

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6449595号
(P6449595)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 S 13/534	(2006.01)	GO 1 S 13/534	
GO 1 S 13/95	(2006.01)	GO 1 S 13/95	
GO 1 S 7/292	(2006.01)	GO 1 S 7/292	2 0 0

請求項の数 4 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-174697 (P2014-174697)</p> <p>(22) 出願日 平成26年8月29日 (2014. 8. 29)</p> <p>(65) 公開番号 特開2016-50787 (P2016-50787A)</p> <p>(43) 公開日 平成28年4月11日 (2016. 4. 11)</p> <p>審査請求日 平成29年7月21日 (2017. 7. 21)</p>	<p>(73) 特許権者 000166247 古野電気株式会社 兵庫県西宮市芦原町9番52号</p> <p>(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</p> <p>審査官 大▲瀬▼ 裕久</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

予め定められた観測地点において、レーダアンテナから所定の方位方向に所定時間間隔で送信されたレーダ送信信号が静止物体で反射された反射波成分を示す静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧装置であって、

前記反射波成分を含む受信信号を入力し、前記受信信号に含まれる干渉波成分を除去する干渉除去手段と、

前記干渉除去手段で干渉波成分が除去された信号を受信信号として入力し、前記受信信号に含まれる前記静止クラッタ成分を抑圧する静止クラッタ成分抑圧手段と、

晴天時において、前記干渉除去手段で干渉波成分が除去された晴天時干渉除去データに対して前記静止クラッタ成分抑圧手段が前記静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後の晴天時のクラッタ抑圧データを晴天時クラッタ抑圧データとして記憶するリファレンスデータ記憶手段と、

雨天時において、前記干渉除去手段で干渉波成分が除去された雨天時干渉除去データに対して前記静止クラッタ成分抑圧手段が前記静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後の雨天時のクラッタ抑圧データから、前記リファレンスデータ記憶手段が記憶した前記晴天時クラッタ抑圧データを除去して降雨成分のデータを抽出する降雨成分抽出手段と、

を備えたことを特徴とするクラッタ抑圧装置。

【請求項2】

前記静止クラッタ成分抑圧手段は、

10

20

前記レーダ送信信号が物標で反射された複数のエコーデータを順次記憶するエコーデータ記憶手段と、

前記エコーデータ記憶手段が記憶した前記各エコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに基づいて速度ゼロを含む予め定められた範囲の速度を有する物標のエコー成分を抑圧するフィルタ手段と、

前記フィルタ手段によって抑圧されたエコー成分を含む抑圧エコーデータを実時間で順次出力する抑圧エコーデータ出力手段と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載のクラッタ抑圧装置。

【請求項 3】

前記静止クラッタ成分抑圧手段は、

前記抑圧エコーデータ出力手段が順次出力する前記各抑圧エコーデータを順次記憶する抑圧エコーデータ記憶手段と、

前記エコーデータ記憶手段が記憶した前記各エコーデータに含まれる前記距離での方位方向のデータ列の各データに重み付けし、重み付けした各データの合計値を示す第 1 の合計値を求める第 1 の重み付け演算手段と、

前記抑圧エコーデータ記憶手段が記憶した前記各抑圧エコーデータに含まれる前記距離での方位方向のデータ列の各データに重み付けし、重み付けした各データの合計値を示す第 2 の合計値を求める第 2 の重み付け演算手段と、

前記第 1 の合計値と前記第 2 の合計値との差分を求め、この差分を前記抑圧エコーデータとして前記抑圧エコーデータ出力手段に出力させる差分演算手段と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 2 に記載のクラッタ抑圧装置。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載のクラッタ抑圧装置と、

前記レーダ送信信号を所定の方位方向に所定時間間隔で送信するレーダアンテナと、

前記レーダ送信信号を前記レーダアンテナに出力する送信手段と、

前記レーダ送信信号が物標で反射された反射波成分を含む信号を受信する受信手段と、

を備えたことを特徴とするレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば気象レーダの受信信号に含まれる静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に気象レーダは、360度の周囲に電波を送信し、雲や雨で反射した反射波（エコー）信号を受信して降雨状況を観測している。反射波信号には、観測対象の雲や雨のエコー成分だけでなく、観測対象以外の静止物体から反射された不要な反射波成分である静止クラッタ成分が含まれている。この静止クラッタ成分には、主に、陸地の反射波信号成分であるグラウンドクラッタ成分が含まれている。

【0003】

静止クラッタ成分は、気象観測における雨量算出の精度を劣化させるので、従来の気象レーダには静止クラッタ成分を抑圧するために M T I (Moving Target Indicator) 処理を行う信号処理装置が備えられている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0004】

特許文献 1 記載のものは、予め設定された M T I パラメータに基づいて目標反射波の受信信号からグラウンドクラッタ成分を演算し除去する M T I 処理器と、グラウンドクラッタ成分が除去された M T I 処理後の信号を予め設定された速度幅パラメータに基づく閾値と比較して、M T I 処理後の信号に含まれる気象エコー成分を抽出する速度幅フィルタと、速度幅フィルタの出力から気象情報を得る気象情報演算部と、を備えている。

【0005】

10

20

30

40

50

この構成により、特許文献1記載のものは、レーダ設置地点で晴天時に観測した観測データ及び模擬気象エコーを用いてMTIパラメータ及び速度幅パラメータの最適値を自動探索し、自動探索されたMTIパラメータ及び速度幅パラメータを事前にMTI処理器及び速度幅フィルタに設定することで、オフラインでのシミュレーションによるパラメータ調整を自動化することができるようになっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-169829号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1記載のものは、晴天時に観測した観測データを用いる構成になっているので、気象観測における雨量算出の精度の向上が困難となるという課題があった。

