

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 11 月 19 日(19.11.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/173861 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 7/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/062600
- (22) 国際出願日: 2014 年 5 月 12 日(12.05.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大島 正資(OSHIMA, Tadashi); 〒1008310 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 Tokyo (JP). 若山 俊夫(WAKAYAMA, Toshio); 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目 1 2 番 4 号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: CALIBRATION DEVICE

(54) 発明の名称: キャリブレーション装置

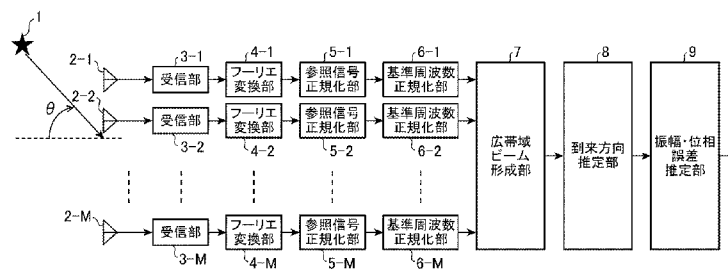


FIG. 1:
3-1, 3-2, 3-M Receiving unit
4-1, 4-2, 4-M Fourier transform unit
5-1, 5-2, 5-M Reference signal normalization unit
6-1, 6-2, 6-M Standard frequency normalization unit
7 Broadband beam-forming unit
8 Incoming direction-estimating unit
9 Amplitude phase error-estimating unit

(57) Abstract: The present invention is provided with: reference signal normalization units (5-1 to 5-M) for normalizing frequency domain signals by designating, as a reference signal, one frequency domain signal pertaining to a receiving antenna (2) among frequency domain signals transformed using Fourier transform units (4-1 to 4-M) and by dividing frequency domain signals transformed using the Fourier transform units (4-1 to 4-M) by the reference signal; and standard frequency normalization units (6-1 to 6-M) for normalizing the frequency domain signals by using a frequency signal that becomes a standard and that is included in the frequency domain signals normalized using the reference signal normalization units (5-1 to 5-M).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/173861 A1



フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号のうち、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係る周波数領域信号を参照信号に設定し、その参照信号でフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号を除算することで、その周波数領域信号を正規化する参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M と、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、その周波数領域信号を正規化する基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M とを設ける。

明 細 書

発明の名称： キャリブレーション装置

技術分野

[0001] この発明は、例えば、電波・光波・音波等などを受信するアレーアンテナを構成している複数のアンテナの振幅・位相誤差を補償するキャリブレーション装置に関するものである。

背景技術

[0002] アレーアンテナを構成している複数のアンテナの受信信号の間に振幅誤差や位相誤差が生じると、著しく受信性能が劣化するため、その振幅誤差や位相誤差を補償するキャリブレーション装置が開発されている。

以下の非特許文献１に開示されているキャリブレーション装置では、各アンテナと受信部の間からキャリブレーション用の信号を注入して、各受信部から出力されたキャリブレーション用の信号を抽出し、それらのキャリブレーション用の信号を比較することで、各アンテナの振幅誤差と位相誤差を推定するキャリブレーション方法を用いている。

しかし、このキャリブレーション方法では、アンテナ本体が有する誤差を排除することができない。また、各アンテナの振幅誤差や位相誤差は経年変化するため、定期的にキャリブレーション用の信号を注入して比較する仕組みが必要になる。

[0003] アンテナ本体と受信部を含む全体の振幅誤差と位相誤差を補償するキャリブレーション方法として、到来方向が既知である放射源から放射された信号を複数のアンテナが受信し、複数のアンテナの受信信号間の振幅及び位相を比較することで、各アンテナの振幅誤差や位相誤差を推定する方法がある。

しかし、このキャリブレーション方法では、到来方向が既知である放射源を複数用意する必要がある。また、各アンテナの振幅誤差や位相誤差の経年変化に対処するには、定期的に上記の推定処理を繰り返し実施する必要がある。

