

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3794361号  
(P3794361)

(45) 発行日 平成18年7月5日(2006.7.5)

(24) 登録日 平成18年4月21日(2006.4.21)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 S 13/95 (2006.01)** GO 1 S 13/95  
**GO 1 S 7/292 (2006.01)** GO 1 S 7/292 A

請求項の数 25 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2002-249336 (P2002-249336)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成14年8月28日(2002.8.28)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2004-85472 (P2004-85472A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成16年3月18日(2004.3.18)	(74) 代理人	100113077
審査請求日	平成15年12月11日(2003.12.11)		弁理士 高橋 省吾
		(74) 代理人	100112210
			弁理士 稲葉 忠彦
		(74) 代理人	100108431
			弁理士 村上 加奈子
		(74) 代理人	100128060
			弁理士 中鶴 一隆
		(72) 発明者	松田 知也
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ信号処理装置及びレーダ信号処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しないパワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパワースペクトルから大気物理量を算出する信号検出部とを備え、上記異常エコー除去部は、上記パワースペクトルの電力値としてパワースペクトルを周波数軸上で積分した値を用い、この積分値がしきい値を越える場合に異常エコーであると判別し、異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力することを特徴とするレーダ信号処理装置。

10

【請求項2】

上記パワースペクトルの電力値は、パワースペクトルを地形エコー成分が卓越する周波数範囲を除く周波数軸上で積分した値とすることを特徴とする請求項1に記載のレーダ信号処理装置。

【請求項3】

上記パワースペクトルの電力値は、パワースペクトルを周波数0の成分を除く周波数軸上で積分した値とすることを特徴とする請求項1に記載のレーダ信号処理装置。

20

## 【請求項4】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しないパワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備え、上記異常エコー除去部は、上記パワースペクトルの電力値としてパワースペクトルのピーク値を用い、このピーク値がしきい値を越える場合に異常エコーであると判別し、異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力することを特徴とするレーダ信号処理装置。

10

## 【請求項5】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、一定の時間範囲の受信信号の全電力を算出する時間領域電力算出部と、この全電力がしきい値を越える場合に当該時間範囲の受信信号を異常エコーであると判別し異常エコーに相当しない受信信号を出力する異常エコー除去部と、上記異常エコーに相当しない受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備えたことを特徴とするレーダ信号処理装置。

20

## 【請求項6】

日付又は時刻の条件に応じ、異常エコー判定を行うしきい値を設定するしきい値設定部を備え、この設定されたしきい値を用い異常エコー除去判定を行うことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

## 【請求項7】

日付又は時刻の条件に応じ、異常エコー除去処理を行うか否かを切り替えることができるようにしたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

30

## 【請求項8】

上記日付又は時刻の条件として渡り鳥の飛来の多い季節でかつ夜間を条件としたことを特徴とする請求項6又は7に記載のレーダ信号処理装置。

## 【請求項9】

降雨強度に応じ、異常エコー判定を行うしきい値を設定するしきい値設定部を備え、この設定されたしきい値を用いて異常エコー除去判定を行うことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

## 【請求項10】

降雨強度に応じ、異常エコー除去処理を行うか否かを切り替えることができるようにしたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

40

## 【請求項11】

上記信号検出部は鉛直方向の風速を算出し、この風速値に応じて異常エコー判定のしきい値を変化させるようにしたことを特徴とする請求項1乃至10のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

## 【請求項12】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しない

50

パワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備え、上記信号検出部が算出した鉛直方向の風速に基づき降雨の存在を判定し、降雨が存在する場合には異常エコー除去処理を行わないことを特徴とするレーダ信号処理装置

。【請求項 1 3】

上記信号検出部が算出した鉛直方向の風速に基づき降雨の存在を判定し、降雨が存在する場合には異常エコー除去処理を行わないことを特徴とする請求項 1 乃至 1 1 のいずれか一項に記載のレーダ信号処理装置。

【請求項 1 4】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第 1 のステップと、上記第 1 のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第 2 のステップと、各距離においてパワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより信号の全電力を算出する第 3 のステップと、各距離毎に全電力が予め設定したしきい値を超える場合に信号中に異常エコーが混入していると判定する第 4 のステップと、上記第 1 のステップから第 4 のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第 5 のステップと、上記第 5 のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気物理量を算出する第 6 のステップからなることを特徴とするレーダ信号処理方法。

【請求項 1 5】

上記第 3 のステップは、各距離において、地形エコー成分である固定クラッタ領域を除く周波数範囲において、パワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより、固定クラッタ電力を除く信号の全電力を算出するようにしたことを特徴とする請求項 1 4 に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項 1 6】

上記第 3 のステップは、周波数 0 の点のみを固定クラッタ成分とみなし、それ以外の周波数点のデータを積分することにより、固定クラッタ電力を除く信号の全電力を算出することを特徴とする請求項 1 4 に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項 1 7】

受信信号から異常エコーを除去し大気物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第 1 のステップと、上記第 1 のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第 2 のステップと、各距離においてパワースペクトルのピーク電力を算出する第 3 のステップと、各距離毎にピーク電力が予め設定したしきい値を超える場合に信号中に異常エコーが混入していると判定する第 4 のステップと、上記第 1 のステップから第 4 のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第 5 のステップと、上記第 5 のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気物理量を算出する第 6 のステップからなることを特徴とするレーダ信号処理方法。

【請求項 1 8】

受信信号から異常エコーを除去し大気物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第 1 のステップと、上記第 1 のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワ

10

20

30

40

50

ースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより信号の全電力を算出する第3のステップと、各距離で得られた全電力のうちの最大値が予め設定したしきい値を超える場合に、その時刻の全高度のパワースペクトルデータを使用しないと判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気の物理量を算出する第6のステップからなることを特徴とするレーダ信号処理方法。

【請求項19】

受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第1のステップと、上記第1のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルのピーク電力値を算出する第3のステップと、各距離で得られたピーク電力値のうちの最大値が予め設定したしきい値を超える場合に、その時刻の全高度のパワースペクトルデータを使用しないと判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気の物理量を算出する第6のステップからなることを特徴とするレーダ信号処理方法。

【請求項20】

異常エコーの判定に用いるしきい値として、予め設定した固定値を用いることを特徴とする請求項14乃至19のいずれか一項に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項21】

複数時刻で得られたパワースペクトルの電力値を比較して、相対的に高い電力値を持つ時刻以外の電力値を抽出し、抽出した電力値に予め定めた係数を乗算することにより異常エコーの判定に用いるしきい値を得ることを特徴とする請求項14乃至19のいずれか一項に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項22】

各距離において、一定時間内の複数の時間で得られたパワースペクトルから算出された全電力又はピーク電力のうち、最低の電力値を大気エコーの電力として抽出し、この抽出された最低電力値に予め設定した係数を乗算して得られる値をしきい値として設定するようにしたことを特徴とする請求項21に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項23】

異常エコーを含まないデータが異常エコー判定しきい値を超える確率がある一定値以下となるように、最低電力値に乘算する係数を設定することを特徴とする請求項22に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項24】

異常エコーとして除去されたデータ数によらず、一定の積分時間でインコヒーレント積分処理を行うことを特徴とする請求項14乃至23のいずれか一項に記載のレーダ信号処理方法。

【請求項25】

異常エコーとして除去されたデータ数によらず、インコヒーレント積分数が一定となるようにインコヒーレント積分処理を行うことを特徴とする請求項14乃至23のいずれか一項に記載のレーダ信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

この発明は、大気を計測するレーダのレーダ信号処理装置及びレーダ信号処理方法に関するものである。

**【0002】****【従来の技術】**

風向・風速の情報は気象予報に必要な情報の一つである。風向・風速を計測する最も一般的な方法は、地上に風向・風速計を設置することであるが、その場合は、地上の風向・風速計では地表付近の風しか測定できない。気象予報をより正確にするためには、上空の風向・風速も知ることが必要であるが、従来はゾンデ等による観測でしか上空の風を計測することができなかった。ゾンデ観測では、ゾンデを上げた時刻のデータしか得ることができないため、観測の時間分解能が数時間以上と低いことが欠点であった。

10

**【0003】**

それに対して、近年ウィンドプロファイラと呼ばれる大気レーダによって上空の風向風速を計測する技術が確立されつつある。ウィンドプロファイラでは、1分～数分毎に上空の風向・風速を計測することが可能となる。このような高い時間分解能での上空の風情報は、気象予報の精度向上に有効となると期待されている。

**【0004】**

ここで、ウィンドプロファイラで大気を計測する原理を説明する。ウィンドプロファイラはドップラレーダの一種であり、一般的に図20のような構成を持つ。この図において、101は空中線、102は送受信装置、103はレーダ信号処理装置、104は品質管理

