

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 1 月 20 日(20.01.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/007828 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 13/34 (2006.01) G01S 13/95 (2006.01)
G01S 13/58 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/061970
- (22) 国際出願日: 2010 年 7 月 15 日(15.07.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-168208 2009 年 7 月 16 日(16.07.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 千葉大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION CHIBA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 番 3 3 号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鷹野 敏明 (TAKANO Toshiaki) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 番 3 3 号 国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 工藤 一郎(KUDO, Ichiro); 〒1000006 東京都千代田区有楽町 1 丁目 7 番 1 号有楽町電気ビル南館 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

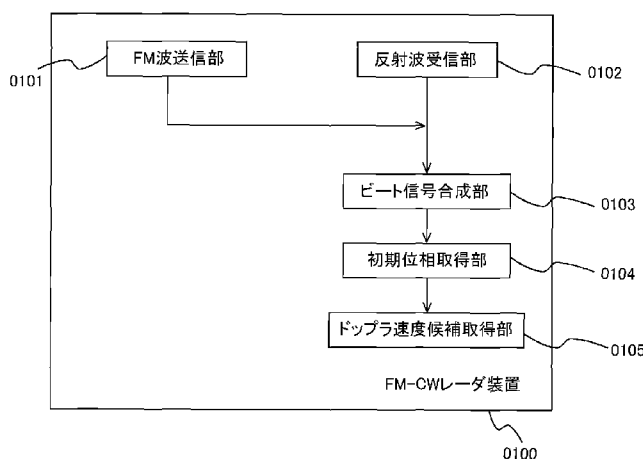
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: FM-CW RADAR APPARATUS AND DOPPLER VELOCITY MEASURING METHOD

(54) 発明の名称: FM-CWレーダ装置、ドップラ速度測定方法

[図1]



- 0100 FM-CW RADAR APPARATUS
0101 FM WAVE TRANSMITTING UNIT
0102 REFLECTED WAVE RECEIVING UNIT
0103 BEAT SIGNAL SYNTHESIZING UNIT
0104 INITIAL PHASE ACQUIRING UNIT
0105 DOPPLER VELOCITY CANDIDATE ACQUIRING UNIT

(57) Abstract: The conventional FM-CW mode radio apparatus combines transmitted and reflected waves to acquire a beat signal and determine a Doppler velocity from a frequency transition corresponding to a relative velocity of the object included in the beat signal. However, in a case of performing weather observations of clouds, rain and/or the like, the frequency deviation corresponding to a relative velocity is very small relative to the frequency deviation proportional to a distance, so that it is extremely difficult to measure the distance and relative velocity of an object only on the basis of the frequency component of a beat signal. In order to solve this problem, an FM-CW radio apparatus is provided which comprises: an FM wave transmitting unit for transmitting FM waves that are repetitively frequency-swept; a reflected wave receiving unit for receiving reflected waves; a beat signal synthesizing unit for synthesizing a beat signal from the transmitted and reflected waves; an initial phase acquiring unit for acquiring the initial phase of the beat signal in each of a plurality of sweepings; and a Doppler velocity candidate acquiring unit for acquiring a Doppler velocity candidate from the difference between two or more acquired initial

tial phases.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/007828 A1



【課題】従来のFM-CW方式のレーダ装置では、送信波と反射波とを合成してビート信号を得て、これに含まれる対象物の相対速度に応じた周波数遷移よりドップラ速度を求める。しかし、雲や雨などの気象観測を行う場合には、距離に比例した周波数偏移に対して相対速度に応じた周波数偏移が微小なため、ビート信号の周波数成分だけに着目して対象物の距離と相対速度を測定することは極めて困難である。【解決手段】繰り返し周波数掃引されるFM波を送信するFM波送信部と、反射波を受信する反射波受信部と、送信波と反射波とからビート信号を合成するビート信号合成部と、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する初期位相取得部と、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するドップラ速度候補取得部とを有するFM-CWレーダ装置を提供する。

明 細 書

発明の名称 : FM-CWレーダ装置、ドップラ速度測定方法 技術分野

[0001] 本発明は、対象物のドップラ速度を観測する技術に関する。

背景技術

[0002] 近年、地球温暖化をはじめとする地球上の気候変動に対する注目が集まっている。また、竜巻や集中豪雨といった局所的な気象変動による大きな災害が生じている。このような状況において、気象災害の予防と軽減のために、気象観測の果たす役割は大きなものとなっている。

[0003] 気象観測などのリモートセンシングにおいて、様々な方式によるレーダ装置の開発が進められている。その中でもFM-CW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式は、周波数を変調する連続波を使用することにより、従来のパルス方式に比べ小電力で高感度な観測が可能であり、また、比較的簡易な構成で、対象物の距離と速度を観測することができる。

[0004] FM-CW方式による一般的な観測は、以下のようなものである。まず、周波数が所定の周期及び形状で変化する送信波を送信アンテナから送信する。そして、対象物に反射された反射波は、受信アンテナにより受信波として受信される。ここで、受信波は、対象物までの距離に相当した時間遅れを持つ信号となる。また、送信波と受信波とをミキサで合成して形成されるビート信号の周波数は、レーダと対象物との距離に比例した周波数（ビート周波数）とレーダと対象物の相対速度に比例した周波数（ドップラ周波数）とを足し合わせたものとなる。よって、ビート信号の各周波数を検出することによってレーダと対象物の距離及びレーダと対象物の相対速度を求めることが原理的に可能である。

[0005] ここで、ビート信号には、ミキサから生じるノイズや送信系から受信系への電波の直接的な回り込みにより生じるノイズなどの直流や低周波の不要な

ノイズが混入することがある。対象物までの距離と相対速度によっては、このようなノイズのためにビート信号が埋もれてしまい、対象物の距離と相対速度を検出することが不可能な状態となってしまう。このような状態となってしまう領域のことを不検知領域という。不検知領域は、対象物までの距離と相対速度により一定の幅を持った領域として存在する。

[0006] この問題に対しては、変調周期の異なる２種類の送信波を用い、この２種類の送信波を交互に送信し、異なるビート信号を得ることにより、不検知領域を減少させることが提案されている（特許文献１）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献１：特開平１１－１３３１４４

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、従来のFM-CW方式のレーダ装置は、レーダ装置と対象物との距離が比較的近い観測環境（車間距離の観測等）においては有効であるが、地上から数kmないし数十kmを隔てて存在する雲等の観測を行う場合には、レーダと対象物の距離が大きく離れているため、ドップラ周波数がビート周波数と比較して非常に小さくなり、対象物との相対速度を測定することが極めて困難となっていた。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明はかかる課題を解決するために、以下のFM-CWレーダを提供するものである。すなわち、第一の発明として、繰返し周波数掃引されるFM波を送信するFM波送信部と、反射波を受信する反射波受信部と、送信波と反射波とからビート信号を合成するビート信号合成部と、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する初期位相取得部と、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するドップラ速度候補取得部と、を有するFM-CWレーダ装置を提案する。

