

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7353515号
(P7353515)

(45)発行日 令和5年9月29日(2023.9.29)

(24)登録日 令和5年9月21日(2023.9.21)

(51)国際特許分類		F I		
H O 4 B	7/06 (2006.01)	H O 4 B	7/06	9 5 2
H O 4 B	7/08 (2006.01)	H O 4 B	7/08	8 0 2
H O 1 Q	3/26 (2006.01)	H O 1 Q	3/26	Z
		H O 4 B	7/06	1 5 0
		H O 4 B	7/08	4 2 0
請求項の数 9 (全24頁)				
(21)出願番号 特願2022-569002(P2022-569002)		(73)特許権者 000006013		
(86)(22)出願日 令和4年4月28日(2022.4.28)		三菱電機株式会社		
(86)国際出願番号 PCT/JP2022/019215		東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号		
審査請求日 令和4年11月14日(2022.11.14)		(74)代理人 110003166		
早期審査対象出願		弁理士法人山王内外特許事務所		
		(72)発明者 紀平 一成		
		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 高橋 徹		
		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 齊藤 晶		
最終頁に続く				

(54)【発明の名称】 アンテナ制御装置、アンテナ制御方法及びアンテナ装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項1】

複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナの振幅パターンを取得し、前記振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定する誤差推定部と、

前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振係数を制御する励振係数制御部と、

学習モデルを生成する学習装置と、を備え、

前記誤差推定部は、前記振幅パターンを前記学習モデルに与えて、前記学習モデルから、前記励振振幅位相誤差を取得し、

前記学習装置は、前記アレーアンテナの前記振幅パターンと前記振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得する学習データ取得部と、前記学習データ取得部により取得された学習データを前記学習モデルに与えて、前記振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を前記学習モデルに学習させる学習処理部と、を備え、

前記学習データ取得部は、前記学習データに含まれている前記励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得し、

前記学習処理部は、前記学習データ取得部により取得された学習データに含まれている振幅パターンのうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、前記主ビームに対

応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを前記学習モデルに与えることを特徴とするアンテナ制御装置。

【請求項 2】

複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナの振幅パターンを取得し、前記振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定する誤差推定部と、

前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振係数を制御する励振係数制御部と、

学習モデルを生成する学習装置と、を備え、

前記誤差推定部は、前記振幅パターンを前記学習モデルに与えて、前記学習モデルから、前記励振振幅位相誤差を取得し、

10

前記学習装置は、前記アレーアンテナの前記振幅パターンと前記振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得する学習データ取得部と、前記学習データ取得部により取得された学習データを前記学習モデルに与えて、前記振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を前記学習モデルに学習させる学習処理部と、を備え、

前記学習データ取得部は、前記学習データに含まれている前記励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得し、

前記アレーアンテナの振幅パターンは、2つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わされている2次元パターンであり、

20

前記学習データ取得部は、前記学習データとして、それぞれのカット面の振幅パターンと、それぞれのカット面の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得することを特徴とするアンテナ制御装置。

【請求項 3】

それぞれのカット面の振幅パターンは、1次元パターンであり、

前記学習データ取得部は、

前記学習データとして、それぞれのカット面における1次元の振幅パターンと、それぞれのカット面における1次元の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得することを特徴とする請求項2記載のアンテナ制御装置。

30

【請求項 4】

前記学習データ取得部は、

前記学習データに含まれている前記アレーアンテナの前記振幅パターンとして、前記アレーアンテナの角度に対応する振幅に、前記励振振幅誤差に含まれる熱雑音の影響に伴う振幅誤差を含んでいる振幅パターンを取得することを特徴とする請求項1記載のアンテナ制御装置。

【請求項 5】

誤差推定部と、励振係数制御部と、学習装置と、を備えた装置が行うアンテナ制御方法であって、

前記誤差推定部が、複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナの振幅パターンを取得し、前記振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定するステップと、

40

前記励振係数制御部が、前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振係数を制御するステップと、

前記学習装置が、学習モデルを生成するステップと、を備え、

前記誤差推定部は、前記振幅パターンを前記学習モデルに与えて、前記学習モデルから、前記励振振幅位相誤差を取得し、

前記学習装置は、前記アレーアンテナの前記振幅パターンと前記振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得する学習データ取得部と、前記学習データ取得部により取得された学習データを前記学習モデルに与えて、前記振幅パターンに対応

50

する励振振幅位相誤差を前記学習モデルに学習させる学習処理部と、を備え、

前記学習データ取得部は、前記学習データに含まれている前記励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得し、

前記学習処理部は、前記学習データ取得部により取得された学習データに含まれている振幅パターンのうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、前記主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを前記学習モデルに与えることを特徴とするアンテナ制御方法。

【請求項 6】

誤差推定部と、励振係数制御部と、学習装置と、を備えた装置が行うアンテナ制御方法であって、

前記誤差推定部が、複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナの振幅パターンを取得し、前記振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定するステップと、

前記励振係数制御部が、前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振係数を制御するステップと、

前記学習装置が、学習モデルを生成するステップと、を備え、

前記誤差推定部は、前記振幅パターンを前記学習モデルに与えて、前記学習モデルから、前記励振振幅位相誤差を取得し、

前記学習装置は、前記アレーアンテナの前記振幅パターンと前記振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得する学習データ取得部と、前記学習データ取得部により取得された学習データを前記学習モデルに与えて、前記振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を前記学習モデルに学習させる学習処理部と、を備え、

前記学習データ取得部は、前記学習データに含まれている前記励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得し、

前記アレーアンテナの振幅パターンは、2つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わされている2次元パターンであり、

前記学習データ取得部は、前記学習データとして、それぞれのカット面の振幅パターンと、それぞれのカット面の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得することを特徴とするアンテナ制御方法。

【請求項 7】

複数のアンテナ素子を有する前記アレーアンテナと、

請求項 1 から請求項 4 のうちのいずれか 1 項記載のアンテナ制御装置と、

複数の送信信号のそれぞれに励振係数を乗算し、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号をそれぞれのアンテナ素子に出力する送信ビーム形成部とを備え、

前記励振係数制御部は、前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、前記送信ビーム形成部によって、それぞれの送信信号に乘算される励振係数を制御することを特徴とするアンテナ装置。

【請求項 8】

複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナと、

請求項 1 から請求項 4 のうちのいずれか 1 項記載のアンテナ制御装置と、

それぞれのアンテナ素子により受信された信号である受信信号に励振係数を乗算し、励振係数乗算後の複数の受信信号を合成する受信ビーム形成部とを備え、

前記励振係数制御部は、前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、前記受信ビーム形成部によって、それぞれの受信信号に乘算される励振係数を制御することを特徴とするアンテナ装置。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

複数の送信用アンテナ素子を有する第１のアレーアンテナと、
複数の受信用アンテナ素子を有する第２のアレーアンテナと、
請求項１から請求項４のうちのいずれか１項記載のアンテナ制御装置と、
複数の送信信号のそれぞれに励振係数を乗算し、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号をそれぞれの送信用アンテナ素子に出力する送信ビーム形成部と、
それぞれの受信用アンテナ素子により受信された信号である受信信号に励振係数を乗算し、励振係数乗算後の複数の受信信号を合成する受信ビーム形成部とを備え、
前記励振係数制御部は、前記誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、前記送信ビーム形成部によって、それぞれの送信信号に乘算される励振係数を制御し、かつ、前記受信ビーム形成部によって、それぞれの受信信号に乘算される励振係数を制御することを特徴とするアンテナ装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、アンテナ制御装置、アンテナ制御方法及びアンテナ装置に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

電波を通信対象機器に向けて送信する第１のアレーアンテナと、通信対象機器から送信された電波を受信する第２のアレーアンテナとを備えるアンテナ装置がある（例えば、特許文献１を参照）。