20

**【0005】**

次に動作を説明する。送受信装置102で生成された電波は、空中線101によって空中に放射される。空中に放射された電波は、大気の屈折率の粗密が散乱体となって反射される。反射された電波は空中線によって受信され、送受信装置102に入力される。散乱体が上空の風と共に流れていると、受信された電波はドップラ効果によって周波数が変化する。この周波数の変化を一般のドップラレーダと同様に検出することにより、上空の風速を測定する。具体的には、受信された電波は送受信装置102によって、増幅、周波数変換、検波されることにより、ビデオ信号に変換され、レーダ信号処理装置103へと出力される。レーダ信号処理装置103では、ビデオ信号に周波数解析処理を行うことにより

30

**【0006】**

図21にレーダ信号処理装置103の内部構成を表すブロック図を示す。この図において、1はフーリエ変換部、2は周波数領域電力算出部、4はインコヒーレント積分部、5は信号検出部である。フーリエ変換部1では、各距離毎に得られる受信信号を、時間領域信号から周波数領域信号へと変換する。変換には、例えば高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform; FFT)を用いれば良いが、その他の手法を用いても構わない。周波数領域信号に変換された信号は周波数領域電力算出部2に入力され、各周波数成分毎に電力を算出することにより、パワースペクトルが得られる。インコヒーレント積分部4では、パワースペクトルを積分することにより、パワースペクトルのゆらぎを低減させる。信号検出部5

40

**【0007】**

品質管理処理装置104では、レーダ信号処理装置103から出力されたドップラ速度データを入力し、大気の時間的・空間的連続性を仮定することにより、時間軸及び空間軸方向で不連続なデータを精度の低いデータと判断し、欠損データとすることにより除去する。そして、除去されずに残ったデータを精度の高いデータとして出力する。

**【0008】**

風速ベクトル算出装置105は、異なるビーム方向で観測されたドップラ速度データを入

50

力し、それらを合成することにより、3次元風速ベクトルを算出する。図22は風速ベクトル算出の原理を模式的に示したものである。図22(a)の左側は上空の風速計測を行う際の典型的なビーム方向を示したものである。ここでは、天頂方向及び天頂角10度程度で東西南北にビームを切り替えるとしている。図22(b)は図22(a)の状況を東西方向に平行な垂直断面で切って表示したものである。西から東へと風が吹いている場合、西側のビームで観測すれば近づく方向のドップラ速度が、東側のビームで観測すれば遠ざかる方向のドップラ速度が観測される。西側のビームと東側のビームで観測されたドップラ速度の差異を利用することにより、東西方向の風速を求めることができる。同様にして、北側のビームと南側のビームを用いれば、南北方向の風速を得ることができる。さらに天頂方向のドップラ速度は風速の鉛直成分に相当する。その結果、3次元風速ベクトル

10

**【0009】**

表示・記録装置106では、風速ベクトル算出手段から出力された風速ベクトルデータを表示又は記録する。

**【0010】**

従来の品質管理処理の方式として、「ウィンドプロファイラによる風観測の定常化に関する業務実験 - 調査結果と提言 -、測候時報 65.3、1998」で提案されている二次曲面近似方式がある。図23は、この二次曲面近似方式を実現するための品質管理処理装置の構成を示すブロック図である。この図において、401は近似曲面定義範囲設定部、402は近似二次曲面算出部、403は近似精度判定部、404はデータ除去部である。

20

**【0011】**

次に図23の動作を説明する。近似曲面定義範囲設定部401は観測データに対して二次曲面をフィッティングする際の、近似二次曲面を定義する時間範囲と距離範囲を設定する。近似二次曲面算出部402では、入力データに対して、近似曲面定義範囲設定部401で設定された時間・距離範囲において、二次曲面をフィッティングする。二次曲面のフィッティングを行うには、例えば最小二乗法が用いられる。

**【0012】**

近似精度判定部403では、近似二次曲面算出部402で算出された近似二次曲面の精度が高いかどうかを判定する。例えば前述の文献では、各時間・距離の格子点の観測値と近似二次曲面の差を算出し、差の最大値が予め設定されたしきい値よりも大きいか、又は近似曲面定義範囲内での差の二乗平均の平方根が予め設定されたしきい値よりも大きいかのいずれかが成立する場合に、近似二次曲面の精度が低いと判定される。

30

**【0013】**

近似二次曲面の精度が低い場合、ドップラ速度データと近似二次曲面はデータ除去部404に入力される。データ除去部404では、近似二次曲面とドップラ速度データの差が大きい格子点において、ドップラ速度データを欠損とすることにより除去する。データ除去部404でデータ除去処理されたドップラ速度データは、近似二次曲面算出部402に入力され、二次曲面のフィッティングが再度行われる。このような処理を、近似二次曲面の精度が高いと近似精度判定部403で判定されるまで繰り返す。

40

**【0014】**

近似二次曲面の精度が高いと判定されると、近似精度判定部403は、現時点でのドップラ速度データを品質管理処理済みのデータとして出力する。その後、近似曲面定義範囲設定部401は、近似曲面の定義範囲を次の高度又は次の時間へと更新して、同じ処理を繰り返す。

**【0015】****【発明が解決しようとする課題】**

以上のような二次曲面近似方式による品質管理処理は、データ品質の劣化した格子点が少ない場合には良好に動作する。例えば、レーダの上空に一羽の鳥が存在するだけであれば、時空間座標の1点だけで鳥の移動速度に対応するドップラ速度が観測され、その他の点

50

では風に対応するドップラ速度、すなわち視線方向風速が観測される。したがって、先の図23の構成による品質管理装置を用いることにより、鳥エコーだけを除去することができる。

【0016】

しかし、多数の鳥が時間的に連続して飛来するような場合、品質の劣化した格子点の数が多くなる。すると、時空間座標において、大気エコーよりも渡り鳥エコーが卓越して検出されるようになる。この場合、図23のような従来の品質管理処理装置による異常エコーの除去は困難となる。このような状況は、渡り鳥が一斉に移動する季節になると頻繁に発生する。

【0017】

レーダのビームは細いため、鳥がビーム内を通過する時間は限られている。したがって、時間的には断続的に鳥エコーが受信されることになる。鳥エコーが途切れた時間には大気エコーのみを受信することが可能である。しかし、大気に比べて鳥のレーダ断面積は大きいいため、時間方向にデータを積分する積分処理を行うと、レーダ断面積の大きい鳥エコーのみが卓越し、大気エコーは埋もれてしまう。これにより、信号処理後のデータでは、鳥エコーは時間的に連続して現れることになる。

【0018】

本発明は上記のような問題を解決するためになされたものであり、レーダによる大気観測を行う際に、多数の鳥が上空を通過することにより生じる異常エコーのみを除去し、大気エコーのデータを残すことにより、風速計測などの大気観測を正確に行うことができるようにすることを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1に係るレーダ信号処理装置は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しないパワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備え、上記異常エコー除去部は、上記パワースペクトルの電力値としてパワースペクトルを周波数軸上で積分した値を用い、この積分値がしきい値を越える場合に異常エコーであると判別し、異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力することを特徴とするものである。

【0020】

また、本発明の請求項2に係るレーダ信号処理装置は、上記パワースペクトルの電力値は、パワースペクトルを地形エコー成分が卓越する周波数範囲を除く周波数軸上で積分した値とすることを特徴とする請求項1に記載のものである。

【0021】

また、本発明の請求項3に係るレーダ信号処理装置は、上記パワースペクトルの電力値は、パワースペクトルを周波数0の成分を除く周波数軸上で積分した値とすることを特徴とする請求項1に記載のものである。

【0022】

また、本発明の請求項4に係るレーダ信号処理装置は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるパワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このパワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないパワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しないパワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したパ

10

20

30

40

50

ワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備え、上記異常エコー除去部は、上記ワースペクトルの電力値としてワースペクトルのピーク値を用い、このピーク値がしきい値を越える場合に異常エコーであると判別し、異常エコーに相当しないワースペクトルのみ出力することを特徴とするものである。

【0023】

また、本発明の請求項5に係るレーダ信号処理装置は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、一定の時間範囲の受信信号の全電力を算出する時間領域電力算出部と、この全電力がしきい値を越える場合に当該時間範囲の受信信号を異常エコーであると判別し異常エコーに相当しない受信信号を出力する異常エコー除去部と、上記異常エコーに相当しない受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このワースペクトルをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備えたことを特徴とするものである。

10

【0024】

また、本発明の請求項6に係るレーダ信号処理装置は、日付又は時刻の条件に応じ、異常エコー判定を行うしきい値を設定するしきい値設定部を備え、この設定されたしきい値を用い異常エコー除去判定を行うことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のものである。

20

【0025】

また、本発明の請求項7に係るレーダ信号処理装置は、日付又は時刻の条件に応じ、異常エコー除去処理を行うか否かを切り替えることができるようにしたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のものである。

【0026】

また、本発明の請求項8に係るレーダ信号処理装置は、上記日付又は時刻の条件として渡り鳥の飛来の多い季節でかつ夜間を条件としたことを特徴とする請求項6又は7に記載のものである。

【0027】

また、本発明の請求項9に係るレーダ信号処理装置は、降雨強度に応じ、異常エコー判定を行うしきい値を設定するしきい値設定部を備え、この設定されたしきい値を用いて異常エコー除去判定を行うことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のものである。

