

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6523906号
(P6523906)

(45) 発行日 令和1年6月5日(2019.6.5)

(24) 登録日 令和1年5月10日(2019.5.10)

(51) Int.Cl.
GO 1 S 13/90 (2006.01)

F I
GO 1 S 13/90 1 9 1

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-193517 (P2015-193517)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成27年9月30日 (2015.9.30)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2017-67610 (P2017-67610A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成29年4月6日 (2017.4.6)	(74) 代理人	100118762
審査請求日	平成29年12月22日 (2017.12.22)		弁理士 高村 順
		(72) 発明者	芦田 康将
			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	東 治企

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信号処理装置、合成開口レーダ装置および信号処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の受信アンテナを含む複数の受信アンテナによりそれぞれ信号を受信する合成開口レーダ装置における信号処理装置であって、

前記第1の受信アンテナ以外の前記受信アンテナである第2の受信アンテナにより受信された信号に、振幅調整量および位相回転量のうち少なくとも一方が異なる複数の振幅調整量および位相回転量を用いてそれぞれ振幅調整処理および位相回転処理を行うことにより複数の第1の信号を生成する第1の処理部と、

前記第1の信号ごとに、前記第1の受信アンテナで受信された信号と前記第1の信号とを合成して複数の第2の信号を算出する第1のフィルタ部と、

複数の前記第2の信号に基づいて、前記第2の信号に含まれる誤差量を算出する誤差算出部と、

前記誤差量に基づいて、前記第2の受信アンテナにより受信された信号に与える補正量を推定する補正量推定部と、

を備え、

前記補正量推定部は、前記誤差量に基づいて、誤差量を示す多項式を求め、多項式の絶対値を最小とする位相補正量および振幅調整量を推定した前記補正量とし、多項式の絶対値が最小となる位相補正量および振幅調整量が複数組ある場合、あらかじめ保持している補正量であり機器の特性測定から得られる補正量に最も近い組を前記補正量とすることを特徴とする信号処理装置。

【請求項 2】

前記第 2 の受信アンテナにより受信された信号に、前記補正量を用いて振幅調整処理および位相回転処理を行う第 2 の処理部と、

前記第 1 の受信アンテナで受信された信号と、前記第 2 の処理部により処理された信号とを合成する第 2 のフィルタ部と、

を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 3】

前記第 1 のフィルタ部および前記第 2 のフィルタ部は、復元アルゴリズムにより合成を行うことを特徴とする請求項 2 に記載の信号処理装置。

【請求項 4】

前記誤差算出部は、前記第 2 の信号の段差を判定し、段差の大きさを誤差量として算出することを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の信号処理装置。

【請求項 5】

前記第 2 の受信アンテナは複数であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の信号処理装置。

【請求項 6】

第 1 の受信アンテナを含む複数の受信アンテナと、

前記第 1 の受信アンテナ以外の前記受信アンテナである第 2 の受信アンテナにより受信された信号に、振幅調整量および位相回転量のうち少なくとも一方が異なる複数の振幅調整量および位相回転量を用いてそれぞれ振幅調整処理および位相回転処理を行うことにより複数の第 1 の信号を生成する処理部と、

前記第 1 の信号ごとに、前記第 1 の受信アンテナで受信された信号と前記第 1 の信号とを合成して複数の第 2 の信号を算出するフィルタ部と、

複数の前記第 2 の信号に基づいて、前記第 2 の信号に含まれる誤差量を算出する誤差算出部と、

前記誤差量に基づいて、前記第 2 の受信アンテナにより受信された信号に与える補正量を推定する補正量推定部と、

を備え、

前記補正量推定部は、前記誤差量に基づいて、誤差量を示す多項式を求め、多項式の絶対値を最小とする位相補正量および振幅調整量を推定した前記補正量とし、多項式の絶対値が最小となる位相補正量および振幅調整量が複数組ある場合、あらかじめ保持している補正量であり機器の特性測定から得られる補正量に最も近い組を前記補正量とすることを特徴とする合成開口レーダ装置。

【請求項 7】

第 1 の受信アンテナを含む複数の受信アンテナを備える合成開口レーダ装置により受信された信号を処理する信号処理方法であって、

第 1 の受信アンテナ以外の前記受信アンテナである第 2 の受信アンテナにより受信された信号に、振幅調整量および位相回転量のうち少なくとも一方が異なる複数の振幅調整量および位相回転量を用いてそれぞれ振幅調整処理および位相回転処理を行うことにより複数の第 1 の信号を生成する第 1 のステップと、

前記第 1 の信号ごとに、前記第 1 の受信アンテナで受信された信号と前記第 1 の信号とを合成して複数の第 2 の信号を算出する第 2 のステップと、

複数の前記第 2 の信号に基づいて、前記第 2 の信号に含まれる誤差量を算出する第 3 のステップと、

前記誤差量に基づいて、前記第 2 の受信アンテナにより受信された信号に与える補正量を推定する第 4 のステップと、

を含み、

前記第 4 のステップでは、前記誤差量に基づいて、誤差量を示す多項式を求め、多項式の絶対値を最小とする位相補正量および振幅調整量を推定した前記補正量とし、多項式の絶対値が最小となる位相補正量および振幅調整量が複数組ある場合、あらかじめ保持して

10

20

30

40

50

いる補正量であり機器の特性測定から得られる補正量に最も近い組を前記補正量とすることを特徴とする信号処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、人工衛星、航空機などの飛翔体に搭載される合成開口レーダ（SAR：Synthetic Aperture Radar）装置における信号処理装置、合成開口レーダ装置および信号処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

人工衛星または航空機などの飛翔体に搭載されたSARにおいて、観測幅の拡大、高分解能化を実現するためには、複数の受信アンテナを利用する手法が有効である。以下、各受信アンテナに対応する通信路をチャンネルと呼ぶ。複数チャンネルで受信した受信信号、すなわち複数のチャンネルの受信信号を、復元処理によって合成することで、見かけ上高いパルス繰り返し周波数（PRF：Pulse Repetition Frequency）の信号を得ることが可能である（非特許文献1、特許文献1参照）。

【0003】

しかしながら、各チャンネル間の機器特性のズレおよび周辺環境によってチャンネル間の不整合、すなわち受信信号間の振幅差および位相差などが発生した場合には、復元処理により理想的な信号合成を行うことができない。これにより、アンビギュイティおよび輝度ムラが発生し、観測画像の画質が劣化する。そこで、復元処理を実施する前にチャンネル間の不整合を補正する信号処理を行う必要がある。