[0004] 以下の非特許文献2には、上記の課題を解決する方法として、到来方向が未知の放射源を用いて、キャリブレーションを行う手法が開示されている。

この手法では、各アンテナの振幅誤差や位相誤差が角度依存性を持たないという前提の下で、アレー素子数×アレー素子数の次元で表されるアレー誤差行列が受信信号に乗算されているモデルを生成し、そのアレー誤差行列を推定することでキャリブレーションを実施している。

しかし、この手法では、アレー誤差行列が対角行列であるという仮定を置いており、実際には、センサ周辺の複雑な反射環境下では、上記の仮定が成立しないことが非特許文献1で述べられている。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：山田、“高分解能到来方向推定のためのアレーキャリブレーション手法” 電子情報通信学会論文誌B、Vol. J92-B No.9, pp. 1308-1321

非特許文献2：島田、山田、山口、“独立成分分析を利用した不等間隔リニアアレーのためのブラインドアレー校正手法、” 電子情報通信学会論文誌B、Vol. J91-B No.9, pp. 980-988

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来のキャリブレーション装置は以上のように構成されているので、到来方向が既知である放射源を複数用意しなければ、アレーアンテナを構成している複数のアンテナの振幅誤差や位相誤差を推定することができない課題があった。

また、各アンテナの振幅誤差や位相誤差の経年変化に対処するには、未知の放射源から放射される信号の到来方向を推定する処理とは別個に、上記の誤差の推定処理を定期的に繰り返す必要がある課題があった。

[0007] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、到来方向

が既知である放射源を事前に用意することなく、未知の信号の到来方向を推定する際に、複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を推定することができるキャリブレーション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

[0008] この発明に係るキャリブレーション装置は、到来方向が未知の信号を受信するアレーアンテナと、アレーアンテナを構成している複数の素子アンテナの受信信号を周波数領域の信号に変換する信号変換手段と、信号変換手段により変換された複数の周波数領域の信号のうち、いずれか1つの素子アンテナに係る周波数領域の信号又は事前に取得している未知の信号の周波数スペクトルを参照信号に設定し、その参照信号を用いて、複数の周波数領域の信号を正規化する参照信号正規化手段と、参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を正規化する基準周波数正規化手段と、基準周波数正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を用いて、未知の信号の到来方向を推定する到来方向推定手段とを設け、振幅位相誤差推定手段が、到来方向推定手段により推定された到来方向と参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を用いて、複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を推定するようにしたものである。

発明の効果

[0009] この発明によれば、信号変換手段により変換された複数の周波数領域の信号のうち、いずれか1つの素子アンテナに係る周波数領域の信号又は事前に取得している未知の信号の周波数スペクトルを参照信号に設定し、その参照信号を用いて、複数の周波数領域の信号を正規化する参照信号正規化手段と、参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を正規化する基準周波数正規化手段とを設けるように構成したので、到来方向が既知である放射源を事前に用意すること

なく、未知の信号の到来方向を高精度に推定しながら、複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を推定することができる効果がある。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]この発明の実施の形態1によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図2]この発明の実施の形態2によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図3]この発明の実施の形態3によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図4]この発明の実施の形態4によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図5]この発明の実施の形態5によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図6]この発明の実施の形態6によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

[図7]この発明の実施の形態7によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、この発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1によるキャリブレーション装置を示す構成図である。

図1において、放射源1は到来方向 θ が未知の信号を放射している信号源、あるいは、他の放射源から放射された信号を反射している反射体である。

受信アンテナ2-1～2-Mはアレーアンテナを構成している素子アンテナであり、到来方向 θ が未知の信号を受信する。

受信部3-1～3-Mは受信アンテナ2-1～2-Mの受信信号であるR

F 信号に対して、各種の信号処理（例えば、信号の増幅処理、帯域通過フィルタ処理、周波数変換処理、A/D変換処理など）を実施することで、デジタル信号であるベースバンド複素信号を得て、そのベースバンド複素信号をフーリエ変換部4-1～4-Mに出力する受信機である。