- [0010] 第二の発明として、前記FM波送信部は、二種以上の送信波を送信する複数波送信手段を有し、前記ドップラ速度候補取得部は、各送信波に対応した前記初期位相の差分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のドップラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う絞り込演算手段を有する請求項1に記載のFM-CWレーダ装置を提案する。
- [0011] 第三の発明として、繰返し周波数掃引されるFM波を送信するFM波送信ステップと、反射波を受信する反射波受信ステップと、送信波と反射波とからビート信号を合成するビート信号合成ステップと、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する初期位相取得ステップと、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するドップラ速度候補取得ステップと、からなるドップラ速度測定方法を提案する。
- [0012] 第四の発明として、前記FM波送信ステップは、二種以上の送信波を送信する複数波送信サブステップを有し、前記ドップラ速度候補取得ステップは、各送信波に対応した前記初期位相の差分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のドップラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う絞り込演算サブステップを有する請求項3に記載のドップラ速度測定方法を提案する。

発明の効果

- [0013] 本発明によって、雲のような遠距離に存在する観測対象物の距離と相対速度を測定することが可能となり、より詳細な気象状況の観測を行うことができる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]実施形態1に係るFM-CWレーダ装置の機能ブロックの一例図
[図2]本実施形態のFM-CWレーダ装置の回路構成の一例図
[図3]FM-CW方式により対象物の距離及びドップラ速度を測定する原理
[図4]ドップラ周波数のスペクトル
[図5]実施形態1に係るドップラ速度測定方法の処理の流れの一例図
[図6]実施形態2に係るFM-CWレーダ装置の機能ブロックの一例

[図7]ある時刻におけるビート信号の位相変化率の分布

発明を実施するための形態

[0015] 以下本発明を実施するための形態について説明する。なお、本発明はこれら実施の形態になんら限定されるべきものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々なる態様で実施し得る。

[0016] 実施形態1は、主に請求項1、3について説明する。

[0017] 実施形態2は、主に請求項2、4について説明する。

<実施形態1>

<実施形態1 概要>

[0018] 本実施形態では、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得し、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得することを特徴とするFM-CWレーダ装置及びドップラ速度測定方法を説明する。

<実施形態1 構成>

[0019] 図1は、本実施形態に係るFM-CWレーダ装置の機能ブロックの一例を示すための図である。「FM-CWレーダ装置」(0100)は、「FM波送信部」(0101)と、「反射波受信部」(0102)と、「ビート信号合成部」(0103)と、「初期位相取得部」(0104)と、「ドップラ速度候補取得部」(0105)とにより構成される。また、図2は、本実施形態のFM-CWレーダ装置の回路構成の一例を示す図である。

[0020] 「FM波送信部」(0101)は、繰返し周波数掃引されるFM波を送信する機能を有する。ここで、繰返し周波数掃引されるとは、所定の周波数範囲で周波数を繰返し変調させることをいう。当該周波数の範囲や繰返す回数等は観測対象や観測環境に合わせて適宜変更する。気象観測には、Cバンド(5GHz)やXバンド(10GHz)の周波数が用いられることが多いが、雲などを観測する場合にはより高い周波数を用いることが望ましい。また、雲を構成している水や氷の粒子は、概ね数 μm から数十 μm の大きさであるため、降雨を伴わないような薄い雲を観測できる感度を得るために送信波としてミリ波(30GHz~300GHz)を用いることが望ましい。

- [0021] FM波は、振幅が一定の状態では周波数変調する波をいう。FM波送信部においては、信号発生器A（0201）にて $150 \pm 10 \text{ MHz}$ のFM-CW信号を作る。そして、信号発生器B（0202）にて作る2段の局部発振周波数と混合してアップコンバートし、 94.79 GHz （波長=3.16mm）の送信信号を生成し送信用アンテナ（0220）を介して送信する。FM波送信部は、上記の信号発生器や送信用アンテナなどの他に、ディバイダ（0203、0204）、スプリッタ（0224、0225）、ミキサ（0205、0206）、バンド・パス・フィルタ（0210、0211）、アンプ（0215、0216）、フェイズロック発振器（0222、0223）、逓倍器（0227）を備える。
- [0022] 「反射波受信部」（0102）は、反射波を受信する機能を有する。本実施形態においては、送信用アンテナとは別に受信用アンテナ（0221）を備えている。このアンテナについては反射波を受信可能なものである限り何ら限定を加えない。使用するFM波の周波数などに応じて従来技術により実施可能である。反射波受信部は、上記の受信用アンテナなどの他に、ミキサ（0207、0208）、バンドパスフィルタ（0212、0213、0214）、アンプ（0217、0218、0219）を備える。
- [0023] 「ビート信号合成部」（0103）は、送信波と反射波とからビート信号を合成する機能を有する。ビート信号は送信信号と受信信号の位相の差である位相を有する信号である。具体的には、送信信号の電界成分を $E_t = A_t \cos(2\pi f_t + \phi_t)$ 、位相信号の電界成分を $E_r = A_r \cos(2\pi f_r + \phi_r)$ とした場合、ビート信号の強度は $I_b = 2A_t A_r \cos\{2\pi(f_r - f_t)t + (\phi_r - \phi_t)\}$ と表わされる。受信用アンテナ（0221）により受信された反射波は、低ノイズアンプ（0219）及びバンド・パス・フィルタ（0212）を経て、局部発振周波数でダウンコンバートされた後、信号発生器Aの信号と混合されてビート信号を生成する。
- [0024] 「初期位相取得部」（0104）は、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する機能を有する。初期位相取得部は、ビート信号合成部によ

り生成されるビート信号に基づき、パーソナルコンピュータ（０２２６）などの計算機を用いて、以下に示す演算処理を行うことにより初期位相を取得する。

[0025] 図３は、ＦＭ－ＣＷ方式により対象物の距離及びドップラ速度を測定する原理を示す図である。実線にて示され鋸波状に変調しているのが送信信号である。この変調は、中心周波数 f_0 から F の周波数幅で変調される。掃引の周期は T_m である。対象物により反射された受信波の信号は、図３において破線で示される。この図から分かるように、受信信号は対象物までの距離に相当した時間遅れ τ を持つ信号となる。対象物までの距離が大きいとき、ビート信号は時間遅れ（距離）に比例した周波数（ビート周波数）を有する波と近似することができるため、ビート信号の周波数を検出することで対象物までの距離を測定することができる。なお、実際のビート信号は距離の異なる複数の対象物からの反射信号から構成されるが、ビート信号をＦＦＴ（高速フーリエ変換）処理して周波数のスペクトルを求めることで、複数の対象物までの距離を求めることが可能になる。

