

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6624601号
(P6624601)

(45) 発行日 令和1年12月25日(2019.12.25)

(24) 登録日 令和1年12月6日(2019.12.6)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 S	7/02	(2006.01)	GO 1 S	7/02	2 1 0
GO 1 S	7/292	(2006.01)	GO 1 S	7/292	2 0 0
GO 1 S	13/28	(2006.01)	GO 1 S	13/28	2 0 0
GO 1 S	13/34	(2006.01)	GO 1 S	13/28	2 1 0
			GO 1 S	13/34	

請求項の数 8 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-52630 (P2016-52630)</p> <p>(22) 出願日 平成28年3月16日 (2016. 3. 16)</p> <p>(65) 公開番号 特開2017-166985 (P2017-166985A)</p> <p>(43) 公開日 平成29年9月21日 (2017. 9. 21)</p> <p>審査請求日 平成30年10月1日 (2018. 10. 1)</p> <p>(出願人による申告) 平成27年度、総務省 「ICTを活用した次世代ITSの確立」のうち、「インフラレーダーシステム技術の開発」に関する委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地</p> <p>(74) 代理人 110002952 特許業務法人鷺田国際特許事務所</p> <p>(72) 発明者 劉 偉傑 福岡県福岡市博多区美野島四丁目1番62号 パナソニックシステムネットワークス株式会社内</p> <p>(72) 発明者 中川 洋一 福岡県福岡市博多区美野島四丁目1番62号 パナソニックシステムネットワークス株式会社内</p> <p>審査官 藤田 都志行</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置および目標物体検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を受信して複数の受信信号を出力する複数の受信アンテナと、

前記複数の受信アンテナのそれぞれが受信した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得する複数の周波数解析処理部と、

前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出する一致性算出部と、

前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出する複数のピーク検出部と、

前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する物体検出部と、

を有するレーダ装置。

【請求項2】

前記一致性指標は、前記周波数特性の標準偏差あるいは分散である、
請求項1に記載のレーダ装置。

【請求項3】

前記周波数特性は、前記複数の受信信号のパワースペクトルである、
請求項1または2に記載のレーダ装置。

【請求項 4】

前記複数のピーク検出部は、予め測定した前記一致性指標を用いて、前記1つ以上の物体のうち、予め定めた除外する物体の周波数特性を補正し、前記補正された除外する物体の周波数特性に基づいて決定されたしきい値を前記所定の条件として、前記ピークを検出する、

請求項1から3のいずれか一項に記載のレーダ装置。

【請求項 5】

前記周波数解析処理部は、前記複数の受信信号を加算した加算結果に対して周波数解析を行い、前記複数の受信信号の合計の周波数特性を取得し、

前記ピーク検出部は、前記一致性指標を用いて前記複数の受信信号の合計の周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から前記所定の条件を満たすピークを検出する、
請求項1から4のいずれか一項に記載のレーダ装置。

10

【請求項 6】

前記レーダ装置は、パルス圧縮方式のレーダ装置であって、

前記ピーク検出部は、前記検出されたピークに基づいて、ドップラ周波数を算出する、
請求項1から5のいずれか一項に記載のレーダ装置。

【請求項 7】

前記レーダ装置は、FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式の連続波レーダ装置であって、

前記周波数特性および前記一致性指標に基づいてビート周波数を検出するビート周波数検出部をさらに有し、

20

前記目標物体検出部は、前記ビート周波数に基づいて前記目標物体を検出する、

請求項1から5のいずれか一項に記載のレーダ装置。

【請求項 8】

1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を複数の受信アンテナが受信して出力した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得し、

前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出し、

前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出し、

30

前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する、

レーダ装置の目標物体検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、レーダ装置の測定結果を利用して、周辺に存在する物体を誤検出なく検出することができるレーダ装置および目標物体検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

40

近年、車両の周囲に存在する、他車両、歩行者、二輪車、または、路上にある設置物を検出するレーダ装置が車両に搭載されることが増加している。車載用のレーダ装置は、自車両の前方や側方から接近してくる物体を検出し、自車両との相対位置、または、自車両との相対速度を測定する。そして、車載用のレーダ装置は、測定結果に基づき、自車両と物体とが衝突する可能性の有無を判断し、可能性があるとは判断した場合には、運転手に警告を提示し、または、自車両の走行を制御することによって、衝突を回避させる。

【0003】

また、道路周辺に設置されたレーダ装置を用いて、道路の交通を監視または管理するシステムが開発されている。このようなシステムは、例えば、交差点の周辺に設置されたレーダ装置によって、交差点を通過する車両または歩行者を検出し、または、交通流量を計

50

測することによって、信号機を適応的に制御する。また、このようなシステムは、道路上で車両と歩行者との複数物体の衝突の可能性があるると判断した場合、運転手や歩行者に警告を提示して、複数物体の衝突を回避させる。

【0004】

レーダ装置の他の利用法は、例えば空港、または、その他の施設を監視するために設置される例がある。このようなレーダ装置は、空中または地上からの物体を検知し、関連セキュリティシステムに情報を提供することで、物体の侵入を防止する。

【0005】

このように、レーダ装置は、様々な場面で物体を検出するために利用される。しかしながら、降雨時、降雪時や、霧、粉塵、砂、枯葉等が存在する環境等、レーダ装置の周辺に微粒子状の障害物が存在する場合には、微粒子からの不要反射エコーにより、物体の検出精度が低下してしまう。このような事態に対応する技術として、特許文献1には、降雨時や降雪時には、レーダ信号の積算時間を非降雨時や非降雪時よりも延長することで、目標物体の検出精度を改善する技術が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2008-170323号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0007】

しかしながら、上述した特許文献1に開示された技術では、レーダ信号の積算時間を非降雨時や非降雪時よりも延長するため、検出時間も延長される。また、レーダ装置の用途によっては、積算時間を延長することが困難な場合があり、そのような場合には特許文献1に開示された技術を適用することは困難である。

【0008】

本開示の非限定的な実施例は、このような事情に鑑みてなされたものであって、検出時間を延長せずに降雨時や降雪時における目標物体の検出精度を改善することができるレーダ装置および目標物体検出方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

30

【0009】

本開示の一態様に係るレーダ装置は、1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を受信して複数の受信信号を出力する複数の受信アンテナと、前記複数の受信アンテナのそれぞれが受信した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得する複数の周波数解析処理部と、前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出する一致性算出部と、前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出する複数のピーク検出部と、前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する物体検出部と、を有する。

40

【0010】

本開示の一態様に係るレーダ装置の目標物体検出方法は、1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を複数の受信アンテナが受信して出力した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得し、前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出し、前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出し、前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する。

【0011】

これらの概括的かつ特定の態様は、システム、装置および方法の任意の組み合わせによ

50

り実現してもよい。

【発明の効果】

【0012】

本開示の一態様によれば、検出時間を延長せずに降雨時や降雪時における目標物体の検出精度を改善することができる。

【0013】

本開示の一態様における更なる利点および効果は、明細書および図面から明らかにされる。かかる利点および/または効果は、いくつかの実施形態並びに明細書および図面に記載された特徴によってそれぞれ提供されるが、1つまたはそれ以上の同一の特徴を得るために必ずしも全てが提供される必要はない。

