

(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2020-125979
(P2020-125979A)

(43) 公開日 令和2年8月20日(2020.8.20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 7/292 (2006.01)	GO 1 S 7/292 2 0 0	5 J 0 7 0
GO 1 S 7/02 (2006.01)	GO 1 S 7/02 2 1 6	
GO 1 S 13/522 (2006.01)	GO 1 S 13/522	
GO 1 S 13/58 (2006.01)	GO 1 S 13/58 2 0 0	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2019-18500 (P2019-18500)	(71) 出願人	504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1
(22) 出願日	平成31年2月5日(2019.2.5)	(74) 代理人	110000925 特許業務法人信友国際特許事務所
		(72) 発明者	稲葉 敬之 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		(72) 発明者	渡辺 一宏 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		(72) 発明者	秋田 学 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
		F ターム (参考)	5J070 AC02 AC06 AC11 AD08 AH14 AH31 AH35 AK22 AK35 BA01

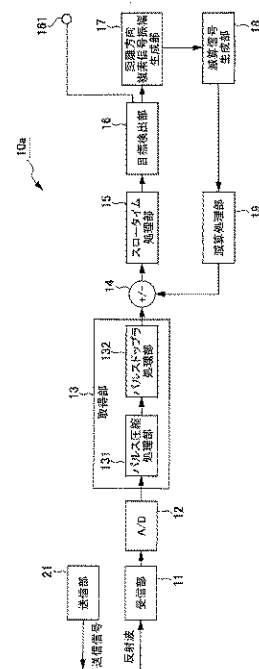
(54) 【発明の名称】 目標検知装置、目標推定方法およびプログラム

(57) 【要約】

【課題】レーダにおいて、複数の目標の検出が高い精度で行えるようにする。

【解決手段】送信信号の反射波を受信して得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向（ファストタイム方向）の次元と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向（スロータイム方向）の別の次元とを有する多次元信号を取得する。そして、多次元信号について、距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理し、その処理された信号から、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する。さらに、検出した目標から、距離ピン毎の信号複素振幅を求め、検出した目標の情報と、距離ピン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成し、生成した減算信号を、多次元信号から減算して、別の目標を検出するようにした。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

送信信号の反射波を受信して得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向の次元と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向の別の次元とを有する多次元信号を取得する取得部と、

前記多次元信号について、前記距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理する多次元信号処理部と、

前記多次元信号処理部で処理された信号を使って、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する目標検出部と、

前記目標検出部が検出した前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つから、距離ピン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成部と、

前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つと、前記距離ピン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成する減算信号生成部と、

前記減算信号生成部が生成した減算信号を、前記取得部で得られた多次元信号から減算する減算処理部と、を備え、

前記減算処理部で減算された多次元信号を、前記多次元信号処理部に供給するようにした

目標検知装置。

【請求項 2】

前記送信信号はパルス信号であり、

前記取得部は、パルス圧縮処理部である

請求項 1 に記載の目標検知装置。

【請求項 3】

前記多次元信号処理部は、パルスドップラ処理を行うパルスドップラ処理部であり、

前記目標検出部は、前記パルスドップラ処理部の出力に基づいて、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する

請求項 2 に記載の目標検知装置。

【請求項 4】

前記多次元信号処理部は、合成帯域処理を行う合成帯域処理部であり、

前記目標検出部は、前記合成帯域処理部の出力に基づいて、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する

請求項 2 に記載の目標検知装置。

【請求項 5】

前記多次元信号処理部は、ビームフォーミング処理を行うビームフォーミング処理部であり、

前記目標検出部は、前記ビームフォーミング処理部の出力に基づいて、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する

請求項 2 に記載の目標検知装置。

【請求項 6】

前記減算処理部は、目標数推定部を含む

請求項 2 に記載の目標検知装置。

【請求項 7】

送信信号の反射波を受信する受信処理と、

前記受信処理で得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向の次元と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向の別の次元とを有する多次元信号を取得する信号を取得する取得処理と、

前記多次元信号について、前記距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理する多次元信号処理部と、

前記多次元信号処理部により処理された信号を使って、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する目標検出処理と、

10

20

30

40

50

前記目標検出処理により検出した前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つから、距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成処理と、

前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つと、前記距離ビン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成する減算信号生成処理と、

前記減算信号生成処理により生成した減算信号を、取得処理で得られた多次元信号から減算して、前記多次元信号処理を行うための信号とする減算処理と、を含む

目標推定方法。

【請求項8】

送信信号の反射波を受信して得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向の次元と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向の別の次元とを有する多次元信号を取得する取得ステップと、

前記多次元信号について、前記距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理する多次元信号処理ステップと、

前記多次元信号処理ステップで処理された信号を使って、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する目標検出ステップと、

前記目標検出ステップにより検出した前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つから、距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成ステップと、

前記目標速度と前記目標距離と前記角度の少なくともいずれか1つと、前記距離ビン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成する減算信号生成ステップと、

前記減算信号生成ステップにより生成した減算信号を、前記取得ステップで得られた多次元信号から減算して、前記多次元信号処理ステップでの処理を行うための信号とする減算ステップと、

をコンピュータに実行させる

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、送信信号の反射波を受信して目標を検知するレーダ技術を適用した目標検知装置、目標推定方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ミリ波帯の利用による車載レーダ装置やインフラとして設置されたレーダ装置の高分解能化や高信頼性が求められている。すなわち、既存の車載レーダ装置であっても、車両などの比較的大きな物体の検知は可能であるが、歩行者やさらに小さな対象物の検知を可能とする必要があり、ミリ波レーダのさらなる高分解能化や高信頼性が求められている。

【0003】

特許文献1には、レーダ装置において、信号強度の強いターゲットの検出結果から、それを再現する受信信号を推定し、元の受信信号から推定した受信信号を減算して、減算で残った信号に対して検出を繰り返すことで、微弱な信号のターゲットについての検出を可能とする技術についての記載がある。

特許文献1に記載された減算処理を繰り返すことで、複数の対象物を検知することが可能になる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-49074号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

ところで、レーダ装置において、受信信号から速度や距離を検出する際には、アナログ系の受信回路が備えるアナログフィルタの特性やケーブルの特性に受信信号が大きく影響を受けてしまう。

一方、元の受信信号から推定した受信信号を減算する際の減算信号は、速度や距離の検出部で得られたピークとなる周波数ビンにおける「速度、距離、複素振幅」から信号である。

【0006】

したがって、特許文献1に記載された技術では、減算信号を生成して、その減算信号を受信信号から減算したとしても、検出したターゲットの信号を十分に減算したものとはならず、減算残りが生じてしまい、複数のターゲットの検出精度が低下してしまう。特に微弱な信号のターゲットの検出精度が悪くなって、誤検出につながる。

【0007】

例えば、図19(A)に示すように、車載レーダの前方に、車とバイクと人が存在した場合、レーダで得られる反射波としては、図19(B)に示すように、最も大きなターゲットである車の成分 m_1 と、それより小さなターゲットであるバイクの成分 m_2 と、最も小さなターゲットである人の成分 m_3 とが重なった状態である。

ここで、バイクや人を精度よく検出するためには、車の成分 m_1 やバイクの成分 m_2 を正確に検出する必要があるが、従来の技術では高精度化に限りがあった。

【0008】

本発明の目的は、複数の目標の検出が高い精度で行うことができる目標検知装置、目標推定方法およびプログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0009】**

本発明の目標検知装置は、送信信号の反射波を受信して得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向（実施の形態例で述べるファストタイム処理の処理方向）の次元と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向の別の次元（実施の形態例で述べるスロータイム処理の処理方向）とを有する多次元信号を取得する取得部と、多次元信号について、距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理する多次元信号処理部と、多次元信号処理部で処理された信号を使って、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する目標検出部と、目標検出部が検出した目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つから、距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成部と、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つと、距離ビン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成する減算信号生成部と、減算信号生成部が生成した減算信号を、取得部で得られた多次元信号から減算する減算処理部と、を備え、減算処理部で減算された多次元信号を、多次元信号処理部に供給するようにしたものである。

【0010】

また、本発明の目標推定方法は、送信信号の反射波を受信する受信処理と、受信処理で得た受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向の次元（実施の形態例で述べるファストタイム処理の処理方向）と、パルスヒット方向と周波数方向とアンテナ素子方向の少なくともいずれか一つの方向（実施の形態例で述べるスロータイム処理の処理方向）の別の次元とを有する多次元信号を取得する信号を取得する取得処理と、多次元信号について、距離方向の次元以外の少なくとも1つ以上の次元の信号を処理する多次元信号処理と、多次元信号処理により処理された信号を使って、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つを検出する目標検出処理と、目標検出処理により検出した目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つから、距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成処理と、目標速度と目標距離と角度の少なくともいずれか1つと、距離ビン毎の信号複素振幅をもとに、減算信号を生成する減算信号生成処理と

、減算信号生成処理により生成した減算信号を、取得部で得られた多次元信号から減算して、多次元信号処理を行うための信号とする減算処理と、を含む。

【 0 0 1 1 】

また、本発明のプログラムは、上記目標推定方法の各処理をステップ化して、コンピュータに実行させるようにしたものである。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明によると、信号電力の大きい目標のサイドローブに埋もれるような微弱な電力の目標を検知することができ、複数の目標の正確な検出が可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】本発明の第 1 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 2 】本発明の第 2 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 3 】本発明の第 2 の実施の形態例による処理手順の例を示すフローチャートである。

【 図 4 】本発明の第 3 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 5 】本発明の第 4 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 6 】本発明の第 4 の実施の形態例によるアンテナ構成の例を示す図である。

【 図 7 】本発明の第 5 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 8 】本発明の第 5 の実施の形態例による処理手順の例を示すフローチャートである。