【0008】

その理由は、陸地や建物等の静止物体のエコー成分（特に陸地のエコー成分）のレベルは、雨天時に比べて晴天時では非常に大きくなってその変動幅も増大するため、晴天時に観測した観測データにばらつきが生じるためである。

【0009】

20

すなわち、晴天時に観測した観測データを用いると、静止物体のエコー成分に対する抑圧不足による静止物体のエコー成分の消え残りや、静止物体のエコー成分に対する抑圧過多による降雨成分の消しすぎが生じることとなる。その結果、特許文献1記載のものでは、気象観測における雨量算出の精度の向上が困難となるという課題があった。

【0010】

本発明は、従来の課題を解決するためになされたものであり、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができるクラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

30

本発明のクラッタ抑圧装置は、予め定められた観測地点において、レーダアンテナから所定の方位方向に所定時間間隔で送信されたレーダ送信信号が静止物体で反射された反射波成分を示す静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧装置であって、前記反射波成分を含む受信信号を入力し前記受信信号に含まれる前記静止クラッタ成分を抑圧する静止クラッタ成分抑圧手段と、晴天時において前記静止クラッタ成分抑圧手段が前記静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータをリファレンスデータとして記憶するリファレンスデータ記憶手段と、雨天時において前記静止クラッタ成分抑圧手段が前記静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータから前記リファレンスデータ記憶手段が記憶した前記リファレンスデータを除去して降雨成分のデータを抽出する降雨成分抽出手段と、を備えた構成を有している。

40

【0012】

この構成により、本発明のクラッタ抑圧装置は、降雨成分抽出手段が、雨天時において静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータから、晴天時において静止クラッタ成分を抑圧して生成したリファレンスデータを除去するので、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができる。

【0013】

本発明のクラッタ抑圧装置は、前記静止クラッタ成分抑圧手段が、前記レーダ送信信号が物標で反射された複数のエコーデータを順次記憶するエコーデータ記憶手段と、前記エコーデータ記憶手段が記憶した前記各エコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに基づいて速度ゼロを含む予め定められた範囲の速度を有す

50

る物標のエコー成分を抑圧するフィルタ手段と、前記フィルタ手段によって抑圧されたエコー成分を含む抑圧エコーデータを実時間で順次出力する抑圧エコーデータ出力手段と、を備えた構成を有するのが好ましい。

【0014】

本発明のクラッタ抑圧装置は、前記静止クラッタ成分抑圧手段が、前記抑圧エコーデータ出力手段が順次出力する前記各抑圧エコーデータを順次記憶する抑圧エコーデータ記憶手段と、前記エコーデータ記憶手段が記憶した前記各エコーデータに含まれる前記距離での方位方向のデータ列の各データに重み付けし、重み付けした各データの合計値を示す第1の合計値を求める第1の重み付け演算手段と、前記抑圧エコーデータ記憶手段が記憶した前記各抑圧エコーデータに含まれる前記距離での方位方向のデータ列の各データに重み付けし、重み付けした各データの合計値を示す第2の合計値を求める第2の重み付け演算手段と、前記第1の合計値と前記第2の合計値との差分を求め、この差分を前記抑圧エコーデータとして前記抑圧エコーデータ出力手段に出力させる差分演算手段と、を備えた構成を有するのが好ましい。

10

【0015】

本発明のクラッタ抑圧装置は、前記静止クラッタ成分抑圧手段が、前記受信信号として前記反射波成分に含まれる干渉波成分を除去した信号を入力するものであるのが好ましい。

【0016】

本発明のレーダ装置は、クラッタ抑圧装置と、前記レーダ送信信号を所定の方位方向に所定時間間隔で送信するレーダアンテナと、前記レーダ送信信号を前記レーダアンテナに出力する送信手段と、前記レーダ送信信号が物標で反射された反射波成分を含む信号を受信する受信手段と、を備えた構成を有している。

20

【0017】

この構成により、本発明のレーダ装置は、クラッタ抑圧装置を備えるので、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができる。

【発明の効果】

【0018】

本発明は、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができるという効果を有するクラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置を提供することができるものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明に係るレーダ装置の一実施形態におけるブロック構成図である。

【図2】本発明に係るレーダ装置の一実施形態における動作の説明図である。

【図3】従来のMTI処理装置の概念的な構成とそのフィルタ特性を示す図である。

【図4】本発明に係るレーダ装置が有するクラッタ抑圧部の概念的な構成とそのフィルタ特性を示す図である。

【図5】本発明に係るレーダ装置が有するクラッタ抑圧部の一実施形態におけるブロック構成図である。

【図6】本発明に係るレーダ装置が有するクラッタ抑圧部の一実施形態における動作を説明するための説明図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。なお、本発明に係るクラッタ抑圧装置を気象レーダに適用した例を挙げて説明する。

【0021】

まず、本発明に係る気象レーダの一実施形態における構成について説明する。

【0022】

図1に示すように、本実施形態における気象レーダ10は、送信部11、レーダアンテナ12、切替部13、受信部14、ADC（アナログデジタルコンバータ）15、IQ検

50

波器 16、干渉除去装置 17、クラッタ抑圧装置 20、降水強度算出部 18、表示部 19 を備えている。この気象レーダ 10 は、所定の観測地点に固定されて雨や雪などを観測するものであり、本発明に係るレーダ装置を構成する。