[0026] ビート信号の初期位相を取得するために、まず、一の掃引内の時間での送信波の位相について考える。送信波は、図示したように線形に周波数掃引されるので、掃引開始時の周波数を f_1 、周波数変化率を Δf ($= 2F / T_m$) とすると、その位相 $\theta_t(t)$ は数１で表せる。

[数１]

$$\theta_t(t) = \int_0^t 2\pi(f_1 + \Delta f\xi)d\xi + \theta_t(0)$$

[0027] ここで、 $\theta_t(0)$ は送信波の初期位相である。

[0028] 次に、受信波であるが、振幅は対象物の散乱断面積で決まり時間的に一定であるから、位相成分のみ考慮する。対象物の視線方向の速度を v 、対象物

までの距離を $r(t) = r(0) + vt$ ($v = dr/dt$)、対象物で反射した後に受信されるまでの時間遅れを $\tau(t) = 2r(t)/c$ とすると、受信波の位相 $\theta_r(t)$ は、数2で求められる。

[数2]

$$\begin{aligned}\theta_r(t) &= \theta_t(t - \tau) \\ &= \int_0^{t-\tau} 2\pi(f_l + \Delta f\xi) d\xi + \theta_t(0) + \Theta\end{aligned}$$

[0029] ここで、 Θ は対象物に反射したときの位相変化である。数1及び数2より積分し整理するとビート信号の位相 $\theta_b(t)$ は送信信号と受信信号の位相の差であることから、数3、数4で表せる。

[数3]

$$\begin{aligned}\theta_b(t) &= \theta_t(t) - \theta_r(t) \\ &= 2\pi(f_b + f_d)t + 2\pi\frac{2r(0)}{\lambda_l} - \Theta\end{aligned}$$

[数4]

$$f_b = 2\Delta f \frac{r(0)}{c}, \quad f_d = \frac{2v}{\lambda_l}$$

[0030] ここで数3から、ビート信号の周波数は、ビート周波数 f_b と、ドップラ周波数 f_d の値で決まることが分かる。また数4から、ビート周波数 f_b は対象物までの距離に依存し、ドップラ周波数 f_d は対象物との相対速度に依存する

ことが分かる。ただし、対象物との距離が大きい場合は一般的に $f_b \gg f_d$ ($f_b \sim f_b + f_d$) であるから、このビート信号の周波数から数5を利用して対象物までの距離を求めることができる。また、初期位相は数3の右辺第二項と第三項の和である。

[数5]

$$r = \frac{c}{2\Delta f} f_b = \frac{cT_m}{4F} f_b$$

[0031] 「ドップラ速度候補取得部」(0105)は、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得する機能を有する。「ドップラ速度」とは、レーダ装置に対する対象物の相対速度であり、ドップラ速度が正である場合には、対象物はレーダ装置から遠ざかる相対速度を有することになる。反対に負である場合には、対象物はレーダ装置に対して近づく相対速度を有することになる。原理的には数4から、ドップラ周波数を用いて対象物との相対速度を求めることが可能である。しかしながら、上述のようにドップラ周波数はビート周波数に比べて小さく検知するのが困難な場合が多い。よって、以下に示すように二以上の初期位相の差分からドップラ周波数を検知する。

[0032] FM-CW方式では掃引を周期 T_m で繰り返し行なう。そこで、 n 番目の掃引と $n+1$ 番目の掃引について考える。このとき対象物が運動をしているならば、それぞれの掃引での対象物までの距離は、 $v T_m$ だけ変化している。 n 番目の掃引での対象物までの距離と、 $n+1$ 番目の掃引での対象物までの距離を、それぞれ r_n 、 r_{n+1} とすると、これらの関係は、数6で表せる。

[数6]

$$r_{n+1} = r_n + vT_m$$

[0033] ここで、第三項の反射時の位相変化は T_m が短いため一定とみなすことができ、それぞれの掃引のビート信号の初期位相の差分 $\Delta\theta_b$ を考えると、数7で表せる。

[数7]

$$\begin{aligned}\Delta\theta_b(t) &= 2\pi \frac{2\{r_{n+1} - r_n\}}{\lambda_l} \\ &= 2\pi \frac{2v}{\lambda_l} T_m = 2\pi f_d T_m\end{aligned}$$

[0034] 数7は、ビート信号の初期位相がドップラ周波数 f_d で回転していることを示すものである。したがって、この初期位相の変化を測定することによりドップラ速度を得ることができる。

[0035] 取得した二以上のビート信号の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するための処理を、以下具体的に説明する。まずビート信号の一掃引時間のデータから複数の周波数成分を検出する。データの取得は1掃引時間 T_m 中に M ポイントサンプリングし、これをFFT（高速フーリエ変換）処理をすることにより $M/2$ 個の周波数成分が得られる。ここで得られる各周波数成分は、数5で関係付けられた距離からの反射信号に相当する。したがって、1掃引で距離方向に $M/2$ 個のデータを取得しているといえる。さらに、掃

引数をN回とすると時間方向にN個のデータが得られる。ここで、距離方向にm番目でかつ時間方向にn番目の位相のデータを ϕ_{mn} と表わすと、位相データは数8のようになる。

[数8]

$$\begin{pmatrix} \exp(j\phi_{11}) & \exp(j\phi_{12}) & \dots & \exp(j\phi_{1N}) \\ \exp(j\phi_{21}) & \exp(j\phi_{22}) & \dots & \exp(j\phi_{2N}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(j\phi_{\frac{M}{2}1}) & \exp(j\phi_{\frac{M}{2}2}) & \dots & \exp(j\phi_{\frac{M}{2}N}) \end{pmatrix}$$

[0036] また、ある距離方向にm番目の行の位相データを時間方向に並べたものが数9である。

[数9]

$$\begin{aligned} & \{\exp(j\phi_{m1}) \exp(j\phi_{m2}) \dots \exp(j\phi_{mN})\} \\ & = \{\exp(j2\pi f_d T_m) \exp(j2\pi f_d 2T_m) \dots \exp(j2\pi f_d NT_m)\} \end{aligned}$$