10

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本開示の第1の実施の形態に係るレーダ装置の構成の一例を示すブロック図

【図2A】第1の実施の形態に係るレーダ信号処理装置においてパルス符号生成部が生成する符号系列の一例を示す図

【図2B】第1の実施の形態に係るレーダ信号処理装置においてパルス変調部による位相変調結果の一例を示す図

【図3A】レーダ信号処理装置におけるパルス圧縮処理部による位相同期検波の結果の一例を示す図

【図3B】レーダ信号処理装置におけるパルス圧縮処理部が有するパルス圧縮回路の一例を示す図

20

【図3C】レーダ信号処理装置における図3Aの信号に対する合成器の出力を示す図

【図4】周波数解析処理部の行う周波数特性取得処理について説明するための図

【図5A】目標物体からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトルの一例を示す図

【図5B】目標物体からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトルの標準偏差の一例を示す図

【図6A】微粒子状の障害物の一例として、雨滴からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトルの一例を示す図

【図6B】微粒子状の障害物の一例として、雨滴からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトルの標準偏差の一例を示す図

30

【図7A】目標物体からの反射波を受信した受信アンテナの調整後のパワースペクトルを例示した図

【図7B】雨滴からの反射波を受信した受信アンテナの調整後のパワースペクトルを例示した図

【図8】本開示の第2の実施の形態に係るレーダ装置の構成の一例を示すブロック図

【図9A】チャープ方式のパルス圧縮レーダにて使用されるパルス符号を例示した図

【図9B】チャープ方式のパルス圧縮レーダにおけるパルス圧縮処理部の周波数帯遅延時間特性を示す図

【図9C】チャープ方式のパルス圧縮レーダにおけるパルス圧縮処理部によるパルス圧縮処理の結果の一例を示す図

40

【図10】本開示の第3の実施の形態に係るレーダ装置の構成の一例を示すブロック図

【図11A】FMCW方式の連続波レーダにて使用される三角形の波形をした信号を例示した図

【図11B】FMCW方式の連続波レーダにて使用されるビート周波数の一例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0015】

<本開示に至る経緯>

本開示の実施の形態について詳細な説明を行う前に、本開示に至る経緯について説明する。

50

【 0 0 1 6 】

降雨時、降雪時や、霧、粉塵、砂、枯葉等が存在する環境等、レーダ装置の周辺に微粒子状の障害物が存在する場合には、微粒子からの不要反射エコーにより、物体の検出精度が低下してしまう。特に、高周波数（無線周波数）または短波長のレーダ送信波を用いたレーダ装置の場合、微粒子のサイズがレーダの波長と比較して相対的に大きいので、微粒子による不要反射エコーの影響を大きく受けてしまう。

【 0 0 1 7 】

例えば上述した特許文献 1 に開示されている技術では、降雨、降雪、霧や湿度が高い場合には、レーダ受信信号の積算時間を非降雨時や非降雪時よりも長く取り、S N R（信号対雑音比）を高め、目標物体検出能力を改善している。

10

【 0 0 1 8 】

しかしながら、例えば監視用途にレーダ装置が使用される場合には、監視領域を 1 回スキャンするために要する時間が短いことが望ましい。また、ある 1 つの方向に照射できる時間や、レーダ受信信号の最大積算時間が、レーダ装置に要求されるスペック上、制限されている場合もある。このため、特許文献 1 に開示された技術のように、降雨時や降雪時にレーダ受信信号の積算時間を延長することが難しい場合がある。

【 0 0 1 9 】

本開示の非限定的な実施例は、このような事情に鑑み、レーダ装置の周辺に微粒子状の障害物が存在する場合でも、精度よく周囲の物体を検出することができるレーダ装置および目標物体検出方法を提供する。

20

【 0 0 2 0 】

以下、本開示の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

< 第 1 の実施の形態 >

[レーダ装置 1 0 0 の構成例]

図 1 は、本開示の第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 1 0 0 の構成の一例を示すブロック図である。図 1 では、本開示の第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 1 0 0 は、送信アンテナ 1 0、複数の受信アンテナ 2 0 # 1 ~ # M（M は 2 以上の整数）、および、レーダ信号処理装置 3 0 を有する。なお、測定情報出力処理装置 4 0 は、レーダ装置 1 0 0 の外部に存在する。本開示の第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 1 0 0 としては、符号系列により離散的に位相変調を行い、受信時に符号系列の相関処理によりパルス圧縮を行う位相符号変調方式のパルス圧縮レーダが想定されている。

30

【 0 0 2 2 】

送信アンテナ 1 0 は、レーダ信号処理装置 3 0 の生成したレーダ送信信号を周囲の空間に送信する。レーダ装置 1 0 0 の周囲に物体が存在する場合、レーダ装置 1 0 0 は、周囲物体にレーダ送信信号が反射され、反射波を受信する。受信アンテナ 2 0 # 1 ~ # M は、反射波を受信して受信信号を出力する。

【 0 0 2 3 】

受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M は、例えば複数のアンテナ素子を有するアレイアンテナである。ただし、本開示では、アレイアンテナの形状および配列方式については特に限定しない。受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M のアンテナ形状としては、直線状、平面状、または曲面状のいずれでもよい。また、受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M の配列方式としては、規則配列でも不規則配列でもよい。なお、以下の実施の形態において、M 個の受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M をまとめて、受信アンテナ 2 0 と記載することがある。

40

【 0 0 2 4 】

なお、図 1 においては送信アンテナ 1 0 と受信アンテナ 2 0 # 1 ~ # M とを別体として図示したが、これらは同体であってもよい。

【 0 0 2 5 】

レーダ信号処理装置 3 0 は、受信アンテナ 2 0 から取得した受信信号を処理し、当該受信信号に基づいて、レーダ装置 1 0 0 から物体までの距離やドップラ周波数の算出、およ

50

び到来方向の推定等を行う。さらに、レーダ信号処理装置 30 は、レーダ装置 100 が雨、雪、霧、粉塵、砂、枯葉等の微粒子状の障害物が存在する環境に置かれている場合、受信信号から、微粒子に起因する不要反射エコーの影響を取り除き、精度よく目標物体を検出するための処理を行う。レーダ信号処理装置 30 の動作の詳細については、後述する。

【0026】

測定情報出力処理装置 40 は、レーダ信号処理装置 30 が出力する、レーダ装置 100 から目標物体までの距離、ドップラ周波数、方向等の情報に基づいて、目標物体の可視化処理や種類判別処理等を行い、レーダ全体としての出力情報を生成する。測定情報出力処理装置 40 の処理については、従来の技術を適用すればよく、本実施の形態では説明を省略する。

【0027】

[レーダ信号処理装置 30 の構成例]