【0023】

気象レーダ 10 は、図示しない CPU、ROM、RAM、各種インタフェースが接続される入出力回路等を備えたマイクロコンピュータを含む。このマイクロコンピュータは、ROM に予め格納された制御プログラムを CPU に実行させることにより、気象レーダ 10 の機能を実現するようになっている。

【0024】

送信部 11 は、レーダ送信信号を生成する信号生成器、生成したレーダ送信信号を所定の周波数帯域のレーダ送信信号に周波数変換する周波数変換器等を備え、周波数変換したレーダ送信信号を切替部 13 経由でレーダアンテナ 12 に出力するようになっている。この送信部 11 は、本発明に係る送信手段を構成する。

10

【0025】

レーダアンテナ 12 は、水平面内で 360 度の方位に一定速度（例えば 2.5 秒に 1 回転）で回転しながら、送信部 11 からのレーダ送信信号を所定回転角度ごと（所定スイープごと）に所定時間間隔（例えば 1 ミリ秒間隔）で発射し、物標からの反射波を物標信号成分として含むレーダ受信信号を受信するようになっている。レーダアンテナ 12 から物標までの距離は、その物標信号成分を含むレーダ受信信号の受信時刻と、このレーダ受信信号に対応するレーダ送信信号の送信時刻との時間差から求められる。また、物標の方位は、レーダ受信信号に対応するレーダ送信信号を送信するときのレーダアンテナ 12 の方位から求められる。

20

【0026】

切替部 13 は、送信部 11 が生成したレーダ送信信号をレーダアンテナ 12 に出力する動作と、レーダアンテナ 12 が受信したレーダ受信信号を受信部 14 に出力する動作とを切り替えるようになっている。

【0027】

受信部 14 は、切替部 13 を介して入力したレーダ受信信号を周波数変換する周波数変換機を備え、周波数変換したレーダ受信信号を ADC 15 に出力するようになっている。この受信部 14 は、本発明に係る受信手段を構成する。

30

【0028】

ここで、受信部 14 は、1 回のレーダ送信信号の送信による受信信号ごとに、1 スイープ分のエコーデータとして出力する。例えば、レーダアンテナ 12 が、6 秒間に 1 回転し、レーダ送信信号を 1 秒間に 1000 回発射する場合は、受信部 14 は、レーダアンテナ 12 が 1 回転する間に 6000 スイープ分のエコーデータを出力することとなる。各エコーデータは、1 回のレーダ送信信号の送信によって得られる距離方向（時間軸上）に並ぶ複数のエコーデータを含む。物標が移動している場合はレーダアンテナ 12 からその物標までの距離が変化することになり、その物標からのエコーデータはスイープごとに変化するので、その物標が移動速度を有していることがわかる。

【0029】

40

ADC 15 は、受信部 14 から出力されるアナログ値の中間周波数信号をデジタル信号に変換して IQ 検波器 16 に出力するようになっている。

【0030】

IQ 検波器 16 は、ADC 15 から出力されるデジタル値のレーダ受信信号から、I 相成分及びこれと $\pi/2$ だけ位相の異なる Q 相成分を生成して干渉除去装置 17 に出力するようになっている。

【0031】

干渉除去装置 17 は、レーダ受信信号に含まれる干渉波成分を除去するようになっている。気象レーダ 10 の周囲に他のレーダ装置が存在する場合、気象レーダ 10 が受信する反射波に他のレーダ装置からの電波が重畳し、反射波に干渉波成分が現れるので、干渉波

50

成分を除去するために干渉除去装置 17 が設けてある。この干渉除去装置 17 は公知の構成を有するものであり、その構成としては、例えば、特開 2011-252822 号公報に記載のものがある。

【0032】

クラッタ抑圧装置 20 は、クラッタ抑圧部 21、モード切替部 22、リファレンスデータ記憶部 23、リファレンスデータ除去部 24 を備え、I 相成分及び Q 相成分のそれぞれに対し、レーダ受信信号からクラッタ成分を抑圧して降水強度算出部 18 に出力するようになっている。

【0033】

クラッタ抑圧部 21 は、急峻なフィルタ特性を有し、静止クラッタ成分を抑圧するようになっている。このクラッタ抑圧部 21 の詳細な構成については後述する。なお、クラッタ抑圧部 21 は、本発明に係る静止クラッタ成分抑圧手段を構成する。

【0034】

モード切替部 22 は、リファレンスデータを生成するデータ生成モードと、気象を観測する観測モードとを切り替えるようになっている。

【0035】

リファレンスデータ記憶部 23 は、晴天時において、クラッタ抑圧部 21 が静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータをリファレンスデータとして記憶するようになっている。このリファレンスデータ記憶部 23 は、本発明に係るリファレンスデータ記憶手段を構成する。

【0036】

リファレンスデータ除去部 24 は、雨天時において、クラッタ抑圧部 21 が静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータ（降雨成分を含む）から、リファレンスデータ記憶部 23 が記憶したリファレンスデータ（降雨成分を含まない）を除去して降雨成分のデータを抽出するようになっている。このリファレンスデータ除去部 24 は、本発明に係る降雨成分抽出手段を構成する。なお、降雨には降雪等も含む。

【0037】

降水強度算出部 18 は、クラッタ抑圧装置 20 から降雨成分のデータを入力し、降水強度をレーダ方程式に基づいて算出するようになっている。

【0038】

表示部 19 は、例えば液晶ディスプレイで構成され、降水強度算出部 18 から出力される降水強度のデータを例えば降水強度に応じた色で識別表示するようになっている。

