間では送信波SDの周波数を直線的に下降させる。

10

【0019】

目標物がFM-CWレーダ装置20に対して相対速度V、相対距離Rで存在していた場合、光速をC、送信波長をλ、アップチャープ区間(またはダウンチャープ区間)の期間をTm、周波数変調幅をΔfとすると、

相対速度に相当するドップラー周波数fdは、下式(1)に示すように、

$$f_d = 2 \cdot V / \lambda \quad \dots (1)$$

となり、

送信周波数と受信周波数の時間差により生じる距離周波数frは、下式(2)に示すように、

$$f_r = (2R \cdot \Delta f) / (C \cdot T_m) \quad \dots (2)$$

20

となり、

アップチャープ区間でのビート周波数fb1とDOWNチャープ区間でのビート周波数fb2は、下式(3)(4)に示すように、

$$f_{b1} = |f_d - f_r| \quad \dots (3)$$

$$f_{b2} = |f_d + f_r| \quad \dots (4)$$

となり、

また、距離周波数frがドップラー周波数fdよりも大きい場合、下式(5)が成立する。

$$2f_r = f_{b1} + f_{b2} \quad \dots (5)$$

30

式(5)に式(2)を代入すると、FM-CWレーダ装置から目標物までの相対距離Rを求める式(6)が導出される。

$$R = (C \cdot T_m) / (4 \cdot \Delta f) (f_{b1} + f_{b2}) \quad \dots (6)$$

【0020】

そして、式(6)を用いることにより、目標物までの距離Rが求められる。また、距離周波数frを算出すると、式(1)、式(3)、式(4)により相対速度Vを求めることもできる。

【0021】

図7-1~図7-3は、FM-CWレーダ装置のビート信号の周波数スペクトルを示す図である。送信周波数が直線状に変化している場合には、ビート信号が安定して1つの周波数となり、図7-1の周波数スペクトルで示すようにピーク値が鋭く現われ、周辺はウィンドウ関数に従うサイドローレベルとなる。しかしながら、送信周波数が正確な直線状ではなく、リップルノイズが重畳されていると、リップルノイズの周期に従う周波数だけピーク周波数からずれた位置に別のピーク(スプリアス)が現われる。図7-2は、リップルノイズの周波数がスペクトルの分解能に近い場合であり、ビート信号のスペクトルの途中にスプリアスが発生している。図7-3は、リップル周波数が大きく、完全にビート信号のスペクトルから離れているスプリアスが発生している。前述したように、このような、スプリアスは、目標物の距離、速度を正確に計算する場合の大きな障害となる。

40

【0022】

つぎに、本発明にかかるレーダ試験装置について説明する。レーダ試験装置は、試験対

50

象のFM-CWレーダ20の送信特性を計測するタイムドメインアナライザ30と、タイムドメインアナライザ30で計測したFM-CWレーダ20の送信特性に基づく所定の演算処理によってFM-CWレーダ20のターゲット検出性能を試験評価するパーソナルコンピュータ(以下、パソコン)40とから構成されている。試験対象のFM-CWレーダ20は、例えば、図5に示した構成を有している。

【0023】

タイムドメインアナライザ30は、FM-CWレーダ20からの送信波を受信するアンテナ31を有し、受信した送信波をタイムドメイン解析して、周波数の時間変動を示すタイムドメイン周波数データを導出する。

【0024】

パソコン40は、CPU、ROM、RAM、ハードディスク、表示部および入力部などを有し、ハードディスクなどのメモリに記憶されたアプリケーションプログラムを動作させることにより、タイムドメインアナライザ30から取得したタイムドメイン周波数データに基づき、FM-CWレーダ20のターゲット検出性能を試験評価する。