次に、レーダ信号処理装置 30 の構成、各構成の動作等について詳細に説明する。図 1 では、レーダ信号処理装置 30 は、パルス符号生成部 31、パルス変調部 32、無線送信部 33、受信信号処理部 34 # 1 ~ 34 # M、一致性算出部 35、および方向推定部 36 を有する。

【0028】

パルス符号生成部 31 は、位相変調用の符号系列を生成する。図 2 A および図 2 B は、第 1 の実施の形態に係るレーダ信号処理装置 30 において送信に使用されるパルス符号を例示した図である。図 2 A は、パルス符号生成部 31 が生成する符号系列の一例を示す図である。パルス符号生成部 31 が生成する符号系列は、例えば Barker 符号等を利用すればよい。図 2 A には、一例として、7 ビットの符号系列を示している。なお、図 2 A において、符号 + は位相 0、符号 - は位相 π を示している。

【0029】

図 2 B は、パルス変調部 32 による位相変調結果の一例を示す図である。パルス変調部 32 は、高周波送信信号、すなわちキャリア周波数信号をパルス化し、パルス期間内で高周波送信信号の位相を 101 から入力した符号系列に基づき変調する。図 2 B において、矩形はパルス期間を示しており、矩形内信号の周波数が送信周波数である。

【0030】

無線送信部 33 は、位相符号変調したパルス信号に対して、D/A 変換、電力増幅、送信ビームフォーミング等を必要に応じて行い、レーダ送信信号を生成して送信アンテナ 10 に出力する。

【0031】

受信信号処理部 34 # 1 ~ 34 # M は、受信アンテナ 20 # 1 ~ 20 # M のそれぞれが受信した受信信号を取得し、受信信号に対する処理を行って一致性算出部 35 および方向推定部 36 に出力する。受信信号処理部 34 # 1 ~ 34 # M は、それぞれ無線受信部 341、パルス圧縮処理部 342、加算処理部 343、周波数解析処理部 344、ピーク検出部 345 を有する。なお、以下の実施の形態において、受信信号処理部 34 # 1 ~ 34 # M をまとめて、受信信号処理部 34 と記載することがある。

【0032】

無線受信部 341 は、受信アンテナ 20 # 1 ~ 20 # M のいずれかが受信した受信信号を増幅し、必要に応じて、中間周波数 (IF: Intermediate Frequency) 変換、A/D 変換等を行ってパルス圧縮処理部 342 に出力する。

【0033】

パルス圧縮処理部 342 は、無線受信部 341 から入力された受信信号に対して位相同期検波 (I/Q 検波) を行うことにより受信信号の位相を再生する。図 3 A、図 3 B および図 3 C は、レーダ信号処理装置 30 におけるパルス圧縮について説明するための図である。図 3 A は、パルス圧縮処理部 342 による位相同期検波の結果の一例を示す図である。図 3 A において、正の幅で位相 0 を示し、負の幅で位相 π を示している。

【0034】

10

20

30

40

50

図3Bは、パルス圧縮処理部342が有するパルス圧縮回路の一例を示す図である。図3Bでは、パルス圧縮回路は、タップ付の遅延線路と、合成器とを有する。図3Bに示す遅延線路において、各タップの遅延時間はパルス幅を変調用符号長で分割した長さである。パルス幅がである場合、図3Aでは変調用符号長が7であるため、各タップの遅延時間は $\tau/7$ である。

【0035】

そして、パルス圧縮処理部342は、各タップ信号を合成器に入力する際の極性をパルス符号生成部31が生成した符号に基づいて確定する。具体的には、例えば、図2Aにおいて、パルス符号生成部31が符号系列「+++--+-」を生成した場合、パルス圧縮処理部342は、これを逆順とした「- - - + + - +」を、入力する際の極性とすればよい。図3Bに示すように、合成器の出力は各入力P1~P7の合計である。

10

【0036】

図3Cは、図3Aの信号に対する合成器の出力を示す図である。図3Cでは、合成器の出力は、送信パルスの幅 τ の7分の1の $\tau/7$ にパルス圧縮され、振幅が7倍に伸長される。図3Cに示す合成器の出力は、目標物体からの反射エコーを示し、振幅の高いパルスが目標物体の存在を示している。このため、パルスの出現時間に基づいて、レーダ装置100から目標物体までの距離を算出することができる。

【0037】

図3Cにおける、パルス圧縮レーダでは、受信信号のパルス幅が送信信号のパルス幅の(変調用符号長)分の1に圧縮されるため、圧縮しないパルスレーダと比較して距離分解能を高めることができる。なお、図3A~図3Cでは変調用符号長を7としたが、この値は一例であり、本開示では変調用符号長については特に限定しない。

20

【0038】

加算処理部343は、レーダ装置100を基準として、同一方向における反射エコーを所定数毎に積分する。所定数は1以上の整数値であり、本開示では、加算処理部343が行う積分の加算数については特に限定しない。なお、加算処理部343が加算処理を行う回数を増やすと、受信信号に対する信号対雑音比(SNR:Signal-to-Noise Ratio)を改善することができるが、リアルタイム性(即時応答性)が悪くなるため、加算数はSNRとリアルタイム性の両方を所望のレベルで満たすような値に設定されることが望ましい。

30

【0039】

周波数解析処理部344は、同一の空間位置、すなわちレーダ装置100を基準として同一方向かつ同一距離に存在する複数の反射エコー値に対し、フーリエ変換を行い、受信信号の周波数特性を算出する。以下、具体例を挙げて説明する。図4は、周波数解析処理部344の行う周波数特性取得処理について説明するための図である。

【0040】

図4では、図2に例示した送信パルスを、レーダ装置100を基準として同一方向に対しN個の送信周期Tで送信し、図3に示す受信信号を受信した場合を想定している。すなわち、図4において、送信パルスは図2Bに例示した符号変調パルスであり、受信信号 $x(t)$ は図3Cに示した圧縮信号である。図4に示す s は受信信号のパルス幅を示しており、すなわち図4の s と図3Cの $\tau/7$ とは同じ時間長である。

40

【0041】

なお、図4では、1つの送信周期T内に1つの送信パルスがある場合について示しているが、1つの送信周期T内で複数の送信パルスを送信した場合には、受信信号を加算処理部343が加算して加算結果を受信信号 $x(t)$ とする。

【0042】

図4において、 s はレーダの距離分解能に対応している。 s の距離サンプリングを距離ピンと称する。図4に示す例は、K個の距離ピンを有するとする。また、各距離ピンに対応するN個の信号をパルスヒットと称する。

【0043】

50

周波数解析処理部 3 4 4 は、距離ピン毎に、以下の数式 (1) を用いてフーリエ変換を行う。

【数 1】

$$X_k(f) = \sum_{t=1}^N x_k(t) e^{-i2\pi f t / N} \quad (1)$$

【 0 0 4 4 】

数式 (1) において、k は距離ピンを示し、k は 1 から K 以下の整数である。また、f は周波数である。周波数解析処理部 3 4 4 は、各距離ピンに対し、以下の数式 (2) を用いてパワースペクトル $P_k(f)$ を算出する。