20

当該アンテナ装置は、自己の位置と通信対象機器の位置との相対位置に応じて、第１のアレーアンテナに含まれている複数のアンテナ素子のそれぞれに送信される信号に乘算される重み係数（以下「励振係数」という）を決定する係数決定手段を備えている。また、当該係数決定手段は、当該相対位置に応じて、第２のアレーアンテナに含まれている複数のアンテナ素子のそれぞれに受信された信号に乘算される励振係数を決定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【文献】特開２００１－３２６５２５号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

アンテナ装置には、経年劣化が生じ得る。アンテナ装置の使用環境は、変化することがある。アンテナ装置の使用環境の変化としては、例えば、アンテナ装置の外部からの外来ノイズの変化、第２のアレーアンテナに接続されている受信機から生じる熱雑音の変化、又は、第１のアレーアンテナに接続されている送信機から生じる熱雑音の変化がある。例えば、アンテナ装置の経年劣化、又は、アンテナ装置の使用環境の変化は、アンテナ素子の励振係数が適正な励振係数からずれる原因になることがある。

特許文献１に開示されているアンテナ装置では、係数決定手段により決定されたそれぞれのアンテナ素子の励振係数が、適正な励振係数からずれてしまうことがあるという課題があった。

40

【０００５】

本開示は、上記のような課題を解決するためになされたもので、それぞれのアンテナ素子の励振係数のずれを抑えることができるアンテナ制御装置及びアンテナ制御方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本開示に係るアンテナ制御装置は、複数のアンテナ素子を有するアレーアンテナの振幅パターンを取得し、振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定する誤差推定部

50

と、誤差推定部により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子の励振係数を制御する励振係数制御部とを備え、誤差推定部は、振幅パターンを学習モデルに与えて、学習モデルから、励振振幅位相誤差を取得し、学習装置は、アレーアンテナの振幅パターンと振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得する学習データ取得部と、学習データ取得部により取得された学習データを学習モデルに与えて、振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデルに学習させる学習処理部と、を備え、学習データ取得部は、学習データに含まれている励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得し、学習処理部は、学習データ取得部により取得された学習データに含まれている振幅パターンのうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを学習モデルに与える。

10

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、それぞれのアンテナ素子の励振係数のずれを抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1に係るアンテナ制御装置10を含むアンテナ装置を示す構成図である。

20

【図2】実施の形態1に係るアンテナ制御装置10のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

【図3】アンテナ制御装置10が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

【図4】アンテナ制御装置10の処理手順であるアンテナ制御方法を示すフローチャートである。

【図5】学習モデルを実現するニューラルネットワークを示す説明図である。

【図6】図6Aは、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 の一例を示す説明図である。図6Bは、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$)、又は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$)の一例を示す説明図である。

30

【図7】アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 のシミュレーション結果、又は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 のシミュレーション結果を示す説明図である。

【図8】学習データ D_1 に含まれているアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、学習データ D_2 に含まれているアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 を示す説明図である。

【図9】学習データ D_1 に含まれている振幅パターン P_1 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターン、又は、学習データ D_2 に含まれている振幅パターン P_2 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンを示す説明図である。

【図10】2つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わされている2次元パターンを示す説明図である。

40

【図11】図11Aは、2つのカット面のうち、水平カット面の振幅パターンを示す説明図である。図11Bは、2つのカット面のうち、垂直カット面の振幅パターンを示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本開示をより詳細に説明するために、本開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

【0010】

実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係るアンテナ制御装置10を含むアンテナ装置を示す構成図で

50

ある。

図 2 は、実施の形態 1 に係るアンテナ制御装置 10 のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

図 1 において、第 1 のアレーアンテナであるアレーアンテナ 1 は、複数の送信用アンテナ素子として、 K 個のアンテナ素子 $1-1 \sim 1-K$ を有している。 K は、2 以上の整数である。

第 2 のアレーアンテナであるアレーアンテナ 2 は、複数の受信用アンテナ素子として、 G 個のアンテナ素子 $2-1 \sim 2-G$ を有している。 G は、2 以上の整数である。 $K = G$ であってもよいし、 $K \neq G$ であってもよい。

図 1 に示すアンテナ装置は、送信用のアレーアンテナ 1 と受信用のアレーアンテナ 2 とを備えている。しかし、これは一例に過ぎず、アンテナ装置は、送信用のアレーアンテナ 1、又は、受信用のアレーアンテナ 2 のいずれか一方だけを備えるものであってもよい。このとき、アレーアンテナ 1、又は、アレーアンテナ 2 が、送信用と受信用とを兼ねる送受兼用のアンテナであってもよい。

【0011】

送信信号生成部 3 は、送信信号 T_x を生成し、送信信号 T_x を送信ビーム形成部 4 に出力する。

送信ビーム形成部 4 は、送信信号生成部 3 により生成された送信信号 T_x を K 個の送信信号 $T_{x1} \sim T_{xK}$ に分配する。

送信ビーム形成部 4 は、分配後のそれぞれの送信信号 T_{xk} ($k = 1, \dots, K$) に励振係数 $EC_{1,k}$ を乗算し、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号 T_{xk}' を送信部 5 に出力する。

図 1 に示すアンテナ装置では、送信ビーム形成部 4 が、送信信号生成部 3 により生成された送信信号 T_x を K 個の送信信号 $T_{x1} \sim T_{xK}$ に分配し、分配後のそれぞれの送信信号 T_{xk} に励振係数 $EC_{1,k}$ を乗算している。しかし、これは一例に過ぎず、送信信号生成部 3 が、 K 個の送信信号 $T_{x1} \sim T_{xK}$ を生成し、送信ビーム形成部 4 が、送信信号生成部 3 により生成されたそれぞれの送信信号 T_{xk} に励振係数 $EC_{1,k}$ を乗算するようにしてもよい。

【0012】

送信部 5 は、送信ビーム形成部 4 から、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号 T_{xk}' ($k = 1, \dots, K$) を取得する。

送信部 5 は、それぞれの送信信号 T_{xk}' の周波数を IF (Intermediate Frequency) 帯の周波数から RF (Radio Frequency) 帯の周波数に変換する。

送信部 5 は、周波数変換後のそれぞれの送信信号 T_{xk}' を増幅し、増幅後のそれぞれの送信信号 T_{xk}'' をアンテナ素子 $1-k$ ($k = 1, \dots, K$) に出力する。

【0013】

受信部 6 は、アレーアンテナ 2 のアンテナ素子 $2-g$ ($g = 1, \dots, G$) により受信された電波の受信信号 R_{xg} の周波数を RF 帯の周波数から IF 帯の周波数に変換する。

受信部 6 は、周波数変換後のそれぞれの受信信号を増幅し、増幅後のそれぞれの受信信号 R_{xg}' を受信ビーム形成部 7 に出力する。

【0014】

受信ビーム形成部 7 は、受信部 6 から、増幅後のそれぞれの受信信号 R_{xg}' ($g = 1, \dots, G$) を取得する。

受信ビーム形成部 7 は、それぞれの受信信号 R_{xg}' に励振係数 $EQ_{2,g}$ を乗算する。
受信ビーム形成部 7 は、励振係数乗算後の G 個の受信信号 $R_{x1} \sim R_{xG}$ を合成し、 G 個の受信信号 $R_{x1} \sim R_{xG}$ の合成信号 S を図示せぬ受信装置に出力する。