【 図 9 】本発明の第 6 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 1 0 】本発明の第 7 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 1 1 】本発明の第 8 の実施の形態例による構成例を示すブロック図である。

【 図 1 2 】本発明の各実施の形態例での処理状態の例を示す図である。

【 図 1 3 】本発明の各実施の形態例でのスロータイム処理の例を示す図である。

【 図 1 4 】本発明の各実施の形態例での多次元信号の例を示す図である。

【 図 1 5 】本発明の各実施の形態例での減算処理の例を示す波形図である。

【 図 1 6 】本発明の各実施の形態例での減算後の多次元信号の例を示す図である。

【 図 1 7 】本発明の各実施の形態例での複数の目標（第 1 目標、第 2 目標、第 3 目標）を検出する例を示す図である。

【 図 1 8 】本発明の各実施の形態例でのスロータイム信号の例を示す図である。

【 図 1 9 】車載レーダが複数の目標を検出する例を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

以下、本発明の実施の形態例を、添付図面を参照して説明する。以下の説明では、まず図 1 ~ 図 1 1 を参照して、各実施の形態例（第 1 ~ 第 8 の実施の形態例）のレーダ装置 1 0 a ~ 1 0 h の基本的な構成を順に説明し、その後、各実施の形態例のレーダ装置 1 0 a ~ 1 0 h の各構成要素が行う処理の詳細を、図 1 2 ~ 図 1 8 を参照して説明する。

【 0 0 1 5 】

[1 . 第 1 の実施の形態例]

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 a の構成例を示す。

第 1 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 a は、受信部 1 1、アナログ/デジタル変換器 1 2、取得部 1 3、減算器 1 4、スロータイム処理部 1 5、目標検出部 1 6、距離方向複素信号振幅生成部 1 7、減算信号生成部 1 8、減算処理部 1 9、および送信部 2 1 を備える。

【 0 0 1 6 】

送信部 2 1 は、符号変調したパルス信号を、パルス繰り返し間隔（P R I : Pulse Repetition Interval）で繰り返し連続して送信する。パルス信号を繰り返し送信する場合、ここでは、後述する図 1 8（B）に示すように、パルス信号を送信する毎に周波数を変化させた、時分割多周波ステップ方式とする。時分割多周波ステップ方式の場合、周期的に周波数を繰り返し変化させる。送信周波数帯域としては、例えば 7 9 G H z 帯などの高い

10

20

30

40

50

周波数帯を使用する。

【 0 0 1 7 】

受信部 1 1 は、送信部 2 1 で送信した信号の反射波を受信する受信処理を行う。反射波には、目標で反射した成分が含まれる。ここでの目標には、複数の目標が存在する。

【 0 0 1 8 】

受信部 1 1 で得られた受信信号は、符号変調された時分割多周波ステップ受信信号を受信するため、[距離ビン方向と、距離ビン毎のパルスヒット方向の受信信号] × 周波数ステップ数分の信号になる。受信部 1 1 で得た受信信号は、アナログフィルタの影響を受けた信号 (ファストタイム信号) となっており、複数の目標の信号が重畳されている。

なお、以下の説明で複数の目標のそれぞれを、第 1 目標、第 2 目標、第 3 目標、・・・と個別に述べたとき、第 1 目標の受信信号が最も受信強度が高く、第 2 目標、第 3 目標、・・・と順に受信強度が低下するものとする。

【 0 0 1 9 】

受信部 1 1 で得られた受信信号は、アナログ / デジタル変換器 1 2 でサンプリングされる。アナログ / デジタル変換器 1 2 でサンプリングされた受信信号は、取得部 1 3 に供給される。

【 0 0 2 0 】

取得部 1 3 は、受信信号から、距離方向の情報についての処理を行って、距離方向の次元と、それとは別の次元 (ここではパルスビット方向の次元) とを有する多次元信号を取得する。なお、取得部 1 3 は、ファストタイム信号を取得処理するため、ファストタイム信号処理部として機能する。

取得部 1 3 は、パルス圧縮処理部 1 3 1 と、パルルドブプラ処理部 1 3 2 とを備える。

パルス圧縮処理部 1 3 1 は、受信信号をパルス圧縮処理する。すなわち、パルス圧縮処理部 1 3 1 は、符号変調された多周波ステップ受信信号をパルス波形化する。パルス波形化した信号は、アナログフィルタの影響を受けた信号である。

パルス圧縮処理部 1 3 1 でパルス波形化した多周波ステップ受信信号は、パルルドブプラ処理部 1 3 2 に供給される。

【 0 0 2 1 】

パルルドブプラ処理部 1 3 2 は、パルルドブプラフィルタ処理により、距離ビン毎のパルスヒット方向の受信信号をドブプラ信号に変換する処理が行われる。ここでのドブプラ信号は、目標速度に対応した信号であり、距離方向の次元と速度方向の次元 (パルスビット方向の次元) とを有する 2 次元信号 (多次元信号) が生成される。

【 0 0 2 2 】

取得部 1 3 で得られた 2 次元信号は、減算器 1 4 に供給される。減算器 1 4 では、減算処理部 1 9 から減算信号が供給されるとき、取得部 1 3 から供給される 2 次元信号から、減算信号を減算処理する。減算信号が供給されないタイミングでは、減算器 1 4 での減算は行われない。減算器 1 4 で減算処理が行われた 2 次元信号 (または減算処理が行われていない 2 次元信号) は、スロータイム処理部 1 5 に供給される。

なお、減算器 1 4 は、減算後の信号を記憶する記憶部を備え、後述する繰り返しでの減算時に、記憶部が記憶した信号から減算する処理が行われる。

【 0 0 2 3 】

スロータイム処理部 1 5 は、供給される多次元信号 (2 次元信号) の内で、距離方向の次元以外の少なくとも 1 つの次元の信号を処理する多次元信号処理部である。スロータイム処理部 1 5 の具体例については、第 2 ~ 第 4 の実施の形態例で説明する。

【 0 0 2 4 】

スロータイム処理部 1 5 で、距離方向の次元以外の次元であるパルスビット方向の次元について処理された信号は、目標検出部 1 6 に供給される。目標検出部 1 6 では、スロータイム処理部 1 5 が出力する 2 次元信号から、信号振幅が最大となる目標速度と目標距離を検出する。検出した目標速度と目標距離の情報は、出力部 1 6 1 に得られる。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

そして、目標検出部 16 が検出した目標距離の情報は、距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成部 17 に供給される。

距離方向複素信号振幅生成部 17 では、目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅を求める距離方向複素信号振幅生成処理を行う。例えば、目標検出部 16 が第 1 目標の目標速度と目標距離を検出したとき、その第 1 目標の目標速度におけるアナログフィルタの影響を受けた複素信号波形を求める。

【0026】

距離方向複素信号振幅生成部 17 で求めた、目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅は、減算信号生成部 18 に供給される。

減算信号生成部 18 は、目標検出部 16 で得られた目標速度および目標距離と、距離方向複素信号振幅生成部 17 で得られた距離ビン毎の信号複素振幅をもとにパルスヒット方向に亘る減算信号（例えば第 1 目標の信号）を生成する減算信号生成処理を行う。減算信号生成部 18 が生成した減算信号は、減算処理部 19 に供給される。

【0027】

減算処理部 19 は、減算器 14 で、取得部 13 から供給される多次元信号（2次元信号）から、減算信号生成部 18 で生成された減算信号を減算する減算処理を行う。

この減算処理を行うことで、取得部 13 から出力されたアナログフィルタの影響を受けた多次元信号（2次元信号）から、アナログフィルタの影響が考慮された減算信号（例えば最初の段階では第 1 目標の信号）を減算する処理が行われる。したがって、減算器 14 で減算した後の信号には、第 2 目標以降の目標の成分が含まれることになる。

【0028】

減算器 14 で減算された信号は、第 1 目標を検出する場合と同様に、スロータイム処理部 15、目標検出部 16 で処理され、第 2 目標についての目標距離、目標速度が検出される。さらに、第 3 目標が存在する場合には、距離方向複素信号振幅生成部 17 と減算信号生成部 18 と減算処理部 19 での処理が繰り返され、減算器 14 で、第 2 目標以降の目標の成分が含まれる信号（減算器 14 が記憶した信号）から、第 2 目標の信号が減算され、第 3 目標以降の目標の成分が含まれる信号が減算器 14 で得られる。

【0029】

このようにして、減算器 14、スロータイム処理部 15、目標検出部 16、距離方向複素信号振幅生成部 17、減算信号生成部 18、および減算処理部 19 での処理が、必要な目標が検出されるまで繰り返される。

【0030】

以上説明したように、本実施の形態例のレーダ装置 10a によると、受信信号に含まれる複数の目標（第 1 目標、第 2 目標、第 3 目標、・・・）を、個別に検出することができるようになる。すなわち、振幅の大きな目標に埋もれた振幅の小さな目標の検知が高精度に行うことが可能となり、誤検知を抑制できるようになる。

【0031】

[2 . 第 2 の実施の形態例]

図 2 は、本発明の第 2 の実施の形態例のレーダ装置 10b の構成例を示す。

第 2 の実施の形態例のレーダ装置 10b は、第 2 の実施の形態例のレーダ装置 10a のスロータイム処理部 15 として、合成帯域処理部 15a を適用したものである。

【0032】

合成帯域処理部 15a では、取得部 13 から減算器 14 を経由して供給される多周波ステップ受信信号を合成して、広帯域化する処理が行われる。合成帯域処理部 15a で広帯域化した信号は、目標検出部 16 に供給される。

図 2 に示すレーダ装置 10b のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 10a と同じ構成である。

【0033】

図 3 は、合成帯域処理部 15a を備えたレーダ装置 10b における目標検出処理の流れを示すフローチャートである。この図 3 のフローチャートでは、レーダ装置 10b にお

