

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6305662号
(P6305662)

(45) 発行日 平成30年4月4日(2018.4.4)

(24) 登録日 平成30年3月16日(2018.3.16)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 S 17/58	(2006.01)	GO 1 S 17/58	
GO 1 S 17/95	(2006.01)	GO 1 S 17/95	
GO 1 P 5/26	(2006.01)	GO 1 P 5/26	A

請求項の数 7 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2017-554729 (P2017-554729)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	平成27年12月10日 (2015.12.10)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/084609		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(87) 国際公開番号	W02017/098623	(74) 代理人	100123434
(87) 国際公開日	平成29年6月15日 (2017.6.15)		弁理士 田澤 英昭
審査請求日	平成30年1月11日 (2018.1.11)	(74) 代理人	100101133
早期審査対象出願			弁理士 濱田 初音
		(74) 代理人	100199749
			弁理士 中島 成
		(74) 代理人	100188880
			弁理士 坂元 辰哉
		(74) 代理人	100197767
			弁理士 辻岡 将昭
		(74) 代理人	100201743
			弁理士 井上 和真

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザレーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を発振する光発振器と、
 前記光発振器が発振した前記レーザ光を変調する光変調器と、
 前記光変調器が変調した前記レーザ光を大気へ放射し、被放射物からの散乱光を受信光として受信する光アンテナと、
 前記光アンテナが受信した前記受信光をヘテロダイン検波する光受信器と、
 前記光アンテナの動揺値を検出するセンサと、
 前記光受信器がヘテロダイン検波することにより得られた受信信号のスペクトルを算出し、前記センサが検出した前記動揺値を用いて前記スペクトルを補正し、補正した前記スペクトルを積算し、積算した前記スペクトルから前記被放射物の速度を算出する信号処理器と
 を備えたことを特徴とするレーザレーダ装置。

【請求項2】

前記信号処理器は、
 設定されたレンジピンで前記受信信号を分割するレンジピン分割器と、
 前記レンジピン分割器が分割した前記受信信号をフーリエ変換し、前記レンジピンごとの前記受信信号のスペクトルを算出する高速フーリエ変換処理器と、
 前記センサが検出した前記動揺値を用いて、動揺した状態での前記レーザ光の放射方向を、動揺がない状態の放射方向に射影するパラメータを算出する補正係数算出器と、

前記補正係数算出器が算出した前記パラメータを用いて、前記高速フーリエ変換処理器が算出した前記スペクトルを補正するスペクトル補正器と、

前記レンジビン分割器が分割したレンジビンごとに、前記スペクトル補正器が補正した前記スペクトルを積算する積算器と、

前記積算器が積算した前記スペクトルから前記被放射物のドップラーシフト成分を算出し、前記ドップラーシフト成分から前記被放射物の風速を算出する風速算出器と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 3】

前記光アンテナが放射した前記レーザ光の視線方向を切り替えるスキャナを備え、

前記信号処理器は、

前記風速算出器が算出した複数の視線方向の風速値から風ベクトルを算出する風ベクトル算出器と、

を備えたことを特徴とする請求項 2 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 4】

前記レンジビン分割器は、前記センサが検出した前記動揺値を用いて、動揺による観測高度誤差を補正するように、前記受信信号のレンジビンを決定することを特徴とする請求項 2 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 5】

前記光受信器がヘテロダイン検波することにより得られた受信信号を、前記レンジビン分割器が決定したレンジビンを用いて、デジタル信号に変換するアナログデジタル変換器を備えたことを特徴とする請求項 4 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 6】

前記光変調器は、前記光発振器が発振した前記レーザ光をパルス化するときのパルスタイミングを示すパルストリガ信号を出力し、

前記センサが検出した前記動揺値は、タイムスタンプを含み、

前記信号処理器は、前記光変調器が出力した前記パルストリガ信号と前記動揺値のタイムスタンプとを比較し、前記受信信号のスペクトルの補正に用いる前記動揺値を決定することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザレーダ装置。

【請求項 7】

前記信号処理器は、前記光変調器が出力した前記パルストリガ信号と前記動揺値のタイムスタンプとの時間的差異が設定された閾値より大きい場合、前記受信信号のスペクトルの補正において前記動揺値の推測値を用いることを特徴とする請求項 6 に記載のレーザレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザレーダ装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

レーザ光を空気中に射出し、大気中に浮遊する微小な液体または固体の粒子（エアロゾル）に反射した散乱光を受信することで、風の速度を知ることができるレーザレーダ装置が知られている。このレーザレーダ装置の使用用途には、動揺が発生する航空機や洋上浮体などといったプラットフォームへの搭載がある。このようなプラットフォームは、風、波などの外的要因によって動揺が発生することが一般的である。

例えば、プラットフォームに搭載する従来のレーザレーダ装置が特許文献 1 に開示されている。従来のレーザレーダ装置では、大気中エアロゾルからの散乱光を時間ごとにフーリエ変換して、時間ごとの散乱光の周波数スペクトルを求める。その後、時間ごとの周波数スペクトルを積算し、積算した周波数スペクトルのピーク値から視線方向の風速値を求める。そして、積算した周波数スペクトルから求めた風速値に対して動揺値を補正し、動揺の影響を取り除いた風速値を求めている。このように、従来のレーザレーダ装置は動揺

10

20

30

40

50

補正を行っていた。ここで、補正に用いる動揺値は、積算した時間における動揺の平均値である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

特開 2013 - 253910号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来のレーザレーダ装置は、動揺値の補正を行う前に時間ごとの周波数スペクトルを積算しているため、積算した周波数スペクトルのピークが広がってしまう課題があった。周波数スペクトルのピークが広がってしまう理由は、動揺値は時間ごとに異なり、その影響を受けた周波数スペクトルのピークは時間ごとに変化するため、ピークの異なる周波数スペクトルが積算されるからである。このように、従来のレーザレーダ装置は、周波数スペクトルが広がってしまうため、雑音に対するピーク値、つまりSNR (Signal to Noise Ratio) が劣化していた。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明のレーザレーダ装置は、レーザ光を発振する光発振器と、光発振器が発振したレーザ光を変調する光変調器と、光変調器が変調したレーザ光を大気へ放射し、被放射物からの散乱光を受信光として受信する光アンテナと、光アンテナが受信した受信光をヘテロダイン検波する光受信器と、光アンテナの動揺値を検出するセンサと、光受信器がヘテロダイン検波することにより得られた受信信号のスペクトルを算出し、センサが検出した動揺値を用いてスペクトルを補正し、補正したスペクトルを積算し、積算したスペクトルから被放射物の速度を算出する信号処理器とを備える。

20

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、レーザレーダ装置が動揺することによるSNRの劣化を抑制できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

30

【0007】

【図1】この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の一構成例を示す構成図である。

【図2】この発明の実施の形態1に係る信号処理器10の一構成例を示す構成図である。

【図3】この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置における観測距離と受信時間との関係を示す図である。

【図4】この発明の実施の形態1に係る補正係数算出器103の一構成例を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態1に係る動揺値抽出器301の動作の一例を示すフローチャートである。

40

【図6】この発明の実施の形態1に係るスペクトル補正器104の一構成例を示す構成図である。

【図7】この発明の実施の形態1に係るリサンプリング処理器401の処理を表す概念図である。

【図8】この発明の実施の形態1に係る積算器105の積算処理を表す概念図である。

【図9】この発明の実施の形態1に係る積算器105の積算結果の概念図である。

【図10】この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の動揺による照射角度のずれと風速との関係を示す関係図である。

【図11】従来方式の積算結果と本方式の積算結果との比較を示す比較図である。

【図12】視線方向によってエアロゾルが異なる場合のスペクトルを示す図である。

50

【図13】この発明の実施の形態1に係る実施の形態1の他の構成例を示す構成図である。

【図14】この発明の実施の形態2のレーザレーダ装置の一構成例を示す構成図である。

【図15】この発明の実施の形態2の信号処理器14の一構成例を示す構成図である。

【図16】動揺によって観測高度がずれることを示す模擬図である。

【図17】観測高度と風速値との関係を示す関係図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の一構成例を示す構成図である。

10

本レーザレーダ装置は、光発振器1（光発振器の一例）、光カブラ2、光変調器3（光変調器の一例）、光サーキュレータ4、光アンテナ5（光アンテナの一例）、スキャナ6（スキャナの一例）、合波カブラ7、光受信器8（光受信機の一例）、A/D（Analog to Digital converter）変換器9（アナログデジタル変換器の一例）、信号処理器10、動揺センサ11（センサの一例）、及び表示器12を備える。

【0009】

光発振器1は、レーザ光を発振する光発振器である。光発振器1は、光カブラ2に接続され、発振したレーザ光を光カブラ2に出力する。例えば、光発振器1には半導体レーザ、固体レーザなどが用いられる。