【0015】

アンテナ制御装置 10 は、学習装置 11、学習モデル記憶部 14、誤差推定部 15 及び

10

20

30

40

50

励振係数制御部 16 を備えている。

学習装置 11 は、学習データ取得部 12 及び学習処理部 13 を備えている。

学習装置 11 は、アレーアンテナ 1 用の学習モデル GM_1 を生成し、学習モデル GM_1 を学習モデル記憶部 14 に記憶させる。

また、学習装置 11 は、アレーアンテナ 2 用の学習モデル GM_2 を生成し、学習モデル GM_2 を学習モデル記憶部 14 に記憶させる。

図 1 に示すアンテナ装置では、学習装置 11 が、アレーアンテナ 1 用の学習モデル GM_1 とアレーアンテナ 2 用の学習モデル GM_2 とを生成している。しかし、これは一例に過ぎず、学習装置 11 が、アレーアンテナ 1 とアレーアンテナ 2 との共用の学習モデル GM を生成するようにしてもよい。

【0016】

学習データ取得部 12 は、例えば、図 2 に示す学習データ取得回路 21 によって実現される。

学習データ取得部 12 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 と、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$) とを含む学習データ D_1 を取得する。励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ は、アンテナ素子 $1-k$ の励振振幅誤差とアンテナ素子 $1-k$ の励振位相誤差とを含んでいる。

また、学習データ取得部 12 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 と、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$) とを含む学習データ D_2 を取得する。励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ は、アンテナ素子 $2-g$ の励振振幅誤差とアンテナ素子 $2-g$ の励振位相誤差とを含んでいる。

【0017】

学習処理部 13 は、例えば、図 2 に示す学習処理回路 22 によって実現される。

学習処理部 13 は、学習データ取得部 12 により取得された学習データ D_1 を学習モデル GM_1 に与えて、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を学習モデル GM_1 に学習させる。

また、学習処理部 13 は、学習データ取得部 12 により取得された学習データ D_2 を学習モデル GM_2 に与えて、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を学習モデル GM_2 に学習させる。

学習データ D_1 は、例えば、互いに異なる複数のエリアでアレーアンテナ 1 が使用される場合に、それぞれのエリアで使用されたときのアレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 と、当該振幅パターン P_1 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ とを含むものである。また、学習データ D_1 は、例えば、アレーアンテナ 1 の使用環境が変化する場合に、互いに異なる複数の使用環境のそれぞれで使用されたときのアレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 と、当該振幅パターン P_1 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ とを含むものである。

学習データ D_2 は、例えば、互いに異なる複数のエリアでアレーアンテナ 2 が使用される場合に、それぞれのエリアで使用されたときのアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 と、当該振幅パターン P_2 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ とを含むものである。また、学習データ D_2 は、例えば、アレーアンテナ 2 の使用環境が変化する場合に、互いに異なる複数の使用環境のそれぞれで使用されたときのアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 と、当該振幅パターン P_2 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ とを含むものである。

学習処理部 13 は、学習済みの学習モデル GM_1 及び学習済みの学習モデル GM_2 のそれぞれを学習モデル記憶部 14 に記憶させる。

【0018】

学習モデル記憶部 14 は、例えば、図 2 に示す学習モデル記憶回路 23 によって実現される。

学習モデル記憶部 14 は、学習済みの学習モデル GM_1 及び学習済みの学習モデル GM_2 のそれぞれを記憶する。

【0019】

誤差推定部 15 は、例えば、図 2 に示す誤差推定回路 24 によって実現される。

誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 及びアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のそれぞれを取得する。

誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に基づいて、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$) を推定する。

具体的には、誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 を学習済みの学習モデル GM_1 に与えて、学習モデル GM_1 から、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を取得する。

また、誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に基づいて、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$) を推定する。

具体的には、誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 を学習済みの学習モデル GM_2 に与えて、学習モデル GM_2 から、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を取得する。

誤差推定部 15 は、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ 及び励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ のそれぞれを励振係数制御部 16 に出力する。

【0020】

図 1 に示すアンテナ制御装置 10 では、誤差推定部 15 が、振幅パターン P_1 を学習モデル GM_1 に与えて、学習モデル GM_1 から励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を取得し、振幅パターン P_2 を学習モデル GM_2 に与えて、学習モデル GM_2 から励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を取得している。しかし、これは一例に過ぎず、誤差推定部 15 が、例えば、ルールベースに従って、振幅パターン P_1 から励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を推定し、ルールベースに従って、振幅パターン P_2 から励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を推定するようにしてもよい。

【0021】

励振係数制御部 16 は、例えば、図 2 に示す励振係数制御回路 25 によって実現される。

励振係数制御部 16 は、誤差推定部 15 から、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$) 及び励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$) のそれぞれを取得する。

励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ に基づいて、アンテナ素子 $1-k$ ($k=1, \dots, K$) の励振係数 $EC_{1,k}$ を制御する。即ち、励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ に基づいて、送信ビーム形成部 4 によって送信信号に乗算される励振係数 $EC_{1,k}$ を制御する。

また、励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ に基づいて、アンテナ素子 $2-g$ ($g=1, \dots, G$) の励振係数 $EC_{2,g}$ を制御する。即ち、励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ に基づいて、受信ビーム形成部 7 によって受信信号に乗算される励振係数 $EC_{2,g}$ を制御する。

【0022】

図 1 では、アンテナ制御装置 10 の構成要素である学習データ取得部 12、学習処理部 13、学習モデル記憶部 14、誤差推定部 15 及び励振係数制御部 16 のそれぞれが、図 2 に示すような専用のハードウェアによって実現されるものを想定している。即ち、アンテナ制御装置 10 が、学習データ取得回路 21、学習処理回路 22、学習モデル記憶回路 23、誤差推定回路 24 及び励振係数制御回路 25 によって実現されるものを想定している。

ここで、学習モデル記憶回路 23 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 等の不揮発性又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、あるいは、DVD (Digital Versatile Disc) が該当する。

また、学習データ取得回路 21、学習処理回路 22、誤差推定回路 24 及び励振係数制御回路 25 のそれぞれは、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)、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

【0023】

アンテナ制御装置10の構成要素は、専用のハードウェアによって実現されるものに限るものではなく、アンテナ制御装置10が、ソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現されるものであってもよい。

ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、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、あるいは、DSP (Digital Signal Processor) が該当する。

【0024】

図3は、アンテナ制御装置10が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

アンテナ制御装置10が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合、学習モデル記憶部14がコンピュータのメモリ31上に構成される。学習データ取得部12、学習処理部13、誤差推定部15及び励振係数制御部16におけるそれぞれの処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムがメモリ31に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ32がメモリ31に格納されているプログラムを実行する。

【0025】

また、図2では、アンテナ制御装置10の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアによって実現される例を示し、図3では、アンテナ制御装置10がソフトウェア又はファームウェア等によって実現される例を示している。しかし、これは一例に過ぎず、アンテナ制御装置10における一部の構成要素が専用のハードウェアによって実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェア等によって実現されるものであってもよい。

【0026】

次に、図1に示すアンテナ装置の動作について説明する。

図4は、アンテナ制御装置10の処理手順であるアンテナ制御方法を示すフローチャートである。

【0027】

学習装置11により生成される、アレーアンテナ1用の学習モデル GM_1 とアレーアンテナ2用の学習モデル GM_2 とは、例えば、図5に示すようなニューラルネットワークによって実現される。

図5は、学習モデルを実現するニューラルネットワークを示す説明図である。

図5に示すニューラルネットワークは、入力層、中間層及び出力層を有している。

図5に示すニューラルネットワークでは、入力層が X_1 , X_2 , X_3 であり、中間層が Y_1 , Y_2 であり、出力層が Z_1 , Z_2 , Z_3 である。

図5に示すニューラルネットワークでは、中間層が1層である。しかし、これは一例に過ぎず、中間層が2層以上あってもよい。

学習装置11の学習処理部13が用いる学習アルゴリズムとしては、教師あり学習、半教師あり学習、教師なし学習、深層学習 (Deep Learning)、又は、強化学習等の公知のアルゴリズムがある。深層学習は、特徴量そのものの抽出を学習する学習アルゴリズムである。強化学習は、例えば、遺伝的プログラミング、機能論理プログラミング、又は、サポートベクターマシンに従う学習アルゴリズムである。