10

20

30

40

50

る、減算器 14 以降の処理を示す。

【0034】

まず、減算処理部 19 が目標数を更新する (ステップ S 11)。

そして、減算処理部 19 で得られた減算信号により、減算器 14 で減算処理を行う (ステップ S 12)。ここでの減算処理は、ステップ S 11 で設定した目標数が、1 以上であるときに行われ、目標数 1 のときには、ここでの減算処理が省略される。

【0035】

その後、合成帯域処理部 15 a により、多周波ステップ受信信号を合成して広帯域化する合成帯域処理が行われる (ステップ S 13)。さらに、合成帯域処理が行われた速度方向と距離方向の 2 次元信号から、目標検出部 16 で、信号振幅が最大となる目標速度と目標距離の検出処理が行われる (ステップ S 14)。

10

【0036】

そして、距離方向複素振幅生成部 17 が、目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅を算出する (ステップ S 15)。この距離方向複素振幅生成部 17 で算出された目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅と、目標検出部 16 で得られた目標速度および目標距離とをもち、減算信号生成部 18 が、パルスヒット方向に亘る減算信号を生成し、生成した減算信号を減算器 14 で減算する (ステップ S 16)。

その後、減算器 14 は、減算信号を減算して得られた信号を記憶する (ステップ S 17)。

【0037】

そして、減算処理部 19 が終了判定の条件を満たすか否かを判断する (ステップ S 18)。ここでの終了判定の条件を満たす場合としては、例えば減算後の信号波形が、雑音レベルであると判断したとき、終了と判定する。この雑音レベルの判定の一例については、[数 8] 式および [数 9] 式を用いて後述する。

20

このステップ S 18 での判断で、終了判定の条件を満たしていない場合 (ステップ S 18 の NO)、ステップ S 11 の目標数の更新に戻る。

【0038】

また、ステップ S 18 での判断で、終了判定の条件を満たしたと判断したとき (ステップ S 18 の YES)、取得部 13 で得られた信号についての処理を終了する。

【0039】

本発明の第 2 の実施の形態例のレーダ装置 10 b によると、スロータイム処理部 15 として、合成帯域処理部 15 a を適用することで、広帯域化により目標距離の検出精度が向上する。すなわち、複数ステップの受信信号を合成することにより、目標検出部 16 に得られる信号の SN 比が向上し、目標距離の検出精度が向上する。

30

【0040】

ここで、第 2 の実施の形態例のレーダ装置 10 b で行われる処理を、数式を用いて説明する。

なお、本明細書で説明する各式に用いられる変数は、以下の通りである。

n : 周波数ステップ番号、 m : シーケンス繰り返し番号、 s : 距離ビン番号、 l : ドップラビン番号、 k : レンジサンプル番号、 h : アレー素子番号、 q : 角度番号、 $tgtn$: 目標番号、 $tgtN$: 目標数、 c : 光速、 f_0 : 搬送波周波数、 f_s : サンプル周波数、 N : 周波数ステップ数、 f : 周波数ステップ幅、 T_{pri} : パルス送信間隔、 θ : 目標までの電波の往復時間、 f_d : 目標のドップラ周波数、 R : 目標の距離、 α : 目標の角度、 V : 目標速度探索刻み幅、 R : 目標距離探索刻み幅、 ΔR : 目標距離探索刻み幅

40

【0041】

まず、取得部 13 の出力信号を、次の [数 1] 式に示す。

【0042】

【数 1】

$$x[n,s] = \text{sinc}\left(\frac{s}{f_s} - \tau\right) \exp\left\{j\left[\left(2\pi f_d T_{PRI} - \frac{4\pi\Delta f}{c} R\right) \cdot n - \frac{4\pi f_0}{c} R + 2\pi f_d \tau\right]\right\}$$

【0043】

この取得部 13 の出力は、合成帯域処理部 15 a にて、次に示すように、n 方向フーリエ変換がなされる。

【0044】

【数 2】

$$G[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n,s] \exp\left\{j4\pi \frac{\Delta R \cdot k}{c} n \cdot \Delta f\right\}$$

【0045】

【数 3】

$$s = \text{floor}\left(\frac{\Delta R \cdot k}{\Delta r}\right), \quad \Delta r = \frac{c}{2 \cdot f_s}$$

【0046】

合成帯域処理部 15 a の出力は、目標検出部 16 にて、しきい値処理がなされ、目標数
個の速度と距離が紐づけられて検出される。距離方向複素信号振幅演算部 17 により、目
標検出部 16 にて検出された目標速度と目標距離を用いて距離方向の複素信号振幅を下式
より生成する。

20

【0047】

【数 4】

$$a_{tgtm}[s] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n,s] \exp\left\{j4\pi \frac{\hat{R}_{tgtm}}{c} n \cdot \Delta f\right\}$$

【0048】

距離方向複素信号振幅演算部 7 の出力より、減算信号生成部 8 により減算信号が生成さ
れる。

30

【0049】

【数 5】

$$y_{tgtm}[n,s] = a_{tgtm}[s] \exp\left\{-j4\pi \frac{\hat{R}_{tgtm}}{c} n \cdot \Delta f\right\}$$

【0050】

減算処理部 19 では、減算信号生成部 18 により生成された減算信号を記憶する。減算
器 14 では、取得部 13 の出力から、記憶した減算信号が減算される。

40

【0051】

【数 6】

$$x'[n,s] = x[n,s] - \sum_{tgtm=0}^{tgtm=N-1} y_{tgtm}[n,s]$$

【0052】

減算処理部 19 では、以下の式による終了判定を実施する。終了判定では、設定値
より小さいとき終了する。

50

【 0 0 5 3 】

【 数 7 】

$$x[n,s] - \sum_{igtm=0}^{igtN-1} y_{igtm}[n,s] < \varepsilon$$

【 0 0 5 4 】

終了判定で、設定値 より小さいという条件を満たさないときは、目標数の更新に戻り、目標数に 1 を加えたものが新たに設定される。

【 0 0 5 5 】

10

[3 . 第 3 の実施の形態例]

図 4 は、本発明の第 3 の実施の形態例の構成例を示す。

第 3 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 c は、第 1 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 a のスロートタイム処理部 1 5 として、パルスドップラ処理部 1 5 b を適用したものである。また、取得部 1 3 は、パルス圧縮処理部 1 3 1 と合成帯域処理部 1 3 2 a とを備える。

【 0 0 5 6 】

パルスドップラ処理部 1 5 b では、取得部 1 3 から減算器 1 4 を経由して供給される多周波ステップ受信信号について、パルスドップラフィルタ処理により、距離ビン毎のパルスヒット方向の受信信号をドップラ信号に変換する処理が行われる。

【 0 0 5 7 】

20

パルスドップラ処理部 1 5 b でパルスドップラフィルタ処理が行われた信号は、目標検出部 1 6 に供給される。

図 4 に示すレーダ装置 1 0 c のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 1 0 a と同じ構成である。

【 0 0 5 8 】

本発明の第 3 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 c によると、スロートタイム処理部 1 5 として、パルスドップラ処理部 1 5 b を適用することで、複数の目標の検出を精度よく行うことができる。

【 0 0 5 9 】

ここで、第 3 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 c で行われる処理を、数式を用いて説明する。

30

まず、取得部 1 3 の出力信号を、次の [数 8] 式に示す。

【 0 0 6 0 】

【 数 8 】

$$x[m,s] = \text{sinc}\left(\frac{s}{f_s} - \tau\right) \exp\left\{j\left[2\pi f_d T_{PRI} \cdot m - \frac{4\pi f_0}{c} R + 2\pi f_d \tau\right]\right\}$$

【 0 0 6 1 】

取得部 1 3 の出力は、ドップラパルス処理部 1 5 b にて、m 方向のフーリエ変換がなされ、以下の [数 9] 式、[数 1 0] 式で示すことができる。

40

【 0 0 6 2 】

【 数 9 】

$$F[l,s] = \sum_{m=0}^{M-1} x[m,s] \exp\left\{-j4\pi \frac{\Delta V \cdot l}{c} f_0 t_{m,s}\right\}$$

【 0 0 6 3 】

【数 1 0】

$$t_{m,s} = T_{pri} \cdot m + \frac{s}{fs}$$

【0 0 6 4】

そして、ドップラパルス処理部 1 5 b の出力は、目標検出部 1 6 にて、しきい値処理がなされ、目標数個の速度と距離が紐づけられて検出される。距離方向複素信号振幅演算部 1 7 により、目標検出部 1 6 にて検出された目標速度と目標距離を用いて距離方向の複素信号振幅を以下の [数 1 1] 式より生成する。

【0 0 6 5】

【数 1 1】

$$a_{tgtN}[s] = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x[m,s] \exp \left\{ -j4\pi \frac{\hat{V}_{tgtN}}{c} f_0 t_{m,s} \right\}$$

【0 0 6 6】

距離方向複素信号生成部 1 7 の出力より、減算信号生成部 1 8 により次に示す減算信号が生成される。

【0 0 6 7】

【数 1 2】

$$y_{tgtN}[m,s] = a_{tgtN}[s] \exp \left(j4\pi \frac{\hat{V}_{tgtN}}{c} f_0 t_{m,s} \right)$$

【0 0 6 8】

減算器 1 4 では、元の取得部 1 3 の出力から減算信号生成部 1 8 の出力が減算される。

【0 0 6 9】

【数 1 3】

$$x'[m,s] = x[m,s] - \sum_{tgtN=0}^{tgtN-1} y_{tgtN}[m,s]$$

【0 0 7 0】

なお、減算処理部 1 9 での減算処理の終了判定では、次式の設定値 より小さいとき、終了と判定する。

【0 0 7 1】

【数 1 4】

$$x[m,s] - \sum_{tgtN=0}^{tgtN-1} y_{tgtN}[m,s] < \varepsilon$$

【0 0 7 2】

終了判定で、設定値 より小さいという条件を満たさないときは、目標数の更新に戻り、目標数に 1 を加えたものが新たに設定される。

【0 0 7 3】

[4 . 第 4 の実施の形態例]