20

【0004】

従来のSARにおける信号処理装置では、観測前の機器特性の測定結果から決定した補正值を用いて観測信号を補正することで、チャンネル間の不整合を緩和する。この方法では、機器の温度変化および環境要因などによりチャンネル間の振幅差および位相差が変化した場合、変化分を補正できない。特許文献2には、機器特性の測定結果から決定した補正值を用いた補正によって補正しきれない位相差を補正する技術が開示されている。特許文献2に記載の信号処理装置では、信号スペクトルに現れるアンテナパターンの不連続点の有無を確認し、アンテナパターンの不連続点がある場合、予め定められた変化量にて補正值を修正して修正後の補正值を用いて位相差を補正する処理を繰り返す。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2010-66131号公報

【特許文献2】特開2013-181864号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】G. Krieger, N. Gebert and A. Moreira, "Unambiguous SAR signal reconstruction from nonuniform displaced phase center sampling," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol.1, no.4, pp.260-264, 2004.

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述したように、観測前の機器特性の測定結果から決定した補正值を用いてチャンネル間不整合を補正する方法では、観測時の機器の温度変化および環境要因によって変化した分を補正することができない。また、特許文献2に記載されているように、予め定められた変化量に基づいて位相差の補正值を修正する手法では、あらかじめ変化量が定められている。したがって、特許文献2に記載されている手法では、設定する補正值をこの変化量

50

刻みでしか変更できず、変化量の定め方によっては補正値を最適な値に修正できないという課題がある。また、特許文献2に記載の手法では、位相差以外のチャンネル間不整合を補正できないという課題があった。

【0008】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、精度良くチャンネル間不整合を補正することができる信号処理装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる信号処理装置は、第1の受信アンテナを含む複数の受信アンテナによりそれぞれ信号を受信する合成開口レーダ装置における信号処理装置であって、第1の受信アンテナ以外の受信アンテナである第2の受信アンテナにより受信された信号に、振幅調整量および位相回転量のうち少なくとも一方が異なる複数の振幅調整量および位相回転量を用いてそれぞれ振幅調整処理および位相回転処理を行うことにより複数の第1の信号を生成する第1の処理部を備える。また、この信号処理装置は、第1の信号ごとに、第1の受信アンテナで受信された信号と第1の信号とを合成して複数の第2の信号を算出する第1のフィルタ部と、複数の第2の信号に基づいて、第2の信号に含まれる誤差量を算出する誤差算出部と、誤差量に基づいて、第2の受信アンテナにより受信された信号に与える補正量を推定する補正量推定部と、を備え、補正量推定部は、誤差量に基づいて、誤差量を示す多項式を求め、多項式の絶対値を最小とする位相補正量および振幅調整量を推定した補正量とし、多項式の絶対値が最小となる位相補正量および振幅調整量が複数組ある場合、あらかじめ保持している補正量であり機器の特性測定から得られる補正量に最も近い組を補正量とする。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、精度良くチャンネル間不整合を補正することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1にかかる合成開口レーダ装置の構成例を示す図

【図2】実施の形態1の信号処理装置の構成例を示すブロック図

【図3】実施の形態1の信号処理装置における信号処理手順の一例を示すフローチャート

【図4】実施の形態1の信号スペクトルの一例を示す図

【図5】実施の形態1の多項式フィッティングの一例を示す図

【図6】実施の形態1の処理回路の構成例を示す図

【図7】実施の形態1の制御回路の構成例を示す図

【図8】実施の形態2にかかる合成開口レーダ装置の構成例を示す図

【図9】実施の形態2の信号処理装置の構成例を示すブロック図

【図10】実施の形態2の信号スペクトルの一例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明の実施の形態にかかる信号処理装置、合成開口レーダ装置および信号処理方法を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0013】

実施の形態1 .

図1は、本発明の実施の形態1にかかる合成開口レーダ装置の構成例を示す図である。図1に示すように、本実施の形態の合成開口レーダ装置100は、受信アンテナ1-1, 1-2と、送信アンテナ2と、受信機3-1, 3-2と、信号処理装置4と、送信機5とを備える。すなわち、合成開口レーダ装置100は、複数の受信アンテナによりそれぞれ信号を受信する合成開口レーダ装置である。

【 0 0 1 4 】

図 1 の例では、送信アンテナを受信アンテナとは別に備える例を示しているが、受信アンテナ 1 - 1 , 1 - 2 および送信アンテナ 2 の替わりに、1 つの受信アンテナと 1 つの送受信アンテナとアンテナ切替え器とを備え、アンテナを送受信で共用する構成としてもよい。例えば、図 1 の構成例において受信アンテナ 1 - 2 を送受信アンテナに替える場合、アンテナ 2 を削除し、送受信アンテナにアンテナ切替え器を接続する。そして、アンテナ切替え器が、送信時には、送信機 5 と送受信アンテナを接続し、受信時には、受信機 3 - 2 と送受信アンテナを接続する。また、図 1 の構成例では、受信機を受信アンテナごとに備えているが、受信機の数を受信アンテナの数より少なくしてもよい。この場合、切替え器により、受信機と接続する受信アンテナを時分割で切替える。

10

【 0 0 1 5 】

本実施の形態の合成開口レーダ装置は、地上面に沿って移動している図示しないプラットフォームに搭載されている。受信アンテナ 1 - 1 , 1 - 2 および送信アンテナ 2 は、同一のプラットフォームに搭載されていてもよいし、それぞれが異なるプラットフォームに搭載されていてもよい。プラットフォームは、人工衛星、航空機などの飛翔体である。受信機 3 - 1 , 3 - 2、信号処理装置 4 および送信機 5 は、受信アンテナ 1 - 1 , 1 - 2 および送信アンテナ 2 が、搭載されるプラットフォームに搭載されていてもよいし、別の場所に設置されていてもよい。

【 0 0 1 6 】

送信機 5 はパルス信号を生成し、繰り返し周期 T で、パルス信号を送信アンテナ 2 から繰り返し送信する。送信アンテナ 2 から放射され地表面などの観測対象領域で反射された電波は、受信アンテナ 1 - 1 と受信アンテナ 1 - 2 で受信される。

20

【 0 0 1 7 】

受信機 3 - 1 は、受信アンテナ 1 - 1 により受信された電波、すなわち受信信号に対して、検波、A / D (Analog to Digital) 変換処理などを実施して信号処理装置 4 へ出力する。受信機 3 - 2 は、受信アンテナ 1 - 2 により受信された電波、すなわち受信信号に対して、検波、A / D 変換処理などを実施して信号処理装置 4 へ出力する。