ここでは、学習処理部13が、学習アルゴリズムとして、教師あり学習を用いる例を説明する。

【0028】

図6Aは、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 の一例を示す説明図である。

図6Bは、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$)、又は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$) の一例を示す説明図である。

図6Aにおいて、横軸は、アレーアンテナ1, 2の角度 [deg.]、縦軸は、正規化

10

20

30

40

50

された振幅 [dB] である。

図 6 A の例では、アレーアンテナ 1 についての複数の振幅パターン P_1 、又は、アレーアンテナ 2 についての複数の振幅パターン P_2 が示されている。

図 6 B において、横軸は、アンテナ素子 $1-k$ ($k=1, \dots, K$) の素子番号、又は、アンテナ素子 $2-g$ ($g=1, \dots, G$) の素子番号である。

縦軸は、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ に含まれている励振振幅誤差及び励振位相誤差のそれぞれ、又は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ に含まれている励振振幅誤差及び励振位相誤差のそれぞれが示されている。

【0029】

アンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) で生じる励振振幅誤差は、基準の振幅パターン P_{std} に対応するアンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) の励振振幅と、振幅パターン P_1 (または P_2) に対応するアンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) の励振振幅との誤差である。基準の振幅パターン P_{std} は、励振振幅誤差及び励振位相誤差のそれぞれが生じない理想の振幅パターンである。

また、アンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) で生じる励振位相誤差は、基準の振幅パターン P_{std} に対応するアンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) の励振位相と、振幅パターン P_1 (または P_2) に対応するアンテナ素子 $1-k$ (または $2-g$) の励振位相との誤差である。

図 6 A の例では、主ビームの角度が 0 [deg.] である複数の振幅パターン P_1 を示している。しかし、これは一例に過ぎず、主ビームの角度が 0 [deg.] 以外の角度である複数の振幅パターン P_1 が学習データ D_1 に含まれていてもよい。

【0030】

学習装置 11 の学習データ取得部 12 は、図 6 A に示すようなアレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 と、図 6 B に示すような励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$) とを含む学習データ D_1 を 1 つ以上取得する。

学習データ取得部 12 により取得される学習データ D_1 は、主ビームの角度が 0 [deg.] である振幅パターン P_1 を含むものに限るものではなく、主ビームの角度が 0 [deg.] 以外の角度である振幅パターン P_1 を含むものであってもよい。

学習データ取得部 12 は、1 つ以上の学習データ D_1 を学習処理部 13 に出力する。

励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に対応している。つまり、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に対する励振振幅位相誤差の正解値である。

【0031】

学習処理部 13 は、学習データ取得部 12 から、1 つ以上の学習データ D_1 を取得する。

学習処理部 13 は、それぞれの学習データ D_1 を学習モデル GM_1 の入力層に与えて、それぞれの学習データ D_1 に含まれている振幅パターン P_1 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を学習モデル GM_1 に学習させる。

即ち、学習処理部 13 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 が学習モデル GM_1 の入力層に与えられると、学習モデル GM_1 の出力層から、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ ($k=1, \dots, K$) が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。

【0032】

また、学習データ取得部 12 は、図 6 A に示すようなアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 と、図 6 B に示すような励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ ($g=1, \dots, G$) とを含む学習データ D_2 を 1 つ以上取得する。

学習データ取得部 12 により取得される学習データ D_2 は、主ビームの角度が 0 [deg.] である振幅パターン P_1 を含むものに限るものではなく、主ビームの角度が 0 [deg.] 以外の角度である振幅パターン P_2 を含むものであってもよい。

学習データ取得部 12 は、1 つ以上の学習データ D_2 を学習処理部 13 に出力する。

励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に対応している。つ

まり、アンテナ素子 $2 - g$ の励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に対する励振振幅位相誤差の正解値である。

【0033】

学習処理部 13 は、学習データ取得部 12 から、1 つ以上の学習データ D_2 を取得する。

学習処理部 13 は、それぞれの学習データ D_2 を学習モデル GM_2 の入力層に与えて、それぞれの学習データ D_2 に含まれている振幅パターン P_2 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ を学習モデル GM_2 に学習させる。

即ち、学習処理部 13 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 が学習モデル GM_2 の入力層に与えられると、学習モデル GM_2 の出力層から、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ ($g = 1, \dots, G$) が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。

学習処理部 13 は、学習済みの学習モデル GM_1 及び学習済みの学習モデル GM_2 のそれぞれを学習モデル記憶部 14 に記憶させる。

【0034】

アレーアンテナ 1 及びアレーアンテナ 2 におけるそれぞれの運用が開始されると、誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 及びアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のそれぞれを取得する（図 4 のステップ ST1）。

アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 及びアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のそれぞれは、例えば、図示せぬ測定装置によって測定された振幅パターンである。

誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 を、学習モデル記憶部 14 に記憶されている学習済みの学習モデル GM_1 の入力層に与える。学習モデル GM_1 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 が入力層に与えると、出力層から、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ ($k = 1, \dots, K$) を出力する。

誤差推定部 15 は、学習モデル GM_1 の出力層から、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ を取得する（図 4 のステップ ST2）。

【0035】

また、誤差推定部 15 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 を、学習モデル記憶部 14 に記憶されている学習済みの学習モデル GM_2 の入力層に与える。学習モデル GM_2 は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 が入力層に与えると、出力層から、励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ ($g = 1, \dots, G$) を出力する。

誤差推定部 15 は、学習モデル GM_2 の出力層から出力された励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ を取得する（図 4 のステップ ST2）。

誤差推定部 15 は、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ 及び励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ のそれぞれを励振係数制御部 16 に出力する。

【0036】

励振係数制御部 16 は、誤差推定部 15 から、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ ($k = 1, \dots, K$) 及び励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ ($g = 1, \dots, G$) のそれぞれを取得する。

励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ に基づいて、送信ビーム形成部 4 によって送信信号 Tx_k に乗算される励振係数 $EC_{1, k}$ を制御する（図 4 のステップ ST3）。

即ち、励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ ($k = 1, \dots, K$) が零になる励振係数 $EC_{1, k}$ を算出する。励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ が零になる励振係数 $EC_{1, k}$ を算出する処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ が零になる励振係数 $EC_{1, k}$ とは、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差 $E_{1, k}$ が概ね零になるものを含む概念である。

励振係数制御部 16 は、励振係数 $EC_{1, k}$ ($k = 1, \dots, K$) を送信ビーム形成部 4 に出力する。

【0037】

また、励振係数制御部 16 は、励振振幅位相誤差 $E_{2, g}$ ($g = 1, \dots, G$) に基づ

いて、受信ビーム形成部 7 によって受信信号 $R \times g$ に乗算される励振係数 $E C_2, g$ を制御する（図 4 のステップ S T 4）。

即ち、励振係数制御部 1 6 は、励振振幅位相誤差 E_2, g ($g = 1, \dots, G$) が零になる励振係数 $E C_2, g$ を算出する。励振振幅位相誤差 E_2, g が零になる励振係数 $E C_2, g$ を算出する処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。励振振幅位相誤差 E_2, g が零になる励振係数 $E C_2, g$ とは、励振振幅位相誤差 E_2, g が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差 E_2, g が概ね零になるものを含む概念である。

励振係数制御部 1 6 は、励振係数 $E C_2, g$ ($g = 1, \dots, G$) を受信ビーム形成部 7 に出力する。

【0038】

送信信号生成部 3 は、送信信号 $T x$ を生成し、送信信号 $T x$ を送信ビーム形成部 4 に出力する。

送信ビーム形成部 4 は、送信信号生成部 3 から送信信号 $T x$ を取得し、励振係数制御部 1 6 から励振係数 $E C_1, k$ ($k = 1, \dots, K$) を取得する。