[0037] このデータ列は、前述のとおり周波数が f_d である信号を T_m ごとにサンプリングしたものとみなせる。したがって、このデータ列をもう一度FFTすることにより距離がm番目の行にある対象物のドップラ周波数 f_d のスペクトルを求めることができる。ドップラ周波数 f_d をサンプリング周波数 $f_m (= 1/T_m)$ でサンプリングしているものと同等であるので、サンプリング定理($2f_d < f_m$)を満たしている範囲であればドップラ周波数は一意で求めることができる。このときの測定可能範囲は数10のようになる。

[数10]

$$-\frac{\lambda_1}{4}f_m < v < \frac{\lambda_1}{4}f_m$$

[0038] 上記の測定可能範囲を超えた場合には折り返しを生じ、ドップラ周波数は一意に定まらず、不定性が生じてしまう。このような場合のドップラ周波数のスペクトルを示したものが図4である。Aで示されているスペクトルが真のドップラ速度を表すものであった場合に、折り返しが生じることにより、Bで示されているように、複数のドップラ速度候補が周期的に現れる。

[0039] 実際の観測においては、このように折り返しによる不定性が生じる場合であっても、サンプリング周波数をなるべく高くしたり、観測パラメータを調整したり、雨や雲などの対象物の物理的性質を考慮したりすることにより、真のドップラ速度を判別することが可能である。

[0040] <処理手順>

図5は、本実施例の処理手順の一例を表す流れ図である。まずFM波送信ステップ（ステップS0501）では、繰返し周波数掃引されるFM波を送信する。次に反射波受信ステップ（ステップS0502）では、反射波を受信する。ビート信号合成ステップ（ステップS0503）では、送信波と反射波とからビート信号を合成する。初期位相取得ステップ（ステップS0504）では、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する。ドップラ速度候補取得ステップ（ステップS0505）では、取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得する。

[0041] <実施形態1 効果>

[0042] 本実施形態のFM-CWレーダ装置、ドップラ速度測定方法により、折り返しによる不定性が生じた場合であっても、ドップラ速度を判別するためのドップラ速度候補が得られることにより、対象物の距離と相対速度の観測を

行うことができる。

<実施形態 2>

<実施形態 2 概要>

[0043] 本実施形態では、実施形態 1 の FM-CW レーダ装置を基本として、二種以上の送信波を送信することにより、折り返しが生じた場合であっても、複数のドップラ速度候補の内から最適ドップラ速度を得ることができる FM-CW レーダ装置及びドップラ速度測定方法を説明する。

<実施形態 2 構成>

[0044] 図 6 は、本実施形態に係る FM-CW レーダ装置の機能ブロックの一例を示すための図である。「FM-CW レーダ装置」(0600)は、「FM 波送信部」(0601)と、「反射波受信部」(0602)と、「ビート信号合成部」(0603)と、「初期位相取得部」(0604)と、「ドップラ速度候補取得部」(0605)とにより構成され、FM 波送信部は、さらに「複数波送信手段」(0606)を有し、ドップラ速度候補取得部は、さらに「絞込演算手段」(0607)を有する。「複数送信手段」と「絞込演算手段」以外の各構成は実施形態 1 における各構成と同様であるため、説明を省略する。

[0045] 「複数波送信手段」(0606)は、二種以上の送信波を送信する機能を有する。ここで送信される送信波は、実施形態 1 で述べたように所定の周期で周波数変調を繰り返す FM 波である。そして、二種以上の送信波は、それぞれの変調周期のみを異なるものとしたものである。例えば、一の送信波の 1 掃引の時間を $T_m = 250 \mu\text{sec}$ とすれば、この送信波の変調周波数は $f_m = 4 \text{ kHz}$ ($T_m = 1 / f_m$) となる。この場合に、例えば、変調周波数 $f_m = 3 \text{ kHz}$ となる送信波をもう一つの送信波として用いる。複数波送信手段は、このように異なる変調周期を有する二種以上の送信波を送信する。二種以上の送信波におけるそれぞれの変調周期は任意に定めることができる。この点については、絞込演算手段にも関連するので後述する。

[0046] 「絞込演算手段」(0607)は、各送信波に対応した前記初期位相の差

分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のドップラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う機能を有する。「速度軸で一致するものを選ぶ」とは、ある時刻における複数の送信波に基づいて得られる観測データの中で一致するものを選ぶという意である。以下に絞込演算手段における処理を具体的に説明する。

[0047] 実施形態1において述べたように、対象物のドップラ速度を得るために、複数の掃引におけるビート信号の初期位相の差分を求める。この初期位相の差分を、変調周波数の異なる二種以上の送信波のそれぞれについて求める。図7(A)は、変調周波数が4 kHzのFM波を一の送信波として用いて地上から鉛直方向に送信して雲を観測した場合の観測データである。縦軸を高度、横軸を位相差及び速度として、ある時刻におけるビート信号の位相変化率の分布をFFTにより求めて示したものである。図のように、高度3 kmから6 kmの範囲の領域において、位相変化率の分布が高い頻度で生じているのが分かる。したがって、この領域で雲が運動していることが分かる。しかし、 2π の周期で折り返しが生じているため、この観測データのみでは雲のドップラ速度を特定することはできない。

[0048] ここで、変調周波数が4 kHzのFM波と、変調周波数が3 kHzのFM波を二種の送信波とした場合には、図7(A)に示す観測データの他に、図7(B)に示すように、変調周波数が3 kHzのFM波による観測データを得ることができる。したがって、ある時刻の雲の運動を、変調周波数の異なる二のFM波によってドップラ速度を観測したものになる。

[0049] 図7に示すように、それぞれの観測データは速度(m/s)のスケールを等しくして、かつ、位相差ゼロの位置を揃えて表示している。一方、それぞれの変調周波数が異なるため、速度に対応する位相差は相違したものとなる。図7(A)において、位相変化率の分布が高い頻度で生じている速度域は、1周期(2π)ごとに存在する(0701、0702、0703)。図7(B)においても、位相変化率の分布が高い頻度で生じている速度域は、1周期(2π)ごとに存在する(0711、0712、0713)。そこで、

それぞれの観測データにおける位相変化率の分布が高い頻度で生じている速度域を比較してみると、速度において一致するものは、約 $+2.4$ (m/s) $\sim +2.9$ (m/s) の速度域 (0.701 、 0.711) に限られ、他の速度域においては一致しない。一致せずに他に現れているものは、折り返しにより現れているに過ぎず、実体を伴わない。したがって、実際の雲のドップラ速度は、両観測データにおいて一致した約 $+2.4$ (m/s) $\sim +2.9$ (m/s) であると特定することができる。よって、この速度で雲が上昇しているということが観測できる。