30

【0028】

また、本発明の請求項10に係るレーダ信号処理装置は、降雨強度に応じ、異常エコー除去処理を行うか否かを切り替えることができるようにしたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載のものである。

【0029】

また、本発明の請求項11に係るレーダ信号処理装置は、上記信号検出部は鉛直方向の風速を算出し、この風速値に応じて異常エコー判定のしきい値を変化させるようにしたことを特徴とする請求項1乃至10のいずれか一項に記載のものである。

40

【0030】

また、本発明の請求項12に係るレーダ信号処理装置は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理装置において、受信信号を周波数信号にフーリエ変換するフーリエ変換部と、この周波数信号から周波数毎の電力であるワースペクトルを算出する周波数領域電力算出部と、このワースペクトルの電力値に基づき上記異常エコーを判別し異常エコーに相当しないワースペクトルのみ出力する異常エコー除去部と、この異常エコーに相当しないワースペクトルのみをインコヒーレント積分し平均化するインコヒーレント処理部と、このインコヒーレント積分したワースペクトルから大気の物理量を算出する信号検出部とを備え、上記信号検出部が算

50



出した鉛直方向の風速に基づき降雨の存在を判定し、降雨が存在する場合には異常エコー除去処理を行わないことを特徴とするものである。

【0031】

また、本発明の請求項13に係るレーダ信号処理装置は、上記信号検出部が算出した鉛直方向の風速に基づき降雨の存在を判定し、降雨が存在する場合には異常エコー除去処理を行わないことを特徴とする請求項1乃至11のいずれか一項に記載のものである。

【0032】

また、本発明の請求項14に係るレーダ信号処理方法は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第1のステップと、上記第1のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより信号の全電力を算出する第3のステップと、各距離毎に全電力が予め設定したしきい値を超える場合に信号中に異常エコーが混入していると判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間のパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気物理量を算出する第6のステップからなるものである。

【0033】

また、本発明の請求項15に係るレーダ信号処理方法は、上記第3のステップは、各距離において、地形エコー成分である固定クラッタ領域を除く周波数範囲において、パワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより、固定クラッタ電力を除く信号の全電力を算出するようにしたものである。

【0034】

また、本発明の請求項16に係るレーダ信号処理方法は、上記第3のステップは、周波数0の点のみを固定クラッタ成分とみなし、それ以外の周波数点のデータを積分することにより、固定クラッタ電力を除く信号の全電力を算出するものである。

【0035】

また、本発明の請求項17に係るレーダ信号処理方法は、受信信号から異常エコーを除去し大気物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第1のステップと、上記第1のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルのピーク電力を算出する第3のステップと、各距離毎にピーク電力が予め設定したしきい値を超える場合に信号中に異常エコーが混入していると判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間のパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気物理量を算出する第6のステップからなるものである。

【0036】

また、本発明の請求項18に係るレーダ信号処理方法は、受信信号から異常エコーを除去し大気物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第1のステップと、上記第1のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルの電力を周波数軸上で積分することにより信号

10

20

30

40

50

の全電力を算出する第3のステップと、各距離で得られた全電力のうちの最大値が予め設定したしきい値を超える場合に、その時刻の全高度のパワースペクトルデータを使用しないと判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気の物理量を算出する第6のステップからなるものである。

【0037】

また、本発明の請求項19に係るレーダ信号処理方法は、受信信号から異常エコーを除去し大気の物理量を測定するレーダ装置に適用するレーダ信号処理方法において、各距離で得られる受信信号からある時間範囲の信号を切り出し、フーリエ変換を施すことにより周波数領域のデータに変換する第1のステップと、上記第1のステップで算出された周波数領域のデータについて周波数毎に電力値を算出してパワースペクトルを求める第2のステップと、各距離においてパワースペクトルのピーク電力値を算出する第3のステップと、各距離で得られたピーク電力値のうちの最大値が予め設定したしきい値を超える場合に、その時刻の全高度のパワースペクトルデータを使用しないと判定する第4のステップと、上記第1のステップから第4のステップの処理を複数の時間で行うことにより得られる複数の時間でのパワースペクトルのうち、異常エコーが混入していないと判定された場合のパワースペクトルのみを用いてインコヒーレント積分を行う第5のステップと、上記第5のステップで得られたインコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーを検出し、大気の物理量を算出する第6のステップからなるものである。

【0038】

また、本発明の請求項20に係るレーダ信号処理方法は、異常エコーの判定に用いるしきい値として、予め設定した固定値を用いるものである。

【0039】

また、本発明の請求項21に係るレーダ信号処理方法は、複数時刻で得られたパワースペクトルの電力値を比較して、相対的に高い電力値を持つ時刻以外の電力値を抽出し、抽出した電力値に予め定めた係数を乗算することにより異常エコーの判定に用いるしきい値を得るものである。

【0040】

また、本発明の請求項22に係るレーダ信号処理方法は、各距離において、一定時間内の複数の時間で得られたパワースペクトルから算出された全電力又はピーク電力のうち、最低の電力値を大気エコーの電力として抽出し、この抽出された最低電力値に予め設定した係数を乗算して得られる値をしきい値として設定するようにしたものである。

【0041】

また、本発明の請求項23に係るレーダ信号処理方法は、異常エコーを含まないデータが異常エコー判定しきい値を超える確率がある一定値以下となるように、最低電力値に乗算する係数を設定するものである。

【0042】

また、本発明の請求項24に係るレーダ信号処理方法は、異常エコーとして除去されたデータ数によらず、一定の積分時間でインコヒーレント積分処理を行うものである。

【0043】

また、本発明の請求項25に係るレーダ信号処理方法は、異常エコーとして除去されたデータ数によらず、インコヒーレント積分数が一定となるようにインコヒーレント積分処理を行うものである。

【0044】

【発明の実施の形態】

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図である。図

10

20

30

40

50

において、1はフーリエ変換部、2は周波数領域電力算出部、3は異常エコー除去部、4はインコヒーレント積分部、5は信号検出部である。

【0045】

次に動作について説明する。フーリエ変換部1では、各距離毎に得られる受信信号を、時間領域信号から周波数領域信号へと変換する。変換には、例えば高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform; FFT)を用いれば良いが、その他の手法を用いても構わない。周波数領域信号に変換された信号は周波数領域電力算出部2に入力され、各周波数成分毎に電力を算出することにより、パワースペクトルが得られる。

【0046】

異常エコー除去部3では、周波数領域電力算出部2で得られたパワースペクトルの電力値が、設定されたしきい値よりも大きい場合に、異常エコーが混入していると判定する。異常エコーが混入していると判定されたパワースペクトルは除去する。インコヒーレント積分部4では、異常エコー除去部3で除去されずに残ったパワースペクトルを積分することにより、パワースペクトルのゆらぎを低減させる。信号検出部5では、インコヒーレント積分後のパワースペクトルから大気エコーのスペクトルピークを検出し、その周波数からドップラ速度、すなわち視線方向風速を算出する。

【0047】

なお、異常エコー除去部3におけるパワースペクトルの除去の方法としては、除去するパワースペクトルを欠損とする、すなわち「除去」のフラグを立てることが考えられる。インコヒーレント積分部4では、「除去」のフラグのついていないパワースペクトルのみを用いて積分処理を行うことになる。あるいは、異常エコー除去部3におけるパワースペクトルの除去の他の方法として、除去するパワースペクトルの電力値を全て0とすることも考えられる。この場合、インコヒーレント積分部4では、異常エコー除去部3でパワースペクトルが除去されたか否かを考慮せずに積分処理を行っても、異常エコーは結果的に除去できることになる。

【0048】

異常エコー判定に用いるパワースペクトルの電力値としては、例えばパワースペクトルを周波数軸上で積分した全電力を用いることが考えられる。図2はそのような場合の異常エコー除去部3の内部構成を示すブロック図である。この図において、301は電力積分部、302は電力判定部である。電力積分部301では、パワースペクトルを周波数軸上で積分することにより、パワースペクトルの全電力を算出する。電力判定部302では、電力積分部301で算出された全電力を、予め設定したしきい値と比較し、全電力の方が大きければパワースペクトルに異常エコー成分が含まれると判定し、このパワースペクトルを除去する。逆に全電力の方が小さければ、パワースペクトルをそのままインコヒーレント積分部4へと出力する。

【0049】

ただし、近距離のデータでは、地形エコー成分の電力が大きい場合がある。地形エコー成分は周波数0近辺のみに存在し、スペクトル幅も大気エコーに比べて明らかに狭いため、両者を識別することは比較的容易である。信号検出部5にて地形エコーの影響を取り除くことも通常良く行われることから、異常エコー除去部3においては地形エコー以外の異常エコー、すなわち鳥エコーのみを除去するようにしても良い。この場合、電力積分部301では、周波数0の近傍を除く周波数範囲でパワースペクトルを積分するにすれば良い。