20

【0010】

光カブラ2は、光発振器1が出力したレーザ光をローカル光と送信光とに分岐する光カブラである。ローカル光とは、光カブラ2から合波カブラ7を介して光受信器8に繋がる経路を通る光をいい、送信光とは、光カブラ2から光変調器3を介して光アンテナ5に繋がる経路を通る光をいう。光カブラ2は、光発振器1、光変調器3、及び合波カブラ7に接続され、ローカル光を合波カブラ7に出力し、送信光を光変調器3に出力する。例えば、光カブラ2には、溶融ファイバカブラ、誘電体多層膜フィルタを用いたフィルタ型カブラなどが用いられる。

【0011】

光変調器3は、光カブラ2が出力した送信光の周波数をシフトさせる変調器である。光変調器3は、光カブラ2、光サーキュレータ4、A/D変換器9、及び信号処理器10に接続される。光変調器3は、送信光に対して周波数変調及び強度変調を行い、送信光の周波数をシフトさせるとともに、送信光をパルス化する。また、光変調器3は、送信光をパルス化する時のパルスタイミングを示すパルストリガ信号をA/D変換器9及び信号処理器10に出力する。パルストリガ信号は例えば5VのTTL（Transistor-Transistor Logic）信号に相当する。例えば、光変調器3にはAO周波数シフタ（Acoustical Optical Frequency Shifter）、光位相変調器などが用いられる。

30

【0012】

光サーキュレータ4は、光変調器が変調した送信光と、スキャナ6及び光アンテナ5を介して得られる受信光とを分離する光サーキュレータである。ここで受信光は、送信光に対するエアロゾルの散乱光である。光サーキュレータ4は、光変調器3、光アンテナ5、及び合波カブラ7に接続され、送信光を光アンテナ5に出力し、受信光を合波カブラ7に出力する。例えば、光サーキュレータ4には、波長板とビームスプリッタを用いて構成されるサーキュレータなどで、空間伝搬型、ファイバ結合型のものが用いられる。

40

【0013】

光アンテナ5は、光サーキュレータ4が出力した送信光を出力し、エアロゾルからの散乱光を受信光として受信する光アンテナである。光アンテナ5は、光サーキュレータ4及びスキャナ6に接続され、送信光をスキャナ6に出力し、受信光を光サーキュレータ4に

50

出力する。例えば、光アンテナ 5 には光学望遠鏡、カメラレンズが用いられる。

【 0 0 1 4 】

スキャナ 6 は、光アンテナ 5 が出力した送信光を走査し、大気中への照射方向（視線方向ともいう）を変化させるスキャナである。スキャナ 6 は、ウェッジプリズムとそれを回転させるモータ、エンコーダから構成される。モータには、例えば、エンコーダ付ステッピングモータが使用される。スキャナ 6 は、モータを任意速度で回転させ、ウェッジプリズムの視線方向を変化させるとともに、信号処理器 10 に送信光が照射される角度情報を出力する。例えば、スキャナ 6 には、ウェッジプリズムミラー、ガルバノスキャナーなどが用いられる。

【 0 0 1 5 】

合波カプラ 7 は、ローカル光と受信光とを合波する合波カプラである。合波カプラ 7 は、光カプラ 2、光サーキュレータ 4、及び光受信器 8 に接続される。合波カプラ 7 は、光カプラ 2 が出力したローカル光と光サーキュレータ 4 が出力した受信光とを合波し、合波光を光受信器 8 に出力する。例えば、合波カプラ 7 には、溶融ファイバカプラ、誘電体多層膜フィルタを用いたフィルタ型カプラなどが用いられる。

【 0 0 1 6 】

光受信器 8 は、合波カプラ 7 が出力した合成光をヘテロダイン検波する光受信器である。光受信器 8 は、合波カプラ 7 と A / D 変換器 9 に接続される。光受信器 8 は、合波カプラ 7 が出力した合成光をヘテロダイン検波し、検波した光信号を電気信号に変換し、A / D 変換器 9 に出力する。例えば、光受信器 8 には、バランスドレシーバなどが用いられる。

【 0 0 1 7 】

A / D 変換器 9 は、光受信器 8 がヘテロダイン検波したアナログ信号をデジタル信号に変換する A / D 変換器である。A / D 変換器 9 は、光受信器 8、光変調器 3、及び信号処理器 10 に接続される。A / D 変換器 9 は、光受信器 8 が出力したアナログ電気信号を、光変調器 3 が出力したレーザパルストリガ信号をトリガとしてサンプリングし、アナログ信号をデジタル信号へ変換して信号処理器 10 に出力する。例えば、A / D 変換器 9 には、二重積分型 A / D 変換器、逐次比較形 A / D 変換器、並列比較型 A / D 変換器などが用いられる。

【 0 0 1 8 】

信号処理器 10 は、A / D 変換器 9 が出力したデジタル信号を信号処理し、動揺補正を行った風ベクトルを算出する信号処理器である。

図 2 は、この発明の実施の形態 1 に係る信号処理器 10 の一構成例を示す構成図である。

信号処理器 10 は、レンジピン分割器 101（レンジピン分割器の一例）、FFT 処理器 102（高速フーリエ変換処理器の一例）、補正係数算出器 103（補正係数算出器の一例）、スペクトル補正器 104（スペクトル補正器の一例）、積算器 105（積算器の一例）、風速算出器 106（風速算出器の一例）、風ベクトル算出器 107（風ベクトル算出器の一例）、及びスキャナ制御器 108 を備える。

【 0 0 1 9 】

レンジピン分割器 101 は、A / D 変換器 9 が出力するデジタル信号を任意個数のレンジピンに分割するレンジピン分割器である。レンジピン分割器 101 は、A / D 変換器 9 及び FFT 処理器 102 に接続される。レンジピン分割器 101 は、A / D 変換器 9 が出力したデジタル信号を、任意個数のレンジピンで区切り、区切ったデジタル信号を FFT 処理器 102 に出力する。レンジピンで区切るということは、信号を一定時間で分割することである。例えば、レンジピン分割器 101 には、FPGA（Field Programmable Gate Array）の論理回路、マイコン（マイクロコンピュータ）などが用いられる。

【 0 0 2 0 】

FFT 処理器 102 は、レンジピン分割器 101 が出力した信号を FFT（Fast

10

20

30

40

50

Fourier Transform) 処理するFFT処理器である。FFT処理器102は、レンジピン分割器101及び補正係数算出器103に接続される。FFT処理器102は、レンジピン分割器101が出力する各レンジピンで区切られた信号を、レンジピンごとに高速フーリエ変換し、変換したスペクトル信号をスペクトル補正器104に出力する。例えば、FFT処理器102は、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0021】

補正係数算出器103は、動揺センサ11によって得られた動揺値を取得し、動揺を補正する補正係数を算出する補正係数算出器である。補正係数算出器103は、光変調器3、動揺センサ11、スペクトル補正器104、及びスキャナ6に接続される。補正係数算出器103は、動揺センサ11とUSB(Universal Serial Bus)などのインターフェースで接続され、動揺センサ11が出力する動揺値を取得する。もしくは、光変調器3からのパルストリガを基準として現在の動揺値取得をリクエストすることで、動揺値を取得しても良い。また、補正係数算出器103は、スキャナ6のエンコーダが出力する角度情報の信号を取得する。補正係数算出器103は、取得した動揺値及び角度情報から、動揺した状態でのビーム射出角度を、理想的な射出ビーム方向、つまり動揺がない状態の射出ビーム方向に射影するためのパラメータとプラットフォームの並進速度の影響を補正するパラメータとを算出し、算出したパラメータをスペクトル補正器104に出力する。ここで、補正パラメータは、補正係数算出器103が出力する射影係数及びシフト係数である。例えば、補正係数算出器103には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0022】

スペクトル補正器104は、補正係数算出器103が算出したパラメータを用いて、FFT処理器102が出力したスペクトル信号を補正するスペクトル補正器である。スペクトル補正器104は、FFT処理器102、補正係数算出器103、積算器105に接続される。スペクトル補正器104は、補正係数算出器103が算出した補正係数を用いて、FFT処理器102が出力したレンジピンごとのスペクトル信号を補正することで、レンジピンごとにスペクトル信号の動揺補正を行い、補正したスペクトルデータを積算器105に出力する。例えば、スペクトル補正器104には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0023】

積算器105は、スペクトル信号を積算する積算器である。積算器105は、スペクトル補正器104及び風速算出器106に接続される。積算器105は、スペクトル補正器104が出力したスペクトルを任意回数積算処理し、積算処理したスペクトル信号を風速算出器106に出力する。積算処理は、各ショットにおけるレンジピンごとのスペクトル信号を、各ショットの同じレンジピンごとに積算することで行う。例えば、積算器105には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0024】