【0039】

次に、本実施形態における気象レーダ 10 の動作について、図 1 及び図 2 を用いて説明する。

【0040】

まず、晴天時におけるデータ生成モードについて説明する。このデータ生成モードは、モード切替部 22 によって設定される。

【0041】

送信部 11 から I Q 検波器 16 までの動作により、晴天時受信データ 101 が得られる。なお、送信部 11 から I Q 検波器 16 までの詳細な動作は公知であるので、その説明を省略する。

【0042】

干渉除去装置 17 により、晴天時受信データ 101 に対して干渉波成分を除去する干渉除去処理（ステップ S11）が行われ、晴天時受信データ 101 から干渉波成分が除去された晴天時干渉除去データ 102 が得られる。

【0043】

クラッタ抑圧部 21 により、晴天時干渉除去データ 102 に対して静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧処理（ステップ S12）が行われ、晴天時クラッタ抑圧データ 103 が得られる。この晴天時クラッタ抑圧データ 103 は、クラッタ抑圧処理後の消え残り

10

20

30

40

50

の静止クラッタ成分を含んでおり、リファレンスデータとしてリファレンスデータ記憶部 23 によって記憶される。

【0044】

次に、雨天時における観測モードについて説明する。この観測モードは、モード切替部 22 によって設定される。

【0045】

送信部 11 から I Q 検波器 16 までの動作により、雨天時受信データ 111 が得られる。なお、送信部 11 から I Q 検波器 16 までの詳細な動作は公知であるので、その説明を省略する。

【0046】

干渉除去装置 17 により、雨天時受信データ 111 に対して干渉波成分を除去する干渉除去処理（ステップ S21）が行われ、雨天時受信データ 111 から干渉波成分が除去された雨天時干渉除去データ 112 が得られる。

【0047】

クラッタ抑圧部 21 により、雨天時干渉除去データ 112 に対して静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧処理（ステップ S22）が行われ、雨天時クラッタ抑圧データ 113 が得られる。この雨天時クラッタ抑圧データ 113 は、クラッタ抑圧処理後の消え残りの静止クラッタ成分と、降雨成分とを含む。

【0048】

リファレンスデータ除去部 24 により、雨天時クラッタ抑圧データ 113 から晴天時クラッタ抑圧データ 103 を差し引くことにより降雨成分のデータを抽出する降雨成分抽出処理（ステップ S23）が行われ、静止クラッタ成分が十分に抑圧（除去）された降雨抽出データ 114 が得られる。この降雨抽出データ 114 は、降水強度算出部 18 に入力されて降水強度が算出され、降水強度を示すデータが表示部 19 に表示される。

【0049】

次に、クラッタ抑圧部 21 の概要について、従来の M T I 処理を行う M T I 処理装置と対比し、図 3 及び図 4 に基づき説明する。

【0050】

図 3 (a) は、従来の M T I 処理装置 1 の概念的な構成を示している。従来の M T I 処理装置 1 は、1 スイープごとに入力される入力信号を 1 スイープ時間だけ遅延させる時間遅延部 2 と、現在の入力信号と 1 スイープ前の入力信号との差分を算出する減算器 3 と、で構成されたものと考えることができる。

【0051】

本発明の発明者は、従来の M T I 処理装置 1 において、静止クラッタ成分を抑圧しようとする物標のエコー成分も抑圧されてしまう原因を究明するため、スイープ方向（方位方向）のデータが示す物標の移動速度に対するフィルタ特性に着眼し、図 3 (b) に示すような、従来の M T I 処理装置 1 のフィルタ特性を得た。図 3 (b) は、横軸に物標の速度、縦軸に規格化した出力を示している。なお、速度におけるプラス、マイナスの符号は、気象レーダ 10 に対し物標が近づいている（例えばプラス符号）か、遠ざかっている（例えばマイナス符号）かを示している。

【0052】

図 3 (b) に示すように、従来の M T I 処理装置 1 のフィルタ特性は、5 ノットや 10 ノットの速度の場合でも出力レベルが比較的大きく減衰している。これは、従来の M T I 処理装置 1 では、速度が 0 ノット近傍にある静止クラッタ成分を抑圧しようとする、5 ノットや 10 ノット等の比較的低速度で移動する物標のエコー成分も抑圧されてしまうことを示している。また、これとは逆に、5 ノットや 10 ノット等の比較的低速度で移動する物標のエコー成分を抑圧しないようにしようすると、速度が 0 ノット近傍にある静止クラッタ成分まで抑圧されなくなってしまうことを示している。

【0053】

そこで、本発明者は、フィルタ特性の改善について検討を重ね、複数のスイープ分のエ

10

20

30

40

50

コーデータを順次入力し、各エコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに実時間で重み付けを行うクラッタ抑圧部 2 1 を発明し、フィルタ特性を急峻にして静止クラッタ成分を抑圧する構成を得るに至った。

【 0 0 5 4 】

図 4 (a) にクラッタ抑圧部 2 1 の概念的な構成を示す。このクラッタ抑圧部 2 1 は、[数 1] に示すフィルタ特性を有する。このフィルタ特性より、クラッタ抑圧部 2 1 は、所定の速度以上で移動している物標のエコー成分を通過させる一種のハイパスフィルタとして機能するものである。

【 0 0 5 5 】

【 数 1 】

$$Y_i = \frac{1}{a_0} \left(\sum_{j=0}^{N_b-1} b_j X_{i-j} - \sum_{k=1}^{N_a-1} a_k Y_{i-k} \right)$$