なお、受信部3-1～3-Mにより得られたデジタル信号がI F実信号である場合、そのI F実信号に対するヒルベルト変換やデジタル直交検波を実施することで、ベースバンド複素信号を得る構成にしてもよい。

[0012] フーリエ変換部4-1～4-Mは受信部3-1～3-Mから出力されたベースバンド複素信号をFFT（Fast Fourier Transform：高速フーリエ変換）することで、そのベースバンド複素信号を周波数領域の信号（以下、「周波数領域信号」と称する）に変換する処理を実施する。

なお、受信部3-1～3-M及びフーリエ変換部4-1～4-Mから信号変換手段が構成されている。

ここでは、ベースバンド複素信号をFFTしているが、ベースバンド複素信号を周波数領域信号に変換する処理であれば、FFTに限るものではなく、例えば、ベースバンド複素信号をDFT（Discrete Fourier Transform：離散フーリエ変換）するようにしてもよい。

[0013] 参照信号正規化部5-1～5-Mはフーリエ変換部4-1～4-Mにより変換された周波数領域信号のうち、いずれか1つの受信アンテナ2に係る周波数領域信号を参照信号に設定し、その参照信号でフーリエ変換部4-1～4-Mにより変換された周波数領域信号を除算することで、その周波数領域信号を正規化する処理を実施する。なお、参照信号正規化部5-1～5-Mは参照信号正規化手段を構成している。

ここでは、いずれか1つの受信アンテナ2に係る周波数領域信号を参照信号に設定しているが、放射源1から放射される信号の周波数スペクトルを事前に取得している場合には、その周波数スペクトルを参照信号に設定するようにしてもよい。

[0014] 基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M は参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号を正規化する処理を実施する。なお、基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M は基準周波数正規化手段を構成している。

[0015] 広帯域ビーム形成部 7 は基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M により正規化された周波数領域信号を用いて、広帯域のビームパターンを形成する処理を実施する。

到来方向推定部 8 は広帯域ビーム形成部 7 により形成されたビームパターンのピークを検出することで、放射源 1 から放射された信号の到来方向 θ を推定する処理を実施する。

なお、広帯域ビーム形成部 7 及び到来方向推定部 8 から到来方向推定手段が構成されている。

[0016] 振幅・位相誤差推定部 9 は到来方向推定部 8 により推定された到来方向 θ と参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号を用いて、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定する処理を実施する。なお、振幅・位相誤差推定部 9 は振幅位相誤差推定手段を構成している。

[0017] 図 1 の例では、キャリブレーション装置の構成要素である受信アンテナ 2-1 ~ 2-M、受信部 3-1 ~ 3-M、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M、基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M、広帯域ビーム形成部 7、到来方向推定部 8 及び振幅・位相誤差推定部 9 のそれぞれが専用のハードウェアで構成されているものを想定しているが（例えば、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M と受信部 3-1 ~ 3-M を除く構成要素は、CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどで構成されているものを想定する）、キャリブレーション装置の一部がコンピュータで構成されていてもよい。

例えば、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M と受信部 3-1 ~ 3-M を除く構成

要素をコンピュータで構成する場合、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M、基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M、広帯域ビーム形成部 7、到来方向推定部 8 及び振幅・位相誤差推定部 9 の処理内容を記述しているプログラムをコンピュータのメモリに格納し、当該コンピュータの CPU が当該メモリに格納されているプログラムを実行するようにすればよい。

[0018] 次に動作について説明する。

アレーアンテナを構成している受信アンテナ 2-1 ~ 2-M は、放射源 1 から放射された到来方向 θ が未知の信号を受信する。

受信部 3-1 ~ 3-M は、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の受信信号である RF 信号に対して、各種の信号処理（例えば、信号の増幅処理、帯域通過フィルタ処理、周波数変換処理、A/D 変換処理など）を実施することで、デジタル信号であるベースバンド複素信号を得て、そのベースバンド複素信号をフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M に出力する。