【0050】

地形エコー成分を取り除く最も簡易な方法としては、周波数0成分のみを除いてパワースペクトルの積分値を求めることである。図3はそのような動作をする異常エコー除去部の構成を示す図である。この図において、303は周波数0成分減算部である。その他の符号は前述のものと同じである。周波数0成分減算部303では、電力積分部301において全周波数範囲でパワースペクトルを積分することにより得られた電力値から、周波数0成分を減算する。これにより、周波数0の成分を除く電力積分値を得ることができる。

10

20

30

40

50

## 【0051】

以上では、パワースペクトルを積分することにより得られる電力を用いて異常エコー判定を行う例を示したが、図4では、ピーク電力値を用いて判定する場合の異常エコー除去部3の内部構成を示すブロック図である。この図において、304はピーク電力抽出部である。ピーク電力抽出部では、パワースペクトル中の最大の電力値を抽出し、この値を信号電力の代表値と見なして、302電力判定部にて異常エコー判定を行うようにしている。

## 【0052】

図5は本発明の実施の形態のレーダ信号処理方法の流れを示す図である。この図では、パワースペクトルを周波数軸上で積分する場合、すなわち図2あるいは図3の異常エコー除去部の動作に対応したレーダ信号処理方法の流れを示している。

10

## 【0053】

ステップst001とステップst012で囲まれた区間は、インコヒーレント積分を行うループを表すものである。ステップ002では、フーリエ変換を行う際の時間点数分の受信信号を入力する。ステップst003からステップst007で囲まれた区間は、レンジループ、すなわち各距離での処理を行うループを表すものである。st004では、各距離において、時系列信号である受信信号にフーリエ変換を施すことにより、周波数領域の信号へと変換する。st005では、各周波数成分毎に電力値を算出することにより、パワースペクトルを得る。st006では、パワースペクトルを周波数軸上で積分することにより、全電力を算出する。周波数軸上の積分では、図2の異常エコー除去部3の動作のように、周波数0の近傍を除く周波数領域で積分するようにしても良いし、あるいは

20

## 【0054】

ステップst008からステップst011で囲まれた区間は、レンジループ、すなわち各距離での処理を行うループを表すものである。ステップst009では、各距離毎に、全電力と予め設定されたしきい値と比較し、全電力がしきい値を下回る場合にのみ、ステップst010にて処理中のパワースペクトルを積算する。インコヒーレント積分ループは、設定された回数 $N_{in}$ だけst002からst011の処理を行うと終了するようにする。この場合、st010で積算されるパワースペクトルの数、すなわちインコヒーレント積分数は最大で $N_{in}$ となり、異常エコーの影響を受ける場合には、これよりも小さいインコヒーレント積分数となる。インコヒーレント積分ループを、設定された回数 $N_{in}$ だけ行うようにした場合、インコヒーレント積分後のパワースペクトルの得られる時間間隔が、実際に実行したインコヒーレント積分数によらず一定となるため、品質管理処理装置によるデータ品質管理処理などの信号処理より後段のデータ処理を行う上で、入力データの扱いが容易になる。ただし、インコヒーレント積分数が少なくなった場合には、それだけ信号検出の性能が劣化することになる。

30

## 【0055】

あるいは、インコヒーレント積分数が所定数以上になった場合にステップst012でインコヒーレント積分ループを終了するようにしても良い。この場合には、常にインコヒーレント積分数を一定以上にすることができるため、一定以上の信号検出性能を常に確保することができる。

40

## 【0056】

なお、図5では、ステップst001からステップst007と、ステップst008からステップst011の2つのレンジループを持っているが、これを一つにまとめるようにしても良い。あるいは処理が等価であればレンジループをさらに細かく分けるようにしても良い。このように、処理が等価であれば、本発明はループの区切り方を限定するものではない。

## 【0057】

図5に示した本発明のレーダ信号処理方法の流れを示す図では、レーダのビーム方向の切り替えについては特に表現されていない。実際のレーダでは、例えば図6に示すように、

50

1つの時間範囲でのフーリエ変換が終わると次のビーム方向に切り替え、必要な観測方向を全てカバーするというようにインコヒーレント積分を行う時間範囲の途中でビームを切り替えるような手順が取られることが多い。このような場合にも、個々のビーム方向のデータのみに着目すれば、図5の処理の流れは変わらない。よって、本発明は、このようなビーム切り替えの手順を特に限定するものではない。

【0058】

異常エコー判定で用いるしきい値については、大気レーダ断面積と鳥のレーダ断面積を考慮して固定的に設定すれば良い。一般に鳥のレーダ断面積は大気レーダ断面積と比較して十分大きい。そこで、レーダ方程式から予測される大気エコーの受信電力と鳥エコーの受信電力の間の電力値をしきい値として採用すれば良い。

10

【0059】

図7は、パワースペクトルのピーク電力を用いて異常エコー判定を行う場合、すなわち図4の異常エコー除去部の動作に対応したレーダ信号処理方法の流れを示す図である。この図では、ステップ006bでパワースペクトルのピーク電力を抽出するようにし、そのピーク電力についてしきい値による判定をステップ009bで行うようにしている以外は、図5に示したレーダ信号処理方法と同じである。

【0060】

以上のように、本発明の実施の形態では、エコー強度によって異常エコーと大気エコーを識別し、大気エコーのみを用いて信号検出を行うようにしているため、渡り鳥が上空を飛来するような場合にも正確に大気観測を行うことが可能になる。特に、インコヒーレント積分前のデータに対して異常エコーの除去を行うようにしているため、従来のレーダ信号処理装置又は品質管理処理装置に比べて、異常エコー除去の処理を行う時間単位が短いため、断続的に異常エコーが発生している状況において、正常エコーが異常エコーに埋もれる前に異常エコーを除去し、正常エコーのみを残すことが可能となる。

20

【0061】

また、パワースペクトルを算出するために算出した周波数領域上の電力値を用いるため、後述の実施の形態7と比較して時間領域での電力値算出が不要となるため、実施の形態7の場合よりも信号処理演算量は少なくて済む。

【0062】

なお、本実施の形態では、風速計測用レーダへの適用を想定したレーダ信号処理装置及びレーダ信号処理方法について記述しているが、本レーダ信号処理装置及びレーダ信号処理方法は、電波を送受信するレーダだけに限定されるものではなく、音波を送受信するソーダや、光波を送受信するレーザレーダに対しても全く同様に適用することができる。また、風速計測を目的としたレーダだけでなく、降雨レーダを始めとする大気観測用レーダにも適用できる。このことは、以後に記述する別の実施の形態においても同様である。

30

【0063】

実施の形態2 .

以上の実施の形態1では、異常エコー判定及び異常エコー除去を距離毎に行うようにしたものであるが、次に、異常エコー判定及び異常エコー除去を全レンジで一括して行うような場合の実施の形態を示す。本発明の実施の形態において、レーダ信号処理装置の構成は、実施の形態1と同様に図1で表されるものであるが、レーダ信号処理方法が異なるものとなる。

40

【0064】

図8は本発明の実施の形態2のレーダ信号処理方法の流れを示すものである。ステップst101とステップst113で囲まれた区間は、インコヒーレント積分を行うループを表すものである。ステップ102では、フーリエ変換を行う際の時間点数分の受信信号を入力する。ステップst103からステップst107で囲まれた区間は、レンジループ、すなわち各距離での処理を行うループを表すものである。st104では、各距離において、時系列信号である受信信号にフーリエ変換を施すことにより、周波数領域の信号へと変換する。st105では、各周波数成分毎に電力値を算出することにより、パワース

50

ペクトルを算出する。ステップ106では、パワースペクトルを周波数軸上で積分することにより、全電力を算出する。周波数軸上の積分では、図2の異常エコー除去部3の動作のように、周波数0の近傍を除く周波数領域で積分するようにしても良いし、あるいは図3の異常エコー除去部3のように、周波数0の成分のみを除いた積分を行うようにしても良い。ステップ108では、ステップ106でレンジ毎に算出された全電力のうちの最大値を抽出する。ステップ109では、ステップ108でえられた最大全電力と予め設定したしきい値とを比較し、最大全電力の方が小さい場合にのみ、ステップ110からステップ112で表されるレンジループの処理を行う。レンジループ内のステップ111では、ステップ105で得られたパワースペクトルを積分後パワースペクトルに加算することにより、インコヒーレント積分を実行する。

10

**【0065】**

このように図8のレーダ信号処理方法では、ステップ109のしきい値判定で異常エコーが受信信号に混入していると判定された場合には、全距離でパワースペクトルの積算が行われないため、全距離で一括して異常エコーが除去されることになる。

**【0066】**

図8では、異常エコー判定を全電力に対して行うのに対して、図9のようにピーク電力に対して異常エコー判定を行うことも考えられる。すなわち図4の異常エコー除去部の動作に対応したレーダ信号処理方法の流れを示す図である。この図では、ステップ106bでパワースペクトルのピーク電力を抽出するようにし、そのピーク電力の最大値をステップ108bで抽出し、抽出された最大ピーク電力についてしきい値による判定をステップ109bで行うようにしている以外は、図8に示したレーダ信号処理方法と同じである。

20

**【0067】**

本発明の実施の形態のレーダ信号処理方法によれば、全距離で一括して異常エコー判定を行うようにしているため、距離毎に異常エコー判定を行うよりも演算時間を短縮することができる。特に、以前から用いられているレーダ信号処理装置に異常エコー除去機能を加える場合のように、信号処理ハードウェアの性能に制約があるような場合に有効である。

**【0068】**

実施の形態3.