送信ビーム形成部 4 は、送信信号 $T x$ を K 個の送信信号 $T x_1 \sim T x_K$ に分配する。

送信ビーム形成部 4 は、分配後のそれぞれの送信信号 $T x_k$ ($k = 1, \dots, K$) に励振係数 $E C_1, k$ を乗算し、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号 $T x_k'$ を送信部 5 に出力する。

【0039】

送信部 5 は、送信ビーム形成部 4 から、励振係数乗算後のそれぞれの送信信号 $T x_k'$ ($k = 1, \dots, K$) を取得する。

送信部 5 は、それぞれの送信信号 $T x_k'$ の周波数を I F 帯の周波数から R F 帯の周波数に変換する。

送信部 5 は、周波数変換後のそれぞれの送信信号 $T x_k'$ を増幅し、増幅後のそれぞれの送信信号 $T x_k''$ をアンテナ素子 1 - k ($k = 1, \dots, K$) に出力する。

アレーアンテナ 1 のアンテナ素子 1 - k は、送信信号 $T x_k''$ を電波として空間に放射する。

【0040】

アレーアンテナ 2 のアンテナ素子 2 - g ($g = 1, \dots, G$) は、電波を受信して、電波の受信信号 $R x_g$ を受信部 6 に出力する。

受信部 6 は、アンテナ素子 2 - g ($g = 1, \dots, G$) から、受信信号 $R x_g$ を取得する。

受信部 6 は、受信信号 $R x_g$ の周波数を R F 帯の周波数から I F 帯の周波数に変換する。

受信部 6 は、周波数変換後のそれぞれの受信信号を増幅し、増幅後のそれぞれの受信信号 $R x_g'$ を受信ビーム形成部 7 に出力する。

【0041】

受信ビーム形成部 7 は、受信部 6 から、増幅後のそれぞれの受信信号 $R x_g'$ ($g = 1, \dots, G$) を取得し、励振係数制御部 1 6 から励振係数 $E C_2, g$ を取得する。

受信ビーム形成部 7 は、それぞれの受信信号 $R x_g'$ に励振係数 $E C_2, g$ を乗算する。

受信ビーム形成部 7 は、励振係数乗算後の G 個の受信信号 $R x_1 \sim R x_G$ を合成し、 G 個の受信信号 $R x_1 \sim R x_G$ の合成信号 S を図示せぬ受信装置に出力する。

【0042】

図 7 は、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 のシミュレーション結果、又は、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のシミュレーション結果を示す説明図である。

図 7 において、横軸は、アレーアンテナ 1, 2 の角度 [deg.]、縦軸は、正規化された振幅 [dB] である。

図 7 は、16 本のアンテナ素子 1 - 1 ~ 1 - 16 が直線上に配列されているアレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 のシミュレーション結果、又は、16 本のアンテナ素子 2 - 1

10

20

30

40

50

～2-16が直線上に配列されているアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 のシミュレーション結果を示している。

【0043】

実線は、送信ビーム形成部4により励振係数 $EC_{1,k}$ が乗算されたときのアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、受信ビーム形成部7により励振係数 $EC_{2,g}$ が乗算されたときのアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 を示している。即ち、学習済みの学習モデル GM_1 から出力された励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ に基づいて励振係数 $EC_{1,k}$ が制御されたときのアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、学習済みの学習モデル GM_2 から出力された励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ に基づいて励振係数 $EC_{2,g}$ が制御されたときのアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 を示している。

10

点線は、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ が考慮されている正解の振幅パターン P_1 、又は、励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ が考慮されている正解の振幅パターン P_2 である。

破線は、誤差のない振幅パターン P_1 のノミナル、又は、誤差のない振幅パターン P_2 のノミナルである。実線が示す振幅パターン P_1 又は振幅パターン P_2 と、破線が示す振幅パターン P_1 又は振幅パターン P_2 とは、よく対応していることが分かる。

【0044】

以上の実施の形態1では、複数のアンテナ素子 $1-1 \sim 1-K$ （または $2-1 \sim 2-G$ ）を有するアレーアンテナ1（または2）の振幅パターンを取得し、振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定する誤差推定部15と、誤差推定部15により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振係数を制御する励振係数制御部16とを備えるように、アンテナ制御装置10を構成した。したがって、アンテナ制御装置10は、それぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振係数のずれを抑えることができる。

20

それぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振係数のずれが抑えられることで、例えば、アンテナ装置の経年劣化、又は、アンテナ装置の使用環境の変化が生じて、アレーアンテナ1（または2）の指向方向が所望の指向方向からずれることが抑えられる。

【0045】

図1に示すアンテナ制御装置10では、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を含む学習データ D_1 が学習モデル GM_1 の入力層に与えられている。また、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 に対応している励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を含む学習データ D_2 が学習モデル GM_2 の入力層に与えられている。

30

学習データ D_1 に含まれている励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ の分布及び学習データ D_2 に含まれている励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ の分布のそれぞれは、正規分布であるものであってもよい。例えば、学習データ取得部12は、学習データに含まれている励振振幅位相誤差として、それぞれのアンテナ素子の励振振幅誤差の分布が正規分布である励振振幅誤差と、それぞれのアンテナ素子の励振位相誤差の分布が正規分布である励振位相誤差と、をアンテナ素子毎に異なる値として取得する。また、励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ 及び励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ のそれぞれは、測定データを基にモデル化された関数から取得されたものであってもよい。

40

【0046】

図1に示すアンテナ制御装置10では、学習装置11が、アレーアンテナ1用の学習モデル GM_1 とアレーアンテナ2用の学習モデル GM_2 とを生成している。しかし、これは一例に過ぎず、学習装置11が、アレーアンテナ1とアレーアンテナ2との共用の学習モデル GM を生成するようにしてもよい。

学習装置11が、アレーアンテナ1とアレーアンテナ2との共用の学習モデル GM を生成する場合、学習モデル GM の入力層に与えられる学習データは、アレーアンテナ1が使用されたときのアレーアンテナ1の振幅パターンと、当該振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差とを含むものである。また、学習モデル GM の入力層に与えられる学習データ

50

は、アレーアンテナ2が使用されたときのアレーアンテナ2の振幅パターンと、当該振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差とを含むものである。

このとき、アレーアンテナ1が使用されるエリアとアレーアンテナ2が使用されるエリアとは、同一エリアであってもよいし、異なるエリアであってもよい。

また、学習モデルGMの入力層に与えられる学習データは、アレーアンテナ1, 2以外のアレーアンテナが使用されたときの当該アレーアンテナの振幅パターンと、当該振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差とを含むものであってもよい。

【0047】

図1に示すアンテナ装置は、アンテナ制御装置10を備えている。しかし、これは一例に過ぎず、例えば、アンテナ装置がアンテナ制御装置10を備えずに、アンテナ制御装置10が、例えば、クラウドサーバ上に存在しているものであってもよい。

【0048】

実施の形態2.