[0050] 折り返しは図示した範囲のほかにも存在するため、上述した約 $+2.4$ (m/s) $\sim +2.9$ (m/s) の速度域のほかにも一致する速度域が現れる。位相差が $-\pi \sim +\pi$ の1周期を基準とし、変調周波数が 4 kHz の場合の ± 3 周期目と、変調周波数が 3 kHz の場合の ± 4 周期目とにおける速度域が一致する。具体的には、約 $+21.4$ (m/s) $\sim +21.9$ (m/s) の速度域と、約 -16.6 (m/s) ~ -16.1 (m/s) の速度域とにおいて一致する。しかし、雲の速度は早くても 10 m/s 程度なので、これらの速度が現実的でないことが分かる。このようにして、折り返しにより生じるドップラ速度候補の中から特定ドップラ速度を絞り込むことができる。

[0051] なお、上記の例では変調周波数として 3 kHz と 4 kHz を選択したが、例えば 3 kHz と 7 kHz のように公倍数の大きな組み合わせを選択して速度軸で一致する間隔を広くすることもできる。これにより、広い速度範囲でドップラ速度を検出することが可能になる。また、 3 kHz と 5 kHz と 7 kHz などの三種の変調周波数を用いることも同様に可能である。

[0052] <処理手順>

本実施例の処理手順は実施例1の図5で示した処理手順と同様である。まずFM波送信ステップでは、繰返し周波数掃引される二種以上の送信波を送信する。次に反射波受信ステップでは、反射波を受信する。ビート信号合成ステップでは、送信波と反射波とからビート信号を合成する。初期位相取得ステップでは、複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する。ドッ

プラ速度候補取得ステップでは、各送信波に対応した前記初期位相の差分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のドップラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う。

＜実施形態２ 効果＞

[0053] 本実施形態のFM-CWレーダ装置により、折り返しによる不定性が生じた場合であっても、ドップラ速度を特定することが可能となる。

符号の説明

[0054] 0 1 0 0 FM-CWレーダ装置
 0 1 0 1 FM波送信部
 0 1 0 2 反射波受信部
 0 1 0 3 ビート信号合成部
 0 1 0 4 初期位相取得部
 0 1 0 5 ドップラ速度候補取得部

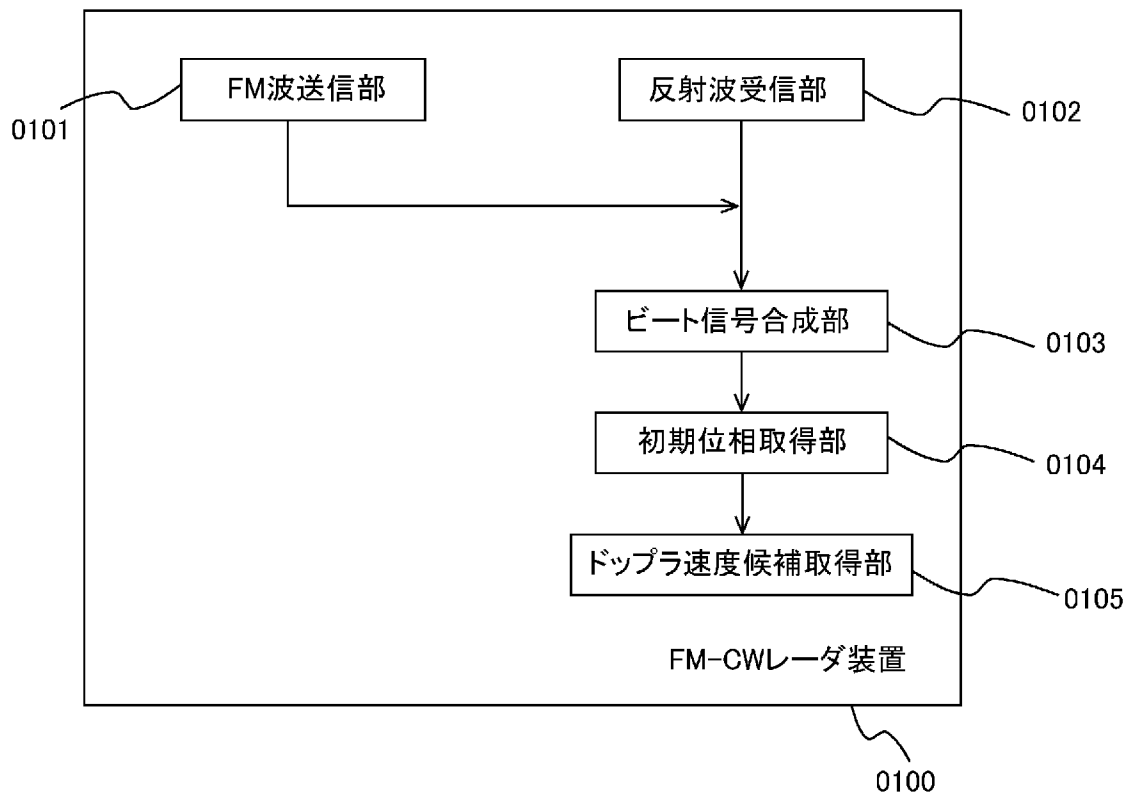
請求の範囲

- [請求項1] 繰返し周波数掃引されるFM波を送信するFM波送信部と、
反射波を受信する反射波受信部と、
送信波と反射波とからビート信号を合成するビート信号合成部と、
複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する初期位相取得部と、
取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するドップラ速度候補取得部と、
を有するFM-CWレーダ装置。
- [請求項2] 前記FM波送信部は、二種以上の送信波を送信する複数波送信手段を有し、
前記ドップラ速度候補取得部は、各送信波に対応した前記初期位相の差分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のドップラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う絞込演算手段を有する請求項1に記載のFM-CWレーダ装置。
- [請求項3] 繰返し周波数掃引されるFM波を送信するFM波送信ステップと、
反射波を受信する反射波受信ステップと、
送信波と反射波とからビート信号を合成するビート信号合成ステップと、
複数の掃引におけるビート信号の初期位相を取得する初期位相取得ステップと、
取得した二以上の初期位相の差分からドップラ速度候補を取得するドップラ速度候補取得ステップと、
からなるドップラ速度測定方法。
- [請求項4] 前記FM波送信ステップは、二種以上の送信波を送信する複数波送信サブステップを有し、
前記ドップラ速度候補取得ステップは、各送信波に対応した前記初期位相の差分を比較し、速度軸で一致するものを選ぶことで複数のド