以上の実施の形態では、異常エコー判定に用いるしきい値は固定したものをを用いるとしていたが、本実施の形態では、しきい値を観測データから決定するような実施形態について述べる。

30

**【0069】**

図10は本発明の実施の形態におけるレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図である。この図において、7はしきい値設定部である。その他の符号は前述のものと同じである。次に動作を説明する。しきい値設定部7は周波数領域電力算出部2で得られた各距離のパワースペクトルデータを入力し、複数時間分だけ蓄積する。各レンジ毎に、蓄積されたパワースペクトルの中から異常エコーが含まれないと判断されるデータを抽出し、その電力値をもとに異常エコー判定のしきい値を設定する。具体的には、電力値から判断して異常エコーが含まれないと判断される時刻のデータを選択し、その電力値に予め定義した方法でマージンを加えた電力値を、異常エコー判定しきい値として異常エコー除去部3へ出力する。このしきい値を用いて、異常エコー除去部3は周波数領域電力算出部2から出力されたパワースペクトルを評価し、異常エコー成分が含まれると判断されたデータを除去する。その他の動作は前述の図1のレーダ信号処理装置と同じである。

40

**【0070】**

次に図10のレーダ信号処理装置の動作を、処理アルゴリズムという観点から説明する。本実施の形態においても、しきい値を設定する方法以外の処理アルゴリズムについては、実施の形態1又は実施の形態2のレーダ信号処理方法と同じである。ここでは、レーダ信号処理方法のアルゴリズムのうちの、異常エコー判定に用いるしきい値を設定する部分のみを特に説明する。

**【0071】**

50

図11は本発明の実施の形態のレーダ信号処理方法における異常エコー判定しきい値の設定部分の流れを示す図である。この図において、ステップst201からステップst204で囲まれた区間は、レンジループ、すなわち各距離での処理を行うループを表すものである。

【0072】

例えば実施の形態1で示した図5では、ステップst003からステップst007の処理において、レンジ毎のフーリエ変換及びパワースペクトル算出を複数の時間ブロックで行うことにより、各レンジにおいて複数時刻でのパワースペクトル及び全電力値が得られている。

【0073】

図11のst202では、複数時刻の全電力値から、最小の全電力値を抽出する。最小電力値となっている時間は、鳥による異常エコーが混入している可能性が最も低いと考えられる。そこで、最小全電力値が得られている時刻の観測データが異常エコーを含まないデータのサンプルであると見なして、ステップst203ではその全電力値にある係数を乗算した電力値を異常エコー判定のしきい値を設定する。乗算する係数の値は経験的に固定値を設定しても良い。あるいは大気エコーの電力値の統計的性質、すなわち確率密度分布を考慮して、異常エコーを含まない大気エコーがしきい値を超える確率、即ち誤って正常エコーが除去される確率が一定となるように設定しても良い。図11における全電力としては、全周波数成分から計算した全電力を用いても良いし、あるいは、ドップラー周波数が0近傍である地形エコー成分を除いた全電力を用いても良い。

【0074】

以上の方法によってしきい値設定を行えば、例えば大気エコーの受信強度が弱い場合には、異常エコーの影響を受けやすくなるが、異常エコー判定しきい値が低くなるため、より多くの異常エコー成分を除去することが可能となる。逆に大気エコーの受信強度が比較的強い場合には、しきい値が大きくなるため、大気エコーが強いために誤って異常エコーと判定される確率が低くなるため、多くの大気エコー成分を利用することが可能となる。

【0075】

図11では全電力値を利用して異常エコー判定しきい値を設定していたが、図12のようにパワースペクトルのピーク値を用いて異常エコー判定しきい値を設定しても良い。図12では、図11のステップst202の代わりにステップst202bを用いることにより、複数時刻のピーク電力値から、最小のピーク電力値を抽出する。また、ステップst203の代わりにステップst203bを用いることにより、ピーク電力値にマージンを加算した電力レベルを異常エコー判定のしきい値を設定する。全電力の代わりにピーク電力を用いること以外は、図11と図12は同様の処理により異常エコー検出しきい値を設定する。

【0076】

図11又は図12のしきい値設定処理は、レーダ信号処理の流れの中の適当なところにおけば良い。例えば図5に示したレーダ信号処理方法を用いる場合は、st007の直後に入れることが考えられる。あるいは、st012の直後にしきい値設定処理を入れ、設定されたしきい値は次の時刻の信号処理に用いるようにしても良い。本発明では、しきい値処理を入れる段階を特に制限するものではない。

【0077】

本実施の形態によれば、大気エコーのエコー強度に応じたしきい値を用いて異常エコー判定を行うようにしているため、誤って大気エコーを除去する確率を低くしたまま、異常エコーを正確に除去することが可能となり、観測精度を高く保つことができる。

【0078】

実施の形態4.

前述の実施の形態3では、異常エコー判定しきい値を観測されたデータを用いて変更していたが、渡り鳥飛来の頻度は季節と時刻に依存することから、日時によって判定しきい値を変更するようにしても良い。具体的には、渡り鳥が移動する期間は毎年一定しており、

10

20

30

40

50

しかも外敵から目立たない夜間に移動することが多い。そのため、渡り鳥が移動する期間、例えば春と秋の夜間に、異常エコー判定しきい値を低くし、異常エコーの残留が少なくなるようにすれば良い。その他の日時では、鳥が観測範囲内を通過するとしても、その頻度はまれであるため、従来から行われている信号処理後の品質管理処理にて除去できるため、異常エコー判定しきい値を高めにして、正常エコーを誤って除去する確率が低くなるようにすることが考えられる。

#### 【0079】

そのようなレーダ信号処理装置の構成例のブロック図を図13に示す。この図において、8は時計である。その他の符号は前述のものと同じである。時計8から出力される日時のデータはしきい値設定部7へ渡される。しきい値設定部7では、日時毎に予め設定されたしきい値を異常エコー除去部3へ出力する。異常エコー除去部3はしきい値設定部7から入力したしきい値を用いて、周波数領域電力算出部2から入力したパワースペクトルに対して異常エコーか否かの判定を行い、異常エコーであると判定されれば、そのパワースペクトルデータを除去する。その他の動作については、図10に示したレーダ信号処理装置と同じである。

10

#### 【0080】

図13のレーダ信号処理装置の他の例を図14に示す。この図において、9は処理切替スイッチである。その他の符号は前述のものと同じである。図13では、日時によってしきい値を変化させていたが、図14では異常エコー除去部3による処理を、日時によってオン/オフするようにしている。例えば、渡りの季節の夜間のみ処理切替スイッチをオンにして、異常エコー除去部3による処理を行い、それ以外の日時では処理切替スイッチをオフにして、異常エコー除去部3による処理を行わないようにする。

20

#### 【0081】

以上のように、日時によってしきい値を変更することにより、特に異常エコーが良く除去できるようにしたため、あるいは異常エコー除去処理をオン/オフすることにより渡り鳥による異常エコーの影響が大きく現れるときだけ異常エコーを除去するようにした。よって、渡り鳥の影響が小さい日時において、正常エコーが誤って除去されることがなくなり、インコヒーレント積分数が少なくならないため、正常エコーの検出確率が減らず、データ取得率を維持することが可能となる。

#### 【0082】

実施の形態5

前述の実施の形態4では、日時によってレーダ信号処理方法を変更するようにしていたが、渡り鳥の渡りは天候にも左右される。本発明の実施の形態5では、天候によってレーダ信号処理方法を変化させるようにしたものである。図15は本発明の実施の形態のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図である。この図の符号は全て前述のものと同じである。図15では、しきい値設定部7が雨量データを入力し、降雨強度によって変化するしきい値を異常エコー除去部3へと出力する。雨量の強いときには、渡り鳥が飛来する可能性が低いと見做すため、しきい値を大きく設定することにより、正常エコーを誤って除去しないようにする。逆に降雨のないときには、渡り鳥が飛来する可能性があるため、しきい値を小さく設定することにより、異常エコーが除去できるようにする。

30

40

#### 【0083】

図16に示すブロック図は図15を変形したもので、雨量データによって、異常エコー除去部3による処理をオン/オフしている。すなわち、降雨のあるときには異常エコー除去部3の処理をオフにし、降雨のないときは逆にオンにするようにしている。

#### 【0084】

雨量データとしては、一般的な雨量計で観測されるものを用いてもよいし、あるいは風速計測用のレーダとは別に設置された降雨レーダで計測された雨量強度を用いても良いが、本発明では特に雨量データの観測方法を限定するものではない。

#### 【0085】

また、渡り鳥飛来の特性が雨量以外の気象データに依存する場合には、そのようなデータ

50



も合わせてしきい値設定部 7 に入力するようにしても良い。

【 0 0 8 6 】

本発明の実施の形態によれば、降雨の存在するときには渡り鳥が飛来しないと判断して信号処理を制御するため、降雨時に誤って正常エコーを除去することがなくなる。

【 0 0 8 7 】

実施の形態 6 .