風速算出器106は、積算されたスペクトルデータから風速を算出する風速算出器である。風速算出器は、積算器105及び風ベクトル算出器107に接続される。風速算出器106は、積算器105によって積算されたスペクトル信号から、レーザ光のドップラーシフト量を算出し、ドップラーシフト量からレーザ光の視線方向に対する風速値を算出する。風速算出器106は、各視線方向の風速値を風ベクトル算出器107に出力する。例えば、風速算出器106には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0025】

風ベクトル算出器107は、視線方向の風速値及び視線方向の角度情報から風ベクトルを算出する風ベクトル算出器である。風ベクトル算出器107は、風速算出器106、スキャナ制御器108に接続される。風ベクトル算出器107は、風速算出器106が出力した各視線方向の風速値とスキャナ制御器108で読み取ったプリズムの角度情報とから風ベクトルを算出し、スキャナ制御器108に出力する。例えば、風ベクトル算出器10

7には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

【0026】

スキャナ制御器108は、スキャナ6を制御する制御信号を生成するスキャナ制御器である。スキャナ制御器108は、風ベクトル算出器107、補正係数算出器103、スキャナ6、及び表示器12に接続される。スキャナ制御器108は、風ベクトル算出器107が算出した風ベクトルの結果から、視線方向切換のための制御信号を生成し、生成した制御信号をスキャナ6に出力する。スキャナ制御器108は、スキャナ6より得た角度情報を保持するとともに、補正係数算出器103にその角度情報を送信する。また、スキャナ制御器108は、風ベクトル算出器107が出力した風ベクトルの算出結果を表示器12に出力する。例えば、スキャナ制御器108には、FPGAの論理回路、マイコンなどが用いられる。

10

【0027】

図1のレーザレーダ装置の構成の説明に戻る。

動揺センサ11は、本レーザレーダ装置の動揺値を測定する動揺センサである。動揺センサ11は、信号処理器10に接続される。動揺センサ11は、本レーザレーダ装置が搭載されるプラットフォームの動揺値を取得し、取得した動揺値を信号処理器10に出力する。動揺値とは、プラットフォームのロール、ピッチ、及びヨー方向の角度を表す値、又は東西南北鉛直方向の並進速度を表す値である。例えば、動揺センサ11には、加速度計を用いたジャイロセンサ、GPS(Global Positioning System)ジャイロセンサが用いられる。

20

【0028】

表示器12は、信号処理器10が算出した視線方向風速値を表示する表示器である。表示器12は、信号処理器10に接続される。表示器12は、信号処理器10が算出したデータ、例えば、視線方向風速値、そのSNR、または風ベクトルを表示する。例えば、表示器12には、液晶ディスプレイ、有機EL(Electro Luminescence)ディスプレイなどが用いられる。表示器12は、RAM(Random Access Memory)またはハードディスクなどの記憶装置を有し、時間に対して、視線方向風速値、そのSNR、または風ベクトルを記憶するようにしても良い。

【0029】

次に、この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の動作について説明する。

30

【0030】

光発振器1は、レーザ光を発振させ、発振したレーザ光を光カプラ2に出力する。

【0031】

光カプラ2は、光発振器1が出力したレーザ光を送信光とローカル光とに任意分岐比により分配し、送信光を光変調器3に、ローカル光を合波カプラ7に出力する。送信光は、光アンテナ5から大気中に出力する光であり、ローカル光は、光受信器8でヘテロダイン検波するために、合波カプラ7において受信光と合波する光である。光カプラ2の分岐比は、システム設計により決定される。

【0032】

システム設計のための回線計算には、例えば、以下の式が用いられる。

40

【0033】

【数1】

$$SNR = P \cdot \beta \cdot K \cdot \frac{\eta_F}{\left(1 + \left(1 - \frac{L}{F}\right)^2 \left[\frac{\pi(A_c D)^2}{4\lambda L}\right]^2 + \left(\frac{A_c D}{2S_0}\right)^2\right)} \cdot \left[\frac{\lambda \pi D^2}{8hBL^2}\right] \sqrt{N} \dots \dots (1)$$

【0034】

、K、 S_0 は、それぞれ、後方散乱係数($m^{-1} sr^{-1}$)、大気透過率、散乱光のコヒーレンス径(m)を表し、システムで制御不可な大気条件を表すパラメータを表す。D、

50

F、Nはそれぞれ、ビーム径(m)、集光距離(m)、インコヒーレント積算数(回)を表し、システム内において変更可能なパラメータを表す。h、 λ 、P、 P_F 、Bは、それぞれ、プランク定数($J \cdot s$)、波長(m)、送信光パルスエネルギー(J)、Far Fieldの送受信効率、受信帯域幅(Hz)であり、Acは、光アンテナによってケラレたガウシアンビーム(NGB: Nearest Gaussian Beam)に対して相関の高い回折限界のガウシアンビームに置き換えるための近似係数を表し、Lは観測距離(m)を表す。ケラレとは送信もしくは受信するガウシアンビームが望遠鏡の有効開口径によって遮断され、一部をクリッピングされた状態を表す。上記Acはクリッピングされたガウシアンビームに対しガウシアン曲線でフィッティングを行った場合に、当該ガウシアン曲線に係る係数に相当する。

10

【0035】

光変調器3は、光カプラ2が分配した送信光を周波数変調及び強度変調し、変調した送信光を光サーキュレータ4に出力する。ここで、光変調器3は、送信光のパルス幅、繰り返し周波数(PRF)を決定している。パルス幅は距離分解能値にも相当するため、所望する距離分解能値に相当するパルス幅を信号処理器10において設定し、信号処理器10が光変調器3にそのパルス幅を設定することも可能であるし、光変調器3は、設計時に設定された固定のパルス幅、PRFを出力するようにしても良い。また、光変調器3の出力光が不足している場合、光変調器3の後段に光増幅器を追加しても良い。光変調器3は、送信光を位相変調することにより、送信光の周波数をシフトさせても良い。光変調器3は、送信光をパルス化するときのパルスタイミングを示すパルストリガ信号をA/D変換器9

20

【0036】

光サーキュレータ4は、光変調器3が変調した送信光を光アンテナ5に通過させ、光アンテナが受信した受信光を合波カプラ7に出力する。光サーキュレータ4は、このように送信光と受信光とを分離する。

【0037】

光アンテナ5は、送信光をコリメートにし、大気中に照射する。また、光アンテナ5は、送信光に対するエアロゾルからの散乱光を集め、受信光として受信する。光アンテナ5は、集光調整機能を有するものでも良い。

【0038】

スキャナ6は、信号処理器10が出力した制御信号を受け、ウェッジプリズムを回転させ、光アンテナ5が照射する光の方向を任意に変更する。また、スキャナ6は、エンコーダ情報に相当する電気信号を信号処理器10に出力し、角度情報を伝達する。

30

【0039】

合波カプラ7は、光カプラ2が出力したローカル光と光サーキュレータ4が出力した受信光とを合波し、合波した光を光受信器8に出力する。

【0040】

光受信器8は、合波カプラ7が出力した合波光を光電変換し、ヘテロダイン検波により受信光の周波数復調を行い、周波数復調した受信信号をA/D変換器9に出力する。

【0041】

A/D変換器9は、光変調器3において発生するパルストリガ信号を受けた後、サンプリング周波数 f_s で光受信器8が出力した受信信号のA/D変換を行い、そのデジタル信号を信号処理器10に出力する。

40

【0042】

信号処理器10の動作について説明する。

信号処理器10の構成図を図2に示す。上述したように、本レーザレーダ装置はパルス方式を用いている。

図3は、この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置における観測距離と受信時間との関係を示す図である。レンジピン分割器101は、各距離からの受信信号を任意時間幅で区切る。以降では、区切られた時間、すなわち距離を区切ったものをレンジピンと呼

50

ぶ。レンジピン分割器 101 は、任意個数のレンジピンで受信波形を区切り、レンジピン区間の受信波形の電圧値を FFT 処理器 102 に出力する。

例えば、距離分解能 R_{res} を 30m と設定した場合、A/D 変換された時間波形を区切る時間幅 $t = 2R_{res}/c$ (c : 光速) のように設定できる。ゆえに、総レンジピン数が M 個であった場合、A/D 変換を開始するためのトリガ、ここでは光変調器 3 からのトリガ信号タイミングを基準にして、各レンジピンで区切られる時間を表すと、その式は以下ようになる。

【0043】

【数2】

$$T_{start}(m) = (m - 1) \left(\frac{R_{res}}{c} \right) + 2R_{min}/c \cdots \cdots (2)$$

10

【0044】

【数3】

$$T_{end}(m) = (m + 1) \left(\frac{R_{res}}{c} \right) + 2R_{min}/c \cdots \cdots (3)$$