図 5 は、本発明の第 4 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 d の構成例を示す。

第 4 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 d は、第 1 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 a のスロータイム処理部 1 5 として、ビームフォーミング処理部 1 5 c を適用したものである。

また、レーダ装置 1 0 d は、図 6 に示すように、受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1

1, 112, 113, 114, ... が接続されている。受信アンテナ 111, 112, 113, 114, ... は、例えば受信角度（方位角）をずらして配置する。

【0074】

受信部 11 に複数の受信アンテナ 111, 112, 113, 114, ... が接続されていることで、取得部 13 で得られる多次元信号に含まれる 1 つの次元には、目標の角度の次元の信号が含まれるようになる。

【0075】

そして、スロータイム処理部 15 であるビームフォーミング処理部 15c が、ビームフォーミング処理で角度ごとの受信状態の情報を取得する。

ビームフォーミング処理部 15c で得られた角度ごとの受信状態の情報は、目標検出部 16 に供給される。目標検出部 16 では、角度ごとの受信状態の情報から、目標の角度（方位角）を検出する。目標検出部 16 が検出した目標の角度の情報は、出力部 161 から出力される。

図 5 に示すレーダ装置 10b のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 10a と同じ構成である。

【0076】

本発明の第 4 の実施の形態例のレーダ装置 10d によると、スロータイム処理部 15 として、ビームフォーミング処理部 15c を適用することで、複数の目標の角度の検出を精度よく行うことができる。

【0077】

[5 . 第 5 の実施の形態例]

図 7 は、本発明の第 5 の実施の形態例のレーダ装置 10e の構成例を示す。

第 5 の実施の形態例のレーダ装置 10e は、減算処理部 19 が、目標数推定部 191 を備えるようにしたものである。

目標数推定部 191 は、レーダ装置 10e での過去や現在の目標の検出状況や、他の装置（例えばカメラなど）での検出状況から、レーダ装置 10e の周囲の目標の数を推定する。目標数推定部 191 が推定する目標の数には、上限を決めてもよい。

図 7 に示すレーダ装置 10e のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 10a と同じ構成である。

【0078】

図 8 は、減算処理部 19 が、目標数推定部 191 を備えた場合の処理の流れを示すフローチャートである。

【0079】

まず、減算処理部 19 が目標数を更新する（ステップ S21）。こ

そして、減算処理部 19 で得られた減算信号により、減算器 14 で減算処理を行う（ステップ S22）。ここでの減算処理は、ステップ S21 で設定した目標数が、1 以上であるときに行われ、目標数 1 のときには、ここでの減算処理が省略される。

【0080】

その後、スロータイム処理部 15 でのスロータイム処理が行われる（ステップ S23）。さらに、スロータイム処理が行われた速度方向と距離方向の 2 次元信号から、目標検出部 16 で、信号振幅が最大となる目標速度と目標距離の検出処理が行われる（ステップ S24）。

【0081】

そして、距離方向複素振幅生成部 17 が、目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅を算出する（ステップ S25）。この距離方向複素振幅生成部 17 で算出された目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅と、目標検出部 16 で得られた目標速度および目標距離とをもち、減算信号生成部 18 が、パルスヒット方向に亘る減算信号を生成し、生成した減算信号を減算器 14 で減算する（ステップ S26）。

その後、減算器 14 は、減算信号を減算して得られた信号を記憶する（ステップ S27）。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

次に、減算処理部 1 9 は、目標数推定部 1 9 1 が推定した目標数に対応した試行回数だけ減算を繰り返したか否かを判断する（ステップ S 2 8）。このステップ S 2 8 での判断で、目標検出の試行回数が、推定した目標数に対応した数でない場合（ステップ S 2 8 の N O）、ステップ S 2 2 の減算処理に戻る。

また、ステップ S 2 8 での判断で、目標検出の試行回数が、推定した目標数に対応した数であるとき（ステップ S 2 8 の Y E S）、目標検出についての終了条件を満たすか否かを判断する（ステップ S 2 9）。

ここで、目標数推定部 1 9 1 の推定方法として、目標検出部 1 9 1 で検出したピークに対応する波形を減算処理した後のサイドロープレベルと減算前のサイドロープレベルを比較して、有意な差があれば検出したピークを目標とみなし、目標数をカウントアップする。有意な差が見られなければピークを目標と見なさず目標数のカウントアップを行わない。目標検出についての終了条件を満たしたときのカウントを目標数として出力する。

10

【 0 0 8 3 】

このステップ S 2 9 で終了条件を満たさない場合（ステップ S 2 9 の N O）、ステップ S 2 1 の目標数の更新に戻る。また、ステップ S 2 9 での判断で、終了条件を満たす場合（ステップ S 2 9 の Y E S）、取得部 1 3 で得られた信号についての処理を終了する。

【 0 0 8 4 】

本発明の第 5 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 e によると、目標数推定部 1 9 1 を設けて、目標数推定部 1 9 1 が推定した目標数に応じた回数だけ、目標を検出する処理を繰り返すことで、適切な数の目標数を検出できるようになる。

20

【 0 0 8 5 】

[6 . 第 6 の実施の形態例]

図 9 は、本発明の第 6 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 f の構成例を示す。

第 6 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 f は、取得部 1 3 a が、パルス圧縮処理部 1 3 1 と、ビームフォーミング処理部 1 3 3 と、パルルドップラ処理部 1 3 2 とを備えるようにしたものである。

また、レーダ装置 1 0 f は、図 6 に示すように、受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . が接続されている。受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . は、例えば受信角度（方位角）をずらして配置する。

30

【 0 0 8 6 】

受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . が接続されていることで、取得部 1 3 のビームフォーミング処理部 1 3 3 で得られる多次元信号に含まれる 1 つの次元には、目標の角度の次元の信号が含まれるようになる。ビームフォーミング処理部 1 3 3 は、パルス圧縮処理部 1 3 1 の出力から、目標の角度の次元の信号を得る。

そして、ビームフォーミング処理部 1 3 3 で目標角度の次元の信号が含まれた信号が、パルルドップラ処理部 1 3 2 に供給される。

図 9 に示すレーダ装置 1 0 f のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 1 0 a と同じ構成である。

40

【 0 0 8 7 】

[7 . 第 7 の実施の形態例]

図 1 0 は、本発明の第 7 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 g の構成例を示す。

第 7 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 g は、スロータイム処理部 1 5 d が、パルルドップラ処理部 1 5 1 と、帯域合成処理部 1 5 2 と、ビームフォーミング処理部 1 5 3 とを備えるようにしたものである。ここで、レーダ装置 1 0 g のスロータイム処理部 1 5 d は、パルルドップラ処理部 1 5 1、帯域合成処理部 1 5 2、ビームフォーミング処理部 1 5 3 の順で処理を行うようにした。

また、レーダ装置 1 0 g は、図 6 に示すように、受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . が接続されている。受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 ,

50

1 1 3 , 1 1 4 , . . . は、例えば受信角度（方位角）をずらして配置する。なお、取得部 1 3 は、パルス圧縮処理部 1 3 1 を備える。

【 0 0 8 8 】

受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . が接続されていることで、ビームフォーミング処理部 1 5 3 は、目標角度の次元の信号についてのスロートタイム処理を行うようになる。

図 1 0 に示すレーダ装置 1 0 g のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 1 0 a と同じ構成である。

【 0 0 8 9 】

ここで、第 7 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 g で行われる処理を、数式を用いて説明する。

まず、取得部 1 3 の出力信号を、次の [数 1 5] 式に示す。

【 0 0 9 0 】

【 数 1 5 】

$$x[n, m, s] = \text{sinc}\left(\frac{s}{f_s} - \tau\right) \exp\left\{j\left(2\pi f_d T_{PRI} \cdot N \cdot m + \left(2\pi f_d T_{PRI} - \frac{4\pi \Delta f}{c} R\right) \cdot n - \frac{4\pi f_0}{c} R + 2\pi f_d \tau\right)\right\}$$

【 0 0 9 1 】

この取得部 1 3 の出力は、パルスドップラ処理部 1 5 1 にて、m 方向のフーリエ変換がなされる。

【 0 0 9 2 】

【 数 1 6 】

$$F[n, l, s] = \sum_{m=0}^{M-1} x[n, m, s] \exp\left\{-j4\pi \frac{\Delta V \cdot l}{c} (f_0 + n\Delta f) t_{n, m, s}\right\}$$

【 0 0 9 3 】

【 数 1 7 】

$$t_{n, m, s} = T_{pri} \cdot N \cdot m + T_{pri} \cdot n + \frac{s}{f_s}$$

【 0 0 9 4 】

パルスドップラ処理部 1 5 1 の出力は、合成帯域処理部 1 5 2 にて、n 方向フーリエ変換がなされる。

【 0 0 9 5 】

【 数 1 8 】

$$G[m, k] = \sum_{n=0}^{N-1} F[n, l, s] \exp\left\{j4\pi \frac{\Delta R \cdot k}{c} n \cdot \Delta f\right\}$$

【 0 0 9 6 】

【 数 1 9 】

$$s = \text{floor}\left(\frac{\Delta R \cdot k}{\Delta r}\right), \quad \Delta r = \frac{c}{2 \cdot f_s}$$

【 0 0 9 7 】

合成帯域処理部 1 5 2 の出力は、目標検出部 1 6 にて、しきい値処理がなされ、目標数個の速度と距離が紐づけられて検出される。そして、距離方向複素信号振幅演算部 1 7 により、目標検出部 1 6 にて検出された目標速度と目標距離を用いて距離方向の複素信号振