実施の形態2では、学習データ取得部12が、学習データ D_1 , D_2 に含まれているアレーアンテナ1, 2の振幅パターン P_1 , P_2 として、アレーアンテナ1, 2の角度に対応する振幅に、励振振幅誤差に含まれる熱雑音の影響に伴う振幅誤差 ΔP_1 , ΔP_2 を含んでいる振幅パターンを取得するアンテナ制御装置10について説明する。

実施の形態2に係るアンテナ装置の構成は、実施の形態1に係るアンテナ装置の構成と同様であり、実施の形態2に係るアンテナ装置を示す構成図は、図1である。

【0049】

誤差推定部15により取得される、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 及びアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 のそれぞれは、例えば、図示せぬ測定装置によって測定された振幅パターンである。

測定装置によって測定された振幅パターンの信号電力が低い場合、当該振幅パターンは、例えば、アレーアンテナ2に接続されている受信機の熱雑音の影響を受けることがある。

実施の形態2に係るアンテナ制御装置10では、熱雑音の影響を低減するために、学習データ取得部12が、以下の示すような学習データ D_1 , D_2 を取得し、学習データ D_1 を学習モデル GM_1 の入力層に与えて、学習データ D_2 を学習モデル GM_2 の入力層に与えるようにする。

【0050】

図8は、学習データ D_1 に含まれているアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、学習データ D_2 に含まれているアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 を示す説明図である。

図8において、横軸は、アレーアンテナ1, 2の角度[deg.]、縦軸は、正規化された振幅[dB]である。

破線は、熱雑音がない理想的な条件におけるアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 、又は、熱雑音がない理想的な条件におけるアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 を示している。

実線は、雑音モデルから得られる、それぞれの角度において振幅誤差 ΔP_1 を含む振幅パターン P_1' 、又は、雑音モデルから得られる、それぞれの角度において振幅誤差 ΔP_2 を含む振幅パターン P_2' を示している。雑音モデルは、アレーアンテナ1の角度に対応する、熱雑音の影響に伴う振幅誤差 ΔP_1 を出力するモデル、又は、アレーアンテナ2の角度に対応する、熱雑音の影響に伴う振幅誤差 ΔP_2 を出力するモデルである。雑音モデル自体は、公知のモデルであるため、詳細な説明を省略する。熱雑音の分布は、どのような分布であってもよいが、例えば、正規分布が考えられる。

【0051】

学習処理部13は、学習データ取得部12から、学習データ D_1 を取得する。学習データ D_1 に含まれているアレーアンテナ1の振幅パターン P_1 は、熱雑音の影響に伴う振幅誤差 ΔP_1 を含んでいる。

学習処理部13は、学習データ D_1 を学習モデル GM_1 の入力層に与えて、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ を学習モデル GM_1 に学習

10

20

30

40

50

させる。

【0052】

学習処理部13は、学習データ取得部12から、学習データ D_2 を取得する。学習データ D_2 に含まれているアレーアンテナ2の振幅パターン P_2 は、熱雑音の影響に伴う振幅誤差 ΔP_2 を含んでいる。

学習処理部13は、学習データ D_2 を学習モデル GM_2 の入力層に与えて、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 に対応する励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ を学習モデル GM_2 に学習させる。

学習処理部13は、学習済みの学習モデル GM_1 及び学習済みの学習モデル GM_2 のそれぞれを学習モデル記憶部14に記憶させる。

10

【0053】

以上の実施の形態2では、学習データ取得部12が、学習データに含まれているアレーアンテナ1（または2）の振幅パターンとして、アレーアンテナ1（または2）の角度に対応する振幅に、熱雑音の影響に伴う振幅誤差を含んでいる振幅パターンを取得するように、アンテナ制御装置10を構成した。したがって、実施の形態2に係るアンテナ制御装置10は、実施の形態1に係るアンテナ制御装置10と同様に、それぞれのアンテナ素子 $1-k$ （または $2-g$ ）の励振係数のずれを抑えることができるほか、実施の形態1に係るアンテナ制御装置10よりも更に熱雑音の影響を抑えることができる。

【0054】

実施の形態3。

20

実施の形態3では、学習処理部13が、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを学習モデルに与えるアンテナ制御装置10について説明する。

実施の形態3に係るアンテナ装置の構成は、実施の形態1に係るアンテナ装置の構成と同様であり、実施の形態3に係るアンテナ装置を示す構成図は、図1である。

【0055】

実施の形態3に係るアンテナ制御装置10では、学習処理部13は、学習データ取得部12により取得された学習データ D_1 に含まれている振幅パターン P_1 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差 $E_{1,k}$ とを学習モデル GM_1 の入力層に与える。そして、学習処理部13は、入力層に与えた振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_1 に学習させる。

30

また、学習処理部13は、学習データ取得部12により取得された学習データ D_2 に含まれている振幅パターン P_2 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンと、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差 $E_{2,g}$ とを学習モデル GM_2 の入力層に与える。そして、学習処理部13は、入力層に与えた振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_2 に学習させる。

【0056】

図9は、学習データ D_1 に含まれている振幅パターン P_1 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターン、又は、学習データ D_2 に含まれている振幅パターン P_2 のうち、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンを示す説明図である。

40

図9において、横軸は、アレーアンテナ1、2の角度[deg.]、縦軸は、正規化された振幅[dB]である。

図9の例では、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンは、約 $-8 \sim$ 約 $+8$ [deg.]の範囲の角度の振幅パターンである。

学習済みの学習モデル GM_1 及び学習済みの学習モデル GM_2 におけるそれぞれの入力層に与えられる振幅パターンが、主ビームに対応する角度範囲の振幅パターンに制限されることで、熱雑音の影響に伴うアレーアンテナ1（または2）の通信性能の劣化を更に抑えることができる。

【0057】

50

実施の形態 4 .

アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 及びアレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のそれぞれは、2 つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わされている 2 次元パターンであることがある。

図 10 は、2 つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わされている 2 次元パターンを示す説明図である。

図 10 において、横軸は、アジマス方向の角度 [deg.]、縦軸は、エレベーション方向の角度 [deg.] である。

図 11 A は、2 つのカット面のうち、水平カット面の振幅パターンを示す説明図である。水平カット面の振幅パターンは、1 次元パターンである。

図 11 B は、2 つのカット面のうち、垂直カット面の振幅パターンを示す説明図である。垂直カット面の振幅パターンは、1 次元パターンである。

図 11 A の例では、2 つのカット面のうち、水平カット面の振幅パターンを示し、図 11 B の例では、2 つのカット面のうち、垂直カット面の振幅パターンを示している。しかし、これは一例に過ぎず、例えば、2 つのカット面のうち、一方のカット面が水平カット面から傾いている斜めのカット面であり、他方のカット面が垂直カット面から傾いている斜めのカット面であってもよい。

【0058】

実施の形態 4 に係るアンテナ装置の構成は、実施の形態 1 に係るアンテナ装置の構成と同様であり、実施の形態 4 に係るアンテナ装置を示す構成図は、図 1 である。

学習データ取得部 12 は、学習データ D_1 として、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 のうち、一方のカット面の 1 次元の振幅パターンと、他方のカット面の 1 次元の振幅パターンと、一方のカット面の 1 次元の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差と、他方のカット面の 1 次元の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データ D_1 を取得する。

また、学習データ取得部 12 は、学習データ D_2 として、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のうち、一方のカット面の 1 次元の振幅パターンと、他方のカット面の 1 次元の振幅パターンと、一方のカット面の 1 次元の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差と、他方のカット面の 1 次元の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データ D_2 を取得する。

【0059】

図 11 の例では、学習データ取得部 12 が、学習データ D_1 として、アレーアンテナ 1 の振幅パターン P_1 のうち、水平カット面における 1 次元の振幅パターンと、垂直カット面における 1 次元の振幅パターンと、水平カット面の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差と、垂直カット面の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データ D_1 を取得する。

また、学習データ取得部 12 が、学習データ D_2 として、アレーアンテナ 2 の振幅パターン P_2 のうち、水平カット面における 1 次元の振幅パターンと、垂直カット面における 1 次元の振幅パターンと、水平カット面の振幅パターンに対応しているアンテナ素子 2-g の励振振幅位相誤差と、垂直カット面の振幅パターンに対応しているアンテナ素子 2-g の励振振幅位相誤差とを含む学習データ D_2 を取得する。