【0045】

【数4】

$$T_{cen}(m) = (m) \left(\frac{R_{res}}{c} \right) + 2R_{min}/c \cdots \cdots (4)$$

20

【0046】

T_{start} は、各レンジピンのデータ取得開始時間、 T_{end} は、各レンジピンのデータ取得終了時間、 T_{cen} は、各レンジピンのデータ取得中心時間、 m はレンジピンであり、1~ M の値域を持つ。 R_{min} は、観測開始距離を調整するための値、すなわち、パルストリガ信号に対し A/D 変換を行うまでのディレイタイミングを距離値で表したものである。トリガに対する A/D 開始の遅延量が 0 の場合、例えば 40m から測定したい場合は、 R_{min} に 40 などの値が挿入される。

【0047】

なお、ここでは、当時間間隔レンジピン分割を行っているが、これに限らず、 T_{start} に相当する観測開始距離をユーザによって決定してもよいし、それをレンジピンごとに設定してもよいし、 T_{start} と T_{end} の範囲をオーバーラップさせてもよい。

【0048】

FFT 処理器 102 は、レンジピン分割器 101 が取得した各レンジピンの時間波形を FFT ピン数 (N_{FFT}) で FFT 処理し、受信信号スペクトルを得る。 N_{FFT} は、FFT 処理を行う点数を表し、例えば 256 等の値が用いられる。ここでの受信信号スペクトルは、後述する $SPC(i, n, R)$ に対応する。

【0049】

補正係数算出器 103 は、動揺センサ 11 より固定周期で出力される動揺値を取得する。また、補正係数算出器 103 は、スキャナ制御器 108 から角度情報を取得する。補正係数算出器 103 は、取得した動揺値及び角度情報から後段のスペクトル補正に用いる補正係数を算出する。

40

なお、補正係数算出器 103 は、光変調器 3 からのパルストリガを基準として動揺センサ 11 に動揺値取得をリクエストすることで動揺値を取得してもよいが、以降の実施の形態では固定周期での動揺値取得での動揺補正手法を記載する。

【0050】

図 4 は、この発明の実施の形態 1 に係る補正係数算出器 103 の一構成例を示す図である。

動揺値抽出器 301 は、動揺補正量を算出するために、動揺値を動揺センサ 11 から取

50

得し、取得した動揺値を補正量算出器302に出力する。動揺センサ11は、ロール、ピッチ、ヨー方向の揺れや東西南北鉛直方向といった6軸自由度における動揺値、仰角(EL)、北からの方位角(AZ)、及び東西南北鉛直の並進速度を動揺値抽出器301に出力する。

【0051】

図5は、この発明の実施の形態1に係る動揺値抽出器301の動作の一例を示すフローチャートである。

まず、ステップS101において、動揺値抽出器301は、上述したように動揺センサ11から動揺値を取得する。取得した動揺値にはタイムスタンプを含むものとする。

次に、ステップS102において、動揺値抽出器301は、光変調器3において出力されるパルストリガ信号のタイムスタンプと、動揺値のタイムスタンプとを比較し、その時間差異が閾値(Tth)以内か否かを判断する。

次に、その時間差異が閾値(Tth)以内の場合、ステップS103において、動揺値抽出器301は、取得した動揺値をそのまま補正量の算出に使用することとし、取得した動揺値を補正量算出器302に出力し、フローを終了する。

次に、その時間差異が閾値(Tth)より大きい場合、ステップS104において、動揺値抽出器301は、例えば、カルマンフィルタにより求めた動揺値の推測値を用いる。動揺値抽出器301は、動揺値の推測値を補正量算出器302に出力し、フローを終了する。なお、動揺値抽出器301は、直前の動揺値をそのまま用いる手法の他、スペクトルデータを保存しておき、動揺値が得られた時点で、過去の動揺値を用いて線形補完し、その線形補完した動揺値を、光変調器3のパルストリガ信号出力時の動揺値として抽出しても良い。

【0052】

Tthの値は、期待する動揺補正精度によって定められ、ユーザによる固定値での設定の他、同時にPRF間の許容ビーム角度差(Ath)を設け、 $Tth = Ath \div$ 動揺センサで得られる前回の角速度(deg/sec)などで動的に決定しても良い。例えば、海洋などで用いた場合、角速度の変動周期は1Hzオーダであり、PRFと比較して遅いため、前回の角速度を用いたとしても精度に及ぼす影響は小さい。Athの値については動揺センサの持つスペックから決定するなどの方法がある。これにより、高サンプリングでの動揺センサを用いずに、比較的精度の高い動揺値取得を可能とし、動揺センサにかかるコストの低下が可能となる。

【0053】

補正量算出器302は、取得した動揺値を用いて以下のように補正量を算出する。補正するパラメータは、射影係数Pc及びシフト量T(Hz)である。仰角方向の動揺を考えた場合、射影係数Pcは、動揺がない理想的な状態の仰角値をaとし、動揺後の仰角値bとすると、以下の式で表される。

【0054】

【数5】

$$\text{if } \theta_b > \theta_a \quad Pc = \sin(\theta_b - \theta_a) \quad \text{else} \quad Pc = \frac{1}{\sin(\theta_b - \theta_a)} \dots\dots(5)$$

【0055】

シフト量Tは、動揺センサ11から得られる並進速度Vsを用いて、以下の式で表される。ここでは、説明の簡易化のために、単一軸方向の並進があった場合を示す。λは、送信光の波長である。

【0056】

【数6】

$$T = Vs/\lambda \dots\dots(6)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

射影係数もしくはシフト量の導出方法は、これに限るものではなく、動揺値を用いて非動揺時への補正を成せる式もしくは変数が得られれば良い。

【 0 0 5 8 】

スペクトル補正器 1 0 4 は、各動揺値に対して、スペクトルを格納する配列を用意し、用意した配列に各動揺値に対応するスペクトルを格納する。ここで、格納するスペクトルは、各視線方向のスペクトルデータである。

【 0 0 5 9 】

図 6 は、この発明の実施の形態 1 に係るスペクトル補正器 1 0 4 の一構成例を示す構成図である。

10

リサンプリング処理器 4 0 1 は、周波数ピンの大きさを変更することで周波数分解能を擬似的に変更し、また、総周波数ピンを増やす。

図 7 は、この発明の実施の形態 1 に係るリサンプリング処理器 4 0 1 の処理を表す概念図である。

リサンプリング処理器 4 0 1 は、補正量算出器 3 0 2 が出力した射影係数を用いて、各周波数ピンの値に対して射影係数 P_c をかけて、射影係数を補正したスペクトルデータを算出し、そのスペクトルデータを周波数ピンに格納する。しかし、 P_c の値によっては、1つの周波数ピンに2つのデータが格納されることもあり得る。各周波数ピンに複数個のデータが格納される場合は、平均値を用いる方法もあるが、これでは、周波数分解能が低下する問題が発生する。そのため、リサンプリング処理器 4 0 1 は、図 7 のように周波数

20

【 0 0 6 0 】

周波数ピンの変更は、総 F F T 点数を変更することで行っても良いし、直接、周波数ピンの大きさを変更しても良い。

総 F F T 点数を変更する場合、リサンプリング処理器 4 0 1 は、事前に設定された固定値を用いて総 F F T 点数を変更することで周波数ピンの大きさを変更しても良いし、また、視線方向風速値を取得する 1 ショット目の動揺値を用い、 $N_{fft_b} = N_{fft_a} \times 1 / \cos(|a - b|)$ 倍にするとといったように動的に変化させても良い。ここで、 N_{fft_a} は元の総周波数ピン数であり、 N_{fft_b} は、変更後の総周波数ピンである。

30

一方、周波数ピンの大きさを変更する場合、リサンプリング処理器 4 0 1 は、例えば、元の周波数ピンの大きさを f_a とすると、 $f_b = f_a \times \cos(|a - b|)$ のように、周波数ピンを変更する。本処理により、余剰な F F T ピン数の確保を抑圧し、メモリ容量の低減に寄与できる。

なお、周波数ピンを変更する係数の決定は、積算数 N の中で 1 ショット目に行い、その後は固定としても良い。また、1 ショット目に比べ動揺値が時間的に大きくなる可能性があるプラットフォームの場合であって、メモリ量が十分確保できる場合は、 $1 \sim (N - 1)$ ショット目までのスペクトルを保存し、 N ショット目までの最大射影係数値の時の動揺値 (b_{max}) を用いて、 $1 / \cos(|a - b_{max}|)$ 倍のように N_{fft_b} を決定しても良い。

40

【 0 0 6 1 】

スペクトル挿入器 4 0 2 は、以下の計算を行い、リサンプリング処理器 4 0 1 が作成した各周波数ピンの配列にスペクトルデータ ($S P C (i, n, R)$) の値を格納する。 i は、周波数ピンの番号、つまり周波数順に並んだデータのうちで何番目のデータであることを示す番号であり、 n は、ショット番号であり、 R は、レンジピンの番号ある。例えば、 $S P C (i, 2)$ とは、2 回目の照射に対するスペクトルデータであることを意味する。