[0019] フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M は、受信部 3-1 ~ 3-M からベースバンド複素信号を受けると、そのベースバンド複素信号を FFT することで、そのベースバンド複素信号を周波数領域の信号に変換し、その周波数領域信号を参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M に出力する。

参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M は、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M から周波数領域信号を受けると、放射源 1 の周波数スペクトルの影響を除去するため、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された M 個の周波数領域信号のうち、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係る周波数領域信号を参照信号に設定し、その参照信号でフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号を除算することで、その周波数領域信号を正規化する。

ここでは、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係る周波数領域信号を参照信号に設定しているが、放射源 1 から放射される信号の周波数スペクトルを事前に取得している場合には、その周波数スペクトルを参照信号に設定し、その参照信号でフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信

号を除算することで、その周波数領域信号を正規化するようにしてもよい。

[0020] 参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ は、下記の式 (1) で表される。

$$x[m, k] = \gamma_m(f_c + k\Delta f) \cdot \exp\left(j2\pi(f_c + k\Delta f)(m-1)\frac{d}{c}\sin\theta\right) + n[m, k] \quad (1)$$

式 (1) において、 m ($m = 1, 2, \dots, M$) は受信アンテナ 2 の素子番号であり、 k ($k = -K/2, \dots, 0, \dots, K/2 - 1$) は周波数のインデックス番号である。

また、 $\gamma_m(f)$ は周波数 f における m 番目の受信アンテナ 2-m の複素振幅であり、受信アンテナ 2-m の振幅誤差と位相誤差を意味する。

f_c は放射源 1 から放射された信号の中心周波数、 d は受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の素子間隔、 c は光速、 θ は放射源 1 から放射された信号の到来方向、 $n[m, k]$ は周波数インデックス k における m 番目の受信アンテナ 2-m の受信信号に含まれている受信機雑音である。

ここでは説明の簡略化のために、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の素子間隔 d が等間隔であって、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M が直線上に並んでいることを想定しているが、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の素子間隔が不等間隔であってもよいし、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M が 2 次元に配置されているものであってもよい。

[0021] 基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M は、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M から正規化後の周波数領域信号 $x[m, k]$ を受けると、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M における振幅誤差と位相誤差の影響を除去するため、その周波数領域信号 $x[m, k]$ に含まれている基準となる周波数の信号で、その周波数領域信号 $x[m, k]$ を除算することで、その周波数領域信号を正規化する。

ここで、周波数領域信号 $x[m, k]$ の帯域内において、複素振幅 $\gamma_m(f)$ が一定であるとすれば、上記の式 (1) は、下記の式 (2) のように表される。

$$x[m, k] \approx \gamma_m(f_c) \cdot \exp\left(j2\pi(f_c + k\Delta f)(m-1)\frac{d}{c} \sin \theta\right) + n[m, k] \quad (2)$$

[0022] 式(2)で表される周波数領域信号 $x[m, k]$ を基準となる周波数の信号 $x[m, 0]$ (ここでは、 $k=0$ を基準としている) で除算することで、その周波数領域信号 $x[m, k]$ を正規化すると、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ における振幅誤差と位相誤差の影響を除去することができる。

$$\tilde{x}[m, k] \equiv \frac{x[m, k]}{x[m, 0]} \approx \exp\left(j2\pi k\Delta f(m-1)\frac{d}{c} \sin \theta\right) + \tilde{n}[m, k] \quad (3)$$

式(3)において、 x チルダ $[m, k]$ は、基準周波数正規化部 $6-1 \sim 6-M$ による正規化後の周波数領域信号を表している。

なお、明細書の文書中では、電子出願の関係上、文字の上に“ $\sim$ ”の記号を付することができないので、 x チルダのように表記している。

以下、式(3)の右辺第一項を「正規化ステアリングベクトル」と称する。式(3)では、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の複素振幅と位相誤差の影響が除去されており、未知パラメータは放射源1から放射されている信号の到来方向 θ だけとなっている。

