

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6075846号
(P6075846)

(45) 発行日 平成29年2月8日(2017.2.8)

(24) 登録日 平成29年1月20日(2017.1.20)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 S 13/58 (2006.01) GO 1 S 13/58 2 1 0
 GO 1 S 13/60 (2006.01) GO 1 S 13/60 2 2 0

請求項の数 5 (全 14 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-239295 (P2012-239295) | (73) 特許権者 | 000166247 古野電気株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成24年10月30日(2012.10.30) | | 兵庫県西宮市芦原町9番52号 |
| (65) 公開番号 | 特開2014-89115 (P2014-89115A) | (74) 代理人 | 110000682 特許業務法人ワンディーIPパートナーズ |
| (43) 公開日 | 平成26年5月15日(2014.5.15) | (72) 発明者 | 箕輪 昌裕 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成27年9月8日(2015.9.8) | (72) 発明者 | 淺田 泰暢 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内 |
| | | 審査官 | ▲高▼場 正光 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置、及び速度算出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも2つの異なるパルス繰り返し周波数でパルス信号を送信する送信部と、
 第1のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第1の受信信号に基づいて第1のドップラ速度を算出する第1の速度算出部と、
 第2のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第2の受信信号に基づいて第2のドップラ速度を算出する第2の速度算出部と、
 前記第1のドップラ速度と前記第2のドップラ速度との速度差に基づき、前記第1のドップラ速度を折り返し補正して第1の補正済みドップラ速度を算出する第1の速度補正部と、
 前記速度差に基づき、前記第2のドップラ速度を折り返し補正して第2の補正済みドップラ速度を算出する第2の速度補正部と、
前記第1の補正済みドップラ速度と前記第2の補正済みドップラ速度とに基づき平均速度を算出する平均速度算出部と、

を備える、レーダ装置。

【請求項2】

前記送信部は、2つの異なるパルス繰り返し周波数で前記パルス信号を送信する、請求項1に記載のレーダ装置。

【請求項3】

前記送信部は、前記第1のパルス繰り返し周波数で送信するパルス信号と、前記第2の

パルス繰り返し周波数で送信するパルス信号とを交互に送信する、請求項 1 又は請求項 2 に記載のレーダ装置。

【請求項 4】

前記第 1 の速度算出部及び前記第 2 の速度算出部の少なくとも一方は、パルスペア法を用いて前記ドップラ速度を算出する、請求項 1 から 3 のいずれかに記載のレーダ装置。

【請求項 5】

(a) 少なくとも 2 つの異なるパルス繰り返し周波数でパルス信号を送信するステップと、
 (b) 第 1 のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第 1 の受信信号に基づいて第 1 のドップラ速度を算出するステップと、
 (c) 第 2 のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第 2 の受信信号に基づいて第 2 のドップラ速度を算出するステップと、
 (d) 前記第 1 のドップラ速度と前記第 2 のドップラ速度との速度差に基づき、前記第 1 のドップラ速度を折り返し補正して第 1 の補正済みドップラ速度を算出するステップと、
 (e) 前記速度差に基づき、前記第 2 のドップラ速度を折り返し補正して第 2 の補正済みドップラ速度を算出するステップと、
(f) 前記第 1 の補正済みドップラ速度と前記第 2 の補正済みドップラ速度とに基づき平均速度を算出するステップと、

を含む、ドップラ速度算出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、より正確にドップラ速度を算出することのできるレーダ装置、及び速度算出方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

雨又は雲等の物標の速度を検出するためのレーダ装置は、複数のパルス信号を送信し、物標により反射されたエコー信号の位相回転量からその速度の算出を行う。このレーダ装置では、ドップラ周波数がパルス繰り返し周波数 (P R F : Pulse Repetition Frequency) 以下となる速度までしか算出することができず、物標の速度が大きい場合には、パルス間のドップラ周波数が観測上限である P R F を超えるときがある。このときは、算出された速度が実際の速度よりも低速な速度として観測されるいわゆる「折り返し」が発生することにより、正確な速度を算出することができない。

【0003】

これに対して、非特許文献 1 には、折り返しが発生しても実際の速度を算出することができる方法が開示されている。この方法では、2 つのパルス繰り返し周波数でパルス信号を交互に送信する。そして、2 つのパルス繰り返し周波数で得られた速度の差から折り返し数を判定し、その折り返し数に基づき速度を補正して速度を算出する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】足立栄男、佐藤祐子 「ドップラー気象レーダ」 東芝レビュー V o l . 5 5 No . 5 (2 0 0 0) p . 2 7 - 3 0

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述したように折り返し数に基づき折り返し補正をして速度を算出することにより実際の速度に近い速度を算出することができるが、より精度の高い速度を算出したいという要望がある。そこで、本発明は、より高い精度で速度を算出することのできるレーダ装置、及び速度算出方法を提供することを課題とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0006】