10

【数 2】

$$P_k(f) = \|X_k(f)\|^2 \quad (2)$$

【 0 0 4 5 】

ピーク検出部 3 4 5 は、受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M 毎のパワースペクトルを、後述する一致性算出部 3 5 が算出する一致性指標に基づいて調整し、調整後のピーク位置に対応する周波数を求める。ピーク検出部 3 4 5 の処理の詳細については、一致性算出部 3 5 の処理について説明した後に記載する。

20

【 0 0 4 6 】

一致性算出部 3 5 は、受信信号処理部 3 4 # 1 ~ 3 4 # M のそれぞれが有する周波数解析処理部 3 4 4 からパワースペクトル $P_k(f)$ を取得し、これらと比較して複数の受信アンテナ 2 0 から取得した複数の受信信号間の一致している度合いである一致性指標を算出する。一致性指標としては、例えば受信信号間の標準偏差を使用すればよい。

【 0 0 4 7 】

一致性算出部 3 5 は、以下の数式 (3) を用いて複数の受信アンテナ 2 0 から取得した複数の受信信号間の標準偏差 $\sigma(f)$ を算出する。

【数 3】

$$\sigma(f) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (P_{k,m}(f) - \mu_k(f))^2} \quad (3)$$

30

【 0 0 4 8 】

ただし、数式 (3) において、 $P_{k,m}(f)$ は、m (m = 1 ~ M) 個目の受信アンテナ 2 0 のパワースペクトルである。 $\mu_k(f)$ は、 $P_{k,m}(f)$ の平均値であり、以下の数式 (4) で算出される。

【数 4】

$$\mu_k(f) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{k,m}(f) \quad (4)$$

40

【 0 0 4 9 】

図 5 A および図 5 B は、目標物体からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトルの一例を示す図である。図 5 A は、目標物体からの反射波を受信した 4 つの受信アンテナのパワースペクトルを例示する図であり、図 5 B は目標物体からの反射波を受信した 4 つの受信アンテナのパワースペクトルの標準偏差を示す図である。また、図 6 A および図 6 B は、微粒子状の障害物の一例として、雨滴からの反射波を受信した受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M のパワースペクトルの一例を示す図である。図 6 A は、雨滴からの反射

50

波を受信した4つの受信アンテナのパワースペクトルを例示する図であり、図6Bは雨滴からの反射波を受信した4つの受信アンテナのパワースペクトルの標準偏差を示す図である。

【0050】

図5A、図5Bと図6A、図6Bとをそれぞれ比較すると、パワースペクトルのピーク位置周辺(図5A、図5Bおよび図6A、図6Bの丸で囲んだ部位)において、図6Bに示す雨滴の場合と比較して、図5Bに示す目標物体は標準偏差が小さい。これは、雨滴からの反射波を受信した受信アンテナよりも目標物体からの反射波を受信した受信アンテナの方が、パワースペクトルの標準偏差が小さい、すなわち一致性が高いことを意味している。

10

【0051】

つまり、送信アンテナ10からの送信信号が到達できる空間範囲内に歩行者や車等の目標物体が存在する場合は、反射ビームの散乱は小さいので、受信アンテナ20#1~20#Mのそれぞれが受信した反射波に基づくパワースペクトルがピークとなる位置(周波数)はほぼ一致する。しかし、送信アンテナ10からの送信信号が到達できる空間範囲内に雨滴等の微粒子状の障害物が存在する場合は、反射ビームの散乱が大きくなるため、受信アンテナ20#1~20#Mのそれぞれが受信した反射波に基づくパワースペクトルがピークとなる位置が一致しなくなる。

【0052】

このように一致性算出部35が算出した一致性の指標(上述した例では受信アンテナ毎のパワースペクトルの標準偏差)は、ピーク検出部345に出力される。ピーク検出部345は、受信アンテナ毎のパワースペクトルを一致性の指標に基づき調整し、調整後のパワースペクトルに基づいて、目標物体に対応するピーク位置を特定する。

20

【0053】

ピーク検出部345がパワースペクトルを調整する方法については本開示では特に限定しないが、例えば以下のような方法により調整を行えばよい。すなわち、ピーク検出部345は、以下の数式(5)を用いて調整後のパワースペクトル $Q_{k,m}(f)$ を算出する。つまり、一致性が低い受信アンテナのパワースペクトルを減衰させる。

【数5】

$$Q_{k,m}(f) = P_{k,m}(f) - \alpha \sigma(f) \quad (5)$$

30

ただし、数式(5)において、 α は任意の係数である。

【0054】

なお、上記説明ではピーク検出部345の算出する一致性指標として、パワースペクトルの標準偏差を使用した。本開示はこれには限定されない。例えば、一致性指標として、パワースペクトルの分散を使用してもよい。

【0055】

ピーク検出部345は、調整したパワースペクトルに基づいて、目標物体に対応するピークを検出する。図7Aは、目標物体からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトル(以後目標物体のパワースペクトルと称する)の調整後のグラフを示す図であり、図7Bは、微粒子状の障害物の一例としての雨滴からの反射波を受信した受信アンテナのパワースペクトル(以後雨滴のパワースペクトルと称する)の調整後のグラフを示す図である。

40

【0056】

図7Aと図7Bとを比較すると、目標物体のパワースペクトルのピーク(丸で囲んだ部位)の値は、雨滴のパワースペクトルのピークよりも高い値となっている。これは、上述したように、雨滴が存在する場合には反射波の散乱が大きくなり、雨滴が存在しない場合には反射波の散乱が小さくなるからである。このため、ピーク検出部345は、補正後の

50

パワースペクトルが所定のしきい値を超えている場合に、そのピークを目標物体により生じるピークであると判定し、補正後のパワースペクトルが所定のしきい値を超えていない場合には、例えばピークであっても目標物体により生じるピークではないと判定する。

【 0 0 5 7 】

具体例を挙げて説明すると、図 7 A および図 7 B に示す点線、すなわち $Q = 50$ を所定のしきい値とした場合、図 7 A に示す目標物体のパワースペクトルのピークは当該しきい値を超えているが、図 7 B に示す雨滴のパワースペクトルのピークは当該しきい値を超えていない。このように、予め目標物体のパワースペクトルのピークより小さく、雨滴のパワースペクトルのピークよりは大きい所定のしきい値を設定しておくことにより、ピーク検出部 3 4 5 は、調整後のパワースペクトルに基づいて、雨滴等の微粒子状の障害物に起因するピークを除いて目標物体に起因するピークを抽出することができる。なお、所定のしきい値は、例えば種々の目標物体や微粒子状の障害物を使用して、予め実験的に設定しておけばよい。

10

【 0 0 5 8 】

ピーク検出部 3 4 5 は、調整後のパワースペクトルの所定のしきい値を超えるピーク位置に対応する周波数を算出する。この周波数が、目標物体のドップラ周波数である。ピーク検出部 3 4 5 は、このように目標物体のドップラ周波数を算出することにより、目標物体のドップラ速度を算出することができる。