【 0 0 1 8 】

本実施の形態では、第 1 の受信アンテナである受信アンテナ 1 - 1 および受信機 3 - 1 に対応する経路をチャンネル # 1 と呼び、受信アンテナ 1 - 1 により受信され受信機 3 - 1 を介して信号処理部に入力される信号をチャンネル # 1 の観測信号と呼ぶ。また、第 2 の受信アンテナである受信アンテナ 1 - 2 および受信機 3 - 2 に対応する経路をチャンネル # 2 と呼び、受信アンテナ 1 - 2 により受信され受信機 3 - 2 を介して信号処理部に入力される信号をチャンネル # 2 の観測信号と呼ぶ。チャンネル # 1 とチャンネル # 2 では、各々に対応するハードウェアの特性の差により、同じ信号を受信した場合に、受信信号の振幅、位相または振幅および位相に差が現れることがある。このチャンネルの違いによる振幅、位相または振幅および位相の差をチャンネル間不整合と呼ぶ。

30

【 0 0 1 9 】

信号処理装置 4 は、受信アンテナ 1 - 1 により受信され受信機 3 - 1 により処理されたチャンネル # 1 の観測信号と、受信アンテナ 1 - 2 により受信され受信機 3 - 2 により処理されたチャンネル # 2 の観測信号との間のチャンネル間不整合を補正し、補正後の信号に対して復元フィルタ処理、アジマス圧縮処理およびレンジ圧縮処理を実施して再生画像を生成する。

40

【 0 0 2 0 】

図 2 は、本実施の形態の信号処理装置 4 の構成例を示すブロック図である。信号処理装置 4 は、信号切出し部 4 1、振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N、復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N、スペクトル判定部 4 4 - 1 ~ 4 4 - N、補正量推定部 4 5、振幅調整位相回転部 4 6、復元フィルタ部 4 7、アジマス圧縮部 4 8 およびレンジ圧縮部 4 9 を備える。なお、N は 2 以上の整数である。

【 0 0 2 1 】

50

受信機 3 - 1 から出力されるチャンネル # 1 の観測信号である観測信号 1 1 a は、信号切出し部 4 1 および復元フィルタ部 4 7 に入力される。受信機 3 - 2 から出力されるチャンネル # 2 の観測信号である観測信号 1 1 b は、信号切出し部 4 1 および振幅調整位相回転部 4 6 に入力される。

【 0 0 2 2 】

図 3 は、本実施の形態の信号処理装置 4 における信号処理手順の一例を示すフローチャートである。図 2 および図 3 を用いて、信号処理装置 4 の動作を説明する。信号切出し部 4 1 は、観測信号 1 1 a および観測信号 1 1 b の全信号から処理対象の観測期間の中心付近の信号を切出す（ステップ S 1）。なお、観測信号 1 1 a, 1 1 b は、観測期間単位で出力されるとし、信号切出し部 4 1 は、例えば、入力される 1 単位の信号の中央の前後一定の範囲の信号を切出すことにより、観測期間の中心付近の信号を切出すことが可能であるとする。観測信号 1 1 a から切出した観測信号を観測信号 1 2 a とし、観測信号 1 1 b から切出した観測信号を観測信号 1 2 b とする。信号切出し部 4 1 は、観測信号 1 2 a を復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N へ入力し、観測信号 1 2 b を振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N へ入力する。

【 0 0 2 3 】

振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N は、観測信号 1 2 b に対してそれぞれ固有の振幅調整量および位相回転量により、振幅調整および位相回転を実施することにより、複数の振幅調整量および位相回転量で、それぞれ振幅調整および位相回転を実施する（ステップ S 2）。振幅調整位相回転部 4 2 - i ($i = 1, 2, \dots, N$) により振幅調整および位相回転が実施された後の信号を観測信号 1 3 - i とする。振幅調整位相回転部 4 2 - i は、振幅調整および位相回転が実施された後の信号である観測信号 1 3 - i を復元フィルタ部 4 3 - i へ入力する。振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N における振幅調整量および位相回転量は、あらかじめ決めておく。

【 0 0 2 4 】

例えば、 $N = 6$ として、振幅調整位相回転部 4 2 - 1 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_1, B_1 とし、振幅調整位相回転部 4 2 - 2 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_1, B_2 とし、振幅調整位相回転部 4 2 - 3 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_1, B_3 とする。また、振幅調整位相回転部 4 2 - 4 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_2, B_1 とし、振幅調整位相回転部 4 2 - 5 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_2, B_2 とし、振幅調整位相回転部 4 2 - 6 における振幅調整量および位相回転量を、それぞれ A_2, B_3 とする。なお、 $A_1 < A_2, B_1 < B_2 < B_3$ とする。

【 0 0 2 5 】

以上のように、振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N は、第 1 の受信アンテナ以外の受信アンテナである第 2 の受信アンテナにより受信された信号に、振幅調整量および位相回転量のうち少なくとも一方が異なる複数の振幅調整量および位相回転量を用いてそれぞれ振幅調整処理および位相回転処理を行うことにより複数の第 1 の信号を生成する第 1 の処理部である。

【 0 0 2 6 】

復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N は、観測信号 1 2 a と、対応する振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N から入力される観測信号 1 3 - 1 ~ 1 3 - N とに基づいて、復元フィルタ処理として、復元アルゴリズム処理を実施する（ステップ S 3）。復元フィルタ処理としては、特許文献 1、非特許文献 1 に記載されている復元アルゴリズムを用いることができる。復元アルゴリズムとは、例えば、特許文献 1、非特許文献 1 に記載されている復元アルゴリズムを示す。復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N は、特許文献 1 に記載の復元フィルタ処理と同様の復元フィルタによる合成処理を行って信号スペクトルを得る。したがって、復元フィルタ部 4 3 - i が実施する復元フィルタ処理は、例えば、観測信号 1 2 a と観測信号 1 3 - i をアジマス方向にフーリエ変換し、フーリエ変換後の各チャンネルに対応するデータに対してエイリアシング誤差を解消するための復元フィルタを適用し