(1) 上記課題を解決するため、本発明のある局面に係るレーダ装置は、送信部と、第1の速度算出部と、第2の速度算出部と、第1の速度補正部と、第2の速度補正部とを備えている。前記送信部は、少なくとも2つの異なるパルス繰り返し周波数でパルス信号を送信する。前記第1の速度算出部は、第1のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第1の受信信号に基づいて第1のドップラ速度を算出する。前記第2の速度算出部は、第2のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第2の受信信号に基づいて第2のドップラ速度を算出する。前記第1の速度補正部は、前記第1のドップラ速度と前記第2のドップラ速度との速度差に基づき、前記第1のドップラ速度を折り返し補正して第1の補正済みドップラ速度を算出する。前記第2の速度補正部は、前記速度差に基づき、前記第2のドップラ速度を折り返し補正して第2の補正済みドップラ速度を算出する。

10

【0007】

そして、本発明のある局面に係るレーダ装置は、前記第1の補正済みドップラ速度と前記第2の補正済みドップラ速度とに基づき平均速度を算出する平均速度算出部をさらに備える。

【0008】

(2) 好ましくは、前記送信部は、2つの異なるパルス繰り返し周波数で前記パルス信号を送信する。

20

【0009】

(3) 好ましくは、前記送信部は、前記第1のパルス繰り返し周波数で送信するパルス信号と、前記第2のパルス繰り返し周波数で送信するパルス信号とを交互に送信する。

【0010】

(4) 好ましくは、前記第1の速度算出部及び前記第2の速度算出部の少なくとも一方は、パルスペア法を用いて前記ドップラ速度を算出する。

【0011】

(5) 上記課題を解決するため、本発明のある局面に係るドップラ速度算出方法は、次のステップ(a)から(f)を含む。ステップ(a)は、少なくとも2つの異なるパルス繰り返し周波数でパルス信号を送信する。ステップ(b)は、第1のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第1の受信信号に基づいて第1のドップラ速度を算出する。ステップ(c)は、第2のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号の反射波として受信された第2の受信信号に基づいて第2のドップラ速度を算出する。ステップ(d)は、前記第1のドップラ速度と前記第2のドップラ速度との速度差に基づき、前記第1のドップラ速度を折り返し補正して第1の補正済みドップラ速度を算出する。ステップ(e)は、前記速度差に基づき、前記第2のドップラ速度を折り返し補正して第2の補正済みドップラ速度を算出する。

30

【0012】

そして、本発明のある局面に係るドップラ速度算出方法は、ステップ(f)として、前記第1の補正済みドップラ速度と前記第2の補正済みドップラ速度とに基づき平均速度を算出するステップを更に含む。

40

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、より高い精度で速度を算出することのできるレーダ装置、及び速度算出方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】 図1は本発明の実施形態に係るレーダ装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 図2は本発明の実施形態に係るレーダ装置におけるドップラ速度算出装置の構成を示すブロック図である。

50

【図 3】図 3 は複素受信信号 Z_1 と複素受信信号 Z_2 との位相差を示す極座標である。

【図 4】図 4 は測定されるドップラ速度と真のドップラ速度との関係を示すグラフである。

【図 5】図 5 は本発明の実施形態に係るドップラ速度算出装置において速度を算出する手順の一例を示すフローチャートである。

【図 6】図 6 は変形例に係るドップラ速度算出装置の構成を示すブロック図である。

【図 7】図 7 は測定される位相差と真の位相差との関係を示すグラフである。

【図 8】図 8 は変形例 1 に係るレーダ装置におけるドップラ速度算出装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】図 9 は変形例 2 に係るレーダ装置におけるドップラ速度算出装置の構成を示すブロック図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明に係るレーダ装置及び速度算出方法の実施形態について図面を参照しつつ説明する。なお、以下では、レーダ装置を備えている船舶を「自船」という。

【0016】

図 1 は、本実施形態に係るレーダ装置 1 の構成を示すブロック図である。図 1 に示すように、本実施形態に係るレーダ装置 1 は、アンテナユニット 2、ドップラ速度算出装置 3、及び表示装置 4 を備えている。

【0017】

20

(アンテナユニット 2)

アンテナユニット 2 は、アンテナ 21、送受切替部 22、送信部 23、受信部 24、及び局部発振器 25 を備えている。

【0018】

アンテナ 21 は、指向性を有するパルス状電波を送信するとともに、物標からの反射波（エコー信号）を含む受信信号を受信するように構成されている。レーダ装置 1 は、アンテナ 21 がパルス状電波を送信してからエコー信号を受信するまでの時間を測定することにより、物標までの距離を知ることができる。また、アンテナ 21 は、水平面内において 360 度回転可能に構成されており、パルス状電波の送信方向を変えながら、電波の送受信を繰り返し行うように構成されている。物標の方位は、対応する送信信号を送信するときのアンテナ 21 の方位から求められる。以上の構成で、自船周囲の平面上の物標を 360 度にわたり探知することができる。

30

【0019】

送受切替部 22 は、送信時には、送信部 23 からアンテナ 21 に送信信号が送られる接続に切り替える。また、送受切替部 22 は、受信時には、アンテナ 21 が受信したエコーがアンテナ 21 から受信部 24 に送られる接続に切り替える。