10

20

50

幅を下式より生成する。

【 0 0 9 8 】

【 数 2 0 】

$$a_{tgtN}[s] = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} x[n, m, s] \exp \left\{ -j4\pi \frac{\hat{V}_{tgtN}}{c} (f_0 + n\Delta f) t_{n, m, s} \right\} \exp \left\{ j4\pi \frac{\hat{R}_{tgtN}}{c} n \cdot \Delta f \right\}$$

【 0 0 9 9 】

さらに、距離方向複素信号振幅演算部 1 7 の出力より、減算信号生成部 1 8 により減算信号が生成される。

【 0 1 0 0 】

【 数 2 1 】

$$y_{tgtN}[n, m, s] = a_{tgtN}[s] \exp \left\{ j4\pi \frac{\hat{V}_{tgtN}}{c} (f_0 + n\Delta f) t_{n, m, s} \right\} \exp \left\{ -j4\pi \frac{\hat{R}_{tgtN}}{c} n \cdot \Delta f \right\}$$

【 0 1 0 1 】

減算処理部 1 9 では、減算信号生成部 1 8 により生成された減算信号を記憶する。

減算器 1 4 では、元の取得部 1 3 の出力から減算処理部 1 9 に記憶された減算信号が減算される。

【 0 1 0 2 】

【 数 2 2 】

$$x'[n, m, s] = x[n, m, s] - \sum_{tgtN=0}^{tgtN-1} y_{tgtN}[n, m, s]$$

【 0 1 0 3 】

ここで、減算処理部 1 9 では、目標数の更新により目標数が 1 として設定される。その後、目標検出の試行回数が設定回数に達すると、以下の式による終了判定を実施する。終了判定では、設定値 より小さいとき終了する。

【 0 1 0 4 】

【 数 2 3 】

$$x[n, m, s] - \sum_{tgtN=0}^{tgtN-1} y_{tgtN}[n, m, s] < \varepsilon$$

【 0 1 0 5 】

終了判定で、設定値 より小さいという条件を満たさないときは、目標数の更新に戻り、目標数に 1 を加えたものが新たに設定される。

【 0 1 0 6 】

[8 . 第 8 の実施の形態例]

図 1 1 は、本発明の第 8 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 h の構成例を示す。

第 8 の実施の形態例のレーダ装置 1 0 h は、スロータイム処理部 1 5 e が、ビームフォーミング処理部 1 5 4 と、パルスドップラ処理部 1 5 5 と、帯域合成処理部 1 5 6 とを備えるようにしたものである。ここで、レーダ装置 1 0 h のスロータイム処理部 1 5 e は、ビームフォーミング処理部 1 5 4、パルスドップラ処理部 1 5 5、帯域合成処理部 1 5 6 の順で処理を行うようにした。なお、取得部 1 3 は、パルス圧縮処理部 1 3 1 を備える。

また、レーダ装置 1 0 h は、図 6 に示すように、受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1, 1 1 2, 1 1 3, 1 1 4, … が接続されている。受信アンテナ 1 1 1, 1 1 2, 1 1 3, 1 1 4, … は、例えば受信角度（方位角）をずらして配置する。

【 0 1 0 7 】

受信部 1 1 に複数の受信アンテナ 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 , . . . が接続されていることで、ビームフォーミング処理部 1 5 4 は、目標角度の次元の信号についてのスロータイム処理を行うようになる。

図 1 1 に示すレーダ装置 1 0 h のその他の箇所は、図 1 に示すレーダ装置 1 0 a と同じ構成である。

【 0 1 0 8 】

[9 . 受信部が受信する信号の例]

図 1 2 は、各実施の形態例の受信部 1 1 での受信信号の例を示す。

図 1 2 (A) は、送信信号 T X の一例を示す。

図 1 2 (A) に示す例では、パルス繰り返し周期 P R I ごとにパルス信号を送信する状態を示す。図 1 2 では、1 周期 P R I ごとの周波数の相違は無視する。

【 0 1 0 9 】

このような送信信号 T X を送信部 2 1 が送信したとき、受信部 1 1 では、図 1 2 (B) に示すように、送信信号 T X の反射波である受信信号 R X が得られる。この受信信号 R X の受信タイミングは、目標との距離に応じて送信タイミングから遅れたものになる。

図 1 2 (B) に示す受信信号 R X は、目標が 1 つである場合の例を示し、目標が 2 つの場合には、図 1 2 (C) に示す状態になる。すなわち、図 1 2 (C) に示すように、第 1 目標に対応した強い受信信号 R X 1 と、第 2 目標に対応した弱い受信信号 R X 2 とが重畳された状態になる。第 1 目標と第 2 目標とに距離が相違する場合、それぞれの信号 R X 1 , R X 2 の受信タイミングが異なる。

【 0 1 1 0 】

この図 1 2 (C) に示す受信信号 R X 1 , R X 2 が受信される状態は理想的な場合を示し、実際には受信部 1 1 でのアナログフィルタ処理により、図 1 2 (D) に示すようなアナログ的に強度が変化する受信信号 R X a の波形が得られる。

本発明の各実施の形態例のレーダ装置 1 0 a ~ 1 0 h では、図 1 2 (D) に示すような受信信号 R X a から、第 1 目標の成分と第 2 目標の成分を取りだして、それぞれの目標を高精度に検出する処理が行われる。

【 0 1 1 1 】

[1 0 . ファストタイム処理とスロータイム処理の例]

図 1 3 は、本発明の各実施の形態例で行われるファストタイム処理とスロータイム処理の概要を示す。

各実施の形態例では、取得部 1 3 が、パルス圧縮処理などのファストタイム処理を行い、スロータイム処理部 1 5 が、合成帯域処理などのスロータイム処理を行うようにした。

まず、受信部 1 1 で図 1 3 (A) に示す繰り返し間隔 P R I ごとの受信信号 R X a が得られるとする。この受信信号は、図 1 2 (D) で説明した受信信号 R X a と同じ波形である。この受信信号 R X a には、図 1 2 で説明した第 1 目標の成分と第 2 目標の成分が含まれている。

【 0 1 1 2 】

ここで、取得部 1 3 では、パルス圧縮処理を行う際に、図 1 3 (B) に示す参照信号を取得し、受信信号をサンプリングした信号と、参照信号との相互相関を取る。ここでの参照信号は、図 1 2 (A) に示す送信信号に対応する。

参照信号との相互相関を取ることで、図 1 3 (C) に示すパルス圧縮 (相互相関) された信号 P 1 が、パルス繰り返し周期 P R I 毎 (ファストタイム方向) に得られる。このパルス圧縮された信号 P 1 は、パルスの終了時刻にピークを持つ波形である。

なお、パルス圧縮された信号 P 1 には、図 1 3 (C) に破線で示す第 2 目標の信号 P 2 が含まれるが、信号 P 1 に埋もれている。

ここまでのパルス圧縮処理は、本実施の形態例で述べるファストタイム処理である。

【 0 1 1 3 】

一方、スロータイム処理部 1 5 でのスロータイム処理では、複数の繰り返し間隔 P R I

10

20

30

40

50

での信号についての処理が行われる。すなわち、図 13 (D) に示すように、それぞれの間隔 PRI の信号の中で、同一レンジビンに対して、パルスビット方向にフーリエ変換する処理が行われる。図 13 (D) に示す状態は、パルス圧縮された信号 P1 のピーク位置の各 PRI のレンジビン (第 1 目標が得られるレンジビン) f_a に対して、パルスビット方向にフーリエ変換する状態を示す。また、図 13 (E) に示す状態は、パルス圧縮された信号 P1 の第 2 目標が得られる箇所のレンジビン f_b に対して、パルスビット方向にフーリエ変換する状態を示す。

【0114】

図 14 は、ファストタイム処理後のレンジビンの信号 (横軸) と、スロータイム処理後のドップラビンの信号 (縦軸) とを、2次元に展開したものである。

減算器 14 での減算が行われていない最初の状態では、図 14 (A) に示すように、レンジビンとドップラビンのいずれの方向でも、第 1 目標の位置が最も高く、その第 1 目標の位置から徐々にレベルが低下する状態を示す。

図 14 (B) は、スロータイム処理後のドップラビンの方向に、フーリエ変換した状態を矢印で示す。例えば、最も高いレベルのレンジビン f_a が、第 1 目標が含まれる信号になる。

【0115】

そして、距離方向複素信号振幅生成部 17 での距離方向複素信号振幅の生成で、レンジビン方向に減算波形を生成することで、図 15 (A) に示すように、第 1 目標についての減算波形 1 が生成される。この減算波形 1 を元の波形から減算することで、図 15 (B) に示すように、第 1 目標の成分が除去された第 2 目標 (およびそれより信号強度が弱い目標) の成分の波形 2 が得られる。

この減算後の第 2 目標の成分の波形 2 から、距離、速度、角度などの検出が可能になる。

【0116】

図 16 は、図 15 (B) に示す減算後の信号から、第 2 目標を検出した例を示す。図 16 は、図 14 と同様に、ファストタイム処理後のレンジビンの信号 (横軸) と、スロータイム処理後のドップラビンの信号 (縦軸) とを、2次元に展開したものである。

この図 16 に示すように、減算後の信号からは、第 2 目標の信号がピークとして明確に現れ、第 2 目標についての情報 (速度、距離、方位など) を高精度に検出できるようになる。

【0117】

図 17 は、速度と距離に展開した信号 (左側) と、信号の電力 (右側) とを示す。図 17 (A) は、受信信号を示す。図 17 (A) に示すように、受信信号には、第 1 目標 m_1 の情報と、第 2 目標の情報 m_2 と、第 3 目標の情報 m_3 とが含まれている。