【 0 0 5 9 】

次に、方向推定部 3 6 は、ピーク検出部 3 4 5 が算出した、受信アンテナ 2 0 # 1 ~ 2 0 # M 毎のパワースペクトルのピーク位置に対応する周波数に基づいて、反射波の到来方向を推定する。これにより、レーダ装置 1 0 0 を基準として目標物体の存在する方向を特定することができる。反射波の到来方向を推定する方法については、本開示では特に限定しない。既知の到来方向推定方法、例えば Capon 法等を利用すればよい。

20

【 0 0 6 0 】

以上のようにレーダ信号処理装置 3 0 が生成した目標物体の距離、ドップラ速度、目標物体の方向等の情報は、測定情報出力処理装置 4 0 に出力される。測定情報出力処理装置 4 0 は、これらの情報に基づいて、利用者が利用しやすい形態（例えば、レーダ装置 1 0 0 と目標物体との位置関係を示すマップを表示したり、距離や相対速度を数値で表示したりする等）で出力する。測定情報出力処理装置 4 0 の処理については、既知の技術を利用すればよい。

30

【 0 0 6 1 】

以上説明したように、本開示の第 1 の実施の形態に係るレーダ装置は、複数の受信アンテナと、複数の受信アンテナが受信した受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、受信アンテナ毎にパワースペクトルを算出し、複数の受信アンテナ間でパワースペクトルのピークが一致している度合いを示す標準偏差を算出し、標準偏差を用いてパワースペクトルの補正を行い、当該補正後のパワースペクトルに基づいてピークを検出し、検出したピークに基づいて、目標物体を検出する。

【 0 0 6 2 】

このような構成により、本開示の第 1 の実施の形態に係るレーダ装置は、レーダ信号の積算時間を延長することなく、散乱が大きい雨滴等の微粒子状の障害物の影響を除去できる。このため、目標物体の検出時間を延長させずに、精度よく目標物体を検出することができる。

40

【 0 0 6 3 】

< 第 2 の実施の形態 >

上述した第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 1 0 0 としては、位相符号変調方式のパルス圧縮レーダが想定されていたが、以下説明する第 2 の実施の形態に係るレーダ装置 1 0 0 a としては、チャープ方式のパルス圧縮レーダが想定されている。チャープ方式とは、送信周波数をパルス送信中に線形的に変化させる方式である。

【 0 0 6 4 】

50

図 8 は、本開示の第 2 の実施の形態に係るレーダ装置 100 a の構成の一例を示すブロック図である。図 8 に示す各構成のうち、図 1 と共通する構成には、図 1 と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。図 8 に示すように、第 2 の実施の形態に係るレーダ装置は、第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 100 と異なる構成として、周波数制御部 37 を有する。また、図 8 に示すレーダ信号処理装置 30 a のパルス変調部 32 a およびパルス圧縮処理部 342 a は、図 1 に示すレーダ信号処理装置 30 のパルス変調部 32 およびパルス圧縮処理部 342 とは異なる動作を行う。

【0065】

周波数制御部 37 は、後述するパルス変調部 32 a が周波数変調する際の周波数変調範囲を設定する。図 9 A ~ 図 9 C は、チャープ方式のパルス圧縮レーダにて使用されるパルス符号を例示した図である。図 9 A の上段は、周波数変調範囲とパルス幅との関係を示す図である。図 9 A において、 f は周波数変調範囲を示し、 τ はパルス幅を示す。周波数制御部 37 は、図 9 A に示すように、パルス幅 τ 内で周波数が線形的に変化するよう、キャリア周波数に基づいて周波数変調範囲 f を設定する。

【0066】

パルス変調部 32 a は、高周波送信信号（無線周波数送信信号）、すなわちキャリア周波数信号をパルス化した後、周波数制御部 37 の設定した周波数変調範囲 f 内で、時間に対して線形的に変化する周波数変調を行う。図 9 A の下段には、線形的に変化する FM（Frequency Modulation：周波数変調）パルスを示す。パルス変調部 32 a は、図 9 A の下段に示すような線形的に変化する FM パルスを生成する。

【0067】

受信信号処理部 34 a のパルス圧縮処理部 342 a は、無線受信部 341 から入力された受信信号に対して位相同期検波（I/Q 検波）を行うことにより受信信号を再生する。図 9 B は、パルス圧縮処理部 342 a の周波数帯遅延時間特性を示す図である。パルス圧縮処理部 342 a は、図 9 B に示すような周波数帯遅延時間特性を有する回路網を用いてパルス圧縮処理を行う。図 9 C は、パルス圧縮処理部 342 a によるパルス圧縮処理の結果の一例を示す図である。パルス圧縮処理部 342 a によるパルス圧縮処理の結果、パルス幅の時間帯に分散されていた波形が集中され、図 9 C に示すような急峻なパルス圧縮波形が得られる。図 9 C に示す信号が反射エコーである。

【0068】

第 2 の実施の形態では、チャープ方式のパルス圧縮レーダにより得られた反射エコーに対して、周波数解析処理部 344、一致性算出部 35、およびピーク検出部 345 が第 1 の実施の形態と同様の処理を行うことにより、微粒子状の障害物のパワースペクトルのピークを除去し、目標物体のパワースペクトルのピークを抽出することで、検出時間を延長させずに、目標物体のドップラ速度やレーダ装置 100 a から目標物体までの距離を算出することができる。

【0069】

< 第 3 の実施の形態 >

上述した第 1 および第 2 の実施の形態に係るレーダ装置 100（100 a）としては、パルス圧縮レーダが想定されていたが、以下説明する第 3 の実施の形態に係るレーダ装置 100 b としては、FM CW 方式の連続波レーダが想定されている。FM CW（Frequency Modulated Continuous Wave）方式とは、連続波を送信し、送信波と受信波との波形の違いからレーダ装置 100 b と目標物体との距離や相対速度を算出する方式である。

【0070】

図 10 は、本開示の第 3 の実施の形態に係るレーダ装置 100 b の構成の一例を示すブロック図である。図 10 に示す各構成のうち、図 1 と共通する構成には、図 1 と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。図 10 に示すように、第 3 の実施の形態に係るレーダ装置 100 b のレーダ信号処理装置 30 b は、第 1 の実施の形態に係るレーダ装置 100 と異なり、M 個の送受信信号処理部 38 # 1 ~ 38 # M と、ビート周波数検出部 39 とを有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

M個の送受信信号処理部38は、図10に示すように、変調信号発生器381、発振器382、方向性結合器383、無線送信部384、無線受信部385、ミキサ処理部386、中間周波数増幅部387、周波数解析処理部388を有する。

【 0 0 7 2 】

図11Aは、FMCW方式の連続波レーダにて使用される三角形の波形をした信号を示す図である。

【 0 0 7 3 】

変調信号発生器381は、FMCW方式に対応する変調用の信号を生成する。具体的には、例えば送信信号を三角波で変調する場合、図11Aに例示する三角形の波形をした信号を生成する。