【0025】

図2は、タイムドメインアナライザ30およびパソコン40での動作手順を示すものである。

【0026】

まず、FM-CWレーダ20からは、前述したように、周波数を三角波状に変調させた送信波が送信アンテナ4を介して送信される。タイムドメインアナライザ30は、アンテナ31を介してFM-CWレーダ20からの送信波を受信し、受信した送信波をタイムドメイン解析して、周波数の時間変動を示すタイムドメイン周波数データを計測する。すなわち、タイムドメインアナライザ30は、図3に示すように、アナログデータとしてのタイムドメイン周波数データLaに基づいて、例えば、所定のアップチャープ区間における複数の異なる時点 t_1, t_2, t_3, \dots での周波数値 $f = f_1, f_2, f_3, \dots$ をサンプリングする。この場合、点A1~A6が送信周波数のサンプリングポイントとなる。そして、サンプリングされた複数の異なる時点 t_1, t_2, t_3, \dots での周波数値 $f = f_1, f_2, f_3, \dots$ を、図4-1に示すように、記憶テーブルFに格納する(ステップS100)。この記憶テーブルFの記憶されたタイムドメイン周波数データはパソコン40に出力される。なお、上記では、タイムドメインアナライザ30側で、複数の異なる時点での周波数値をサンプリングするようにしたが、この処理をパソコン40側で行わせるようにしてもよい。

【0027】

以下は、パソコン40側での処理である。パソコン40側では、タイムドメインアナライザ30から入力されたタイムドメイン周波数データに基づいて同様の記憶テーブルFを作成する。

【0028】

つぎに、パソコン40は、試験する所要の距離R(任意の値)に相当する伝搬遅延時間 t_d を求め、記憶テーブルFに記憶されたタイムドメイン周波数データを補間処理することにより、複数の異なる時点 t_1, t_2, t_3, \dots からそれぞれ所定の遅延時間 t_d だけ遅延させた複数の時点 t_1', t_2', t_3', \dots での周波数値 $g = g_1, g_2, g_3, \dots$ を演算する。演算された周波数値 $g = g_1, g_2, g_3, \dots$ は、図4-2に示す記憶テーブルGに格納される(ステップS110)。

【0029】

つぎに、パソコン40は、記憶テーブルGに格納された各周波数値 $g = g_1, g_2, g_3, \dots$ から記憶テーブルGに格納された各周波数値 $f = f_1, f_2, f_3, \dots$ を減算し、これらの周波数差 $h = h_1, h_2, h_3, \dots$ を時点 t_1', t_2', t_3', \dots での周波数差として、図4-3に示す記憶テーブルHに格納する(ステップS120)。なお、 $h_1 = g_1 - f_1, h_2 = g_2 - f_2, h_3 = g_3 - f_3, \dots$ である。すなわち、図3に示す点B1~B6を、仮想的に求めた受信周波数のサンプリングポイントとする。なお、この

10

20

30

40

50

場合、ドップラー周波数 $f_d = 0$ である。

【0030】

つぎに、パソコン40は、記憶テーブルHに格納した周波数差 $h (= h_1, h_2, h_3 \dots)$ をビート周波数として、下式(7)に従ってビート信号すなわちターゲットの受信波形Dを計算する(ステップS130)。

$$D = \sin(2 h t) \quad \dots (7)$$

すなわち、 $D_1 = \sin(2 h_1 t)$ 、 $D_2 = \sin(2 h_2 t)$ 、 $D_3 = \sin(2 h_3 t)$ 、...に基づいてビート信号Dを計算する。

【0031】

最後に、パソコン40は、計算された受信波形DをFFTなどで周波数解析処理することによりターゲットスペクトルを求め、求めたターゲットスペクトルからスペクトル幅、スプリアスの存在の有無等を評価する(ステップS140)。このようにして、FM-CWレーダ20のターゲット検出性能(送信特性)を試験評価する。

10

【0032】

このようなアップチャープ期間でのFM-CWレーダ20の送信特性の試験評価が終了すると、タイムドメインアナライザ30で計測していたダウンチャープ期間でのタイムドメイン周波数データに基づいてダウンチャープ期間でのFM-CWレーダ20の送信特性の試験評価を実行するようにしてもよい。