図 17 (B) は、この受信信号から第 1 目標を得る信号を示す。第 1 目標を得る際には減算処理を行っていないので、図 17 (A) の信号と図 17 (B) の信号は同じであり、第 1 目標 m_1 がピークになる。このピーク値より第 1 目標を検出することができる。そして、第 1 目標の目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅を求める処理が行われる。

【0118】

図 17 (C) は、1 回目の減算処理を行った信号を示す。すなわち、第 1 目標を検出した際の目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅から、第 1 目標についての減算信号を生成し、減算処理を行うことで、振幅が小さな第 2 目標と第 3 目標が重畳した信号が、図 17 (C) に示すように残る。この信号では第 2 目標 m_2 がピークになり、第 2 目標 m_2 の距離や速度を検出することができる。そして、第 2 目標の目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅を求める処理が行われる。

【0119】

図 17 (D) は、2 回目の減算処理を行った信号を示す。すなわち、第 2 目標を検出した際の目標速度における距離ビン毎の信号複素振幅から、第 2 目標についての減算信号を生成し、減算処理を行うことで、振幅が小さな第 3 目標の信号が、図 17 (D) に示すよ

10

20

30

40

50

うに残る。この信号では第3目標 m_3 がピークになり、第3目標 m_3 の距離や速度を検出することができる。

さらに第4目標以降が存在する場合には、減算処理を繰り返す。

【0120】

[11. スロータイム信号の例]

上述した各実施の形態例では、符号変調された時分割多周波ステップ信号を受信して、ファストタイム処理とスロータイム処理を行うようにした。

時分割多周波ステップ信号について、スロータイム処理を行うのは一例であり、その他の受信信号を、スロータイム信号として処理することもできる。

【0121】

例えば、図18(A)は、符号変調したパルス信号を、同じ周波数を使って、パルス繰り返し間隔(PRI)で繰り返し送信する場合に、一定数の繰り返し間隔で、スロータイム信号を生成する例を示す。

【0122】

図18(B)は、符号変調したパルス信号を、順に周波数を変化させて、パルス繰り返し間隔(PRI)で繰り返し送信する場合に、その周波数変化を繰り返す単位で、スロータイム信号を生成する例を示す。つまり、図18(B)は、時分割多周波ステップ信号の例である。

【0123】

この時分割多周波ステップ信号の場合、図18(C)に示すように、例えば周波数がN段階(Nは2以上の任意の整数)の変化であり、周波数 f_0 から f_{N-1} まで変化するものを、 $m=0$ のスロータイム信号とし、以下、同じ周期で、 $m=1$ 、 $m=2$ 、・・・とスロータイム信号を生成する。

なお、図18(B)や図18(C)に示す例では、周波数を順に変化させる例を示したが、図示の例とは異なる順序で周波数を変化させてもよい。

【0124】

図18(D)は、複数の受信アンテナによるアンテナアレイを備えて、その複数の受信アンテナの受信信号をビームフォーミング処理する場合におけるスロータイム信号の例を示す。この例は、図5および図6に示す第4の実施の形態例に相当する。

それぞれのアンテナの受信信号がパルス信号であるとき、全てのアンテナの受信信号で、スロータイム信号を生成する。この場合のスロータイム信号では、距離や速度の情報の他に、目標の方向(方位角)の情報を取得することができる。

【0125】

[12. 具体的な信号処理の例]

次に、第1の実施の形態例の構成で、信号処理を行う場合の具体的な信号処理の詳細を、説明する。

まず、受信部11で受信される信号は、送信部21から送信した信号が目標で反射し、目標までの往復時間に相当する時間遅延の後、受信波として受信アンテナに入射し、受信部11で受信され、アナログ/デジタル変換器12でサンプリングされる。

サンプリングされた受信波は、[数24]式で示される。

【0126】

【数24】

$$x[t_{n,m}, s, code] = CPC_{code}(s - \tau) \times \exp \left\{ j \left(2\pi f_{d,n} (t_{n,m} + T_{PRI} \cdot (code - 1) + \tau) - \frac{4\pi \Delta f}{c} R \cdot f_n \right) \right\}$$

【0127】

ここで、 $t_{n,m}$ は周波数ステップ番号 n の m 回目の時刻、 s は距離ゲート番号、 $code$ は、CPC符号列番号($code=0,1$)、 $f_{d,n}$ は周波数ステップ番号 n の周波数における

10

20

30

40

50

ドップラ周波数である。

複数目標が存在する環境下におけるサンプリング信号は、[数24]式の線形和として表される。

アナログ/デジタル変換器12でサンプリングされた信号は、パルス圧縮処理部131でパルス圧縮処理され、その出力は、次の[数25]式で示される。

【0128】

【数25】

$$y[t_{n,m}, s, code] = \text{sinc}_{code}(s - \tau) \times \exp \left\{ j \left(2\pi f_{d,n} (t_{n,m} + T_{PRI} \cdot (code - 1) + \tau) - \frac{4\pi \Delta f}{c} R \cdot f_n \right) \right\}$$

【0129】

ここで、 sinc_{code} は各CPC符号の自己相関関数を示す。パルス圧縮出力は、パルスドップラ処理部132のパルスドップラフィルタ(PDF)処理により、周波数ステップごとにm方向のフーリエ変換が施され、その出力は、次の[数26]式で示される。

【0130】

【数26】

$$F[n, l, s, code] = \sum_{m=0}^{M-1} y[t_{n,m}, s, code] \times \exp \left\{ -j 4\pi \frac{\Delta V \cdot l}{c} f_n \left(t_{n,m} + \frac{s}{f_s} \right) \right\}$$

【0131】

フーリエ変換が施された信号は、加算処理により、各codeのパルスドップラフィルタ出力が加算処理される。加算処理された出力は、次の[数27]式で示される。

【0132】

【数27】

$$G[n, l, s] = \sum_{code=0}^1 F[n, l, s, code]$$

30

【0133】

そして、パルスドップラ処理部132の出力は、スロータイム処理部15に供給され、スロータイム処理が行われる。スロータイム処理として、第2の実施の形態例のように合成帯域処理部15aでの合成帯域処理を行った場合、n方向のフーリエ変換が施される。

n方向のフーリエ変換が施された信号は、次の[数28]式で示される。

【0134】

【数28】

$$H[m, k] = \sum_{n=0}^{N-1} F[n, l, s] \exp \left\{ j 4\pi \frac{\Delta R \cdot k}{c} n \cdot \Delta f \right\}$$

$$s = \text{ceil} \left(\frac{\Delta R \cdot k}{\Delta r} \right), \quad \Delta r \text{ は距離ゲート幅}$$

40

【0135】

50

合成帯域処理部 15 a の出力は、目標検出部 16 にて、しきい値処理がなされ、最大電力に対応する速度と距離が紐づけられて検出される。

そして、減算信号生成部 18 において、減算する目標数が K のときのパルス圧縮後の距離ビン毎の複素振幅は、次の [数 29] 式で示される。

【 0 1 3 6 】

【 数 29 】

$$a_{lgn}[s, code] = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} y[t_{n,m}, s, code] \times \exp\left\{-j4\pi \frac{\hat{V}_{lgn}}{c} f_n t_{n,m,s}\right\} \exp\left\{j4\pi \frac{\hat{R}_{lgn}}{c} f_n\right\}$$

【 0 1 3 7 】

ここで、 $lgn (= 0, 1, \dots, K-1)$ は、減算する目標番号を示す。距離ビン毎の距離方向複素信号振幅生成部 17 の出力を用いて、距離ビン毎の減算信号波形が、次の [数 30] 式で生成される。

【 0 1 3 8 】

【 数 30 】

$$y'_{lgn}[t_{n,m}, s, code] = a_{lgn}[s, code] \times \exp\left\{j4\pi \frac{\hat{V}_{lgn}}{c} f_n t_{n,m,s}\right\} \exp\left\{-j4\pi \frac{\hat{R}_{lgn}}{c} f_n\right\}$$

【 0 1 3 9 】

この減算信号の減算処理により、元のパルス圧縮出力から減算信号を減算する。減算後の波形は、次の [数 31] 式で示される。

【 0 1 4 0 】

【 数 31 】

$$y''[t_{n,m}, s, code] = y[t_{n,m}, s, code] - \sum_{lgn=0}^{K-1} y'_{lgn}[t_{n,m}, s, code]$$

【 0 1 4 1 】

ここで、減算処理部 19 は、例えば収束判定により、 V^{\wedge} および R^{\wedge} (\wedge は本来は数式に示すように符号の上に付与される) が収束するまで、減算処理を繰り返す。収束したら、目標 / サイドローブ判定に移行する。例えば、減算する目標数が K のときと、 $K-1$ のときの合成帯域後のサイドローブレベルを比較して、サイドローブレベルに低減が見られないときは、最後に検知した目標はサイドローブの誤検知であるとして、検知対象から除外し、次に大きなピーク電力を K 番目の目標として検知して処理を続ける。サイドローブレベルに低減が確認されたら、目標であるとして、終了判定に移行する。

40

【 0 1 4 2 】

例えば、[数 31] 式の減算後の波形が、[数 32] 式に示すように雑音レベルになったとき、全体の処理を終了する。

【 0 1 4 3 】

【 数 32 】

$$y[t_{n,m}, s, code] - \sum_{lgn=0}^{lgn-1} y'_{lgn}[t_{n,m}, s, code] < \epsilon$$

【 0 1 4 4 】

50

減算後の波形が雑音レベルにならないとき、減算目標数更新により減算する目標に新たに推定した目標を加え、減算する目標数を $K + 1$ とし、減算処理を繰り返す。

このような終了判定処理は、例えば図3のフローチャートのステップS18や、図8のフローチャートのステップS29での終了判定に相当する。

なお、このような雑音レベルの判断に基づいて終了判定を行うのは一例であり、その他の処理で終了判定してもよい。

【0145】

[13. 変形例]