前述の実施の形態 5 では、雨量データを用いて、降雨時の異常エコー除去処理を制御していたが、本発明の実施の形態では、レーダ装置で観測されたデータから降雨の有無を判定するような実施形態を説明する。

【 0 0 8 8 】

図 1 7 及び図 1 8 は本発明の実施の形態のレーダ信号処理装置の構成を示す図である。この図に含まれる符号は全て前述のものと同じである。次に動作を説明する。信号検出部から出力されるドップラ速度データのうち、ビームを天頂方向に向けて観測されたドップラ速度を処理切替スイッチ 9 へ入力する。降雨が存在しない場合、一般的に鉛直方向の風は 1 ~ 2 m / s 程度である。それに対し、雨滴の落下速度はそれよりも大きくなる。また、渡り鳥はほとんどの場合に水平飛行をすると考えられる。したがって、天頂ビームのドップラ速度が近づく方向に大きい場合には、降雨が存在し、渡り鳥は上空を通過していないと判断することができる。そこで、図 1 7 のレーダ信号処理装置では、ドップラ速度が近づく方向に大きい場合に、異常エコー判定しきい値を大きくし、あるいは図 1 8 のレーダ信号処理装置では、ドップラ速度が近づく方向に大きい場合に、異常エコー判定部 3 の処理をオフにする。

【 0 0 8 9 】

なお、鉛直方向の風速を得るのには、必ずしも天頂方向へビームを向けて観測しなくても良い。例えば、天頂角  $\theta$  で東方向と西方向を観測して得られるドップラ速度を  $V_e$  と  $V_w$  とすると、風速の鉛直成分  $w$  は下記式 ( 1 ) で算出することができる。

$$w = (V_e + V_w) / 2 \cos \theta \quad ( 1 )$$

式 ( 1 ) のような計算は信号検出部 5 で行うとしても良いし、あるいは図 2 0 の風速ベクトル算出装置で算出される風速ベクトルの鉛直成分を利用するようにしても良い。

【 0 0 9 0 】

本発明の実施の形態によれば、別の装置で観測された雨量データを入力しなくても、降雨の有無を判定し、その結果で異常エコー除去部の動作を制御するようにしているため、他の装置からのデータ入力が不要となり、簡易な構成で適切な異常エコー除去処理が可能となる。

【 0 0 9 1 】

実施の形態 7 .

以上に述べた実施の形態では、時系列領域の受信信号を周波数領域に変換した後のデータに対して、異常エコーの判定を行っていた。ただし、異常エコーの有無の判定は電力値で行っているため、周波数領域に変換する前の時系列データに対して行うことも可能である。図 1 9 は本発明の実施の形態のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図である。この図において、7 0 1 は時間領域電力算出部である。

【 0 0 9 2 】

次に動作を説明する。時間領域電力算出部 7 0 1 では、時系列データである受信データを設定した時間範囲で区切り、その時間範囲における全電力を算出する。異常エコー除去部 1 では、時間領域電力算出部 7 0 1 から出力された電力を予め設定したしきい値と比較し、全電力の方がしきい値よりも大きければ、その時間範囲の時系列データを受信信号から除去する。除去する場合には、データを 0 としても良いし、あるいは欠損データであるというマークをつけておいても良い。それ以外の処理、すなわちフーリエ変換部 2 以降の処理については、実施の形態 1 などの前述の実施の形態の動作と同じである。

【 0 0 9 3 】

なお、時間領域電力算出部 7 0 1 の全電力算出における時間範囲の設定は、フーリエ変換

10

20

30

40

50

部2の処理においてフーリエ変換を実行する際の時間窓と同じとしても良いし、あるいは全く別の時間範囲設定としても良い。同じ時間範囲設定とすれば、本実施の形態のように時間領域で全電力を算出しても、あるいは前述の実施の形態のように周波数領域で全電力を算出するようにしても、両者は同等となる。逆に時間範囲設定をフーリエ変換の時間窓と異なるように設定することも、本実施の形態では可能となるため、例えばフーリエ変換処理の時間長よりも短い時間で異常エコーが断続して生じるような場合にも、全電力を算出する時間範囲設定を短く設定することにより、異常エコーの存在する時間のデータだけを的確に除去することが可能であり、正常データの除去を最低限に抑えることが可能となる。

【0094】

なお、全電力の代わりに、区切った時間範囲内の平均電力を時間領域全電力算出部701で算出しても良い。何故なら、全電力を区切った時間範囲の時間点数で割ったものであり、異常エコー判定のしきい値を時間点数で割ったものを用いれば、除去処理の原理としては実質的な差異がないからである。

【0095】

【発明の効果】

本発明の請求項1によれば、受信信号の電力値として、周波数軸上で得られているパワースペクトルを積分した電力値を用い、インコヒーレント積分前の電力値をしきい値と比較することにより、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

【0096】

また、本発明の請求項2によれば、地形エコーが卓越する低周波領域を除いて全電力値を算出するようにしたため、強い地形エコーが混入している場合にも、渡り鳥による異常エコーの混入の有無の判定を正確に行うことが可能となる。

【0097】

また、本発明の請求項3によれば、全ドップラ周波数範囲でパワースペクトルを積分して得られる全電力値から、周波数0の点の電力値のみを除くことにより、地形エコーを除いた全電力値を算出するようにしたため、簡易な処理で上記請求項3と同様の効果を得ることが可能となる。

【0098】

また、本発明の請求項4によれば、受信信号の電力値として、周波数軸上で得られているパワースペクトルのピーク値を抽出したものをを用いることにより、上記請求項1と同様の効果を得ることができる。

【0099】

また、本発明の請求項5によれば、時系列データから算出した電力値をしきい値と比較することにより、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

【0100】

また、本発明の請求項6によれば、季節や時刻によって異常エコー判定のしきい値を調整することにより、渡り鳥の影響が小さい日時において、正常エコーが誤って除去されることがなくなり、インコヒーレント積分数が少なくならないため、正常エコーの検出確率を維持することができ、その結果としてデータ取得率を維持することが可能となる。

【0101】

また、本発明の請求項7によれば、季節や時刻によって異常エコー判定をオン/オフすることにより、渡り鳥の影響が小さい日時において、正常エコーが誤って除去されることがなくなり、インコヒーレント積分数が少なくならないため、正常エコーの検出確率を維持することができ、その結果として減らず、データ取得率を維持することが可能となる。

【0102】

10

20

30

40

50

また、本発明の請求項 8 によれば、渡り鳥の特性を考慮して、渡り鳥の飛来する季節の夜間に異常エコー処理をオンにし、それ以外の場合に異常エコー処理をオフとすることにより、上記請求項 7 と同様の効果を得ることが可能となる。

【 0 1 0 3 】

また、本発明の請求項 9 によれば、降雨強度に応じて異常エコー判定のしきい値を調整するようにしたため、降雨時に誤って正常エコーを除去することがなくなるという効果がある。

【 0 1 0 4 】

また、本発明の請求項 10 によれば、降雨の存在するときには渡り鳥が飛来しないと判断してレーダ信号処理を制御するため、降雨時に誤って正常エコーを除去することがなくなるという効果がある。

10

【 0 1 0 5 】

また、本発明の請求項 11 によれば、レーダ装置で観測された雨滴の落下速度に応じて異常エコー判定のしきい値を調整するようにしたため、他の装置からのデータを入力することなく、降雨時に誤って正常エコーを除去することのないレーダ信号処理が可能となる。

【 0 1 0 6 】

また、本発明の請求項 12 によれば、レーダ装置の観測データから降雨の有無を判定し、その結果で異常エコー除去部の動作を制御するようにしているため、他の装置からのデータを入力することなく、降雨時に誤って正常エコーを除去することのないレーダ信号処理が可能となる。

20

【 0 1 0 7 】

また、本発明の請求項 13 によれば、レーダ装置の観測データから降雨の有無を判定し、その結果で異常エコー除去部の動作を制御するようにしているため、他の装置からのデータを入力することなく、降雨時に誤って正常エコーを除去することのないレーダ信号処理が可能となる。

【 0 1 0 8 】

また、本発明の請求項 14 によれば、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

30

【 0 1 0 9 】

また、本発明の請求項 15 によれば、強い地形エコーが混入している場合にも、渡り鳥による異常エコーの混入の有無の判定を正確に行い、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

【 0 1 1 0 】

また、本発明の請求項 16 によれば、全ドップラ周波数範囲でパワースペクトルを積分して得られる全電力値から、周波数 0 の点の電力値のみを除き、地形エコーを除いた全電力値を算出することにより、強い地形エコーが混入している場合にも、簡易な処理で渡り鳥による異常エコーの混入の有無の判定を正確に行い、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