【0060】

学習処理部 13 は、学習データ取得部 12 から、例えば、図 11 に示すような学習データ D_1 を 1 つ以上取得する。

学習処理部 13 は、それぞれの学習データ D_1 を学習モデル GM_1 の入力層に与えて、水平カット面における 1 次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_1 に学習させる。また、学習処理部 13 は、垂直カット面における 1 次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_1 に学習させる。

即ち、学習処理部 13 は、水平カット面における 1 次元の振幅パターンが学習モデル GM_1 の入力層に与えられると、学習モデル GM_1 の出力層から、水平カット面における 1

10

20

30

40

50

次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。また、学習処理部13は、垂直カット面における1次元の振幅パターンが学習モデル GM_1 の入力層に与えられると、学習モデル GM_1 の出力層から、垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。

【0061】

学習処理部13は、学習データ取得部12から、例えば、図11に示すような学習データ D_2 を1つ以上取得する。

学習処理部13は、それぞれの学習データ D_2 を学習モデル GM_2 の入力層に与えて、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_2 に学習させる。また、学習処理部13は、垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を学習モデル GM_2 に学習させる。

即ち、学習処理部13は、水平カット面における1次元の振幅パターンが学習モデル GM_2 の入力層に与えられると、学習モデル GM_2 の出力層から、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。また、学習処理部13は、垂直カット面における1次元の振幅パターンが学習モデル GM_2 の入力層に与えられると、学習モデル GM_2 の出力層から、垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差が出力されるように、ニューラルネットワークの重み $w_{11} - w_{16}$, $w_{21} - w_{26}$ を調整する。

【0062】

アレーアンテナ1及びアレーアンテナ2におけるそれぞれの運用が開始されると、誤差推定部15は、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 として、例えば、水平カット面における1次元の振幅パターンと垂直カット面における1次元の振幅パターンとを取得する。

また、誤差推定部15は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 として、例えば、水平カット面における1次元の振幅パターンと垂直カット面における1次元の振幅パターンとを取得する。

【0063】

誤差推定部15は、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 として、例えば、水平カット面における1次元の振幅パターンを学習済みの学習モデル GM_1 の入力層に与え、学習モデル GM_1 の出力層から、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を取得する。

また、誤差推定部15は、アレーアンテナ1の振幅パターン P_1 として、例えば、垂直カット面における1次元の振幅パターンを学習済みの学習モデル GM_1 の入力層に与え、学習モデル GM_1 の出力層から、垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を取得する。

誤差推定部15は、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差及び垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差のそれぞれを励振係数制御部16に出力する。

【0064】

誤差推定部15は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 として、例えば、水平カット面における1次元の振幅パターンを学習済みの学習モデル GM_2 の入力層に与え、学習モデル GM_2 の出力層から、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を取得する。

また、誤差推定部15は、アレーアンテナ2の振幅パターン P_2 として、例えば、垂直カット面における1次元の振幅パターンを学習済みの学習モデル GM_2 の入力層に与え、学習モデル GM_2 の出力層から、垂直カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差を取得する。

誤差推定部15は、水平カット面における1次元の振幅パターンに対応する励振振幅位

10

20

30

40

50

相誤差及び垂直カット面における１次元の振幅パターンに対応する励振振幅位相誤差のそれぞれを励振係数制御部１６に出力する。

【００６５】

励振係数制御部１６は、誤差推定部１５から、アレーアンテナ１についての、例えば、水平カット面に係る励振振幅位相誤差及び垂直カット面に係る励振振幅位相誤差のそれぞれを取得する。

励振係数制御部１６は、水平カット面に係る励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{1,H,k}$ ($k=1, \dots, K$) を算出する。励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{1,H,k}$ とは、励振振幅位相誤差が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差が概ね零になるものを含む概念である。

10

励振係数制御部１６は、垂直カット面に係る励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{1,V,k}$ ($k=1, \dots, K$) を算出する。励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{1,V,k}$ とは、励振振幅位相誤差が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差が概ね零になるものを含む概念である。

励振係数制御部１６は、励振係数 $EC_{1,H,k}$ が示す励振分布と励振係数 $EC_{1,V,k}$ が示す励振分布との積をとることで、励振係数 $EC_{1,k}$ を算出する。励振係数 $EC_{1,H,k}$ が示す励振分布と励振係数 $EC_{1,V,k}$ が示す励振分布との積をとる処理自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

励振係数制御部１６は、励振係数 $EC_{1,k}$ を送信ビーム形成部４に出力する。

【００６６】

20

励振係数制御部１６は、誤差推定部１５から、アレーアンテナ２についての、例えば、水平カット面に係る励振振幅位相誤差及び垂直カット面に係る励振振幅位相誤差のそれぞれを取得する。

励振係数制御部１６は、水平カット面に係る励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{2,H,g}$ ($g=1, \dots, G$) を算出する。励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{2,H,g}$ とは、励振振幅位相誤差が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差が概ね零になるものを含む概念である。

励振係数制御部１６は、垂直カット面に係る励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{2,V,g}$ ($g=1, \dots, G$) を算出する。励振振幅位相誤差が零になる励振係数 $EC_{2,V,g}$ とは、励振振幅位相誤差が完全に零になるものに限るものではなく、実用上問題のない範囲内で、励振振幅位相誤差が概ね零になるものを含む概念である。

30

励振係数制御部１６は、励振係数 $EC_{2,H,g}$ が示す励振分布と励振係数 $EC_{2,V,g}$ が示す励振分布との積をとることで、励振係数 $EC_{2,g}$ を算出する。

励振係数制御部１６は、励振係数 $EC_{2,g}$ を受信ビーム形成部７に出力する。

【００６７】

以上の実施の形態４では、アレーアンテナ１（または２）の振幅パターンが、２つのカット面におけるそれぞれの振幅パターンが組み合わせられている２次元パターンであり、学習データ取得部１２が、学習データとして、それぞれのカット面の振幅パターンと、それぞれのカット面の振幅パターンに対応している励振振幅位相誤差とを含む学習データを取得するように、アンテナ制御装置１０を構成した。したがって、実施の形態４に係るアンテナ制御装置１０は、実施の形態１に係るアンテナ制御装置１０と同様に、それぞれのアンテナ素子１－ k （または２－ g ）の励振係数のずれを抑えることができる。また、実施の形態４に係るアンテナ制御装置１０は、実施の形態１に係るアンテナ制御装置１０よりも、学習処理部１３における学習処理の処理負荷を軽減することができる。

40

【００６８】

なお、本開示は、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【産業上の利用可能性】

【００６９】

本開示は、アンテナ制御装置、アンテナ制御方法及びアンテナ装置に適している。

50

【符号の説明】

【0070】

1 アレーアンテナ（第1のアレーアンテナ）、1-1～1-K アンテナ素子、2 アレーアンテナ（第2のアレーアンテナ）、2-1～2-G アンテナ素子、3 送信信号生成部、4 送信ビーム形成部、5 送信部、6 受信部、7 受信ビーム形成部、10 アンテナ制御装置、11 学習装置、12 学習データ取得部、13 学習処理部、14 学習モデル記憶部、15 誤差推定部、16 励振係数制御部、21 学習データ取得回路、22 学習処理回路、23 学習モデル記憶回路、24 誤差推定回路、25 励振係数制御回路、31 メモリ、32 プロセッサ。