例えば、スペクトルデータ ($S P C (i, n, R)$) は、射影係数 P_c を用いて、 $S P C_b (i, n, R) = P_c (n) \times S P C (i, n, R)$ のように変換され、リサンプリング処理器 4 0 1 が作成した各周波数ピンの配列に格納される。ここで、 $S P C_b (i, n, R)$ は、射影角度を補正したスペクトルデータである。 $i = 1, 2, \dots (N_{fft_a}) \times$

50

$1 / \cos(|a - b|)$ である。

【0062】

積算器105は、各ショットで得られたスペクトルに対して、ユーザによって指定された回数(N)のインコヒーレント積算を行う。インコヒーレント積算は、各レンジピンのスペクトルデータに対して以下の式で行う。

図8は、この発明の実施の形態1に係る積算器105の積算処理を表す概念図である。積算器105は、各ショットにおける各レンジピンのスペクトルデータについて、同じレンジピン番号のスペクトルデータを足し合わせることで積算処理を行う。積算処理は、数式で表すと以下のようになる。

【0063】

【数7】

$$S(i,R) = \left(\sum_n^N SPC_b(i,n,R) \right) / N \cdots \cdots (7)$$

【0064】

iは周波数ピンの番号、nはショットの番号、Rはレンジピンの番号である。SPCbは、射影角度を補正した後のスペクトルデータである。このように積算処理を行うことにより、雑音値に対してスペクトルデータのピーク値(信号値)を大きくすることができる。つまり、SNRを改善することができる。

図9は、この発明の実施の形態1に係る積算器105の積算結果の概念図である。

実線が、本方式のスペクトルであり、点線が、従来方式のスペクトルである。各ショットでは、信号値が小さく、SNRが低い。また、各ショットに対して射影係数を補正していない場合、信号値の周波数は、各ショットに対して異なるので、各ショットのスペクトルデータを積算しても、信号値は、分散してしまう。しかし、射影係数を補正した場合、エアロゾルのドップラー周波数は一定であるので、各ショットに対して、信号値の周波数は一致する。したがって、積算処理をすることにより、雑音値は、平均化されるが、信号値は、積算されるので、SNRを改善することができる。

【0065】

上記で説明した処理により、SNRが改善することについてもう少し説明する。

図10は、この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の動揺による照射角度のずれと風速との関係を示す関係図である。

Vは、水平方向の真の風速であり、 $\theta_1 \sim \theta_3$ は、レーザ光の照射角度である。 $v_1 \sim v_3$ は、それぞれ、 $\theta_1 \sim \theta_3$ 方向の測定結果から求めた風速である。

レーザレーダ装置は、送信光と空気中のエアロゾルからの散乱光とのドップラーシフトを算出することで風速を算出する。したがって、エアロゾルを含む風とレーザ光との角度によって風に対するレーザ光の相対速度は変化するから、ドップラーシフトは変化する。

図10の例では、角度補正(動揺補正)をしない場合、 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ であるから、 $v_3 > v_2 > v_1$ となり、真の風速Vに対して、様々な値をとることになる。よって、風速値は、角度によって異なる値をとり、時間によって角度が変わるとすると、真の風速が一定であっても、時間によって風速は異なる値をとる。したがって、時間に対して積算処理を行っても、ピークの位置は各時間で一致せず、ピークが広がってしまう。

【0066】

図11は、従来方式の積算結果と本方式の積算結果との比較を示す比較図である。

上述したように、従来方式では積算した後に動揺補正を行うため、積算するスペクトルは、動揺補正前のスペクトルである。このため、積算したスペクトル結果のピークは広がってしまう。これに対して、本方式では動揺補正を行った後に積算するため、スペクトル結果のピークの広がり小さく、ピーク値は大きくなる。

【0067】

図12は、視線方向によってエアロゾルが異なる場合のスペクトルを示す図である。一

10

20

30

40

50

般的に、スペクトル強度 受信SNR 大気エアロゾル量の関係がある。ビーム指向方向によって大気エアロゾル量依存性がない場合、スペクトル強度は頻度の指標となり、図12上のようにピークがある周波数は頻度の平均値を取ることに相当する。この場合、従来構成では、スペクトル積算を行う間の動揺平均値を用いるため、平均風速値と動揺平均値を用いた補正を行うことで高い精度を持った補正が可能となる。

【0068】

しかし、実際は異なり、ビーム指向方向によってエアロゾル量が異なるため、周波数、すなわち風速値によって受信強度が異なり図12の下の図のようになるが、動揺値はその影響を加味していない。そのため、ピーク値が存在する周波数はエアロゾル量が多い、すなわち受信強度が高い方に引きずられ、それが動揺補正後の風速誤差となる。これは、積算後に動揺補正を行うために現れる現象である。本構成によれば、広がったスペクトルを一か所に集約しながら積算を行うため、大気エアロゾル量のビーム指向方向依存による補正誤差は大幅に軽減できる特長がある。

10

【0069】

風速算出器106は、積算されたスペクトルから視線方向のドップラー周波数、すなわち、風速値を算出する。ドップラー周波数の導出には、スペクトルのピーク検出による検出の他、重心演算を用いても良い。重心演算によるドップラー周波数 f_d の算出は、以下の式で表される。

【0070】

【数8】

20

$$f_d = \frac{\int S(f) f}{\int S(f)} \dots\dots(8)$$

【0071】

$S(f)$ は、あるレンジビン(R)に対する受信信号のスペクトルであり、 $S(f) = S(i, R)$ である。また、 f は、各周波数ビンの番号(i)に対応する周波数である。受信スペクトルに対して周波数 f で重みづけを行っている。これにより、最も統計的に有意な周波数値を算出できる。

【0072】

30

風ベクトル算出器107は、ベクトル合成もしくは、VAD(Velocity Azimuth Display)法を用いて風ベクトルを算出する。ベクトル合成の場合、例えば、視線方向の風速(V_r)は、東西方向の水平方向風速(U)、南北方向の水平方向風速(V)、鉛直方向の風速(W)、仰角(ϕ)、北を基準とした方位角(θ)を用いて、以下の式で表される。

【0073】

【数9】

$$V_r = U \sin \phi \sin \theta + V \cos \phi \sin \theta + W \cos \theta \dots\dots(9)$$

40

【0074】

本式を用いて、例えば、3方向の視線方向風速値が得られた場合、連立方程式を解くことによって、 U 、 V 、 W を算出することができる。これにより、3次元の風ベクトルを得る。

【0075】

スキャナ制御器108は、視線方向を切り替えるために、スキャナを動作させるための制御信号を生成する。スキャナ6は、スキャナ制御器108からの制御信号によってスキャナ内ステップモータを駆動し、所望ステップ動作させることによって所望角度への動作を行う。また、スキャナ6は、搭載されるエンコーダによる角度信号をスキャナ制御器108に送信し、スキャナ制御器108では動作後の角度情報を保持する。この角度情

50

報は、上述の理想的な仰角値 に相当する。

【 0 0 7 6 】

表示器 1 2 は、信号処理器 1 0 が算出した視線方向風速値、視線方向風速値の S N R、または風ベクトルなどの情報をメモリに保存し、表示する。

【 0 0 7 7 】

以上の通り、この発明の実施の形態 1 によれば、積算処理を行う前に動揺補正を行い、動揺補正したスペクトルに対して積算処理を行うので、時間に対して動揺値が変化しても、S N R の劣化を抑制することができる。この結果、風計測の精度を改善することができる。

【 0 0 7 8 】

なお、本構成では、パルス型のレーザレーダ装置を前提に記載しているが、C W (C o n t i n u o u s W a v e) 方式を用いても良く、これに限るものではない。また、本構成では、光接続方法について光ファイバをベースに記載しているが、接続方法は、光ファイバを用いずに空間伝搬型としても良い。

さらに、本レーザレーダ装置は、上述したようなスキャナ構成ではなく、光スイッチを用いた構成でも良い。

図 1 3 は、この発明の実施の形態 1 に係る他の構成例を示す構成図である。

光スイッチ 1 3 が、送信光の光路を切り替え、それぞれ後段の異なる視線方向を持った光アンテナ 5 に接続されることで、多視線方向の風速値を得ることができる。例えば、光スイッチ 1 3 には、通信で用いられるメカニカル光スイッチや M E M S (M i c r o E l e c t r o M e c h a n i c a l S y s t e m s) 光スイッチ等が用いられる。

【 0 0 7 9 】

また、信号処理器 1 0 の各構成要素の機能は、F P G A などのハードウェアで実行されても良いし、メモリに記憶された各構成要素の機能を表すプログラムをプロセッサが読みだして実行するように、ソフトウェアで実行されても良い。