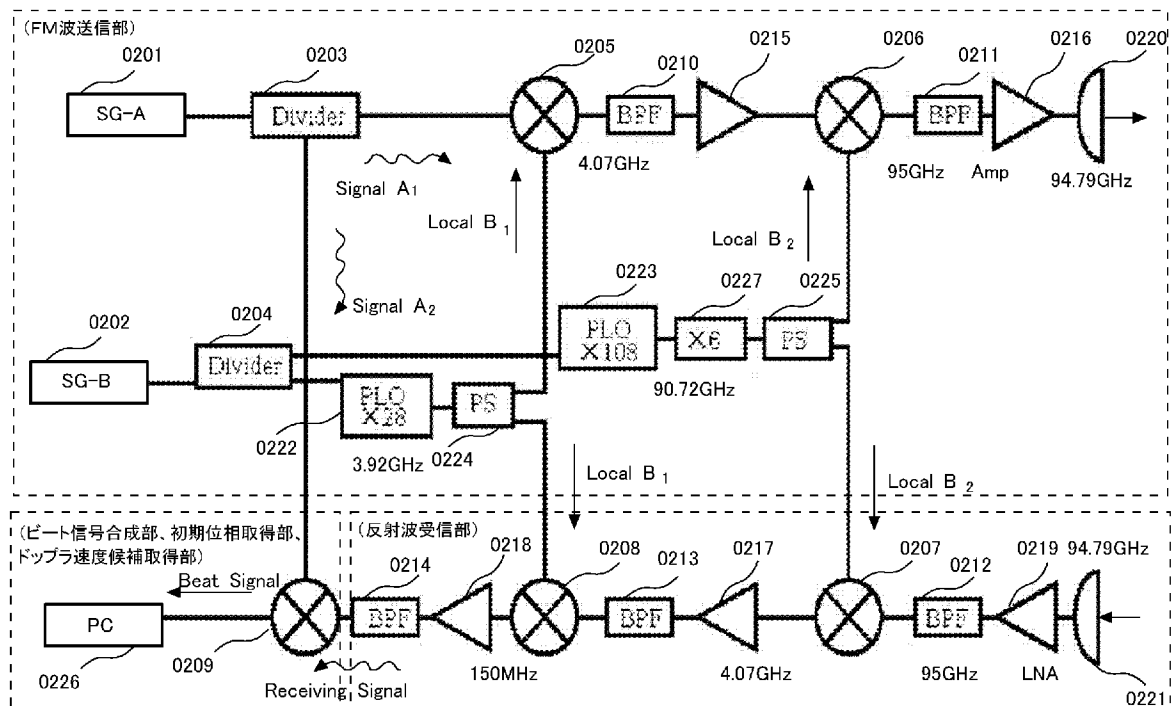
ツプラ速度候補から最適ドップラ速度を得るための絞り込みを行う絞り込演算サブステップを有する請求項 3 に記載のドップラ速度測定方法

。

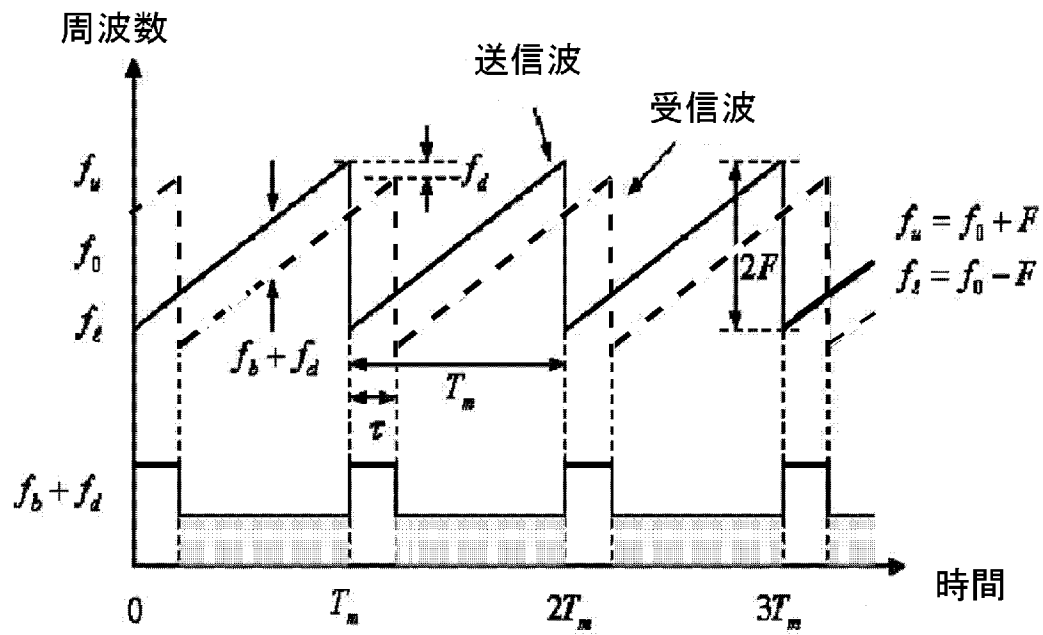
[図1]



[図2]

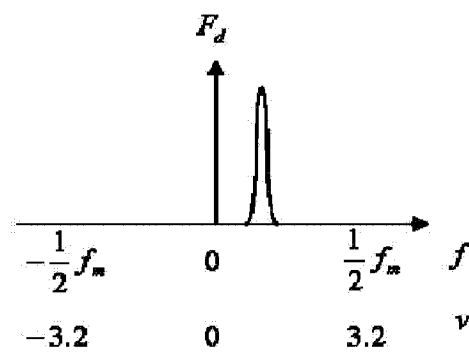


[図3]

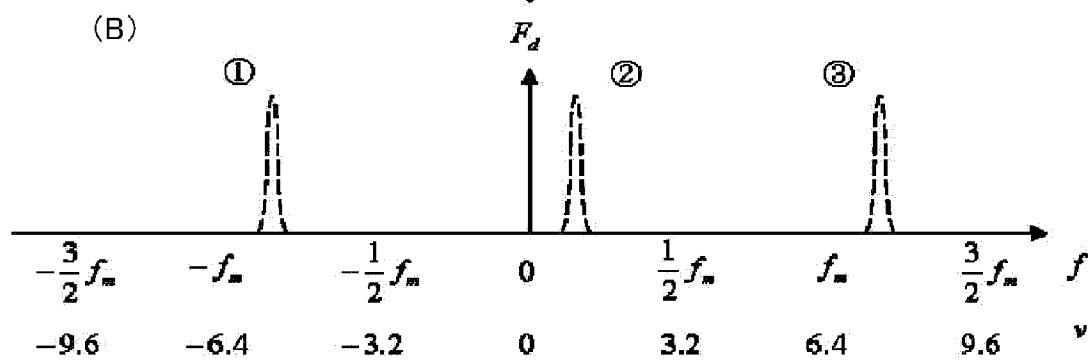


[図4]