【 0 0 5 6 】

ここで、X は入力データを示し、Y は入力データ X をフィルタ処理したものを示す。i はスイープデータの番号を示す。b_j は入力データ X_{i-j} に重み付けする順係数、N_b は順係数の個数、a_k は出力データ Y_{i-k} に重み付けする逆係数、N_a は逆係数の個数を示す。j 及び k は重み付けする対象を指定するための整数である。

【 0 0 5 7 】

[数 1] において、フィルタ特性は、順係数 b_j 及び逆係数 a_k によって定まる。順係数 b_j 及び逆係数 a_k を求めるのは非常に複雑な演算を要するので、例えば IIR (Infinite Impulse Response : 無限インパルス応答) 型フィルタの設計ツールを使って所望のフィルタ特性を求めることが好ましい。

【 0 0 5 8 】

ただし、本発明は一般的な IIR フィルタを単に適用したものではない。従来の IIR フィルタを単に適用すると時間軸に沿って、すなわち 1 スイープ分のエコーデータに含まれる距離方向のデータに沿って重み付けを行うことになる。これに対し、本発明では複数のスイープ分のエコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに実時間で重み付けを行うことによってフィルタ特性を急峻にし、静止クラッタ成分を抑圧するという点に工夫がなされている。

【 0 0 5 9 】

具体例として、クラッタ抑圧部 2 1 のフィルタ特性を図 4 (b) に示す。図 4 (b) に示したフィルタ特性は、速度 0 ノットを含む ± 3 ノットの速度範囲の速度を有する物標のエコー成分を抑圧するよう設定されたものである。この図に示すように、クラッタ抑圧部 2 1 は、速度が 0 ノット近傍の物標のみを抑圧することができ、5 ノットや 10 ノットといった速度が比較的遅い物標のエコー成分を抑圧することなく静止クラッタ成分のみを抑圧することができる。その結果、気象レーダ 1 0 は、気象観測における雨量算出の精度の向上を図ることができる。

【 0 0 6 0 】

なお、例えば、処理時間や所望のフィルタ特性を考慮して順係数 b_j 及び逆係数 a_k の個数を任意に決めることができる。この場合、順係数 b_j 及び逆係数 a_k の個数に応じてデータの入力側及び出力側のメモリの個数を決めることとなる。また、クラッタ抑圧部 2 1 のフィルタ特性を、IIR 型フィルタ以外のデジタルフィルタ、例えば FIR (Finite Impulse Response : 有限インパルス応答) 型フィルタのフィルタ特性に基づいて設定してもよい。

【 0 0 6 1 】

次に、クラッタ抑圧部 2 1 の詳細な構成について図 5 を用いて説明する。

【 0 0 6 2 】

図 5 に示すように、クラッタ抑圧部 2 1 は、実時間で動作する I 相成分処理部 2 1 0 及

10

20

30

40

50

びQ相成分処理部220を備えている。両者は同様の構成を有し、入出力の信号が異なるのみであるので、以下の説明では、I相成分処理部210について説明し、Q相成分処理部220については説明を省略する。なお、I相成分処理部210及びQ相成分処理部220は、本発明に係るフィルタ手段を構成する。

【0063】

I相成分処理部210は、データの入力側に、入力側バッファメモリ211、順係数メモリ212、重み付け演算部213を備えている。また、I相成分処理部210は、データの出力側に、出力側バッファメモリ214、逆係数メモリ215、重み付け演算部216を備えている。さらに、I相成分処理部210は、重み付け演算部213及び216に接続された差分演算部217を備えている。

10

【0064】

入力側バッファメモリ211は、複数のスイープ分のエコーデータのI相成分を順次入力し、入力した各エコーデータをスイープ方向（方位方向）及び距離と対応付けてそれぞれ実時間で一時的に記憶するようになっている。本実施形態では、入力側バッファメモリ211は、6つのスイープ分のエコーデータをそれぞれ実時間で記憶できるものとする。なお、入力側バッファメモリ211は、本発明に係るエコーデータ記憶手段を構成する。

【0065】

順係数メモリ212は、予め定められた順係数を記憶するものである。本実施形態では、順係数メモリ212は、6個の順係数を記憶するものとする。

【0066】

重み付け演算部213は、入力側バッファメモリ211が一時記憶した各エコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データと順係数メモリ212が記憶した各順係数との積を演算することにより各エコーデータに重み付けし、その結果を差分演算部217に出力するようになっている。この重み付け演算部213は、本発明に係る第1の重み付け演算手段を構成する。

20

【0067】

出力側バッファメモリ214は、差分演算部217が演算して求めた抑圧エコーデータ（後述）を順次入力し、入力した抑圧エコーデータをスイープ方向（方位方向）及び距離と対応付けてそれぞれ実時間で一時的に記憶するようになっている。本実施形態では、出力側バッファメモリ214は、6つの抑圧エコーデータをそれぞれ実時間で記憶できるものとする。なお、出力側バッファメモリ214は、本発明に係る抑圧エコーデータ出力手段及び抑圧エコーデータ記憶手段を構成する。

30

【0068】

逆係数メモリ215は、予め定められた逆係数を記憶するものである。本実施形態では、逆係数メモリ215は、6個の逆係数を記憶するものとする。

【0069】

重み付け演算部216は、出力側バッファメモリ214が一時記憶した各スイープのエコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データと逆係数メモリ215が記憶した各逆係数との積を演算することにより各エコーデータに重み付けし、その結果を差分演算部217に出力するようになっている。この重み付け演算部216は、本発明に係る第2の重み付け演算手段を構成する。

40

【0070】

差分演算部217は、重み付け演算部213及び216が重み付けした各エコーデータの差分を示すエコーデータ（「抑圧エコーデータ」という）を求め、出力側バッファメモリ214に出力するようになっている。この差分演算部217は、本発明に係る差分演算手段を構成する。