【 0 0 8 0 】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 では、動揺値に応じてレンジピンをずらし、受信信号に対してレンジピンが切り取る領域を変化させるレーザレーダ装置について説明する。これにより、動揺による観測高度の誤差を抑制でき、風速測定精度を向上させることができる。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 は、この発明の実施の形態 2 のレーザレーダ装置の一構成例を示す構成図である。

図 1 4 において図 1 と同一の符号は、同一または相当の部分を示している。本レーザレーダ装置は、光発振器 1、光カップラ 2、光変調器 3、光サーキュレータ 4、光アンテナ 5、スキャナ 6、合波カップラ 7、光受信器 8、A / D 変換器 9、信号処理器 1 4、動揺センサ 1 1、及び表示器 1 2 を備える。信号処理器 1 0 の代わりに信号処理器 1 4 を用いており、A / D 変換器 9 と信号処理器 1 4 との接続関係が、実施の形態 1 と異なる。後述するが、信号処理器 1 4 が出力した信号が A / D 変換器 9 に一度に入り、A / D 変換器 9 が出力した信号が再度、信号処理器 1 4 に入力される。

【 0 0 8 2 】

図 1 5 は、この発明の実施の形態 2 の信号処理器 1 4 の一構成例を示す構成図である。

図 1 5 において図 3 と同一の符号は、同一または相当の部分を示している。

信号処理器 1 4 は、補正係数算出器 1 0 3、レンジピン分割器 1 0 9、F F T 処理器 1 0 2、スペクトル補正器 1 0 4、積算器 1 0 5、風速算出器 1 0 6、風ベクトル算出器 1 0 7、及びスキャナ制御器 1 0 8 を備える。レンジピン分割器 1 0 9 の前に補正係数算出器 1 0 3 が設けられており、動揺値に対する補正係数を算出した後にレンジピンを分割し、分割したレンジピンを A / D 変換器 9 に出力し、そのレンジピンに基づいて A / D 変換された信号が F F T 処理器 1 0 2 に入力されている点が、信号処理器 1 0 と異なる。

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

レンジピン分割器 109 は、動揺値に応じてレンジピンの大きさを変更するレンジピン分割器である。レンジピン分割器 109 は、光変調器 3、補正係数算出器 103、及び FFT 処理器 102 に接続される。レンジピン分割器 109 は、補正係数算出器 103 を介して得られる動揺値に応じ、各レンジピンの A/D 変換開始タイミングを A/D 変換器 9 に出力する。A/D 変換器 9 はレンジピン分割器 109、FFT 処理器 102 に接続され、A/D 変換した各レンジピンのデジタル信号を FFT 処理器 102 に出力する。例えば、レンジピン分割器 109 には、FPGA、マイコンなどが用いられる。

【0084】

次に、この発明の実施の形態 2 に係るレーザレーダ装置の動作について説明する。実施の形態 1 と同じ動作については説明を省略し、実施の形態 1 と異なる動作を説明する。

10

【0085】

光発振器 1 から光受信器 8 までの動作は、実施の形態 1 と同じであるので、説明を省略する。

A/D 変換器 9 は、光受信器 8 が出力したアナログ信号をデジタル信号に変換するが、その際にレンジピン分割器 109 が出力するトリガ信号ごとに変換を行なう。

【0086】

レンジピン分割器 109 は、動揺センサ 11 から補正係数算出器 103 を介して動揺値を取得する。そして、レンジピン分割器 109 は、以下の処理を行うことにより、動揺によって所望の観測高度からずれた高度分だけ受信信号を切り取る領域をずらす処理を行う。

20

【0087】

図 16 は、動揺によって観測高度がずれることを示す模擬図である。

a は、動揺がない理想的な状態の仰角値であり、b は動揺後の仰角値である。仰角方向 (EL 方向) の動揺を考えると、図 16 のレーダ装置は、a の方向にレーザ光を照射するが、そのときに動揺が存在した場合、実際には b の方向にレーザ光を照射することになる。設定した角度と実際に照射した角度が異なるため、観測距離が同じでも観測高度にずれが生じる。観測高度にずれが生じると、後述するが、観測する風速に誤差が生じる。

【0088】

図 17 は、観測高度と風速値との関係を示す関係図である。

30

一般的に、水平方向風速値と高度との関係は、図 17 のように、べき乗則で表される。そのため、観測高度差の発生は、風速測定誤差に対応する。

EL 方向で $a > b$ の揺れを考えると、動揺による高度差を補正するためには、例えば、レンジピンの開始時間 (T_{start}) 及び終了時間 (T_{end}) は、以下の式で表される。

【0089】

【数 10】

$$T_{start}(m) = \frac{2R_{start}}{c} \dots\dots(10)$$

40

【0090】

【数 11】

$$R_{start}(m) = R(m) + \frac{H_{diff}(m)}{\sin\theta_b} - \frac{R_{res}}{2} \dots\dots(11)$$

【0091】

【数 1 2】

$$Hdiff(m) = \left\{ Rmin + \frac{(m-1)Rres}{2} \right\} (\sin\theta_a - \sin\theta_b) \cdots \cdots (12)$$

【0 0 9 2】

【数 1 3】

$$Tend(m) = \frac{2Rend}{c} \cdots \cdots (13)$$

10

【0 0 9 3】

【数 1 4】

$$Rend(m) = R(m) + \frac{Hdiff(m)}{\sin\theta_b} + Rres/2 \cdots \cdots (14)$$

【0 0 9 4】

図 16 に示したように、 c は、光速、 $Hdiff$ は、動揺がない場合と動揺がある場合の観測高度の差、 $Rres$ は、時間ゲートの大きさ、つまりレンジピンの幅である。 $Rmin$ は、動揺ありの場合で時間ゲートが開始する時間に相当する距離（ゲート開始距離）であり、 R は、動揺ありの場合で補正前の観測中心までの距離（補正前観測中心距離）であり、 m は、レンジピン番号である。 $Rstart$ は、観測高度を補正したときに時間ゲートが開始する時間に相当する距離（補正後ゲート開始距離）であり、 $Rend$ は、観測高度を補正したときに時間ゲートが終了する時間に相当する距離（補正後ゲート終了距離）である。

20

【0 0 9 5】

本レーザレーダ装置は、動揺値を用いてレンジピンの開始時間及び終了時間を補正することによって、観測高度のずれを補正し、動揺がなかった場合と同じ観測高度で風速を測定する。これにより、動揺が生じてても、観測高度を一定に保つことができ、観測高度の違いによる風速測定の誤差を低減することができる。

【0 0 9 6】

実施の形態 1 のレーザレーダ装置は、受信時間に対してレンジピンを決定するが、実施の形態 2 のレーザレーダ装置は、観測高度に対してレンジピンを決定する点異なる。

30

【0 0 9 7】

レンジピン分割器 109 は、上記で説明したように観測高度を補正したレンジピンに対応する A/D 開始信号を A/D 変換器 9 に出力する。

【0 0 9 8】

A/D 変換器 9 は、レンジピン分割器 109 から入力されたレンジピンの区間にしたがって、光受信器 8 から入力された受信信号を A/D 変換し、変換した受信信号を FFT 処理器 102 に出力する。

【0 0 9 9】

FFT 処理器 102 以降の動作は、実施の形態 1 と同様であるので、説明を省略する。

40

【0 1 0 0】

以上の通り、この発明の実施の形態 2 によれば、本レーザレーダ装置は、動揺値に応じてレンジピンが受信信号を切り取る領域を変化させるので、観測高度を一致させることができ、風速測定精度を向上できる効果がある。

【符号の説明】

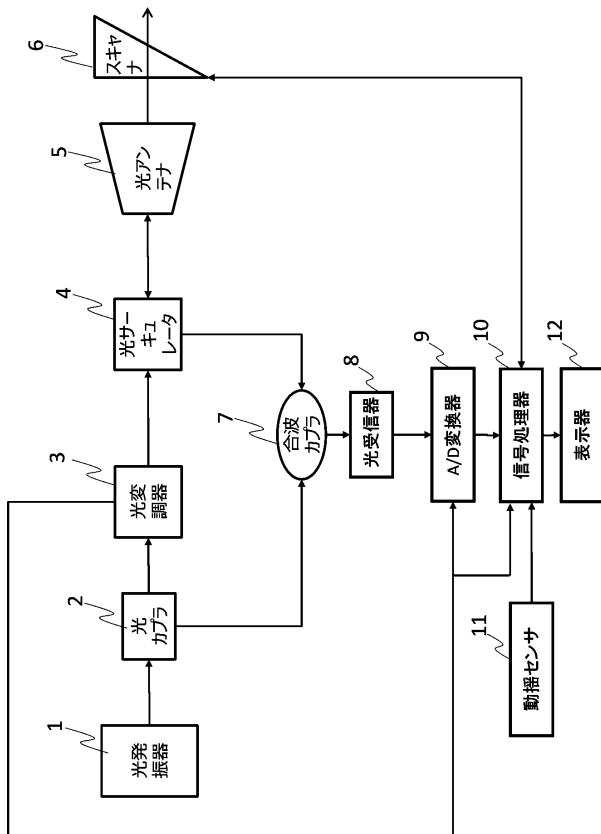
【0 1 0 1】

1 光発振器、2 光カプラ、3 光変調器、4 光サーキュレータ、5 光アンテナ、6 スキャナ、7 合波カプラ、8 光受信器、9 A/D 変換器、10 信号処理器、11 動揺センサ、12 表示器、13 光スイッチ、14 信号処理器、101 レ