[0023] 広帯域ビーム形成部7は、基準周波数正規化部 $6-1 \sim 6-M$ により正規化された周波数領域信号 x チルダ $[m, k]$ を用いて、広帯域のビームパターンを形成する。

即ち、広帯域ビーム形成部7は、下記の式(4)に示すように、正規化ステアリングベクトル(式(3)の右辺第一項)を利用し、到来方向 θ を変化させることで広帯域のビームパターンを形成する。

$$P(\tilde{\theta}) = \text{vec}(\tilde{a}_{m,k}(\tilde{\theta}))^H \text{vec}(\tilde{x}[m, k]) \quad (4)$$

式(4)において、 $P(\theta$ チルダ)は広帯域のビームパターン、 $\text{vec}(\cdot)$ は $(\cdot)$ 内の行列を列方向に並べ替えてベクトル化する操作を意味する。

また、 a チルダ $_{m, k}(\theta)$ は正規化ステアリングベクトル、 H は複素共役転

置を意味する。

[0024] 到来方向推定部 8 は、広帯域ビーム形成部 7 が広帯域のビームパターン P (θ チルダ) を形成すると、そのビームパターン P (θ チルダ) のピーク (最大値) を検出する。

到来方向推定部 8 は、ビームパターン P (θ チルダ) のピークを検出すると、そのピークに対応する方向を特定し、そのピークに対応する方向を放射源 1 から放射された信号の到来方向 θ として振幅・位相誤差推定部 9 に出力する。

[0025] 振幅・位相誤差推定部 9 は、到来方向推定部 8 から到来方向 θ を受けると、その到来方向 θ を、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ を示す式 (2) に代入することで、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の複素振幅 $\gamma_m(f)$ である振幅誤差及び位相誤差を推定する。

なお、複素振幅 $\gamma_m(f)$ の推定には、例えば、最小二乗法等が適用される。複素振幅 $\gamma_m(f)$ の絶対値から振幅誤差を推定することができ、また、複素振幅 $\gamma_m(f)$ の位相から位相誤差を推定することができる。

[0026] 以上で明らかなように、この実施の形態 1 によれば、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号のうち、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係る周波数領域信号を参照信号に設定し、その参照信号でフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号を除算することで、その周波数領域信号を正規化する参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M と、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、その周波数領域信号 $x[m, k]$ を正規化する基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M とを設けるように構成したので、到来方向が既知である放射源を事前に用意することなく、未知の信号の到来方向 θ を高精度に推定しながら、複数の受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定することができる効果を奏する。

[0027] 実施の形態 2.

上記実施の形態 1 では、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の受信信号の帯域内で、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差と位相誤差が一定であるものについて説明しているが、その受信信号の帯域内で、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差と位相誤差が一定でない場合もある。

この実施の形態 2 では、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の受信信号の帯域内で、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差と位相誤差が一定でない場合でも、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差と位相誤差を高精度に推定することができるキャリブレーション装置について説明する。

[0028] 図 2 はこの発明の実施の形態 2 によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図 1 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

帯域分割部 11-1 ~ 11-M は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ を複数の帯域に分割する処理を実施する。なお、帯域分割部 11-1 ~ 11-M は帯域分割手段を構成している。

基準周波数正規化部 12-1 ~ 12-M は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、帯域分割部 11-1 ~ 11-M により分割された帯域毎に、当該帯域内の周波数領域信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、当該帯域内の周波数領域信号を正規化する処理を実施する。なお、基準周波数正規化部 12-1 ~ 12-M は基準周波数正規化手段を構成している。

[0029] 次に動作について説明する。

帯域分割部 11-1 ~ 11-M は、上記実施の形態 1 と同様にして、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M がフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号を正規化して、正規化後の周波数領域信号 $x[m, k]$ を出力すると、その周波数領域信号 $x[m, k]$ を複数の帯域に分割する。