なお、上述した各実施の形態例で示す構成は、それぞれの構成を行う処理回路などのハードウェアを設けて、専用の回路で構成してもよいが、処理回路の一部または全てを、コンピュータで構成してもよい。コンピュータで構成する場合には、それぞれの処理を行うプログラムを用意し、そのプログラムのコンピュータへの実装で、各処理回路での処理が実現される。

ここでのコンピュータには、CPU (Central Processing Unit: 中央処理装置) とその周辺機器をバスで接続した一般的な計算機他に、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等の半導体チップで構成されたコンピュータによって実現してもよい。

【符号の説明】

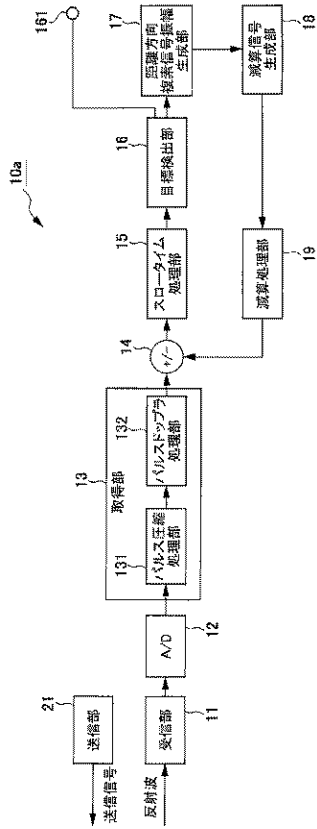
【0146】

10a, 10b, 10c, 10d, 10e, 10f, 10g, 10h レーダ装置、11 受信部、12 アナログ/デジタル変換器、13 取得部、14 減算器、15 スロータイム処理部、15a 合成帯域処理部、15b パルスドップラ処理部、15c ビームフォーミング処理部、15d, 15e スロータイム処理部、16 目標検出部、17 距離方向複素信号振幅生成部、18 減算信号生成部、19 減算処理部、21 送信部、111, 112, 113, 114 アンテナ、131 パルス圧縮処理部、132 パルスドップラ処理部、132a 帯域合成処理部、133 ビームフォーミング処理部、151 パルスドップラ処理部、152 帯域合成処理部、153 ビームフォーミング処理部、154 ビームフォーミング処理部、155 パルスドップラ処理部、156 帯域合成処理部、161 目標検出信号出力部、191 目標数推定部