【0020】

送信部 23 は、信号生成部 231 と、第 1 の周波数変換部 232 とを有している。信号生成部 231 は、2 つの異なるパルス繰り返し周波数でパルス信号が送信されるようパルス信号を生成して第 1 の周波数変換部 232 に出力する。詳細には、信号生成部 231 は、第 1 のパルス繰り返し周波数（PRF1）で送信されるパルス信号と、第 2 のパルス繰り返し周波数（PRF2）で送信されるパルス信号とを交互に生成する。

40

【0021】

第 1 の周波数変換部 232 は、信号生成部 231 から出力されたパルス信号を局部発振器 25 から出力されるローカル信号と混合することで周波数変換し、送受切替器 22 を介してアンテナ 21 へ出力する。なお、第 1 の周波数変換部 232 の出力信号の周波数帯は、例えば、3 GHz 帯又は 9 GHz 帯である。

【0022】

受信部 24 は、第 2 の周波数変換部 241 と、A/D 変換部 242 と、直交検波部 243 とを有している。第 2 の周波数変換部 241 は、送受切替部 22 を介してアンテナ 21

50

から出力される受信信号を、局部発振器 2 5 から出力されるローカル信号と混合することで中間周波数に変換し、A / D変換部 2 4 2 に出力する。

【 0 0 2 3 】

A / D変換部 2 4 2 は、第 2 の周波数変換部 2 4 1 から出力されるアナログ形式の受信信号をデジタル形式の受信信号に変換して直交検波部 2 4 3 に出力する。

【 0 0 2 4 】

直交検波部 2 4 3 は、A / D変換部 2 4 2 から出力された受信信号を直交検波することにより、I (In-Phase) 信号、及び I 信号と位相が $\pi/2$ だけ異なる Q (Quadrature) 信号を生成する。ここで、I 信号は、受信信号の複素エンベロープ信号の実数部、Q 信号は、受信信号の複素エンベロープ信号の虚数部である。なお、以下では、複素エンベロープ信号を複素受信信号と称する。この複素受信信号の振幅は、 $(I^2 + Q^2)^{1/2}$ で表され、複素受信信号の位相は、 $\tan^{-1}(Q/I)$ で表される。以上のようにして生成された I 信号及び Q 信号は、ドップラ速度算出装置 3 に出力される。

10

【 0 0 2 5 】

(ドップラ速度算出装置)

図 2 は、本実施形態に係るドップラ速度算出装置 3 の構成を示すブロック図である。図 2 に示すように、ドップラ速度算出装置 3 は、第 1 の速度算出部 3 1 a と、第 2 の速度算出部 3 1 b と、速度差算出部 3 2 と、第 1 の速度補正部 3 3 a と、第 2 の速度補正部 3 3 b と、平均速度算出部 3 4 とを備えている。

【 0 0 2 6 】

第 1 及び第 2 の速度算出部 3 1 a、3 1 b は、直交検波部 2 4 3 から出力された I 信号及び Q 信号に基づき、ドップラ速度を算出する。詳細には、第 1 の速度算出部 3 1 a は、第 1 のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号によって得られた第 1 の複素受信信号に基づき、パルスペア方式を用いて第 1 のドップラ速度を算出する。具体的には、図 3 に示すように、第 1 の速度算出部 3 1 a は、ある距離で受信された第 1 の複素受信信号 Z_1 と、次に送信されたパルス信号によって得られた第 1 の複素受信信号 Z_2 との位相差を算出する。なお、第 1 の複素受信信号 Z_1 と第 1 の複素受信信号 Z_2 とは同一距離で受信された信号である。そして、第 1 の速度算出部 3 1 a は、以下の (1) 式に基づき、第 1 のドップラ速度 V_{d1} を算出し、この第 1 のドップラ速度 V_{d1} を速度差算出部 3 2 及び第 1 の速度補正部 3 3 a に出力する。

20

$$V_{d1} = \frac{\Delta \phi}{4\pi T} \cdots (1)$$

なお、 λ はパルス信号の波長、T はパルス信号の繰り返し周期を表す。

30

【 0 0 2 7 】

第 2 の速度算出部 3 1 b は、第 2 のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号によって得られた第 2 の複素受信信号に基づき、上述した第 1 の速度算出部 3 1 a と同様の方法で第 2 のドップラ速度 V_{d2} を算出する。また、第 2 の速度算出部 3 1 b は、算出した第 2 のドップラ速度 V_{d2} を、速度差算出部 3 2 及び第 2 の速度補正部 3 3 b に出力する。なお、この第 1 の速度算出部 3 1 a が算出した第 1 のドップラ速度 V_{d1} 、及び第 2 の速度算出部 3 1 b が算出した第 2 のドップラ速度 V_{d2} は、補正前のドップラ速度であって、レーダ装置 1 が最終的に出力するドップラ速度ではない。