10

20

30

40

50

、復元フィルタ適用後のチャンネルごとのデータをアジマススペクトル上で合成する処理である。すなわち、復元フィルタ部 43 - 1 ~ 43 - N は、第 1 の信号である観測信号 13 - 1 ~ 13 - N ごとに、第 1 の受信アンテナで受信された信号と第 1 の信号とを合成して複数の第 2 の信号を算出する第 1 のフィルタ部である。復元フィルタ部 43 - i による復元フィルタ処理により得られる信号スペクトルを 14 - i とする。復元フィルタ部 43 - i は、復元フィルタ処理により得られる信号スペクトル 14 - i をスペクトル判定部 44 - i へ入力する。

【0027】

スペクトル判定部 44 - 1 ~ 44 - N は、対応する復元フィルタ部 43 - 1 ~ 43 - N から入力される信号スペクトル 14 - 1 ~ 14 - N の段差を検出する（ステップ S4）。スペクトル判定部 44 - 1 ~ 44 - N は、信号スペクトル 14 - 1 ~ 14 - N の段差の大きさを誤差量 15 - 1 ~ 15 - N としてそれぞれ算出する（ステップ S5）。スペクトル判定部 44 - 1 ~ 44 - N は、それぞれ誤差量 15 - 1 ~ 15 - N を補正量推定部 45 へ入力する。

【0028】

図 4 は、ステップ S3 の処理により得られる信号スペクトル 14 - 1 ~ 14 - N の一例を示す図である。図 4 では、横軸は周波数を示し、縦軸は電力を示している。ステップ S3 の処理により得られる信号スペクトル 14 - 1 ~ 14 - N には、図 4 に示すように、段差、すなわち信号が不連続になる部分が存在する。この段差は、チャンネル間不整合により生じるものである。したがって、この段差の大きさは、チャンネル間不整合による誤差量に対応している。

【0029】

補正量推定部 45 は、各振幅調整位相回転部 42 - 1 ~ 42 - N が与えた振幅調整量および位相回転量と各スペクトル判定部 44 - 1 ~ 44 - N から入力された誤差量 15 - 1 ~ 15 - N とに基づいて、振幅調整量および位相回転量に対する誤差量をそれぞれ多項式フィッティングする（ステップ S6）。この多項式としては、例えば (N - 1) 次多項式を用いることができる。誤差量であるデータの数 N 個であるため、(N - 1) 次多項式により多項式フィッティングすると N 個の点を通る多項式すなわち N 個のデータ間を補間することができる多項式を求めることができる。なお、多項式フィッティングを行う際の多項式の次数は (N - 1) に限定されない。また、多項式フィッティングを行う方法としては、最小二乗法を用いることができるが、具体的な方法に特に制約はない。また、ここでは、多項式フィッティングを行うようにしたが、多項式以外の近似式を求め、近似式を多項式の代わりに用いてもよく、また任意の補間アルゴリズムにより補間を行って最小値を求めてもよい。

【0030】

次に、補正量推定部 45 は、多項式フィッティングにより得られた多項式の値が最小値となる振幅調整量および位相回転量を補正量 16 として算出する（ステップ S7）。補正量推定部 45 は、補正量 16 を振幅調整位相回転部 46 へ入力する。

【0031】

図 5 は、本実施の形態の多項式フィッティングの一例を示す図である。図 5 の横軸は、位相回転量および振幅調整量を示すインデックスであり、図 5 の縦軸は誤差量である。図 5 に示したクロス印は、各スペクトル判定部 44 - 1 ~ 44 - N から入力された誤差量 15 - 1 ~ 15 - N を示している。位相回転量および振幅調整量を示すインデックスを、以下、補正量インデックスと呼ぶ。補正量推定部 45 は、補正量インデックスに対する誤差量の多項式フィッティングを実施し、補正量インデックスに対応する (N - 1) 次多項式を算出する。補正量インデックスは、振幅調整位相回転部 42 - 1 ~ 42 - N に設定した振幅調整量および位相調整量の組み合わせに対応するインデックスである。なお、このインデックスは、例えば、隣接するインデックスでは振幅調整量および位相調整量が不連続に変化しないように定めておく。例えば、インデックス “1” の振幅調整量および位相調整量を A_1 , B_1 とし、インデックス “2” の振幅調整量および位相調整量を A_1 , B_2 とし

10

20

30

40

50

、インデックス“ 3 ”の振幅調整量および位相調整量を A_1 、 B_3 とし、インデックス“ 4 ”の振幅調整量および位相調整量を A_2 、 B_3 とし、インデックス“ 5 ”の振幅調整量および位相調整量を A_2 、 B_2 とし、インデックス“ 6 ”の振幅調整量および位相調整量を A_2 、 B_3 とする。

【 0 0 3 2 】

補正量推定部 4 5 は、図 5 に示した $(N - 1)$ 次多項式の絶対値が最小値となる、すなわち図 5 の例では 0 となる点の補正量インデックスを求めこの補正量デックスに対応する補正量を算出する。これにより、振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N が与えた位相回転量に依存せずに、精度よく補正すべき位相回転量を算出することができる。例えば、上述した $N = 6$ の例のように、振幅調整量として A_1 、 A_2 の 2 種類を与え、位相回転量 B_1 、 B_2 、 B_3 の 3 種類を与えた場合に、補正すべき真の位相差、すなわちチャンネル間不整合による位相差が B_2 と B_3 の間にあったとする。 $(N - 1)$ 次多項式を用いて最小値に対応する位相回転量を算出することにより、真の位相差に対応する補正量を算出することができる。振幅調整量についても同様に、真の振幅差に対応する補正量を算出することができる。

10

【 0 0 3 3 】

また、 $(N - 1)$ 次多項式の絶対値が複数の最小値を持つ場合には、補正量推定部 4 5 において、あらかじめ保持している機器の特性測定から得られる補正量に、最も近い最小値を補正量として算出する。

【 0 0 3 4 】

20

なお、ここでは、振幅調整量および位相補正量を示す補正量インデックスを用いて多項式フィッティングを行ったが、振幅調整量と位相補正量の 2 つ変数として、重回帰分析などにより多項式フィッティングを行って多項式を算出し、多項式の絶対値を最小とする振幅調整量と位相補正量を算出してもよい。また、振幅調整量、位相補正量のそれぞれに対して誤差量を多項式フィッティングして、それぞれの多項式の最小値となる振幅調整量、位相補正量を求めて補正量としてもよい。