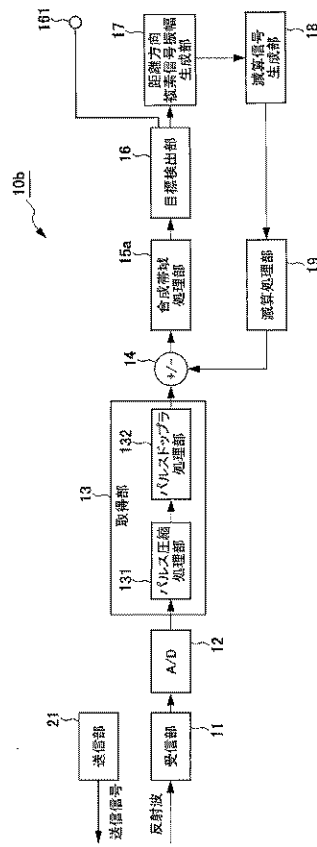
10

20

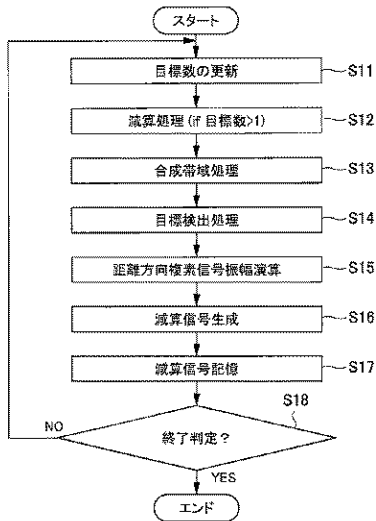
【図1】



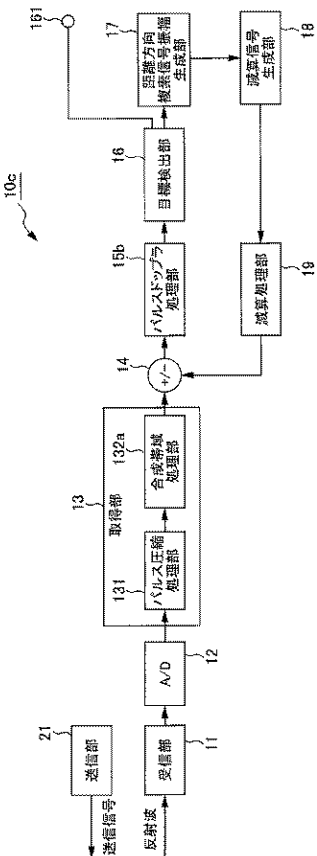
【図2】



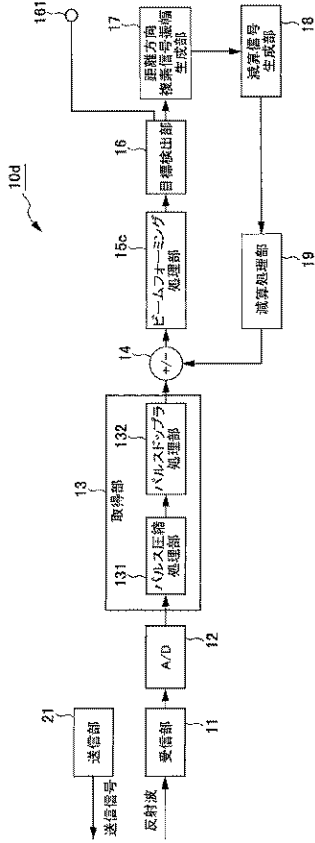
【図3】



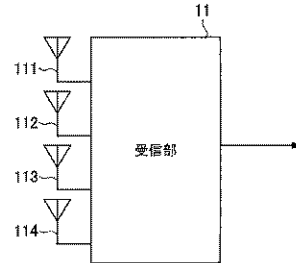
【図4】



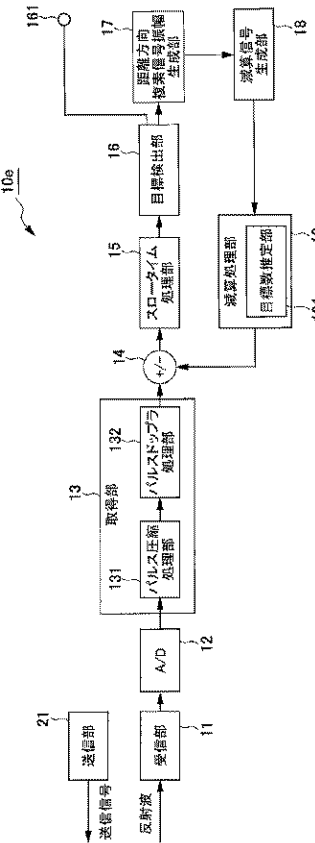
【図5】



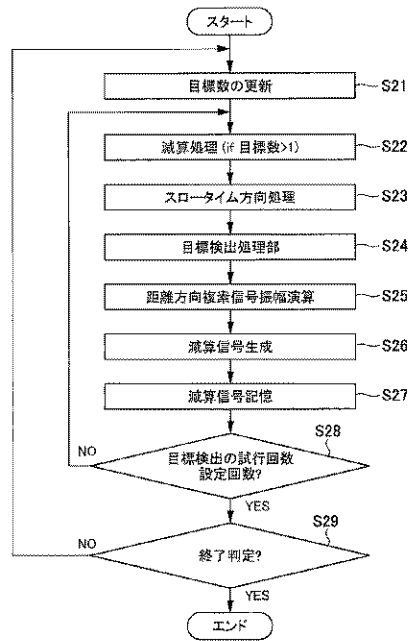
【図6】



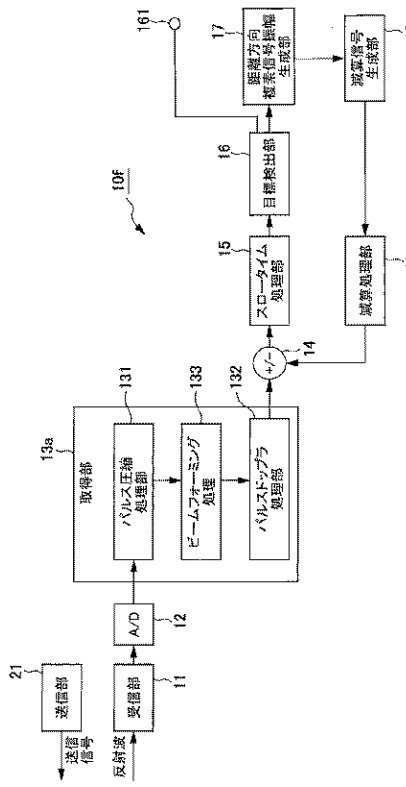
【図7】



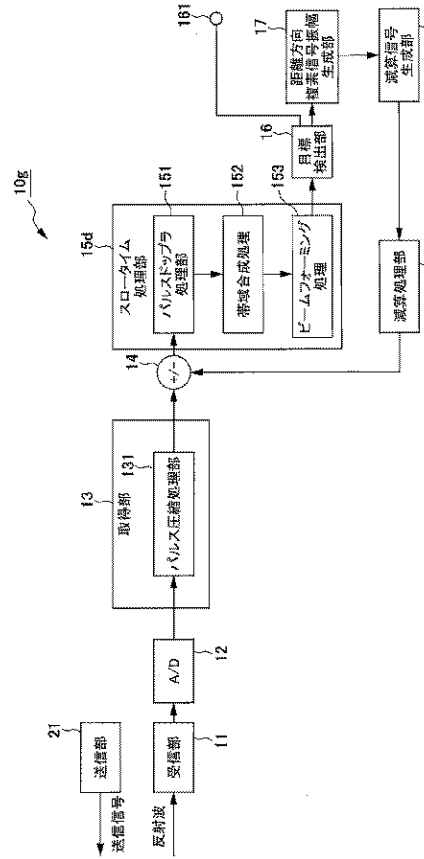
【図8】



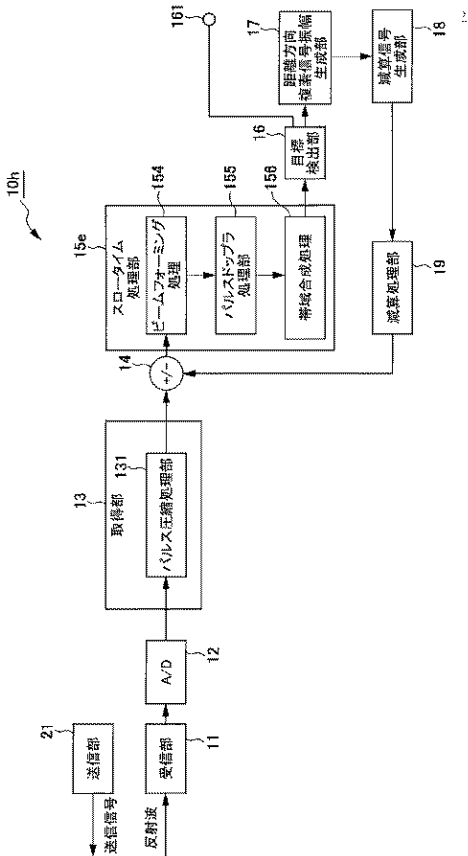
【図 9】



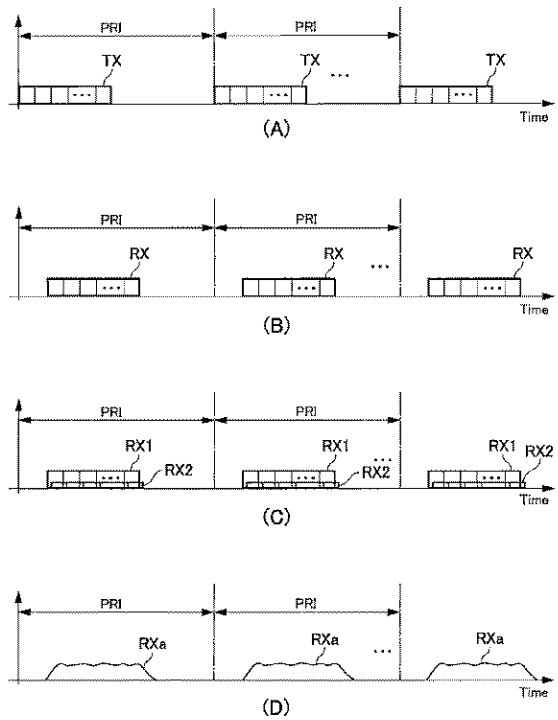
【図 10】



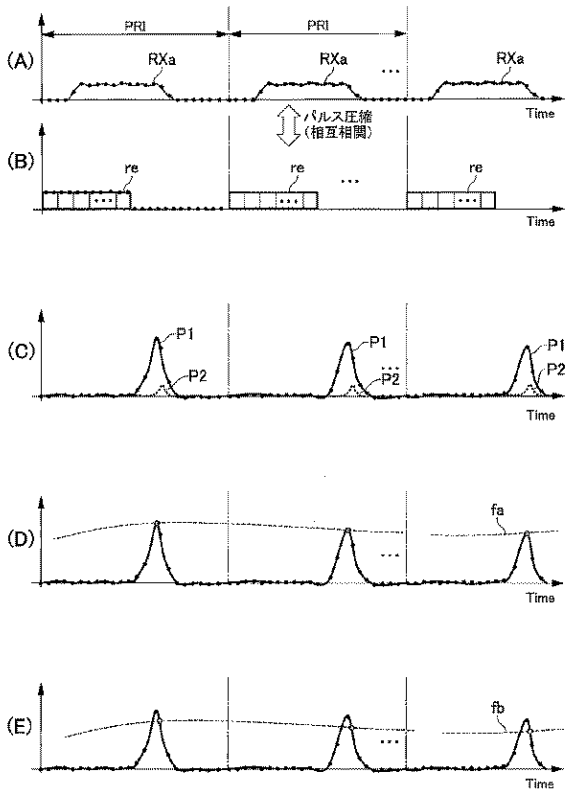
【図 11】



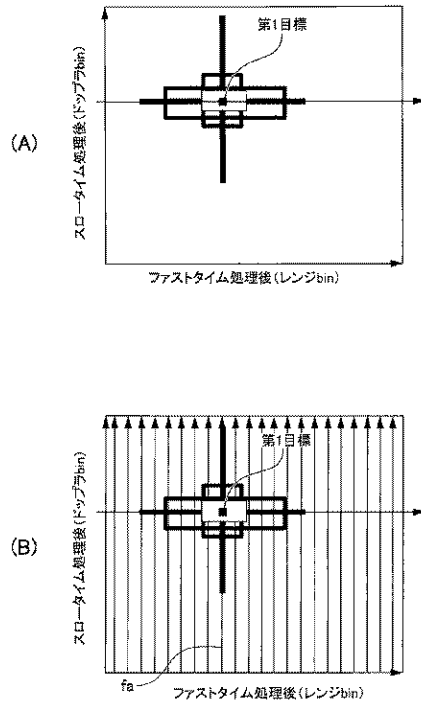
【図 12】



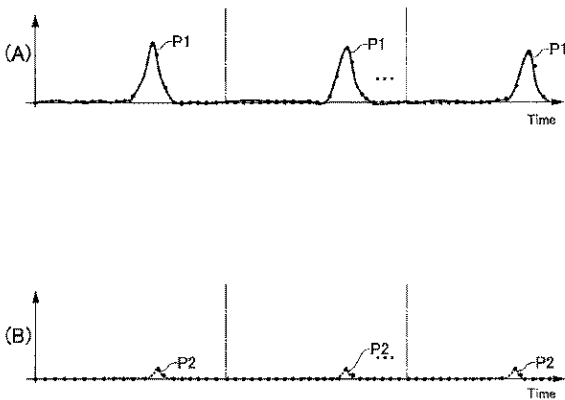
【図13】



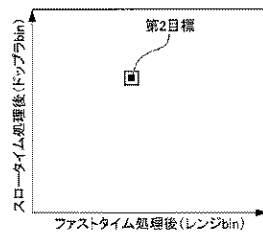
【図14】



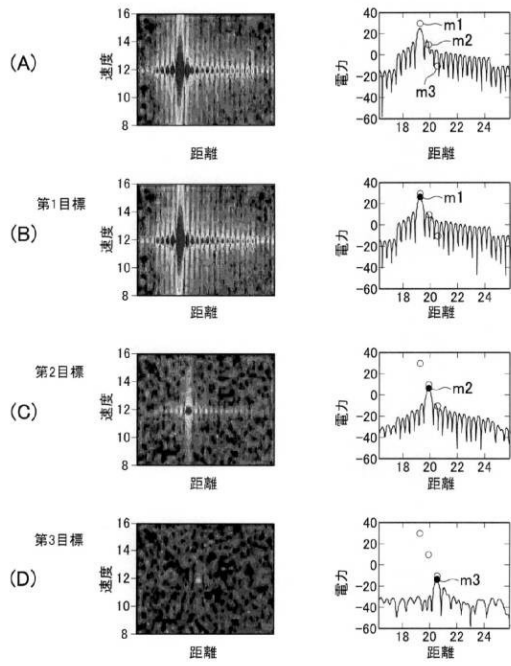
【図15】



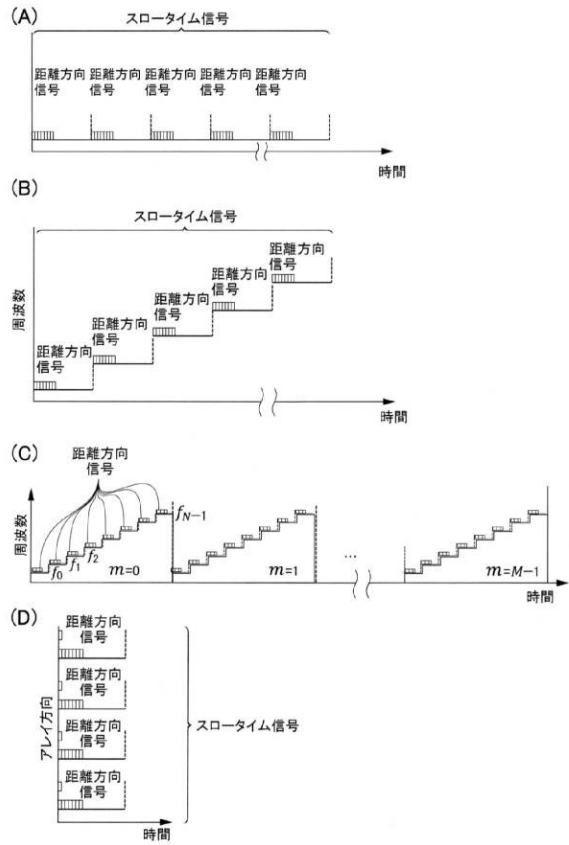
【図16】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