40

【 0 0 2 8 】

速度差算出部 3 2 は、第 1 の速度算出部 3 1 a から出力された第 1 のドップラ速度 V_{d1} と、第 2 の速度算出部 3 1 b から出力された第 2 のドップラ速度 V_{d2} との速度差 V を算出する。本実施形態では、速度差算出部 3 2 は、第 1 のドップラ速度 V_{d1} から第 2 のドップラ速度 V_{d2} を減算した値 ($V_{d1} - V_{d2}$) を速度差 V として算出する。また、速度差算出部 3 2 は、算出した速度差 V を第 1 の速度補正部 3 3 a 及び第 2 の速度補正部 3 3 b に出力する。

【 0 0 2 9 】

第 1 の速度補正部 3 3 a は、速度差算出部 3 2 から出力された速度差 V に基づき、第 1 の速度算出部 3 1 a から出力された第 1 のドップラ速度 V_{d1} を折り返し補正して、第

50

1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出する。すなわち、第1の速度補正部33aは、速度差 V に基づき第1のドップラ速度 V_{d1} の折り返し数 n_1 を決定し、この折り返し数 n_1 を用いて第1のドップラ速度 V_{d1} を補正し第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出する。また、第1の速度補正部33aは、算出した第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を平均速度算出部34に出力する。

【0030】

詳細には、第1の速度補正部33aは、図4に示すような測定されるドップラ速度と真のドップラ速度との関係を示すグラフを参照し、速度差 V に基づいて折り返し数 n_1 を決定する。なお、測定されるドップラ速度は、本実施形態における第1のドップラ速度 V_{d1} 、又は第2のドップラ速度 V_{d2} に相当し、真のドップラ速度は、本実施形態における第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} 、又は第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} に相当する。また、図4に示すグラフは、2つのパルス繰り返し周波数が決まることにより一義的に設定されるグラフであり、速度差 V と折り返し数 n_1 及び n_2 との対応関係を示す情報を含んでいる。すなわち、第1の速度補正部33aは、予め設定された速度差 V と折り返し数 n_1 との対応関係を示す対応情報に基づき、速度差 V から折り返し数 n_1 を決定する。

10

【0031】

第1の速度補正部33aは、折り返し数 n_1 を決定すると、以下の(2)式に基づき、第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出する。

$$V_{r1} = V_{d1} + 2n_1 \cdot V_{n1} \quad \dots (2)$$

20

ここで、 V_{n1} は、第1の速度算出部31aが算出可能な最大ドップラ速度、すなわち第1のパルス繰り返し周波数におけるナイキスト速度であり、次の(3)式で表される。

$$V_{n1} = \cdot f_1 / 4 \quad \dots (3)$$

なお、 f_1 は、第1のパルス繰り返し周波数を表す。

【0032】

第2の速度補正部33bは、速度差算出部32から出力された速度差 V に基づき、第2の速度算出部31bから出力された第2のドップラ速度 V_{d2} を折り返し補正して、第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。すなわち、第2の速度補正部33bは、速度差 V に基づき第2のドップラ速度 V_{d2} の折り返し数 n_2 を決定し、この折り返し数 n_2 を用いて第2のドップラ速度 V_{d2} を補正し第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。また、第2の速度補正部33bは、算出した第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を平均速度算出部34に出力する。

30

【0033】

詳細には、第2の速度補正部33bは、上述した第1の速度補正部33aと同様にして第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。なお、第2の速度補正部33bは、次の(4)式に基づき、第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。

$$V_{r2} = V_{d2} + 2n_2 \cdot V_{n2} \quad \dots (4)$$

ここで、 V_{n2} は、第2の速度算出部31bが算出可能な最大ドップラ速度、すなわち第2のパルス繰り返し周波数におけるナイキスト速度であり、次の(5)式で表される。

$$V_{n2} = \cdot f_2 / 4 \quad \dots (5)$$

40

なお、 f_2 は、第2のパルス繰り返し周波数を表す。

【0034】

ここで、図4に基づいて速度差 V から折り返し数を決定する方法について、いくつか例を挙げて具体的に説明する。まず、第1の速度補正部33aは、速度差算出部32から出力された速度差 V に基づき、該当する領域を決定する。例えば、速度差 V が $-V_2$ であれば、第1の速度補正部33aは、該当する領域が A_2 であると決定する。図4に基づきこの領域 A_2 における第1のドップラ速度の折り返し数は1であるため、第1の速度補正部33aは、折り返し数 n_1 を1に決定する。また、速度差 V が V_6 であれば、第1の速度補正部33aは、該当する領域が A_6 であると決定する。図4に基づきこの領域 A_6 における第1のドップラ速度の折り返し数 n_1 は -1 であるため、第1の速度補正部

50

33aは、折り返し数 n_1 を-1に決定する。

【0035】

このように、第1の速度補正部33aは、速度差 V の正負及び大きさを基準にして、対応する折り返し数 n_1 を決定する。同様に第2の速度補正部33bも、速度差 V の正負及び大きさを基準にして、対応する折り返し数 n_2 を決定する。