【 0 0 3 5 】

図 3 の説明に戻り、第 2 の処理部である振幅調整位相回転部 4 6 は、観測信号 1 1 b に対して補正量推定部 4 5 から入力された補正量を用いて振幅調整および位相回転を実施する（ステップ S 8）。振幅調整位相回転部 4 6 は、振幅調整および位相回転後の信号を観測信号 1 7 として復元フィルタ部 4 7 へ入力する。第 2 のフィルタ部である復元フィルタ部 4 7 は、観測信号 1 1 a と振幅調整位相回転部 4 6 から入力される観測信号 1 7 とに基づいて復元フィルタ処理を実施する（ステップ S 9）。復元フィルタ部 4 7 における復元フィルタ処理は復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N における復元フィルタ処理と同様である。復元フィルタ部 4 7 は、復元フィルタ処理で得られた補正済みの信号スペクトル 1 8 をアジマス圧縮部 4 8 へ入力する。

30

【 0 0 3 6 】

アジマス圧縮部 4 8 は、補正済みの信号スペクトル 1 8 にアジマス方向の圧縮を実施し（ステップ S 10）、このアジマス方向の圧縮を実施した信号スペクトルをレンジ圧縮部 4 9 へ入力する。レンジ圧縮部 4 9 は、入力された信号スペクトルにレンジ方向の圧縮を実施し（ステップ S 11）、処理を終了する。以上の処理により再生画像が得られる。

40

【 0 0 3 7 】

なお、以上の例では、観測信号の処理のたびに、補正量推定部 4 5 が補正量を算出するようにしたが、これに限らず、補正量推定部 4 5 による補正量の算出は、観測信号の処理のたびに実施しなくてもよい。例えば、補正量を算出するための処理、すなわち上記のステップ S 1 ~ ステップ S 7 を、一定時間ごとに実施し、一定時間の間は、同一の補正量を用いて上記のステップ S 8 以降を実施してもよい。

【 0 0 3 8 】

次に、本実施の形態の信号処理装置 4 のハードウェア構成について説明する。信号処理装置 4 を構成する図 2 に示した各構成要素は、それぞれ処理回路によって実現することが

50

できる。処理回路は、構成要素ごとの処理回路であってもよいし、2つ以上の構成要素が1つの処理回路として実現されてもよい。処理回路は、専用のハードウェアであっても、メモリに格納されるプログラムを実行するCPU (Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSPともいう) を備える制御回路であってもよい。

【0039】

処理回路が専用のハードウェアである場合、この処理回路は、例えば、図6に示した処理回路300である。処理回路は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、またはこれらを組み合わせたものが該当する。

10

【0040】

上記の処理回路が、CPUを備える制御回路で実現される場合、この制御回路は例えば図7に示す構成の制御回路400である。図7に示すように制御回路400は、CPUであるプロセッサ401と、メモリ402とを備える。上記の処理回路が制御回路400により実現される場合、プロセッサ401がメモリ402に記憶された、信号処理装置4の各構成要素の各々の処理に対応するプログラムを読み出して実行することにより実現される。また、メモリ402は、プロセッサ401が実施する各処理における一時メモリとしても使用される。ここで、メモリとは、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリー、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVD (Digital Versatile Disk) 等が該当する。

20

【0041】

以上のように本実施の形態では、N組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部から得られる振幅調整量および位相回転量と誤差量とから(N-1)次多項式を得て誤差を最小とするように補正量を求めるようにした。このため、あらかじめ定めた変化量単位で位相回転量を設定できない従来の技術に比べて、ロバストに適切な補正量を算出できる。これにより、チャンネル間の不整合を精度良く補正し、画質の劣化を抑制することができる。

30

【0042】

なお、上記の例では、信号切出し部41が信号の切出しを行ったが、信号の切出しを行わず、全信号を用いて補正量を求める処理を行ってもよい。

【0043】

また、以上の例では、振幅調整および位相回転を補正する例を説明したが、振幅調整および位相回転のうち少なくとも一方を補正する場合に、本実施の形態の手法を適用することができる。

【0044】

また、本実施の形態では、N組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部を用いて、信号を並列に処理したが、1組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部によって、振幅調整量および位相回転量の組み合わせを変えてN回処理を行ってもよい。また、振幅調整位相回転部42-1~42-Nと復元フィルタ部43-1~43-Nは、それぞれ振幅調整位相回転部46と復元フィルタ部47と共通化することも可能である。

40

【0045】

実施の形態2.

図8は、本発明の実施の形態2にかかる合成開口レーダ装置の構成例を示す図である。図8に示すように、本実施の形態の合成開口レーダ装置101は、受信アンテナ1-1~1-3と、送信アンテナ2と、受信機3-1~3-3と、信号処理装置6と、送信機5と

50

を備える。

【 0 0 4 6 】

実施の形態 1 では、2 チャンネルの観測信号が得られる例を示したが、本発明は観測信号が 3 チャンネル以上の場合にも適用することができる。本実施の形態では、3 チャンネル以上の一例として、3 チャンネルの観測信号が得られる例について説明する。実施の形態 1 と同様の機能を有する構成要素および同様の信号は、実施の形態 1 と同一の符号を付して重複する説明を省略する。

【 0 0 4 7 】

本実施の形態では、信号処理装置 6 には、受信機 3 - 1 ~ 3 - 3 からそれぞれ観測信号が入力される。受信アンテナ 1 - 1 および受信機 3 - 1 に対応する経路をチャンネル # 1 と呼び、受信アンテナ 1 - 1 により受信され受信機 3 - 1 を介して信号処理部 6 に入力される信号をチャンネル # 1 の観測信号と呼ぶ。また、受信アンテナ 1 - 2 および受信機 3 - 2 に対応する経路をチャンネル # 2 と呼び、受信アンテナ 1 - 2 により受信され受信機 3 - 2 を介して信号処理部 6 に入力される信号をチャンネル # 2 の観測信号と呼ぶ。また、受信アンテナ 1 - 3 および受信機 3 - 3 に対応する経路をチャンネル # 3 と呼び、受信アンテナ 1 - 3 により受信され受信機 3 - 3 を介して信号処理部 6 に入力される信号をチャンネル # 3 の観測信号と呼ぶ。この例では、チャンネル # 1 を基準として、チャンネル # 2 , # 3 の信号を補正することによりチャンネル間不整合を補正するため、受信アンテナ 1 - 1 が第 1 の受信アンテナであり、受信アンテナ 1 - 2 , 1 - 3 が第 2 の受信アンテナである。