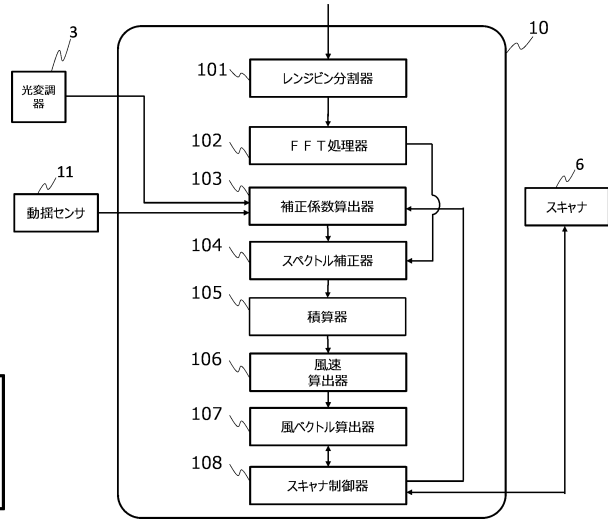
50

レンジピン分割器、102 FFT処理器、103 補正係数算出器、104 スペクトル補正器、105 積算器、106 風速算出器、107 風ベクトル算出器、108 スキャナ制御器、109 レンジピン分割器、301 動揺値抽出器、302 補正量算出器、401 リサンプリング処理器、402 スペクトル挿入器。