【0071】

次に、本実施形態におけるクラッタ抑圧部21の動作について、図6を用いて具体的に説明する。

【0072】

50

図6は、前述の[数1]において、 $N_a = N_b = 6$ とした場合に、フィルタ処理した出力データ Y_5 を求める過程を説明する説明図である。この図では、説明を簡単にするため、距離方向(時間軸上)に並ぶ複数のエコーデータの個数を5個とし、それぞれの距離を $L_1 \sim L_5$ としている。出力データ Y_5 は、[数1]において $a_0 = 1$ としたとき、[数2]によって求まる。

【0073】

【数2】

$$Y_5 = \sum_{j=0}^5 b_j X_{5-j} - \sum_{k=1}^5 a_k Y_{5-k}$$

10

【0074】

図6の左上に示すように、入力側バッファメモリ211は、各エコーデータを実時間で順次入力し、入力した各エコーデータをスイープ方向(方位方向)及び距離と対応付けて実時間で一時記憶する。ここで、 i 番目($i = 0, 1, 2, \dots$)のスイープのエコーデータを $SWin(i)$ で表すと、図6の左上図は、 $i = 5$ の状態であって、 $SWin(0) \sim SWin(4)$ がそれぞれ実時間で順次バッファリングされた後、 $SWin(5)$ が入力側バッファメモリ211に入力された状態を示している。

【0075】

一方、順係数メモリ212には、図示のように、6個の順係数 $b_0 \sim b_5$ が予め記憶されている。

20

【0076】

重み付け演算部213は、 $SWin(5)$ が入力側バッファメモリ211に入力されると、 $SWin(0) \sim SWin(5)$ に含まれる予め定められた距離($L_1 \sim L_5$)での方位方向のデータ列の各データと順係数 $b_0 \sim b_5$ との積を求め、求めた各積を足し合わせて入力側の合計値 $SUMin$ (第1の合計値)を求める。

【0077】

具体的には、例えば距離 L_2 においては、重み付け演算部213は、 $SWin(0)$ の距離 L_2 におけるデータ X_0 と順係数 b_5 との積 d_5 、 $SWin(1)$ の距離 L_2 におけるデータ X_1 と順係数 b_5 との積 d_4 、 \dots 、 $SWin(5)$ の距離 L_2 におけるデータ X_5 と順係数 b_0 との積 d_0 を求める。そして、重み付け演算部213は、距離 L_2 における積 $d_0 \sim d_5$ の合計値 $SUMin$ を求め、求めた合計値 $SUMin$ を差分演算部217に出力する。

30

【0078】

差分演算部217は、重み付け演算部213が求めた合計値 $SUMin$ と、後述する出力側の合計値 $SUMout$ (第2の合計値)との差分を求め、求めた差分を $SWout(i)$ として出力側バッファメモリ214に出力して出力側バッファメモリ214のデータを逐次更新する。出力側バッファメモリ214は、 $SWout(i)$ を順次出力することにより出力データをスイープごとに逐次更新する。その結果、クラッタ抑圧部21は、静止クラッタ成分のみを抑圧した抑圧エコーデータを実時間で出力することとなる。

40

【0079】

次に、図6の右上に示すように、出力側バッファメモリ214は、差分演算部217から i 番目の抑圧エコーデータである $SWout(i)$ を実時間で順次入力し、入力した各抑圧エコーデータをスイープ方向(方位方向)及び距離と対応付けて実時間で一時記憶する。図6の右上図は、 $SWout(0) \sim SWout(4)$ が順次バッファリングされた後、 $SWout(5)$ が出力側バッファメモリ214に入力された状態を示している。

【0080】

一方、逆係数メモリ215には、図示のように、6個の逆係数 $a_0 \sim a_5$ が予め記憶されている。

【0081】

50

重み付け演算部 216 は、 $SWout(5)$ が出力側バッファメモリ 214 に入力されると、 $SWout(0) \sim SWout(4)$ に含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データと逆係数 $a_1 \sim a_5$ の積を求め、求めた各積を足し合わせて出力側の合計値 $SUMout$ を求める。

【0082】

具体的には、例えば距離 L_2 においては、重み付け演算部 216 は、 $SWout(0)$ の距離 L_2 におけるデータ Y_0 と逆係数 a_5 との積 c_5 、 $SWout(1)$ の距離 L_2 におけるデータ Y_1 と逆係数 a_4 との積 c_4 、 \dots 、 $SWout(4)$ の距離 L_2 におけるデータ X_4 と逆係数 a_1 との積 c_1 を求める。そして、重み付け演算部 216 は、距離 L_2 における積 $c_1 \sim c_5$ の合計値 $SUMout$ を求める。

10

【0083】

なお、前述の説明では、距離 L_2 についてのみ説明したが、これと同様に、重み付け演算部 213 及び 216 は、それぞれ、他の距離 L_1 、 $L_3 \sim L_5$ における合計値 $SUMin$ 及び合計値 $SUMout$ を求める。

【0084】

また、 $SWin(5)$ に続いて $SWin(6)$ が入力されると、入力側バッファメモリ 211 は、現在の $SWin(0) \sim SWin(4)$ のメモリ箇所それぞれ $SWin(1) \sim SWin(5)$ をシフトして重ね書きをし、現在の $SWin(5)$ のメモリ箇所に $SWin(6)$ を記憶する。同様に、出力側バッファメモリ 214 においてもデータのシフト及び重ね書きの動作を行って、新たに求められた $SWout(6)$ を現在の $SWout(5)$ のメモリ箇所に記憶する。以降、データが入力されるごとに、入力側バッファメモリ 211 及び出力側バッファメモリ 214 は、同様にデータのシフト及び重ね書きの動作を繰り返す。