【0033】

このようにこの実施の形態によれば、タイムドメインアナライザ30で計測した送信波のタイムドメイン周波数データに基づいて、受信周波数特性を仮想的に演算によって求め、この受信周波数特性を用いてビート信号を形成するようにしているので、変調特性の直線性などの送信特性を安価でかつ簡単な構成によって極めて効率よくし得る。また、式(7)に示すような簡単な演算によってビート信号を求めた後、1つのアップチャート区間について1回の周波数解析処理を行えば、レーダの送信特性を試験評価できるので、各小期間毎にFFT処理を行って各小区間のスペクトル分布を求める従来技術に比べ、処理および構成が簡単になり、また処理も高速化される。また、試験する距離(t_d)も自由に設定することができる。

20

【産業上の利用可能性】

【0034】

以上のように、本発明にかかるレーダ試験方法および装置は、レーダの大量生産時の試験方式として極めて有用である。

30

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】この発明にかかるレーザ試験装置の実施形態の構成例を示す図である。

【図2】実施形態のレーザ試験装置の動作手順例を示す図である。

【図3】実施形態のレーザ試験装置の演算処理内容を説明するための概念図である。

【図4-1】テーブルFの記憶内容を示す図である。

【図4-2】テーブルGの記憶内容を示す図である。

【図4-3】テーブルHの記憶内容を示す図である。

40

【図5】一般的なFM-CWレーダの構成を示す図である。

【図6】FM-CWレーダの送信波、受信波などを示す図である。

【図7-1】FM-CWレーダ装置のビート信号の周波数スペクトルを示す図であり、最適なスペクトルを示す図である。

【図7-2】FM-CWレーダ装置のビート信号の周波数スペクトルを示す図であり、スプリアスが現れたスペクトルを示す図である。

【図7-3】FM-CWレーダ装置のビート信号の周波数スペクトルを示す図であり、スプリアスが現れたスペクトルを示す図である。

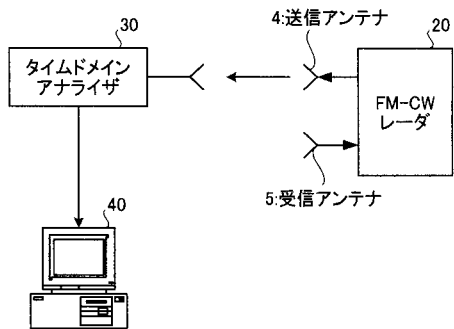
【符号の説明】

【0036】

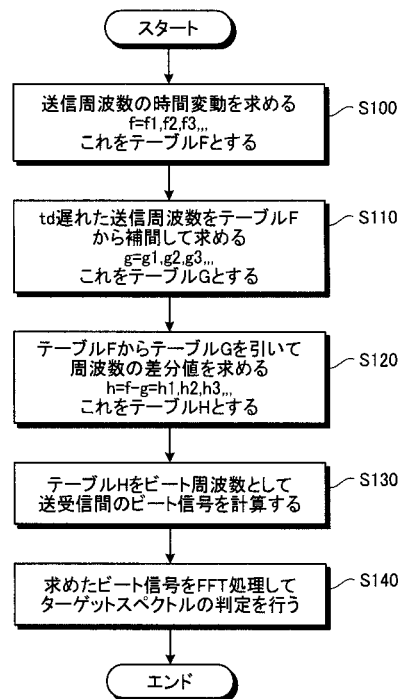
50

- 1 変調回路、
- 2 発振器、
- 3 方向性結合器、
- 4 送信アンテナ、
- 5 受信アンテナ、
- 6 ミキサ、
- 7 増幅器、
- 8 A/D変換器、
- 9 周波数分析手段、
- 10 目標検出手段、
- 11 距離・速度算出手段、
- 20 FM-CWレーダ、
- 30 タイムドメインアナライザ、
- 31 アンテナ、
- 40 パソコン。