10

【 0 0 7 4 】

発振器382は、変調信号発生器381が生成した変調用の信号を用いて、送信信号の連続波に対して周波数変調処理を行い、送信信号を生成する。

【 0 0 7 5 】

方向性結合器383は、発振器382が生成した送信信号を後述するミキサ処理部386に出力し、無線送信部384にも出力する。

【 0 0 7 6 】

無線送信部384は、方向性結合器383から入力送信信号に対して、D/A変換、電力増幅、送信ビームフォーミング等を必要に応じて行い、レーダ送信信号を生成して送信アンテナ10に出力する。

20

【 0 0 7 7 】

無線受信部385は、受信アンテナ20#1~20#Mのいずれかが受信した受信信号を増幅し、必要に応じて、中間周波数変換、A/D変換等を行ってミキサ処理部386に出力する。

【 0 0 7 8 】

ミキサ処理部386は、方向性結合器383から取得した送信信号の一部と、無線受信部385から受信した受信信号とに基づいて、中間周波数(IF)信号を生成する。ミキサ処理部386が生成するIF信号は、送信信号と受信信号の周波数の差を反映した信号である。

30

【 0 0 7 9 】

中間周波数増幅部387は、ミキサ処理部386が生成したIF信号に対して電力増幅処理を行う。

【 0 0 8 0 】

周波数解析処理部388は、増幅したIF信号に対してフーリエ変換を行い、受信信号の周波数特性を取得する。なお、周波数解析処理部388は、第1の実施の形態にて説明した周波数解析処理部344と同様の処理を行えばよい。

【 0 0 8 1 】

図11Bは、FMCW方式の連続波レーダにて使用されるビート周波数の一例を示す図である。

40

【 0 0 8 2 】

ビート周波数検出部39は、周波数解析処理部388が生成した周波数特性、一致性算出部35の特定した目標物体のパワースペクトルのピークに基づいて、ビート周波数を算出する。図11Bにおいて、ビート周波数 f_D が周波数増加時のビート周波数であり、ビート周波数 f_U が周波数減少時のビート周波数である。ビート周波数検出部39が検出したビート周波数は、目標物体のパワースペクトルのピーク位置に対応する周波数として検出可能である。このため、レーダ装置100bは、検出したビート周波数に基づいて、レーダ装置100bと目標物体との相対速度や、レーダ装置100bから目標物体までの距離等を算出することができる。

【 0 0 8 3 】

50

第3の実施の形態では、FMCW方式の連続波レーダにより得られたビート周波数に基づいて、微粒子状の障害物のパワースペクトルのピークを除去し、目標物体のパワースペクトルのピークを抽出することで、検出時間を延長させずに、レーダ装置100bと目標物体との相対速度や、レーダ装置100bから目標物体までの距離等を算出することができる。

【0084】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範囲において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。また、開示の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

10

【0085】

例えば、上述した各実施の形態では、M個の受信アンテナ20#1~20#M毎に周波数解析処理部がパワースペクトルを生成していたが、本開示はこれには限定されない。例えば、複数の受信アンテナからの受信信号を合成し、合成した結果に基づいてパワースペクトルを生成してもよい。このような場合には、一致性算出部が算出した受信アンテナ毎の一致性指標に基づいて、複数の受信アンテナからの受信信号を合成した結果に対して補正を行い、その結果に基づいてピークを検出するようにすればよい。

【0086】

また、上記実施の形態の説明に用いた各機能ブロックは、典型的には、入力端子および出力端子を有する集積回路であるLSIとして実現される。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部または全てを含むように1チップ化されてもよい。ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC(Integrated Circuit)、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと称されることもある。

20

【0087】

また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路または汎用プロセッサを用いて実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA(Field Programmable Gate Array)、LSI内部の回路セルの接続または設定を再構成可能なリコンフィギュラブルプロセッサ(Reconfigurable Processor)を利用してもよい。

【0088】

さらには、半導体技術の進歩または派生する別技術により、LSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックを集積化してもよい。バイオ技術の適用等が可能性としてありえる。

30

【0089】

<本開示のまとめ>

本開示のレーダ装置は、1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を受信して複数の受信信号を出力する複数の受信アンテナと、前記複数の受信アンテナのそれぞれが受信した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得する複数の周波数解析処理部と、前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出する一致性算出部と、前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出する複数のピーク検出部と、前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する物体検出部と、を有する。

40

【0090】

本開示のレーダ装置において、前記一致性指標は、前記周波数特性の標準偏差あるいは分散である。

【0091】

本開示のレーダ装置において、前記周波数特性は、前記複数の受信信号のパワースペクトルである。

50

【 0 0 9 2 】

本開示のレーダ装置において、前記複数のピーク検出部は、予め測定した前記一致性指標を用いて、前記1つ以上の物体のうち、予め定めた除外する物体の周波数特性を補正し、前記補正された除外する物体の周波数特性に基づいて決定されたしきい値を前記所定の条件として、前記ピークを検出する。

【 0 0 9 3 】

本開示のレーダ装置において、前記周波数解析処理部は、前記複数の受信信号を加算した加算結果に対して周波数解析を行い、前記複数の受信信号の合計の周波数特性を取得し、前記ピーク検出部は、前記一致性指標を用いて前記複数の受信信号の合計の周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から前記所定の条件を満たすピークを検出する。

10

【 0 0 9 4 】

本開示のレーダ装置において、前記レーダ装置は、パルス圧縮方式のレーダ装置であって、前記ピーク検出部は、前記検出されたピークに基づいて、ドップラ周波数を算出する。

【 0 0 9 5 】

本開示のレーダ装置において、前記レーダ装置は、FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式の連続波レーダ装置であって、前記周波数特性および前記一致性指標に基づいてビート周波数を検出するビート周波数検出部をさらに有し、前記目標物体検出部は、前記ビート周波数に基づいて前記目標物体を検出する。

【 0 0 9 6 】

本開示のレーダ装置の目標物体検出方法は、1つ以上のレーダ送信信号が1つ以上の物体に反射された反射波を複数の受信アンテナが受信して出力した複数の受信信号のそれぞれに対して周波数解析を行い、周波数特性を取得し、前記複数の受信アンテナのそれぞれの前記周波数特性に基づいて、前記複数の受信アンテナ間で前記周波数特性のピークが一致している度合いを示す一致性指標を算出し、前記一致性指標を用いて前記周波数特性の補正を行い、前記補正後の周波数特性から所定の条件を満たすピークを検出し、前記検出したピークに基づいて、前記1つ以上の物体のうち、目標物体を検出する。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 9 7 】

本開示は、目標物体を検出するレーダ装置として好適である。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 9 8 】