20

【0085】

また、図 6 では、入力側バッファメモリ 211 及び出力側バッファメモリ 214 が満杯になった状態を例に挙げたが、これらのバッファメモリがバッファリングを開始してからバッファメモリが満杯になるまでの期間において出力側バッファメモリ 214 が出力するデータは過渡応答期間のデータとして破棄するのが好ましい。

【0086】

また、前述の説明では、入力したエコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに実時間で重み付けを行ってクラッタを抑圧する例を挙げたが、実時間による処理ではなく、例えば、観測対象のエリア全体の全エコーデータを取得した後に、全エコーデータに含まれる予め定められた距離での方位方向のデータ列の各データに重み付けを行う構成とすることもできる。

30

【0087】

以上の動作により、クラッタ抑圧部 21 は、図 4 (b) に示したフィルタ特性に基づいて、5 ノットや 10 ノットといった速度が比較的遅い雲や雨のエコー成分を抑圧することなく、陸地や建物等のエコー成分である静止クラッタ成分のみを抑圧することができる。

【0088】

以上のように、本実施形態における気象レーダ 10 は、リファレンスデータ除去部 24 が、雨天時において静止クラッタ成分を抑圧した抑圧後のデータから、晴天時において静止クラッタ成分を抑圧して生成したリファレンスデータを除去するので、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができる。

40

【0089】

なお、クラッタ抑圧部 21 において、静止クラッタを抑圧する手段としてはクラッタ抑圧部 21 のように急峻なフィルタ特性を有するものが好ましいが、本発明はこれに限定されず、例えば従来の MTI 処理装置 1 (図 3 参照) であってもよい。

【0090】

また、前述の実施形態において、本発明に係るクラッタ抑圧装置を気象レーダに適用する例を挙げたが、本発明はこれに限定されず、気象レーダ以外のレーダにも適用でき、同

50

様な効果を奏する。

【産業上の利用可能性】

【0091】

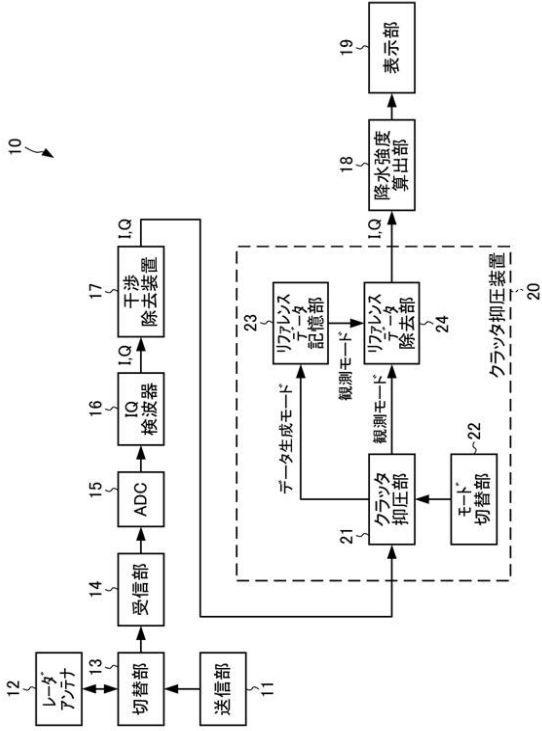
以上のように、本発明に係るクラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置は、静止クラッタ成分を適切に抑圧することができるという効果を有し、気象レーダの受信信号に含まれる静止クラッタ成分を抑圧するクラッタ抑圧装置及びそれを備えたレーダ装置として有用である。

【符号の説明】

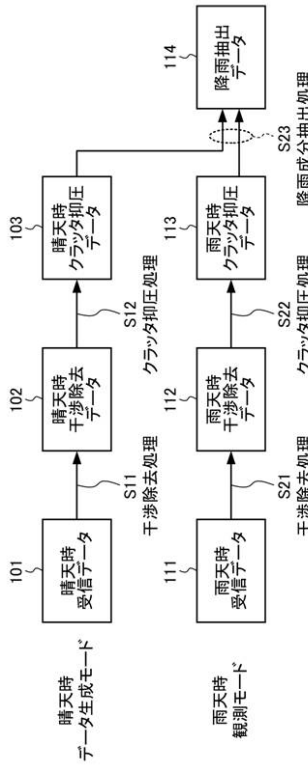
【0092】

10	気象レーダ（レーダ装置）	10
11	送信部（送信手段）	
12	レーダアンテナ	
13	切替部	
14	受信部（受信手段）	
15	A D C	
16	I Q 検波器	
17	干渉除去装置	
18	降水強度算出部	
19	表示部	
20	クラッタ抑圧装置	20
21	クラッタ抑圧部（静止クラッタ成分抑圧手段）	
22	モード切替部	
23	リファレンスデータ記憶部（リファレンスデータ記憶手段）	
24	リファレンスデータ除去部（降雨成分抽出手段）	
210	I 相成分処理部（フィルタ手段）	
211	入力側バッファメモリ（エコーデータ記憶手段）	
212	順係数メモリ	
213	演算部（第1の重み付け演算手段）	
214	出力側バッファメモリ（抑圧エコーデータ出力手段、抑圧エコーデータ記憶手段）	30
215	逆係数メモリ	
216	演算部（第2の重み付け演算手段）	
217	差分演算部（差分演算手段）	
220	Q 相成分処理部（フィルタ手段）	