10

20

30

40

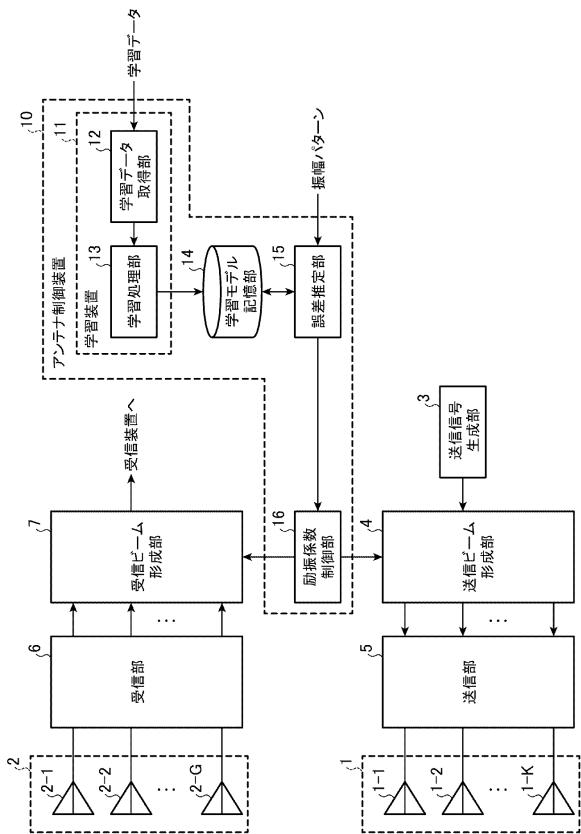
50

【要約】

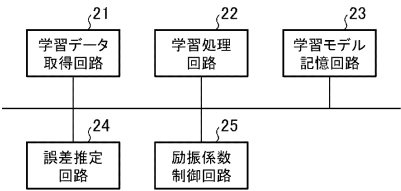
複数のアンテナ素子（ $1-k$ または $2-g$ ）を有するアレーアンテナ（ 1 または 2 ）の振幅パターンを取得し、振幅パターンに基づいて、それぞれのアンテナ素子（ $1-k$ または $2-g$ ）の励振振幅誤差とそれぞれのアンテナ素子（ $1-k$ または $2-g$ ）の励振位相誤差とを含む励振振幅位相誤差を推定する誤差推定部（ 15 ）と、誤差推定部（ 15 ）により推定された励振振幅位相誤差に基づいて、それぞれのアンテナ素子（ $1-k$ または $2-g$ ）の励振係数を制御する励振係数制御部（ 16 ）とを備えるように、アンテナ制御装置（ 10 ）を構成した。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

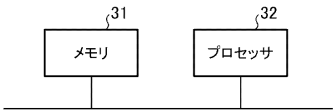
20

30

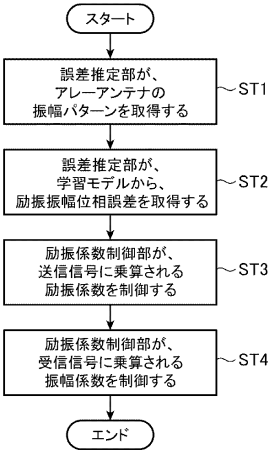
40

50

【図 3】

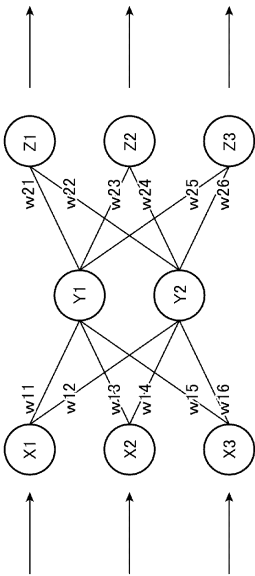


【図 4】

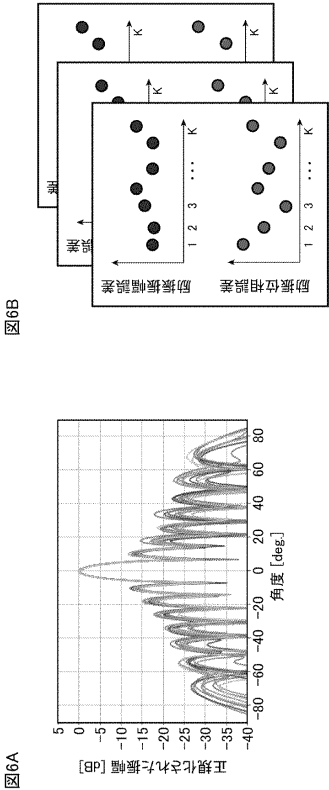


10

【図 5】



【図 6】



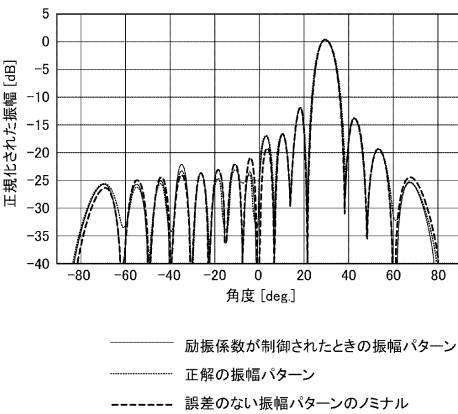
20

30

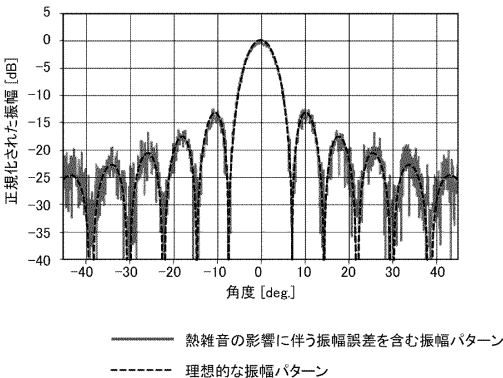
40

50

【図 7】

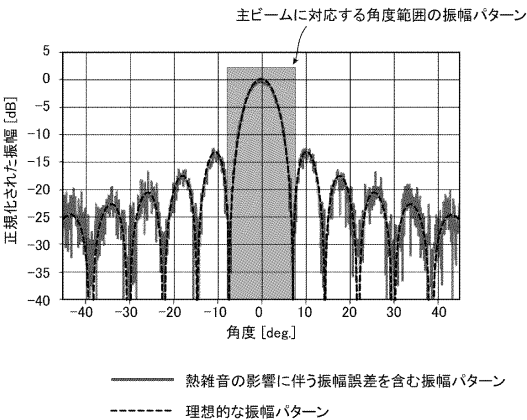


【図 8】

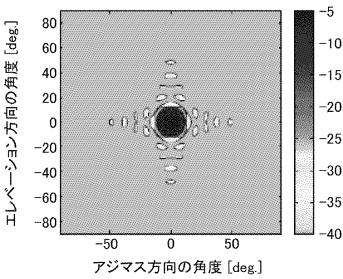


10

【図 9】



【図 10】



20

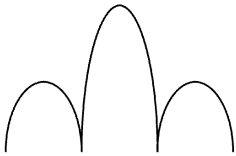
30

40

50

【図 1 1】

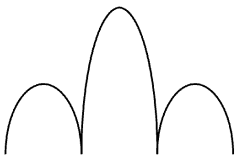
図11A



水平カット面

10

図11B



垂直カット面

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-63229 (JP, A)
特開2016-119646 (JP, A)
特開2003-198508 (JP, A)
特開2005-130323 (JP, A)
米国特許出願公開第2018/0337738 (US, A1)
米国特許第11115136 (US, B1)
SAVITHA, Ramasamy et al., Projection-Based Fast Learning Fully Complex-Valued Relaxation Neural Network, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2013年01月17日, VOL.24, No.4, pp.529-541
神谷 幸宏、川島 幸之助, 情報・符号理論, 第1版, 株式会社オーム社, 2012年03月22日
KIHARA, Kazunari et al., Time-Modulated Array Using Phase Shifter for Amplitude-Phase Error Compensation, 2019 IEEE International Symposium on Phased Array System & Technology (PAST), 2020年03月05日
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04B 7/06
H04B 7/08
H01Q 3/26
IEEE Explore