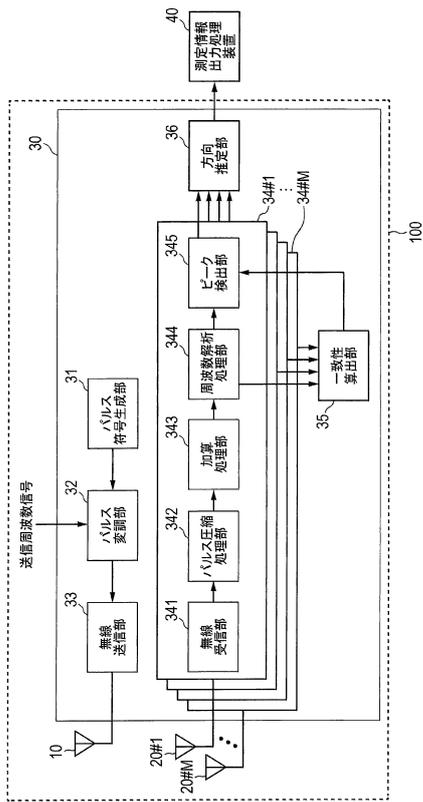
- 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b レーダ装置
- 1 0 送信アンテナ
- 2 0 受信アンテナ
- 3 0 , 3 0 a , 3 0 b レーダ信号処理装置
- 3 1 パルス符号生成部
- 3 2 , 3 2 a パルス変調部
- 3 3 無線送信部
- 3 4 , 3 4 a 受信信号処理部
- 3 4 1 無線受信部
- 3 4 2 , 3 4 2 a パルス圧縮処理部
- 3 4 3 加算処理部
- 3 4 4 周波数解析処理部
- 3 4 5 ピーク検出部
- 3 5 一致性算出部
- 3 6 方向推定部
- 3 7 周波数制御部
- 3 8 送受信信号処理部
- 3 8 1 変調信号発生器

40

50

- 3 8 2 発振器
- 3 8 3 方向性結合器
- 3 8 4 無線送信部
- 3 8 5 無線受信部
- 3 8 6 ミキサ処理部
- 3 8 7 中間周波数増幅部
- 3 8 8 周波数解析処理部
- 3 9 ビート周波数検出部
- 4 0 測定情報出力処理装置