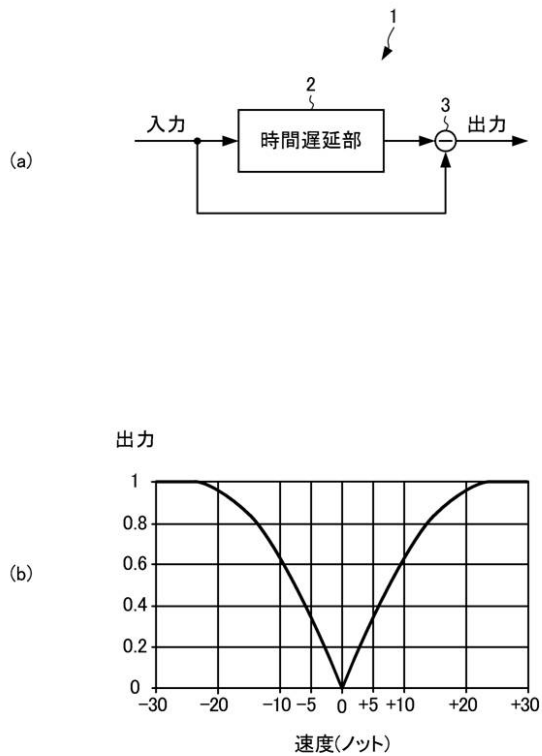
【図1】



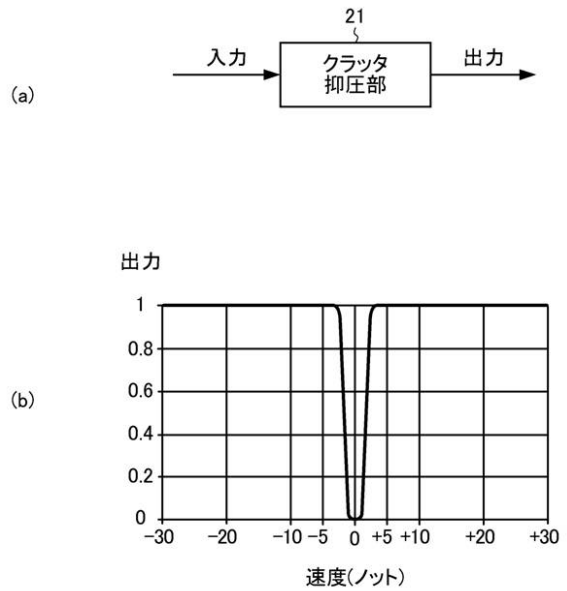
【図2】



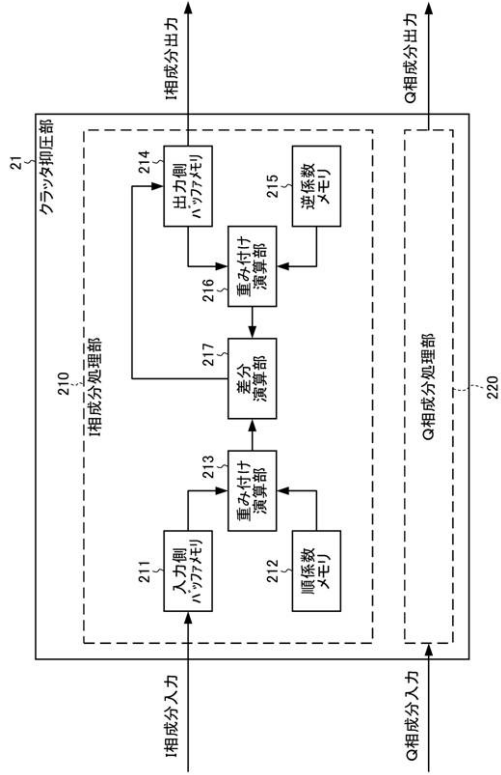
【図3】



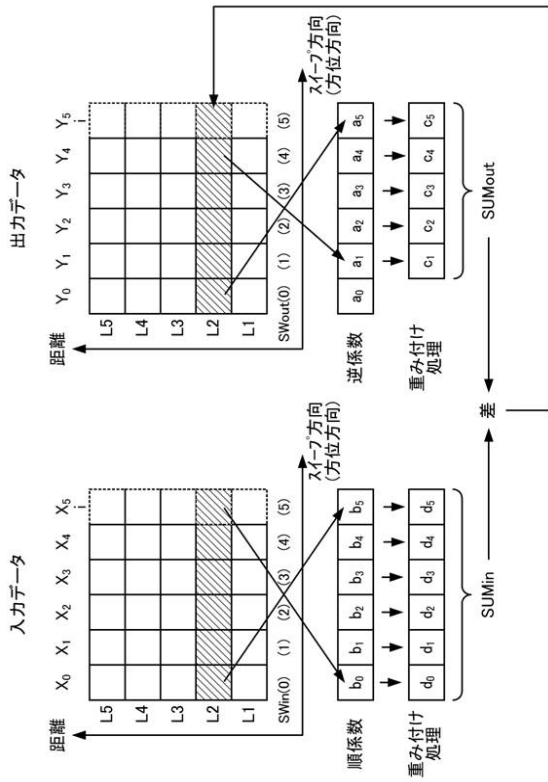
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-242246(JP,A)
特開2006-329952(JP,A)
特開2006-292476(JP,A)
特開平2-287177(JP,A)
特開2014-102237(JP,A)
特開2011-254862(JP,A)
国際公開第2013/133000(WO,A1)
米国特許第05907568(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - 7/42
13/00 - 13/95