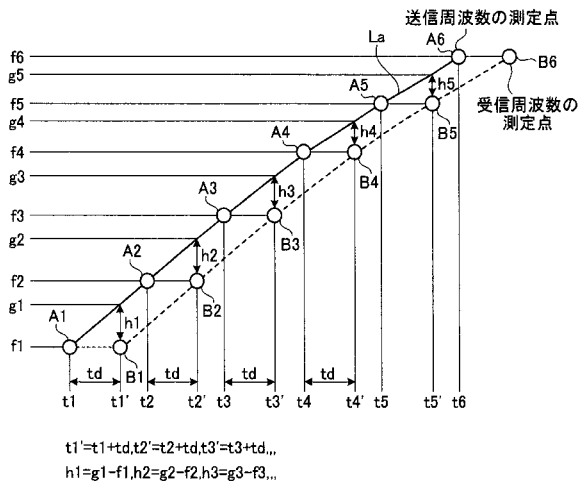
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 - 1 】

テーブルF

時間	送信周波数
t1	f1
t2	f2
t3	f3
t4	f4
t5	f5
⋮	⋮
⋮	⋮

【 図 4 - 2 】

テーブルG

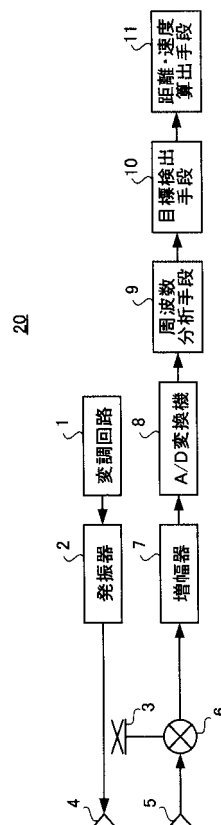
時間	送信周波数
t1'	g1
t2'	g2
t3'	g3
t4'	g4
t5'	g5
⋮	⋮
⋮	⋮

【 図 4 - 3 】

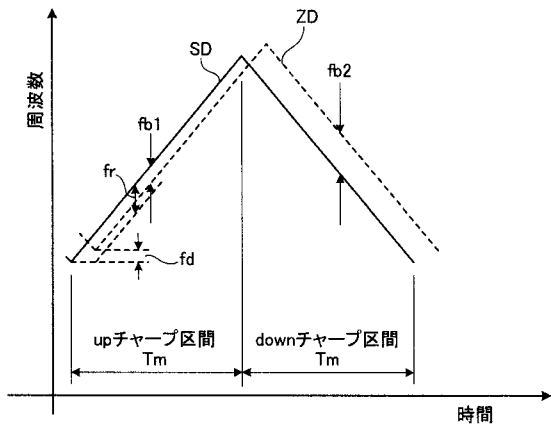
テーブルH

時間	送信周波数
t1'	h1
t2'	h2
t3'	h3
t4'	h4
t5'	h5
⋮	⋮
⋮	⋮

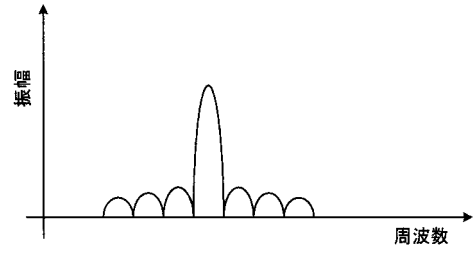
【 図 5 】



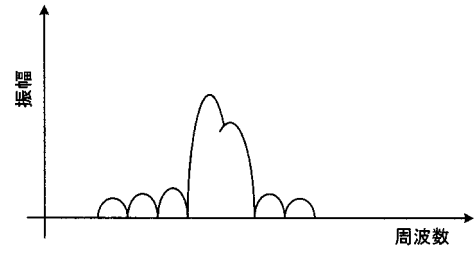
【 図 6 】



【 図 7 - 1 】



【 図 7 - 2 】



【 図 7 - 3 】