周波数領域信号 $x[m, k]$ を分割する帯域の幅は、実際のシステム毎に異なり、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ 及び受信部 $3-1 \sim 3-M$ における振幅誤差及び位相誤差の周波数特性によって決定される。分割する帯域の幅は、事前のシミュレーション計算で求める方法のほか、実際にアナログ信号を注入して計測する方法などが考えられる。

[0030] 基準周波数正規化部 $12-1 \sim 12-M$ は、帯域分割部 $11-1 \sim 11-M$ により分割された帯域毎に、基準となる周波数（例えば、分割された帯域の中心周波数）を決定する。

基準周波数正規化部 $12-1 \sim 12-M$ は、基準となる周波数を決定すると、帯域分割部 $11-1 \sim 11-M$ により分割された帯域毎に、その決定した基準となる周波数の信号で、当該分割帯域内の周波数領域信号を除算することで、当該分割帯域内の周波数領域信号を正規化する。

広帯域ビーム形成部 7 は、基準周波数正規化部 $6-1 \sim 6-M$ により正規化された各分割帯域の周波数領域信号を用いて、広帯域のビームパターンを形成する。

以降の処理内容は、上記実施の形態 1 と同様であるため詳細な説明を省略する。

[0031] 以上で明らかなように、この実施の形態 2 によれば、参照信号正規化部 $5-1 \sim 5-M$ により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ を複数の帯域に分割する帯域分割部 $11-1 \sim 11-M$ を設け、基準周波数正規化部 $12-1 \sim 12-M$ が、帯域分割部 $11-1 \sim 11-M$ により分割された帯域毎に、当該帯域内の周波数領域信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、当該帯域内の周波数領域信号を正規化するように構成したので、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の受信信号の帯域内で、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の振幅誤差と位相誤差が一定でない場合でも、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の振幅誤差と位相誤差を高精度に推定することができる効果を奏する。

[0032] 実施の形態 3.

上記実施の形態 1, 2 では、受信部 $3-1 \sim 3-M$ が受信アンテナ $2-1$

～ $2-M$ の受信信号からベースバンド複素信号を得て、フーリエ変換部 $4-1 \sim 4-M$ がベースバンド複素信号をFFTすることで、そのベースバンド複素信号を周波数領域信号に変換しているが、その受信信号のSNR（信号対雑音電力比）が低い場合には、その周波数領域信号を高精度に求めることができない。

また、参照信号正規化部 $5-1 \sim 5-M$ が周波数領域信号を正規化する際、放射源1から放射された信号の周波数スペクトル内に、0に近い成分が含まれる場合には雑音成分が増幅されることがある。

そこで、この実施の形態2では、受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の受信信号のSNRを高めて、周波数領域信号を高精度に求めることができるキャリブレーション装置について説明する。

[0033] 図3はこの発明の実施の形態3によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図1と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

相互相関算出部 $13-1 \sim 13-M$ は例えばCPUを実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、受信部 $3-1 \sim 3-M$ から出力されたベースバンド複素信号のうち、いずれか1つの受信アンテナ2に係るベースバンド複素信号を基準信号に設定して、受信部 $3-1 \sim 3-M$ から出力されたベースバンド複素信号と前記基準信号の相互相関を算出し、その相互相関結果を用いて、受信部 $3-1 \sim 3-M$ から出力されたベースバンド複素信号のSNRを高めるSNR改善処理を実施し、SNR改善処理後のベースバンド複素信号をフーリエ変換部 $4-1 \sim 4-M$ に出力する処理を実施する。なお、相互相関算出部 $13-1 \sim 13-M$ は相互相関算出手段を構成している。

ここでは、いずれか1つの受信アンテナ2に係るベースバンド複素信号を基準信号に設定しているが、放射源1から放射される信号のベースバンド複素信号を事前を取得している場合には、そのベースバンド複素信号を基準信号に設定するようにしてもよい。