40

【 0 1 1 1 】

また、本発明の請求項 17 によれば、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

【 0 1 1 2 】

また、本発明の請求項 18 によれば、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となり、

50

かつ全距離で一括して異常エコー判定を行うようにしているため、距離毎に異常エコー判定を行うよりも演算時間を短縮することができる。

【0113】

また、本発明の請求項19によれば、異常エコーと大気エコーを識別し、異常エコーを除去するようにしたため、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となり、かつ全距離で一括して異常エコー判定を行うようにしているため、距離毎に異常エコー判定を行うよりも演算時間を短縮することができる。

【0114】

また、本発明の請求項20によれば、異常エコーの判定に用いるしきい値として、予め設定した固定値を用いることにより、断続的に生じる渡り鳥による異常エコーのみを除去し、大気エコーである正常エコーのみを用いて大気の物理量を求めるため、正確な測定が可能となる。

10

【0115】

また、本発明の請求項21によれば、大気エコーのエコー強度に応じたしきい値を用いて異常エコー判定を行うようにしているため、誤って大気エコーを除去する確率を低くしたまま、異常エコーを正確に除去することが可能となり、観測精度を高く保つことができる。

【0116】

また、本発明の請求項22によれば、大気エコーのエコー強度に応じたしきい値を用いて異常エコー判定を行うようにしているため、誤って大気エコーを除去する確率を低くしたまま、異常エコーを正確に除去することが可能となり、観測精度を高く保つことができる。

20

【0117】

また、本発明の請求項23によれば、異常エコーを含まないデータが異常エコー判定しきい値を超える確率がある一定値以下となるように、最低電力値に乗算する係数を設定することにより、正常エコーの検出確率を一定に保ったまま、異常エコーを除去により観測精度を高く保つことができる。

【0118】

また、本発明の請求項24によれば、異常エコーとして除去されたデータ数によらず、一定の積分時間でインコヒーレント積分処理を行うようにしたため、品質管理処理装置によるデータ品質管理処理などのレーダ信号処理より後段のデータ処理を行う上で、入力データの扱いが容易になる。

30

【0119】

また、本発明の請求項25によれば、異常エコーとして除去されたデータ数によらず、インコヒーレント積分値が一定となるようにインコヒーレント積分処理を行うようにしたため、一定以上の信号検出性能を常に確保することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図2】 本発明の実施の形態1のレーダ信号処理装置の異常エコー除去部の構成を示すブロック図。

40

【図3】 本発明の実施の形態1のレーダ信号処理装置の異常エコー除去部の別の構成を示すブロック図。

【図4】 本発明の実施の形態1のレーダ信号処理装置の異常エコー除去部の別の構成を示すブロック図。

【図5】 本発明の実施の形態1のレーダ信号処理方法の流れを示す図。

【図6】 風速観測における典型的な観測手順を示す図。

【図7】 本発明の実施の形態1の別のレーダ信号処理方法の流れを示す図。

【図8】 本発明の実施の形態2のレーダ信号処理方法の流れを示す図。

【図9】 本発明の実施の形態2の別のレーダ信号処理方法の流れを示す図。

50

【図10】 本発明の実施の形態3のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図11】 本発明の実施の形態3におけるレーダ信号処理方法におけるしきい値設定アルゴリズムの流れを示す図。

【図12】 本発明の実施の形態3におけるレーダ信号処理方法における別のしきい値設定アルゴリズムの流れを示す図。

【図13】 本発明の実施の形態4のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図14】 本発明の実施の形態4の別のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図15】 本発明の実施の形態5のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図16】 本発明の実施の形態5の別のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図17】 本発明の実施の形態6のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

10

【図18】 本発明の実施の形態6の別のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図19】 本発明の実施の形態7のレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図。

【図20】 一般的なウィンドプロファイラの構成を示すブロック図

【図21】 従来のウィンドプロファイラのレーダ信号処理装置の構成を示すブロック図

。

【図22】 ウィンドプロファイラにおける風速ベクトル算出の原理を示す図。

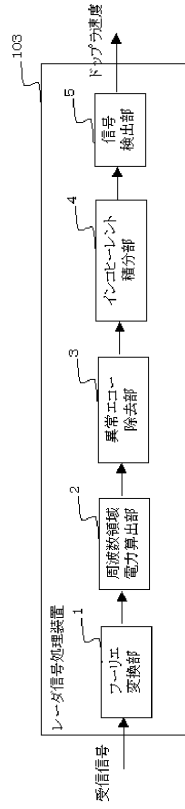
【図23】 従来のウィンドプロファイラの品質管理処理装置の構成例を示すブロック図

。

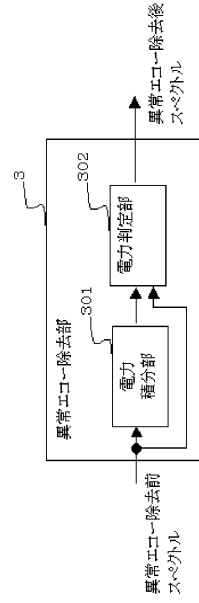
#### 【符号の説明】

1 フーリエ変換部、 2 周波数領域電力算出部、 3 異常エコー除去部、 4 イ 20  
ンコヒーレント積分部、 5 信号検出部、 7 しきい値設定部、 8 時計、 9 処  
理切替スイッチ、 101 空中線、 102 送受信装置、 103 レーダ信号処理  
装置、 104 品質管理処理装置、 105 風速ベクトル算出装置、 106 表示  
記録装置、 301 電力積分部、 302 電力判定部、 303 周波数0成分減算  
部、 304 ピーク電力抽出部、 401 近似曲面定義範囲部、 402 近似二次  
曲面算出部、 403 近似精度判定部、 404 データ除去部、 701 時間領域電  
力算出部。