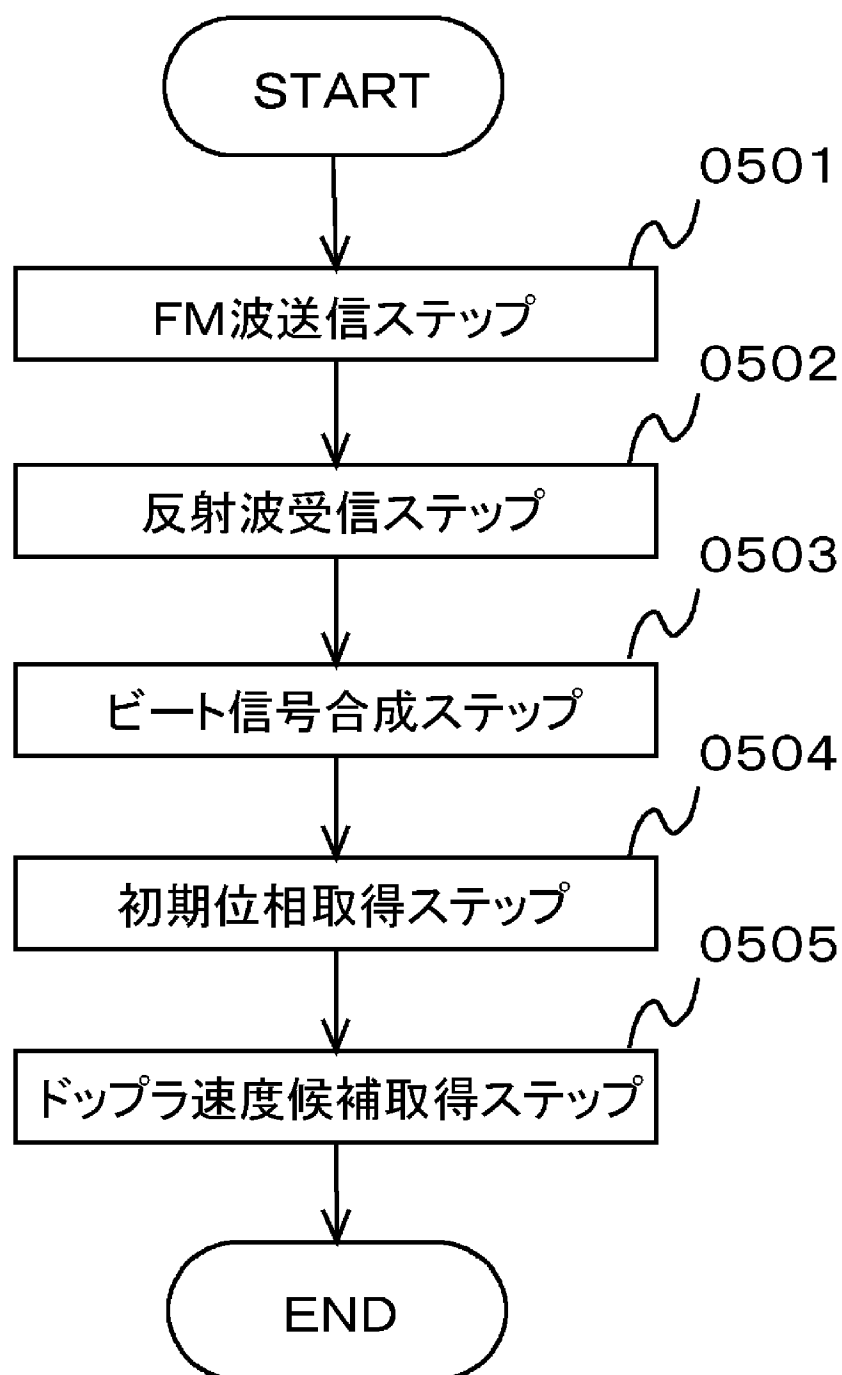
(A)



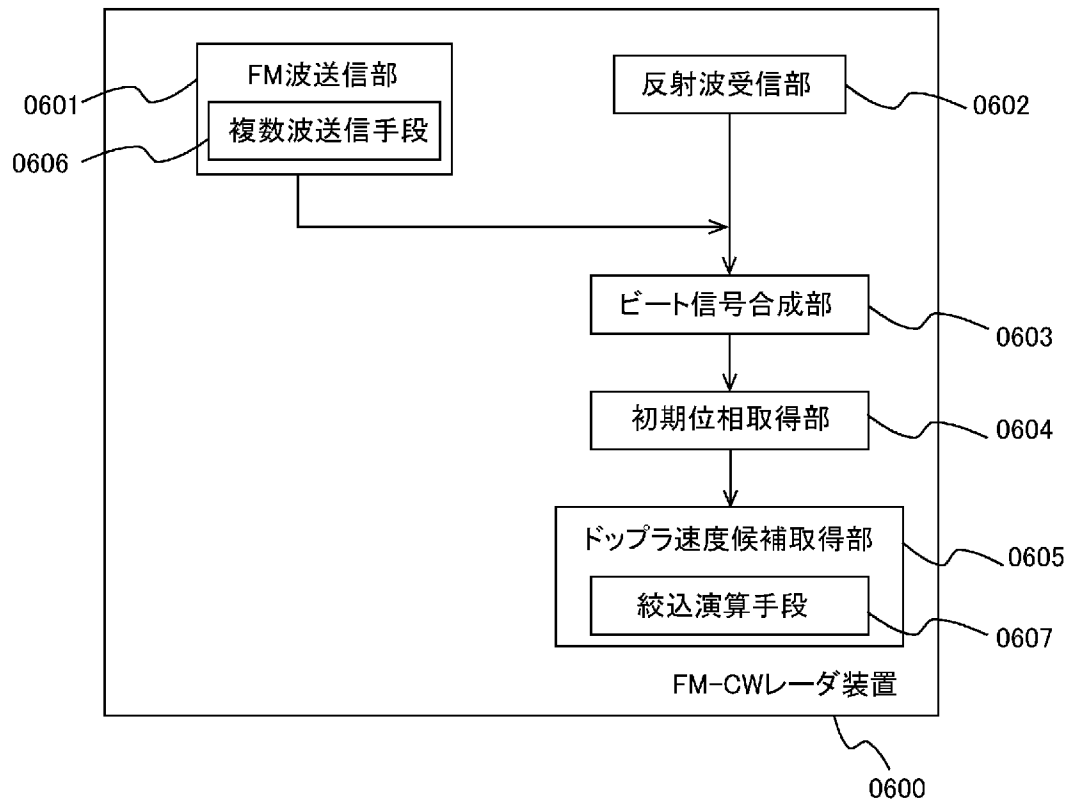
(B)