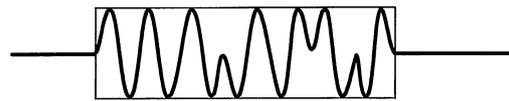
【図1】



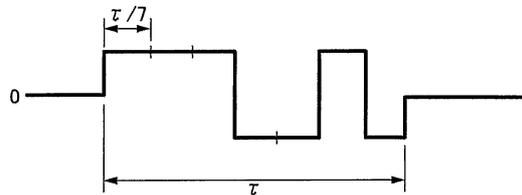
【図2A】

+ + + - - + -

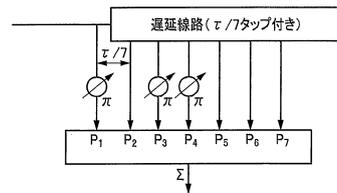
【図2B】



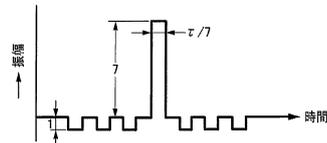
【図3A】



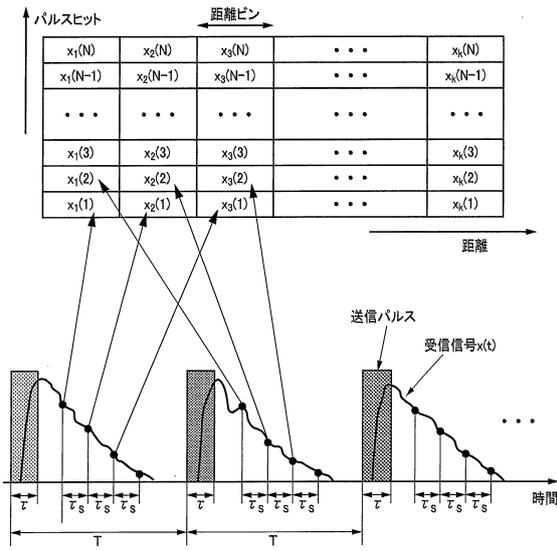
【図3B】



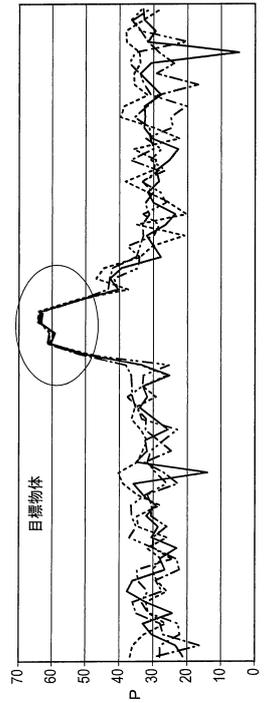
【図3C】



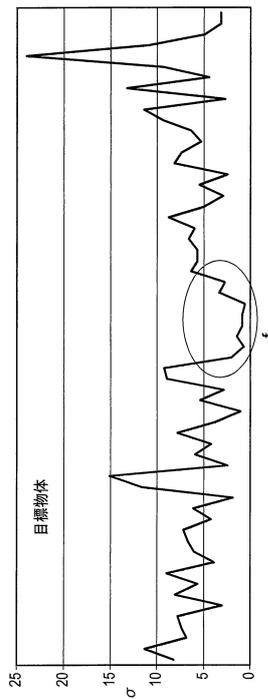
【図4】



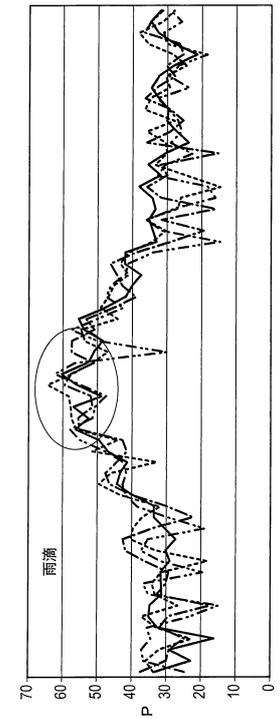
【図5A】



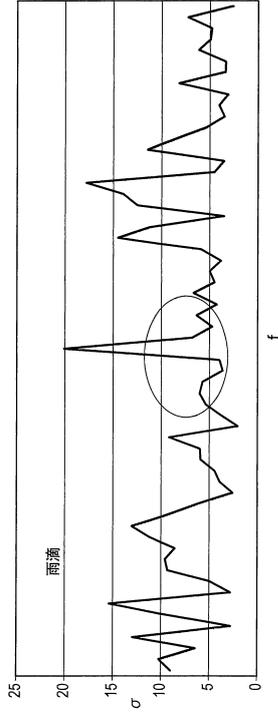
【図5B】



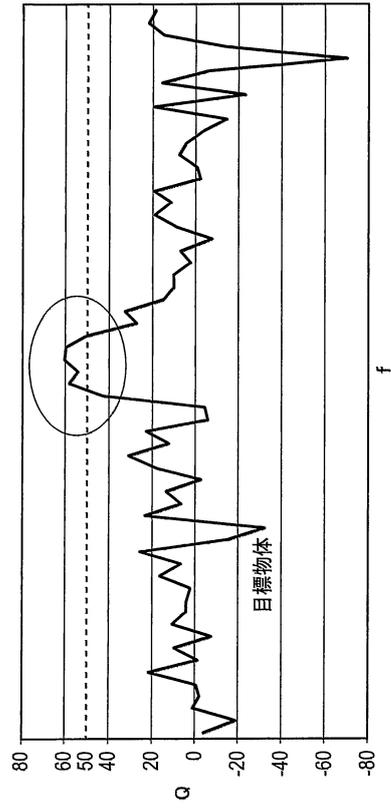
【図6A】



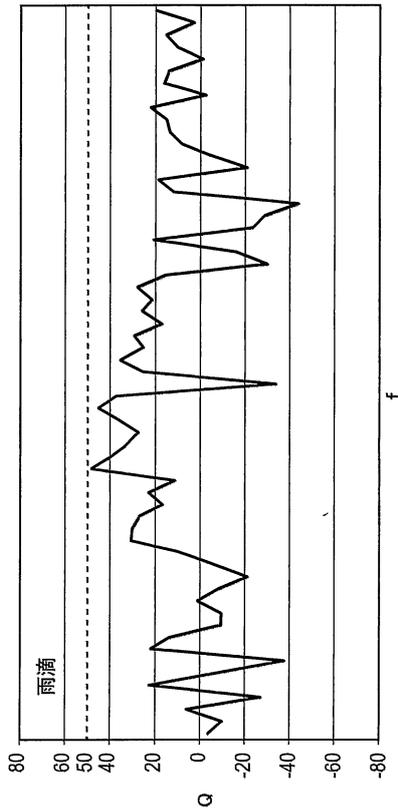
【図 6 B】



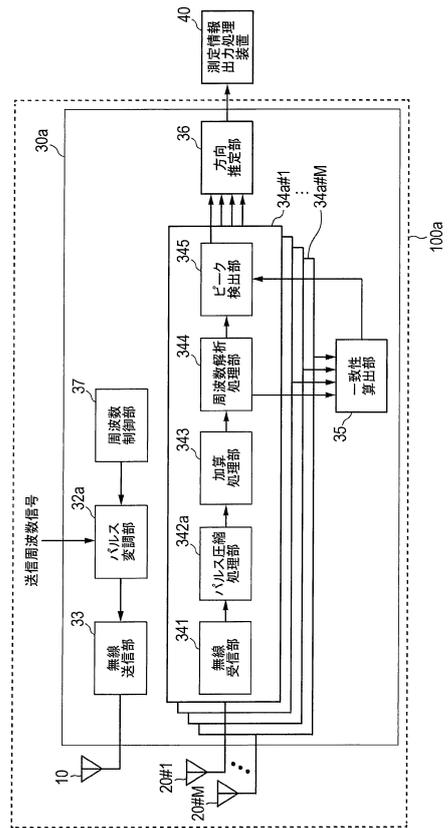
【図 7 A】



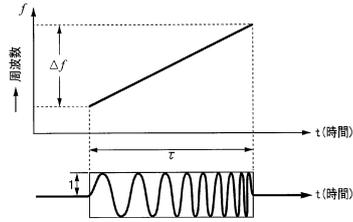
【図 7 B】



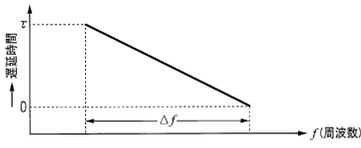
【図 8】



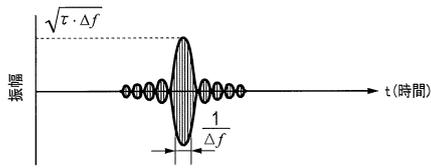
【図9A】



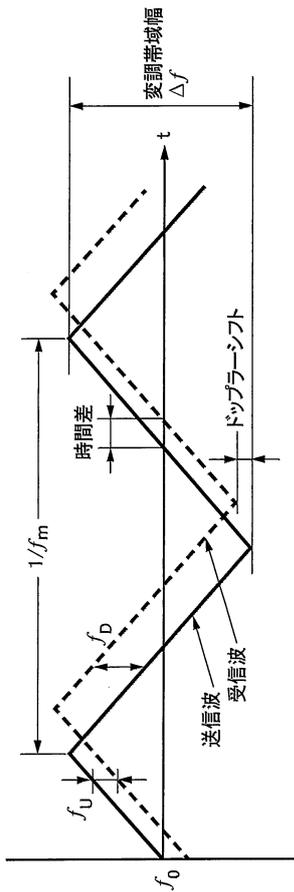
【図9B】



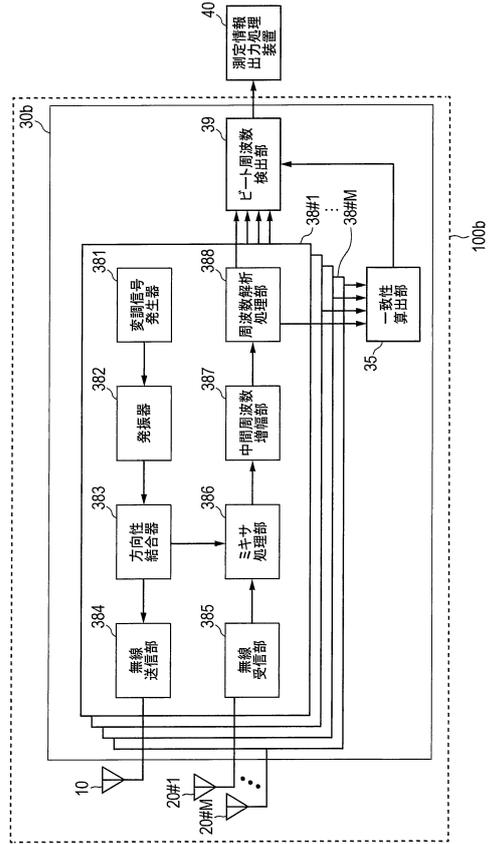
【図9C】



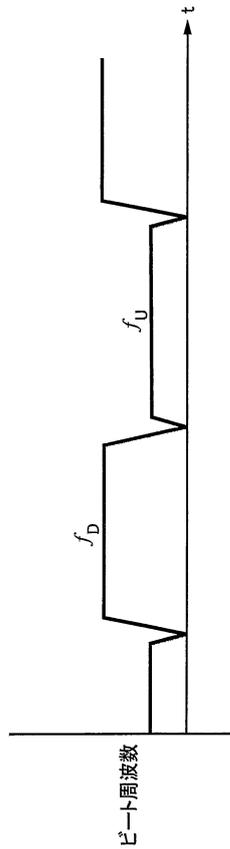
【図11A】



【図10】



【図11B】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-233277(JP,A)
特開2009-156582(JP,A)
特開2016-3874(JP,A)
特開2010-112736(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0309041(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - 7/42

G01S 13/00 - 13/95