【 0 0 4 8 】

図 9 は、本実施の形態の信号処理装置 6 の構成例を示すブロック図である。図 9 に示すように、本実施の形態の信号処理装置 6 は、実施の形態 1 の信号処理装置 4 の信号切出し部 4 1 , 復元フィルタ部 4 3 - 1 ~ 4 3 - N , 復元フィルタ部 4 7 , 補正量推定部 4 5 をそれぞれ信号切出し部 5 1 , 復元フィルタ部 5 3 - 1 ~ 5 3 - N , 復元フィルタ部 5 5 , 補正量推定部 5 4 に替え、振幅調整位相回転部 5 0 - 1 ~ 5 0 - N および振幅調整位相回転部 5 2 を追加する以外は、実施の形態 1 の信号処理装置 4 と同様である。チャンネル # 1 の観測信号である観測信号 1 1 a と、チャンネル # 2 の観測信号である観測信号 1 1 b と、チャンネル # 3 の観測信号である観測信号 1 1 c とは、信号切出し部 5 1 へ入力される。また、観測信号 1 1 a は、復元フィルタ部 5 5 へも入力され、観測信号 1 1 b は、振幅調整位相回転部 4 6 へも入力され、観測信号 1 1 c は、振幅調整位相回転部 5 2 へも入力される。

【 0 0 4 9 】

本実施の形態の信号処理装置 6 における動作手順のフローチャートは、図 3 と同様であり、各ステップ内での具体的処理は、実施の形態 1 から変更になるステップもあり、以下、実施の形態 1 から変更になる点を説明する。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 では、信号切出し部 5 1 は、観測信号 1 1 a と、観測信号 1 1 b と、観測信号 1 1 c とのそれぞれについて、全信号から観測時間の中心付近の信号を切出す。観測信号 1 1 a , 1 1 b , 1 1 c からそれぞれ切り出した観測信号を観測信号 1 2 a , 1 2 b , 1 2 c とする。信号切出し部 5 1 は、観測信号 1 2 a を復元フィルタ部 5 3 - 1 ~ 5 3 - N へ入力し、観測信号 1 2 b を振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N へ入力し、観測信号 1 2 c を振幅調整位相回転部 5 0 - 1 ~ 5 0 - N へ入力する。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 2 では、振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N および振幅調整位相回転部 5 0 - 1 ~ 5 0 - N が、それぞれ入力された観測信号に対して振幅調整および位相回転を実施する。振幅調整位相回転部 4 2 - 1 ~ 4 2 - N には、実施の形態 1 で述べたように、それぞれ固有の振幅調整量および位相回転量が設定されている。同様に、振幅調整位相回転部 5 0 - 1 ~ 5 0 - N も、それぞれ固有の振幅調整量および位相回転量が設定されている。振幅調整位相回転部 4 2 - i (i = 1 , 2 , ... , N) により振幅調整および位相回転

が実施された後の信号を観測信号 $13-i$ とし、振幅調整位相回転部 $50-i$ により振幅調整および位相回転が実施された後の信号を観測信号 $19-i$ とする。振幅調整位相回転部 $42-i$ は観測信号 $13-i$ を復元フィルタ部 $53-i$ へ入力し、振幅調整位相回転部 $50-i$ は、観測信号 $19-i$ を復元フィルタ部 $53-i$ へ入力する。

【0052】

ステップ S3 では、復元フィルタ部 $53-1 \sim 53-N$ が、観測信号 $12a$ と、対応する振幅調整位相回転部 $42-1 \sim 42-N$ から入力される観測信号 $13-1 \sim 13-N$ と、対応する振幅調整位相回転部 $50-1 \sim 50-N$ から入力される観測信号 $19-1 \sim 19-N$ とに基づいて復元フィルタ処理を実施する。復元フィルタ処理は、実施の形態 1 と同様であり、復元フィルタ処理として復元アルゴリズムを用いることができる。復元フィルタ部 $53-i$ による復元フィルタ処理により得られる信号スペクトルを $20-i$ とする。復元フィルタ部 $53-i$ は、復元フィルタ処理により得られる信号スペクトル $20-i$ をスペクトル判定部 $44-i$ へ入力する。

【0053】

ステップ S4 は、実施の形態 1 のステップ S4 と同様である。ただし、本実施の形態では、信号スペクトル $20-1 \sim 20-N$ には、それぞれ複数の段差が現れる。段差の数は、チャンネル数 - 1 であり、チャンネル数が 3 の場合には、段差の数は 2 つである。図 10 は、本実施の形態の信号スペクトル $20-1 \sim 20-N$ の一例を示す図である。図 10 に示すように、信号スペクトル $20-1 \sim 20-N$ には、段差が 2 か所現れる。この段差は、チャンネル # 1 とチャンネル # 2 との間のチャンネル間不整合である第 1 のチャンネル間不整合と、チャンネル # 1 とチャンネル # 3 との間の第 2 のチャンネル間不整合とにそれぞれ対応する。

【0054】

ステップ S5 では、スペクトル判定部 $44-1 \sim 44-N$ は、段差の数だけ、それぞれ段差の大きさを誤差量として算出し、誤差量を補正量推定部 54 へ入力する。スペクトル判定部 $44-i$ が補正量推定部 54 へ入力する 2 つの誤差量を $15a-i$ および $15b-i$ とする。なお、なお、誤差量 $15a-i$ および誤差量 $15b-i$ のうち、どちらが第 1 のチャンネル間不整合であるかは、周波数に基づいて決定できるとする。スペクトル判定部 $44-i$ は、誤差量 $15a-i$ および誤差量 $15b-i$ を、誤差量 $15a-i$ および誤差量 $15b-i$ のうち、どちらが第 1 のチャンネル間不整合であることを示す情報とともに、補正量推定部 54 へ入力する。どちらが第 1 のチャンネル間不整合であることを示す情報は、明示的な情報でなくてもよく、例えば、スペクトル判定部 $44-i$ から入力される際に先に入力されるものが第 1 のチャンネル間不整合であるというように、あらかじめデータの授受の形式を決めておくことで識別する方法を用いてもよい。以下では、誤差量 $15a-i$ が第 1 のチャンネル間不整合に対応し、 $15b-i$ が第 2 のチャンネル間不整合に対応するとして説明する。

【0055】

ステップ S6 では、補正量推定部 54 は、各振幅調整位相回転部 $42-1 \sim 42-N$ が与えた振幅調整量および位相回転量と第 1 のチャンネル間不整合に対応する誤差量 $15a-1 \sim 15a-N$ とに基づいて、実施の形態 1 と同様に、振幅調整量および位相回転量を示す補正量インデックスに対する誤差量を多項式フィッティングする。また、補正量推定部 54 は、各振幅調整位相回転部 $50-1 \sim 50-N$ が与えた振幅調整量および位相回転量と第 2 のチャンネル間不整合に対応する誤差量 $15b-1 \sim 15b-N$ とに基づいて、実施の形態 1 と同様に、振幅調整量および位相回転量を示す補正量インデックスに対する誤差量を多項式フィッティングする。