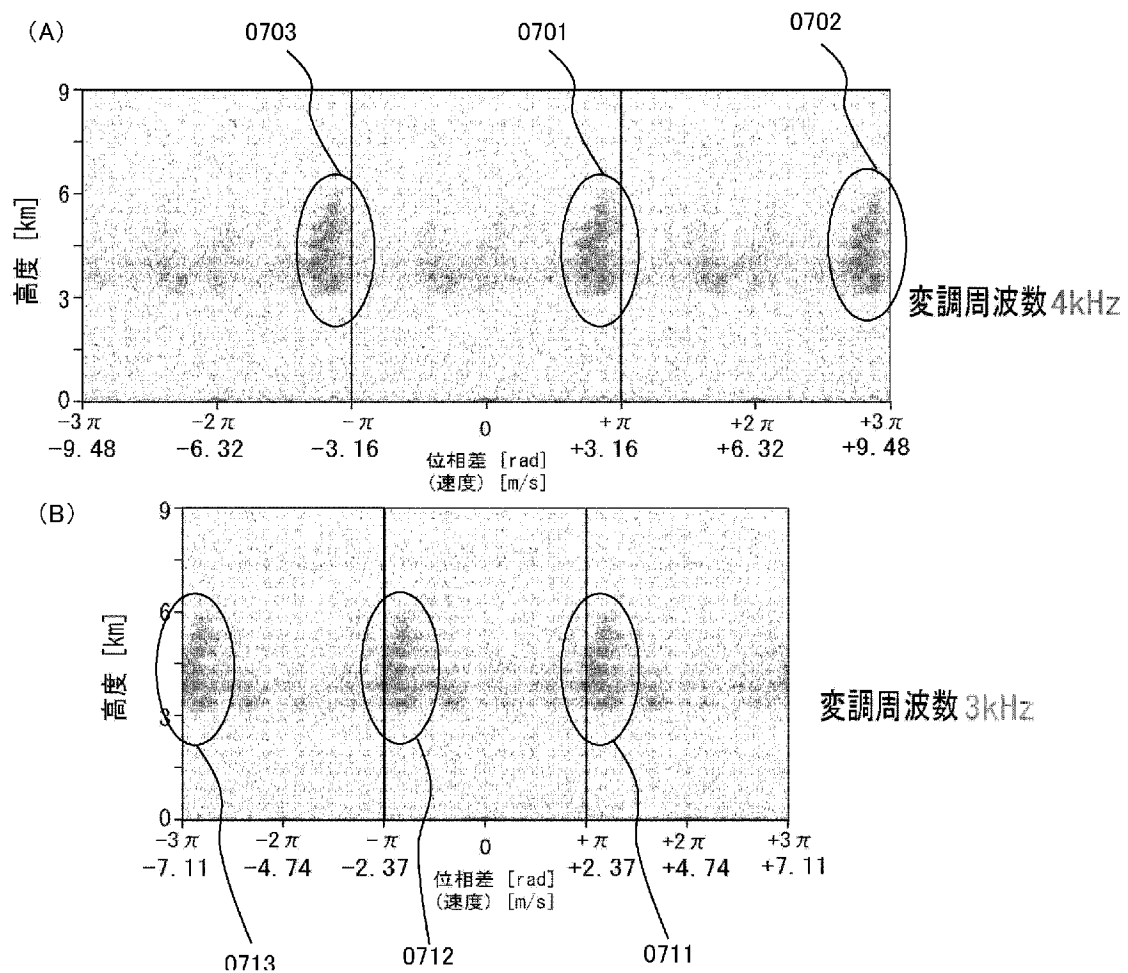
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061970

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S13/34(2006.01)i, G01S13/58(2006.01)i, G01S13/95(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S13/34, G01S13/58, G01S13/95

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2006/134912 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 21 December 2006 (21.12.2006), paragraphs [0010] to [0016], [0023] to [0027], [0047] to [0053], [0090] to [0107]; fig. 1 to 3, 8 to 9 & US 2008/0088500 A1	1, 3 2, 4
X Y	JP 2001-500621 A (CelsiusTech Electronics AB.), 16 January 2001 (16.01.2001), page 3, line 3 to page 10, line 7; fig. 2 to 3 & US 6434506 B1 & WO 1998/012574 A1 & KR 10-2000-0036154 A	1, 3 2, 4
X	JP 2003-194924 A (Mitsubishi Electric Corp.), 09 July 2003 (09.07.2003), paragraphs [0001], [0006], [0026] & US 2003/0117311 A1 & DE 10228583 A1	1, 3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 August, 2010 (13.08.10)Date of mailing of the international search report
24 August, 2010 (24.08.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061970

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2009-510410 A (Valeo Schalter und Sensoren GmbH), 12 March 2009 (12.03.2009), paragraphs [0003] to [0005], [0007] & US 2008/0191928 A1 & WO 2007/036273 A1 & DE 102005048209 A1	1, 3
Y	JP 2004-85452 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 18 March 2004 (18.03.2004), paragraphs [0031] to [0038] (Family: none)	2, 4
Y	JP 2004-151022 A (Denso Corp.), 27 May 2004 (27.05.2004), paragraphs [0015] to [0024] (Family: none)	2, 4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01S13/34(2006.01)i, G01S13/58(2006.01)i, G01S13/95(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01S13/34, G01S13/58, G01S13/95

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	WO 2006/134912 A1（株式会社村田製作所）2006.12.21, 段落 0010-0016, 0023-0027, 0047-0053, 0090-0107, 図 1-3, 8-9 & US 2008/0088500 A1	1、3 2、4
X Y	JP 2001-500621 A（セルシウステク エレクトロニクス エービー） 2001.01.16, 第3頁第3行-第10頁第7行, 図 2-3 & US 6434506 B1 & WO 1998/012574 A1 & KR 10-2000-0036154 A	1、3 2、4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 3 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

中村 説志

2 S

3 2 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2003-194924 A (三菱電機株式会社) 2003. 07. 09, 段落 0001, 0006, 0026 & US 2003/0117311 A1 & DE 10228583 A1	1、3
X	JP 2009-510410 A (バレオ・シャルター・ウント・ゼンゾーレン・ゲーエムベーハー) 2009. 03. 12, 段落 0003-0005, 0007 & US 2008/0191928 A1 & WO 2007/036273 A1 & DE 102005048209 A1	1、3
Y	JP 2004-85452 A (株式会社豊田中央研究所) 2004. 03. 18, 段落 0031-0038 (ファミリーなし)	2、4
Y	JP 2004-151022 A (株式会社デンソー) 2004. 05. 27, 段落 0015-0024 (ファミリーなし)	2、4