【0036】

平均速度算出部34は、第1の速度補正部33aから出力された第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} と、第2の速度補正部33bから出力された第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} との平均値を平均速度 V_{ave} として算出する。具体的には、平均速度算出部34は、以下の(6)式より平均速度 V_{ave} を算出する。また、平均速度算出部34は、算出した平均速度 V_{ave} を表示装置4に出力する。

$$V_{ave} = (V_{r1} + V_{r2}) / 2 \quad \dots (6)$$

【0037】

(表示装置)

表示装置4は、平均速度算出部34から出力される平均速度 V_{ave} を表示する。

【0038】

(速度算出方法)

上述したように構成されたレーダ装置1を用いて物標のドップラ速度を算出方法について、図5を参照しつつ説明する。なお、図5は、本実施形態に係るレーダ装置においてドップラ速度を算出する手順の一例を示すフローチャートである。

【0039】

図5に示すように、第1の速度算出部31aによって第1のドップラ速度 V_{d1} を算出するとともに、第2の速度算出部31bによって第2のドップラ速度 V_{d2} を算出する(ステップS1)。

【0040】

詳細には、第1の速度算出部31aは、第1のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号によって得られる第1の複素受信信号に基づき、パルスペア法を用いて第1のドップラ速度 V_{d1} を算出する。また、第2の速度算出部31bも同様に、第2のパルス繰り返し周波数で送信されたパルス信号によって得られる第2の複素受信信号に基づき、パルスペア法を用いて第2のドップラ速度 V_{d2} を算出する。このようにして算出された第1のドップラ速度 V_{d1} 及び第2のドップラ速度 V_{d2} は、速度差算出部32、第1の速度補正部33a、及び第2の速度補正部33bに出力される。

【0041】

次に、速度差算出部32は、第1のドップラ速度 V_{d1} と第2のドップラ速度 V_{d2} との差から速度差 V を算出する(ステップS2)。具体的には、速度差算出部32は、第1のドップラ速度 V_{d1} から第2のドップラ速度 V_{d2} を減算することにより、すなわち、 $V_{d1} - V_{d2}$ を計算することにより、速度差 V を算出する。また、速度差算出部32は、算出した速度差 V を第1の速度補正部33a、及び第2の速度補正部33bに出力する。

【0042】

次に、第1の速度補正部33aによって、第1のドップラ速度 V_{d1} を折り返し補正して第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出するとともに、第2の速度補正部33bによって、第2のドップラ速度 V_{d2} を折り返し補正して第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する(ステップS3)。

【0043】

詳細には、第1の速度補正部33aは、図4に示すグラフを参照し、速度差算出部32から出力された速度差 V に基づき、折り返し回数 n_1 を決定する。そして、第1の速度補正部33aは、上述した(2)式により、第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出する。また、第2の速度補正部33bも同様に、図4に示すグラフを参照し、速度差算出部32から出力された速度差 V に基づき、折り返し回数 n_2 を決定する。そして、第2の

10

20

30

40

50

速度補正部 33b は、上述した (4) 式により、第 2 の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。以上のようにして算出された第 1 の補正済みドップラ速度 V_{r1} 及び第 2 の補正済みドップラ速度 V_{r2} は、平均速度算出部 34 に出力される。

【0044】

次に、平均速度算出部 34 は、第 1 の補正済みドップラ速度 V_{r1} 及び第 2 の補正済みドップラ速度 V_{r2} に基づき、平均速度 V_{ave} を算出する (ステップ S4)。具体的には、平均速度算出部 34 は、 $(V_{r1} + V_{r2}) / 2$ を算出することにより、平均速度 V_{ave} を算出する。

【0045】

以上説明した本実施形態に係るレーダ装置 1 によれば、第 1 の補正済みドップラ速度 V_{r1} だけでなく、第 2 の補正済みドップラ速度 V_{r2} まで算出することができる。このように、出力するドップラ速度のデータ量を従来の 2 倍とすることができるため、より高い精度でドップラ速度を算出することができる。

【0046】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

【0047】

(1) 例えば、上記実施形態では、第 1 の速度算出部 31a 及び第 2 の速度算出部 31b は、パルスペア方式によってそれぞれ第 1 又は第 2 のドップラ速度 V_{d1} 、 V_{d2} を算出しているが、第 1 及び第 2 のドップラ速度の算出方位法は、これに限定されるものではない。例えば、第 1 及び第 2 の速度算出部 31a、31b は、FFT (Fast Fourier Transform) 方式によってドップラ速度 V_{d1} 、 V_{d2} を算出することができる。なお、FFT 方式では、第 1 の速度算出部 31a は、第 1 の複素受信信号をフーリエ変換処理することによって周波数領域に変換し、その周波数スペクトラムのピークを読み取ることによって第 1 のドップラ速度 V_{d1} を算出する。また、第 2 の速度算出部 31b は、第 2 の複素受信信号に同様の処理をすることによって第 2 のドップラ速度 V_{d2} を算出する。

【0048】

(2) また、上記実施形態において、速度差算出部 32 は、第 1 のドップラ速度 V_{d1} から第 2 のドップラ速度 V_{d2} を減算することによって速度差 V を算出しているが、特にこれに限定されるものではない。例えば、速度差算出部 32 は、第 2 のドップラ速度 V_{d2} から第 1 のドップラ速度 V_{d1} を減算することによって速度差 V を算出することもできる。なお、この場合は、図 4 のグラフにおける速度差 V の正負が逆になる。