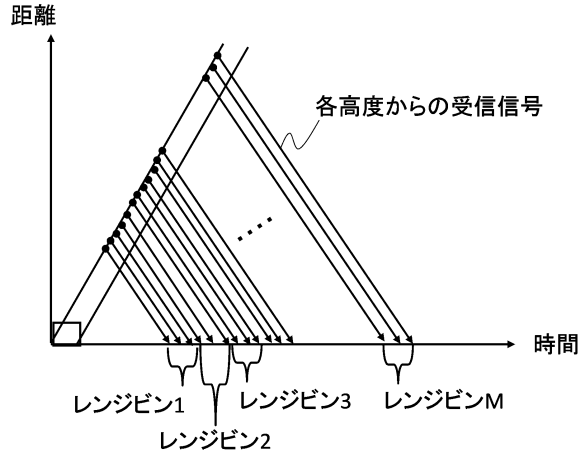
【図1】



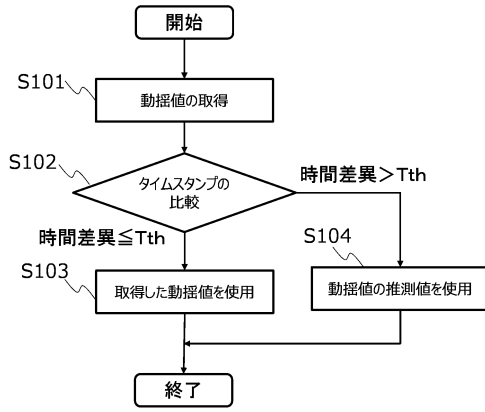
【図2】



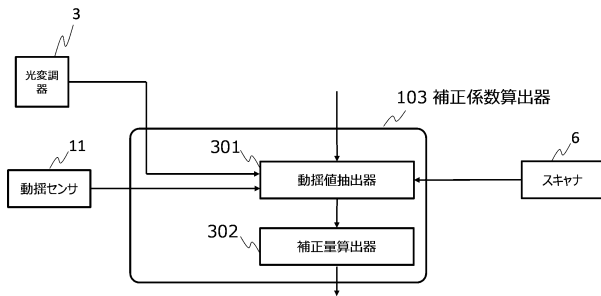
【図3】



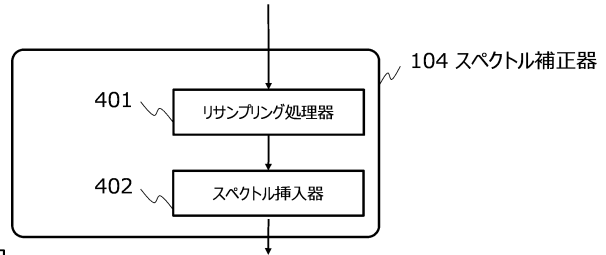
【図5】



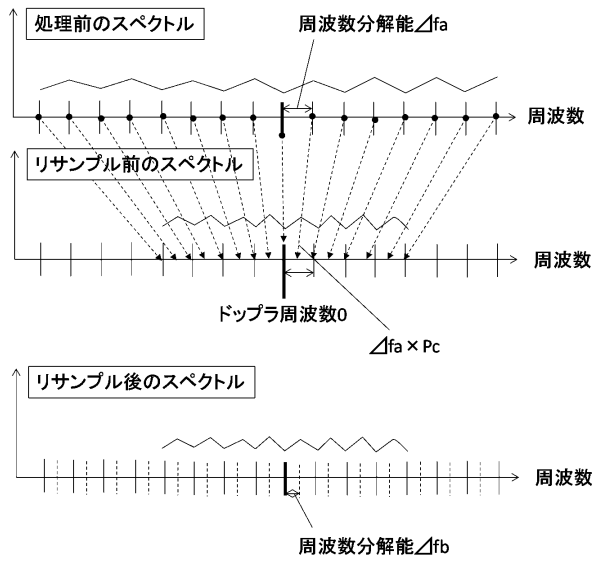
【図4】



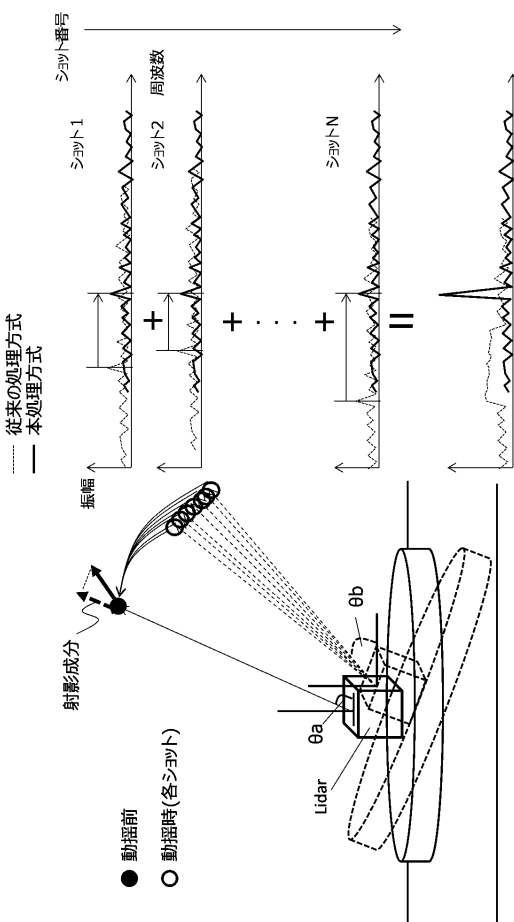
【図6】



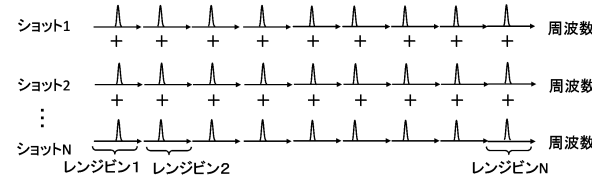
【図7】



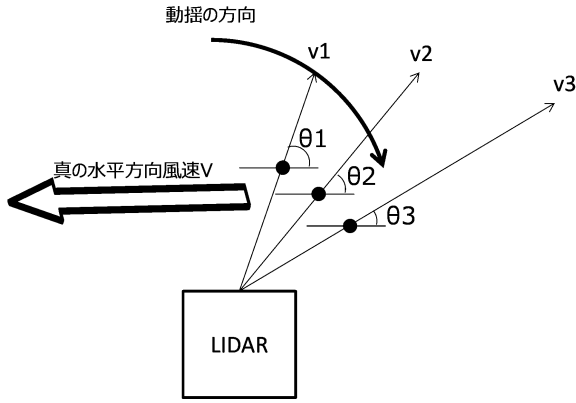
【図9】



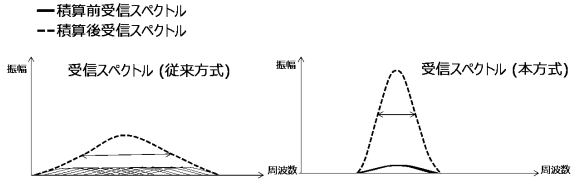
【図8】



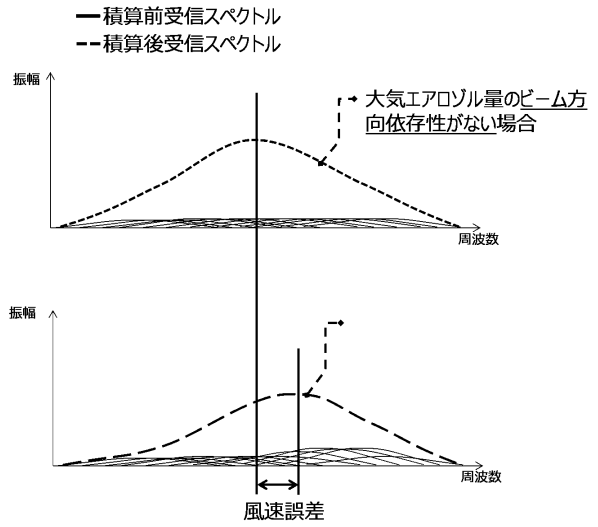
【図10】



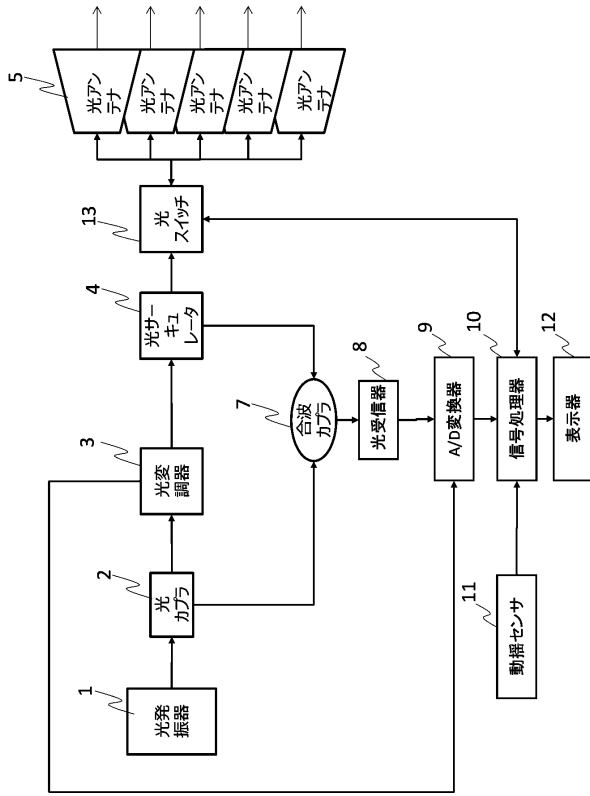
【図11】



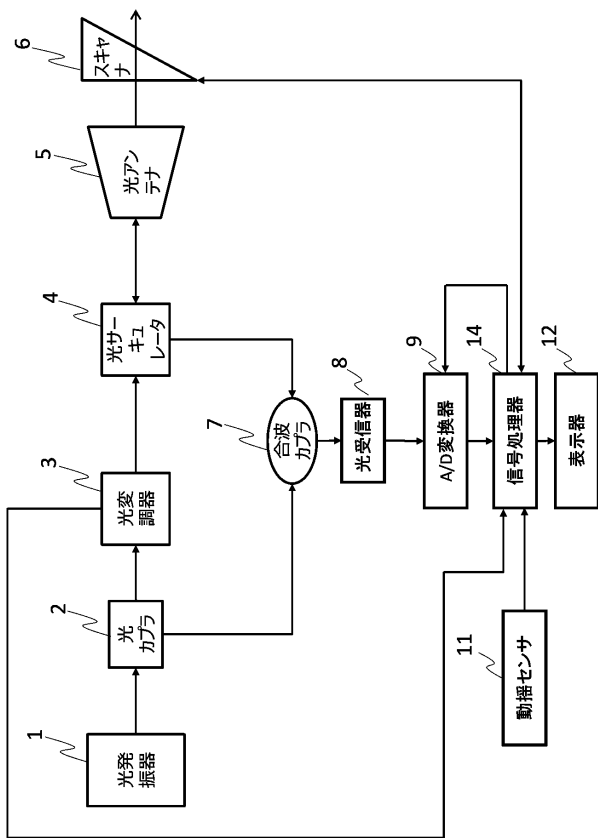
【図12】



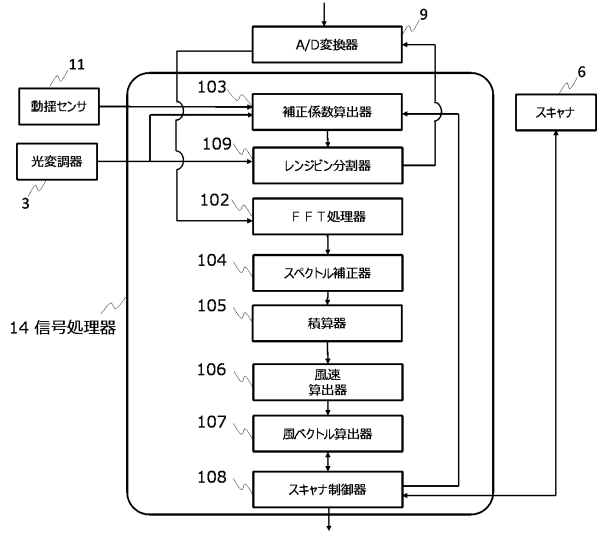
【図13】



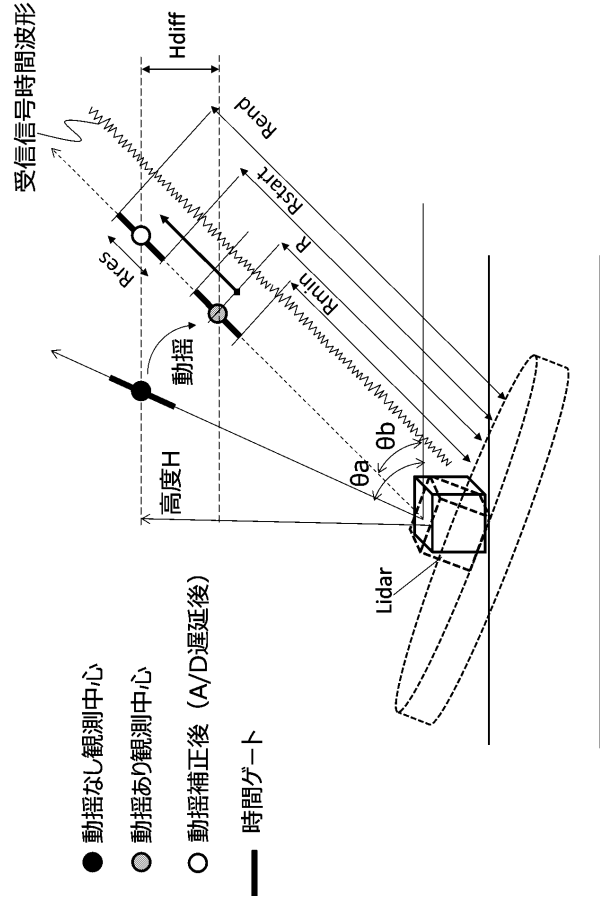
【図14】



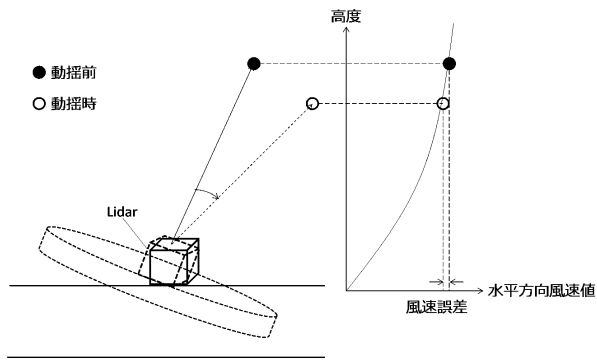
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

- (72)発明者 小竹 論季
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 今城 勝治
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 亀山 俊平
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 藤田 都志行

- (56)参考文献 特開2014-55889(JP,A)
特表2015-502540(JP,A)
特開2012-103050(JP,A)
特開2013-253910(JP,A)
米国特許第7777866(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51
G01S 17/00 - 17/95
G01P 5/00 - 5/26
G01W 1/00 - 1/18