【0056】

ステップ S7 では、補正量推定部 54 は、実施の形態 1 と同様に、多項式フィッティングにより得られた多項式の値が最小値となる補正量インデックスに対応する振幅調整量および位相回転量を補正量 $16a$, $16b$ として算出する。具体的には、補正量推定部 54 は、実施の形態 1 と同様に、第 1 のチャンネル間不整合に対応する多項式の絶対値が最小

値となる振幅調整量および位相回転量をそれぞれ求め、求めた振幅調整量および位相回転量を補正量 16 a とする。同様に、補正量推定部 54 は、第 2 のチャンネル間不整合に対応する多項式の絶対値が最小値となる補正量インデックスに対応する振幅調整量および位相回転量をそれぞれ求め、求めた振幅調整量および位相回転量を補正量 16 b とする。補正量推定部 54 は、補正量 16 a , 16 b を振幅調整位相回転部 52 へ入力する。振幅調整位相回転部 52 は、入力された補正量 16 a , 16 b を振幅調整位相回転部 46 へ入力する。なお、補正量推定部 54 は、補正量 16 a , 16 b を振幅調整位相回転部 52 へ入力する替わりに、補正量 16 a を振幅調整位相回転部 46 へ入力し、補正量 16 b を振幅調整位相回転部 52 へ入力するようにしてもよい。

【0057】

10

ステップ S8 では、振幅調整位相回転部 46 は、入力された補正量 16 a , 16 b のうち自身に対応する補正量 16 a を用いて観測信号 11 b に対して振幅調整および位相回転を実施し、振幅調整位相回転部 52 は、入力された補正量 16 a , 16 b のうち自身に対応する補正量 16 b を用いて観測信号 11 c に対して振幅調整および位相回転を実施する。第 2 の処理部である振幅調整位相回転部 46 および振幅調整位相回転部 52 は、振幅調整および位相回転後の信号をそれぞれ観測信号 17 a および 17 b として復元フィルタ部 55 へ入力する。

【0058】

復元フィルタ部 55 は、観測信号 11 a と振幅調整位相回転部 46 から入力される観測信号 17 a と振幅調整位相回転部 52 から入力される観測信号 17 b とに基づいて復元フィルタ処理を実施する。復元フィルタ部 55 における復元フィルタ処理は復元フィルタ部 53 - 1 ~ 53 - N における復元フィルタ処理と同様である。復元フィルタ部 55 は、復元フィルタ処理により得られた補正済みの信号スペクトル 18 をアジマス圧縮部 48 へ入力する。ステップ S10 , ステップ S11 は、実施の形態 1 と同様である。

20

【0059】

本実施の形態の信号処理装置 6 の各構成要素は、実施の形態 1 の信号処理装置 4 と同様に処理回路により実現できる。この処理回路は、実施の形態 1 で述べた通り、専用のハードウェアであってもよいし、CPU を備えた制御回路であってもよい。

【0060】

以上のように本実施の形態では、チャンネルが 3 つの場合に、2 つのチャンネル間、すなわちチャンネル #1 とチャンネル #2 との間、チャンネル #1 とチャンネル #3 との間について、それぞれ、実施の形態 1 と同様に、N 組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部から得られる振幅調整量および位相回転量と誤差量とから (N - 1) 次多項式を得て誤差を最小とするように補正量を求めるようにした。このため、あらかじめ定めた変化量単位で位相回転量を設定できない従来の技術に比べて、ロバストに適切な補正量を算出できる。これにより、チャンネル間の不整合を精度良く補正し、画質の劣化を抑制することができる。チャンネル数が 4 つ以上の場合にも、同様にチャンネル間ごとに、同様に補正量を求めることで、チャンネル間の不整合を精度良く補正し、画質の劣化を抑制することができる。

30

【0061】

40

なお、上記の例では、信号切出し部 51 が信号の切出しを行ったが、信号の切出しを行わず、全信号を用いて補正量を求める処理を行ってもよい。

【0062】

また、実施の形態 1 と同様、N 組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部の替わりに、1 組の振幅調整位相回転部、復元フィルタ部、スペクトル判定部によって、振幅調整量および位相回転量の組み合わせを変えて N 回処理を行ってもよい。また、振幅調整位相回転部 50 - 1 ~ 50 - N と復元フィルタ部 53 - 1 ~ 53 - N は、それぞれ振幅調整位相回転部 52 と復元フィルタ部 55 と共通化することも可能である。

【0063】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の

50

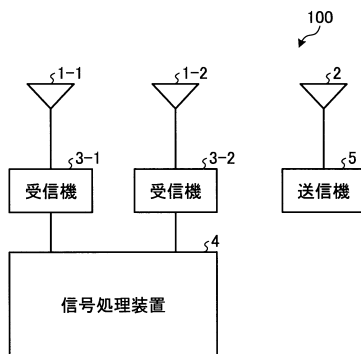
技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

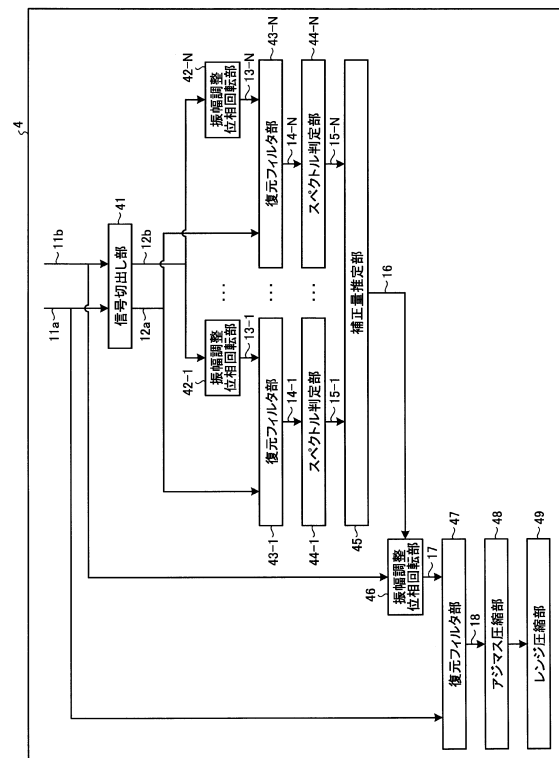
【0064】

1 - 1 ~ 1 - 3 受信アンテナ、2 送信アンテナ、3 - 1 ~ 3 - 3 受信機、4 信号処理装置、5 送信機、41, 51 信号切出し部、42 - 1 ~ 42 - N, 46, 50 - 1 ~ 50 - N, 52 振幅調整位相回転部、43 - 1 ~ 43 - N, 53 - 1 ~ 53 - N, 47, 55 復元フィルタ部、44 - 1 ~ 44 - N スペクトル判定部、45, 54 補正量推定部、48 アジマス圧縮部、49 レンジ圧縮部。