【0049】

(3) また、上記実施形態において、レーダ装置 1 は、平均速度算出部 34 で算出した平均速度 V_{ave} を最終出力としているが、特にこれに限定されるものではない。例えば、レーダ装置 1 は、平均速度算出部 34 を備えていなくてもよく、第 1 及び第 2 の補正済みドップラ速度 V_{r1} 、 V_{r2} を最終出力とすることができる。

【0050】

(4) また、上記実施形態では、第 1 及び第 2 の速度算出部 31a、31b によって第 1 及び第 2 のドップラ速度 V_{d1} 、 V_{d2} を算出していたが、次のように第 1 及び第 2 のドップラ速度 V_{d1} 、 V_{d2} を算出しない構成とすることもできる。

【0051】

図 6 は、本変形例に係るドップラ速度算出装置 3' の構成を示すブロック図である。図 6 に示すように、本変形例に係るドップラ速度算出装置 3' は、第 1 の位相差算出部 35a、第 2 の位相差算出部 35b、位相差算出部 36、第 1 の速度補正部 37a、第 2 の速度補正部 37b、及び平均速度算出部 38 を備えている。

【0052】

第 1 の位相差算出部 35a は、第 1 の複素受信信号に基づき、上記実施形態における第 1 の速度算出部 31a と同様の方法で第 1 の位相差 ϕ_{d1} を算出する。また、第 2 の位相差算出部 35b も同様に、第 2 の複素受信信号に基づき、第 2 の位相差 ϕ_{d2} を算出する

10

20

30

40

50

。この第1の位相差 d_1 及び第2の位相差 d_2 は、位相差差算出部36、第1の速度補正部37a、及び第2の速度補正部37bに出力される。

【0053】

位相差差算出部36は、第1の位相差 d_1 と第2の位相差 d_2 との差である位相差差を算出する。具体的には、位相差差算出部36は、第1の位相差 d_1 から第2の位相差 d_2 を減算して位相差差を算出し、この位相差差を第1の速度補正部37a及び第2の速度補正部37bに出力する。

【0054】

第1の速度補正部37aは、図7に示すような測定される位相差と真の位相差との関係を示すグラフを参照し、位相差差に基づいて、第1の複素受信信号の位相回転数である第1の位相回転数 n_1 を決定する。そして、第1の速度補正部37aは、第1の位相差 d_1 と、第1の位相回転数 n_1 とに基づき、真の位相差である第1の補正済み位相差 r_1 を次の(7)式を用いて算出する。

$$r_1 = d_1 + 2n_1 \cdot n_1 \cdot \dots (7)$$

ここで、 n_1 は、第1の位相差算出部35aが算出可能な最大位相差である。そして、第1の速度補正部37aは、算出した第1の補正済み位相差 r_1 に基づき、パルスペア方式、すなわち次の(8)式によって第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} を算出する。

$$V_{r1} = r_1 / (4T) \cdot \dots (8)$$

【0055】

同様に、第2の速度補正部37bは、位相差差に基づき、第2の複素受信信号の位相回転数である第2の位相回転数 n_2 を決定し、真の位相差である第2の補正済み位相差 r_2 を算出し、パルスペア方式によって第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} を算出する。

【0056】

平均速度算出部38は、第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} と、第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} との平均値 V_{ave} を算出する。具体的には、平均速度算出部38は、 $(V_{r1} + V_{r2}) / 2$ を計算し、これを平均値 V_{ave} として出力する。

【実施例】

【0057】

以下に実施例及び比較例を示して、本発明をさらに具体的に説明する。なお、本発明は、下記実施例に限定されるものではない。

【0058】

実施例は、上記実施形態と同様のレーダ装置1を用いて、平均速度算出部34よりドップラ速度を出力する。なお、実施例において出力するドップラ速度は、上記実施形態の平均速度 V_{ave} に相当する。

【0059】

比較例1は、図8に示すような、上記実施形態のドップラ速度算出装置3から第2の速度補正部33b及び平均速度算出部34を省略したドップラ速度算出装置300を備えたレーダ装置を用いて、第1の速度補正部33aよりドップラ速度を出力する。なお、比較例1において出力するドップラ速度は、上記実施形態の第1の補正済みドップラ速度 V_{r1} に相当する。

【0060】

比較例2は、図9に示すような、上記実施形態のドップラ速度算出装置3から第1の速度補正部33a及び平均速度算出部34を省略したドップラ速度算出装置301を備えたレーダ装置を用いて、第2の速度補正部33bよりドップラ速度を出力する。なお、比較例2において出力するドップラ速度は、上記実施形態の第2の補正済みドップラ速度 V_{r2} に相当する。