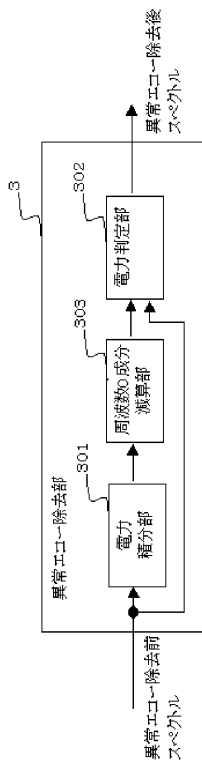
【 図 1 】



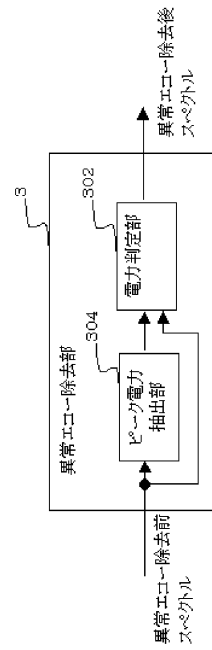
【 図 2 】



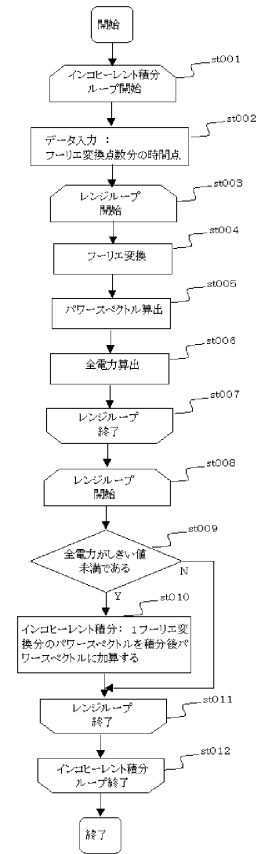
【 図 3 】



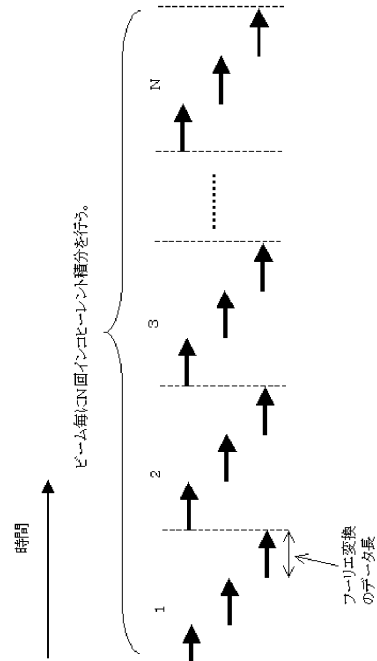
【 図 4 】



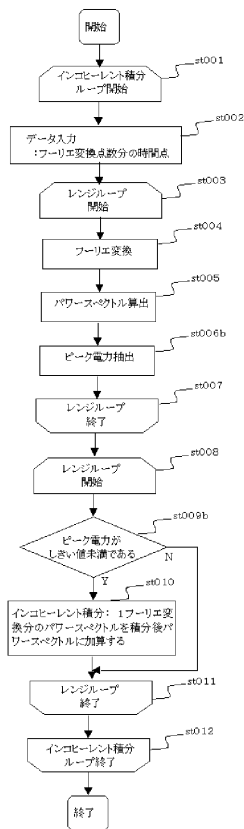
【 図 5 】



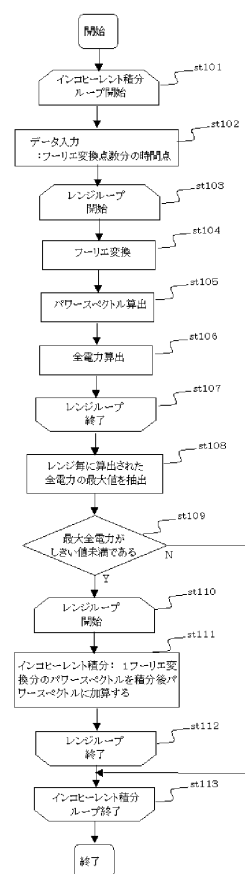
【 図 6 】



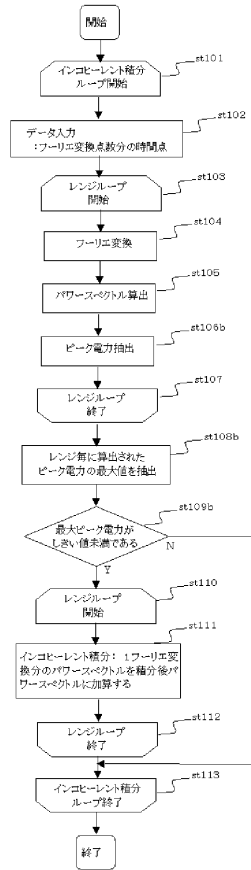
【 図 7 】



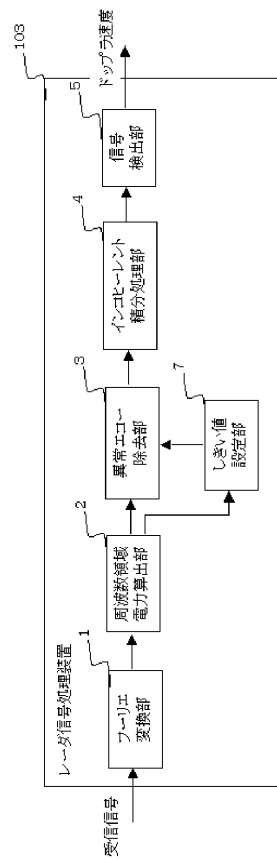
【 図 8 】



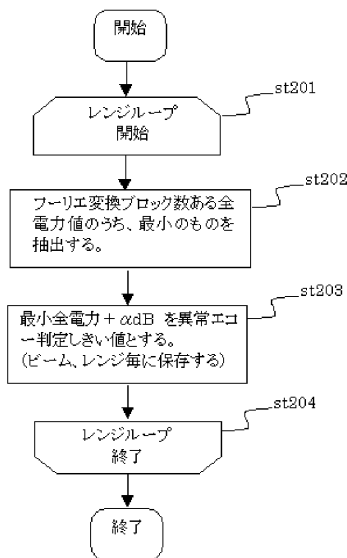
【 図 9 】



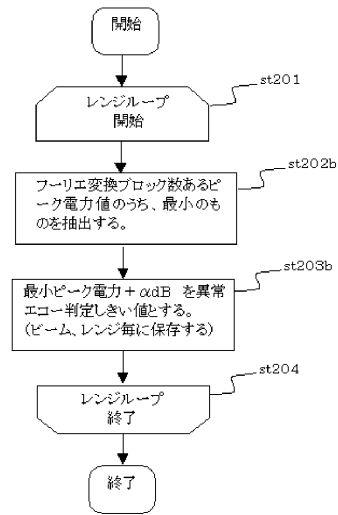
【 図 10 】



【 図 11 】



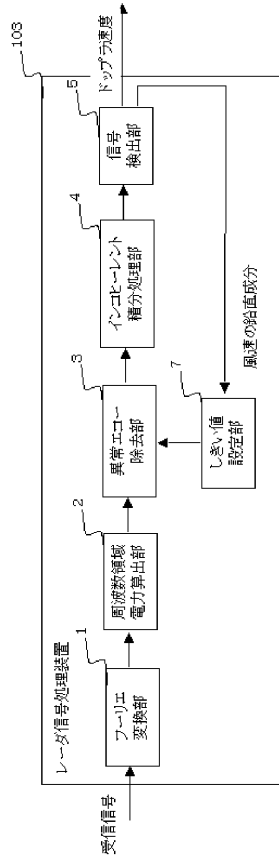
【 図 12 】



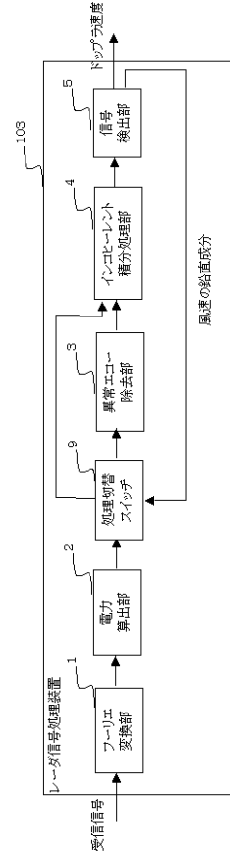




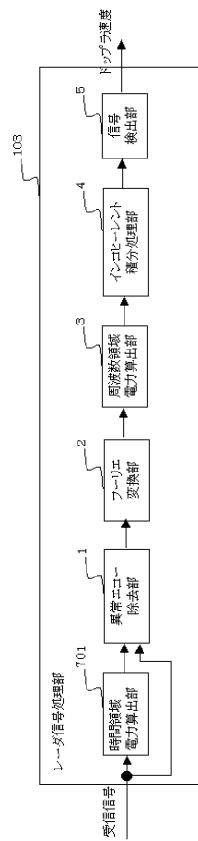
【図 17】



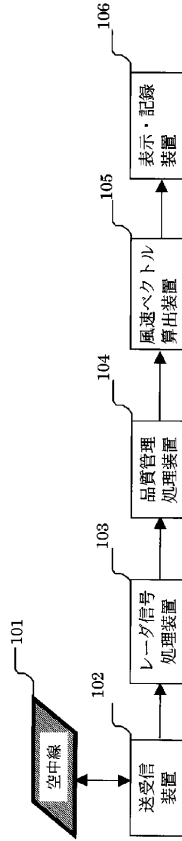
【図 18】



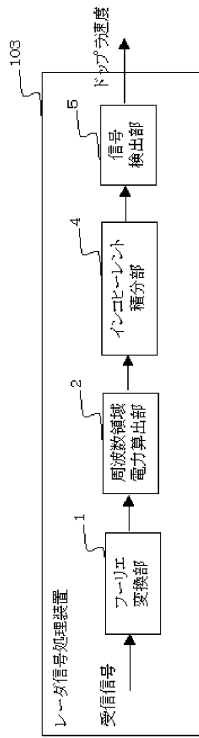
【図 19】



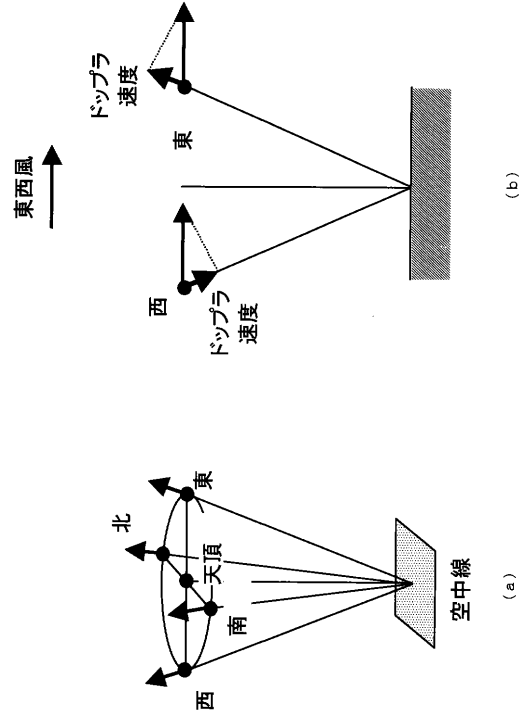
【図 20】



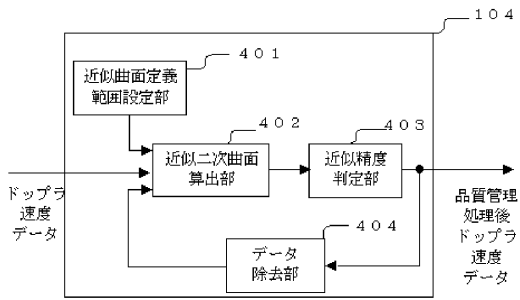
【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



【 図 2 3 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 若山 俊夫

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

審査官 宮川 哲伸

(56)参考文献 特開2002-168948(JP,A)

特開平5-223918(JP,A)

特開平5-223919(JP,A)

特開2002-48866(JP,A)

特開2001-159636(JP,A)

特開2001-201560(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 ~ 7/42

G01S 13/00 ~ 13/95