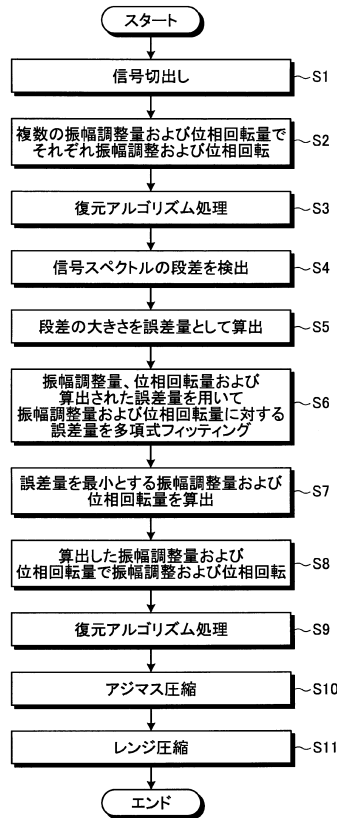
【図1】



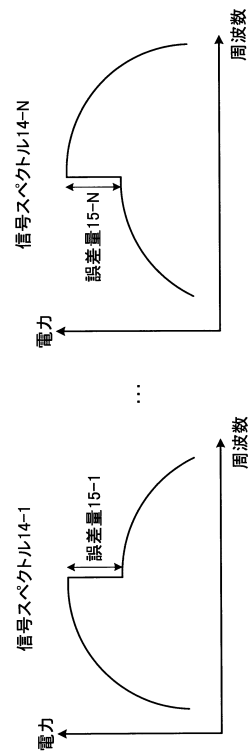
【図2】



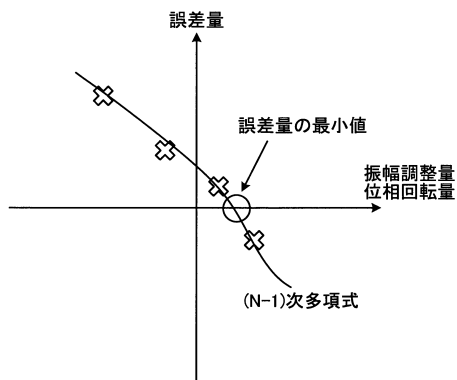
【図 3】



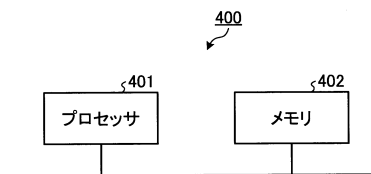
【図 4】



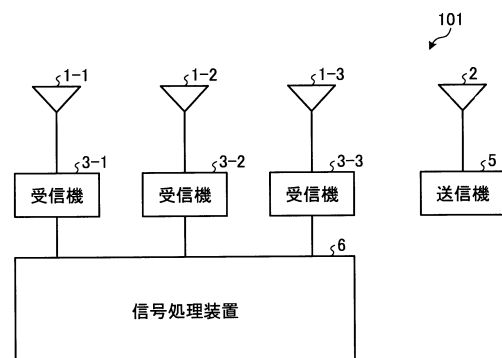
【図 5】



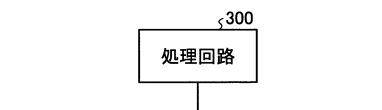
【図 7】



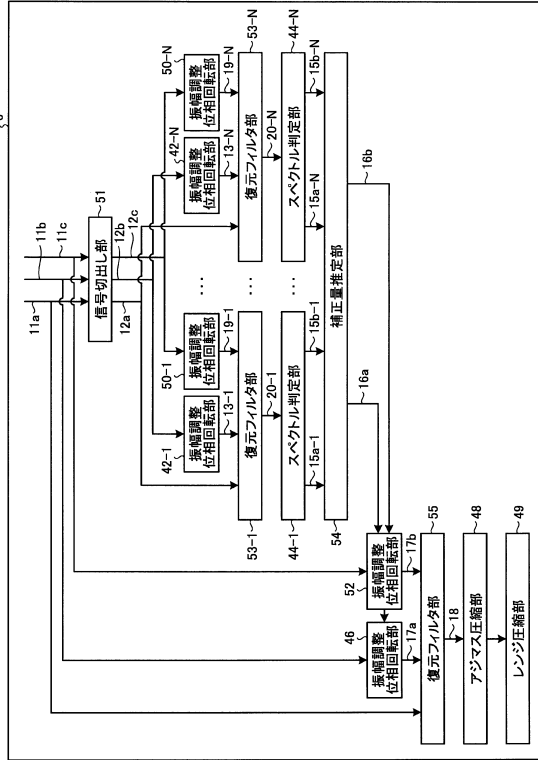
【図 8】



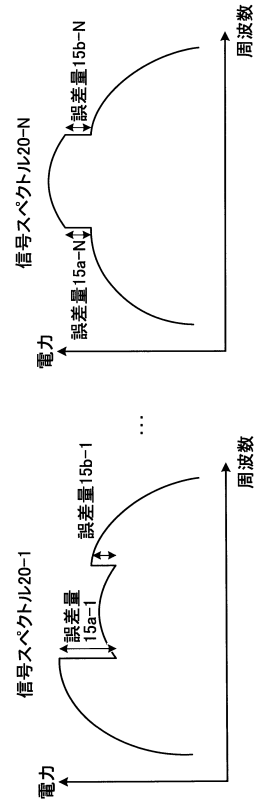
【図 6】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-181864(JP,A)
特開2010-197178(JP,A)
特開2005-308428(JP,A)
特開平05-107349(JP,A)
特開2014-095585(JP,A)
特開2010-066131(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - 7/42

G01S 13/00 - 13/95