【0061】

以上説明した実施例、比較例1、及び比較例2によって、3つの船舶1~3のドップラ速度を9点算出し、その算出した9点のドップラ速度の速度平均値、標準偏差、及び分散

10

20

30

40

50

を表 1 に示した。なお、第 1 のパルス繰り返し周波数は 2 0 0 0 H z、第 2 のパルス繰り返し周波数は 1 6 0 0 H z とした。表 1 から、実施例は、比較例 1 及び比較例 2 に比べて分散が少なく、高い精度でドップラ速度を算出できていることが分かる。

【 0 0 6 2 】

【表 1】

| | | 実施例 | 比較例1 | 比較例2 |
|---|------------|--------|--------|--------|
| A | 速度平均値(m/s) | -5.617 | -5.746 | -5.489 |
| | 標準偏差 | 0.171 | 0.203 | 0.237 |
| | 分散 | 0.029 | 0.041 | 0.056 |
| B | 速度平均値(m/s) | 4.560 | 4.632 | 4.489 |
| | 標準偏差 | 0.095 | 0.222 | 0.137 |
| | 分散 | 0.009 | 0.049 | 0.019 |
| C | 速度平均値(m/s) | -8.196 | -8.237 | -8.155 |
| | 標準偏差 | 0.142 | 0.437 | 0.329 |
| | 分散 | 0.020 | 0.191 | 0.108 |

10

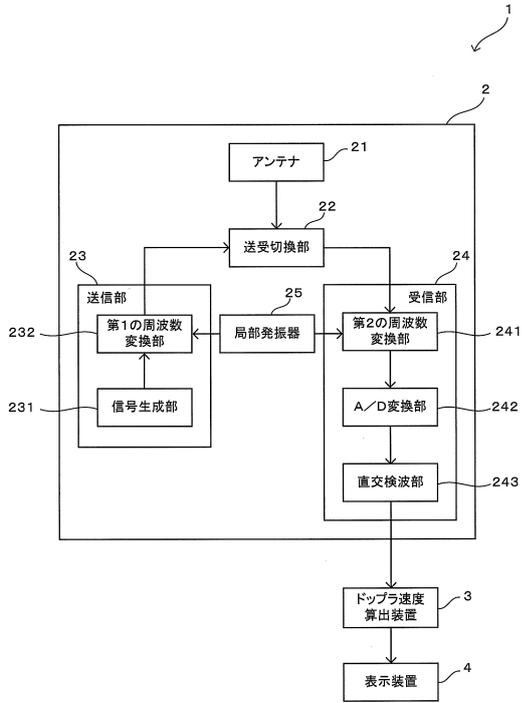
20

【符号の説明】

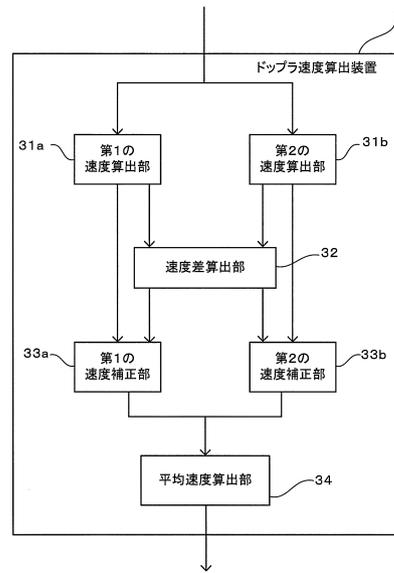
【 0 0 6 3 】

- 1 レーダ装置
- 3 1 a 第 1 の速度算出部
- 3 1 b 第 2 の速度算出部
- 3 3 a、3 7 a 第 1 の速度補正部
- 3 3 b、3 7 b 第 2 の速度補正部
- 3 5 a 第 1 の位相差算出部
- 3 5 b 第 2 の位相差算出部

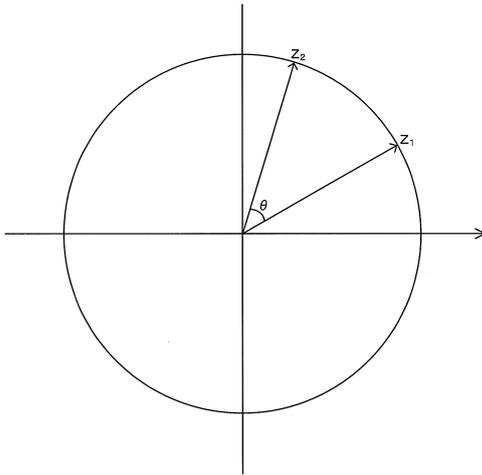
【図1】



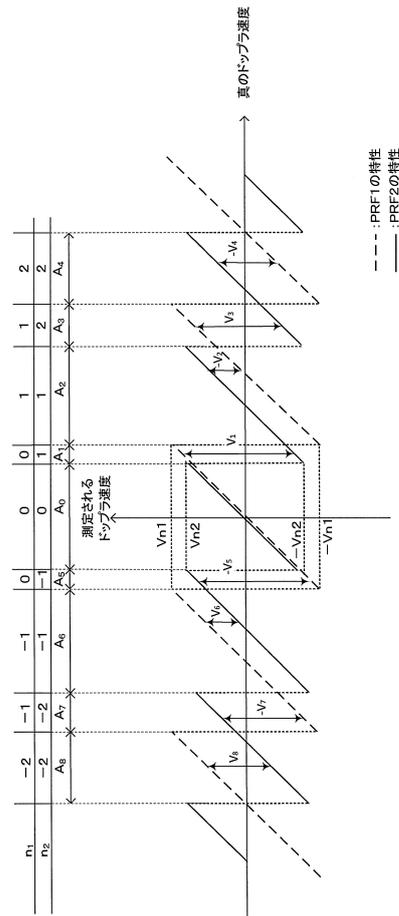
【図2】



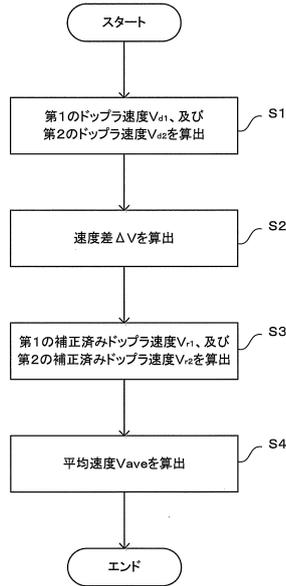
【図3】



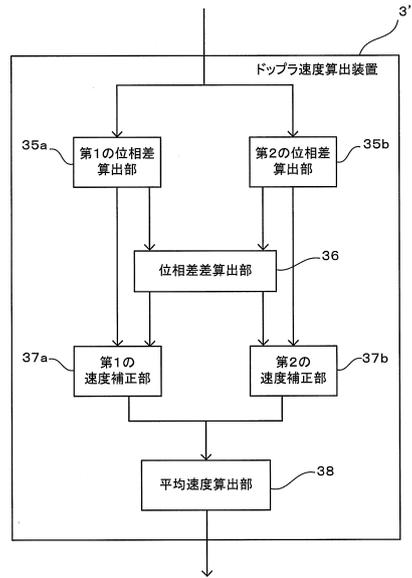
【図4】



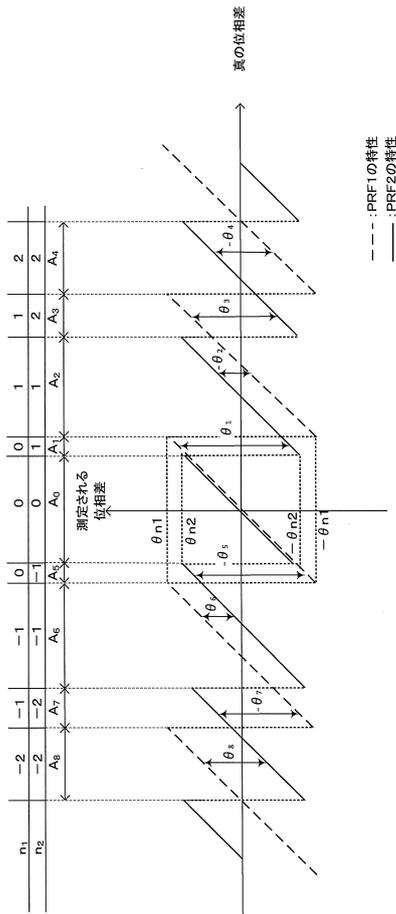
【図5】



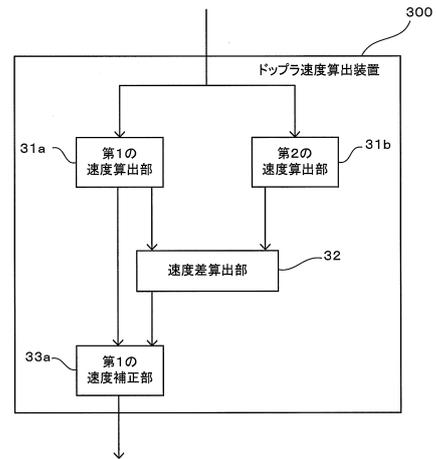
【図6】



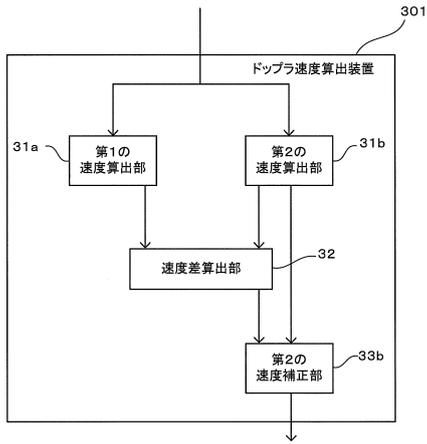
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第05027122(US,A)
特表2008-501289(JP,A)
特開2006-226955(JP,A)
特開2011-203176(JP,A)
米国特許第07605744(US,B1)
足立栄男 外1名, “ドップラー気象レーダ”, 東芝レビュー TOSHIBA REVIEW, 株式会社東芝
, 2000年 5月 1日, Volume 55, Number 5, Pages 27-30

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - G01S 7/64
G01S 13/00 - G01S 17/95