[0034] 次に動作について説明する。

相互相関算出部 13-1 ~ 13-M は、上記実施の形態 1 と同様にして、受信部 3-1 ~ 3-M がベースバンド複素信号を出力すると、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係るベースバンド複素信号を基準信号に設定し、受信部 3-1 ~ 3-M から出力されたベースバンド複素信号と前記基準信号の相互相関を算出する。

この相互相関は、時間領域における畳み込み演算で計算してもよいが、演算量の低減のために、周波数領域における乗算として計算するようにしてもよい。

ここでは、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係るベースバンド複素信号を基準信号に設定しているが、放射源 1 から放射される信号のベースバンド複素信号を事前を取得している場合には、そのベースバンド複素信号を基準信号に設定するようにしてもよい。

[0035] 相互相関算出部 13-1 ~ 13-M は、受信部 3-1 ~ 3-M から出力されたベースバンド複素信号と基準信号の相互相関を算出すると、その相互相関値の絶対値のピーク（放射源 1 から放射された信号）を検出する。

相互相関算出部 13-1 ~ 13-M は、相互相関値の絶対値のピークを検出すると、ベースバンド複素信号におけるピーク周辺の信号（高 S N R の信号）をフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M に出力する。

なお、ピーク周辺を抽出した後に 0 詰めを行って周波数ポイント数を増加させる構成としてもよい。

[0036] 以上で明らかなように、この実施の形態 3 によれば、相互相関算出部 13-1 ~ 13-M が、受信部 3-1 ~ 3-M から出力されたベースバンド複素信号のうち、いずれか 1 つの受信アンテナ 2 に係るベースバンド複素信号を基準信号に設定して、受信部 3-1 ~ 3-M から出力されたベースバンド複素信号と前記基準信号の相互相関を算出し、その相互相関結果を用いて、受信部 3-1 ~ 3-M から出力されたベースバンド複素信号の S N R を高める S N R 改善処理を実施し、S N R 改善処理後のベースバンド複素信号をフー

リエ変換部 4-1 ~ 4-M に出力するように構成したので、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の受信信号の S N R が低い場合でも、周波数領域信号を高精度に求めることができる効果を奏する。

また、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換される周波数領域信号を平滑化することができるため、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M が周波数領域信号を正規化する際に生じる雑音の増幅を抑圧することができる効果を奏する。

[0037] なお、S N R を改善するには、より長い時間の相互相関演算が必要であり、F F T の演算量が増加する。このため、ベースバンド複素信号及び基準信号をいくつかのブロックに分割し、ブロック毎の相互相関演算を行った後に、ブロック間で F F T を行うようにすれば、比較的に低演算量で長時間の相互相関演算を行うことができる。

[0038] 実施の形態 4.

上記実施の形態 1 ~ 3 では、1 つの放射源 1 から放射された到来方向 θ が未知の信号を受信して、その到来方向 θ と受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定するものを示したが、複数の放射源 1 から放射された信号の到来方向 θ を推定するとともに、各信号の到来方向 θ 毎に、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定するようにしてもよい。

[0039] 図 4 はこの発明の実施の形態 4 によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図 1 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

アレー誤差行列推定部 14 は例えば C P U を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、到来方向推定部 8 により推定された複数の未知信号の到来方向 θ と、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ とを用いて、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の本数 $M \times$ 到来方向推定部 8 により推定された到来方向の数 M チルダの次元を有するアレー誤差行列 C を算出し、各信号の到

来方向 θ 毎に、そのアレー誤差行列 C から受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の振幅誤差及び位相誤差を推定する処理を実施する。なお、アレー誤差行列推定部 14 は振幅位相誤差推定手段を構成している。

[0040] 次に動作について説明する。

到来方向推定部 8 は、上記実施の形態 1 と同様の方法で、未知信号の到来方向 θ を推定するが、この実施の形態 4 では、 M チルダ個の未知信号の到来方向 θ を推定できているものとする。

アレー誤差行列推定部 14 は、到来方向推定部 8 が M チルダ個の未知信号の到来方向 θ を推定すると、 M チルダ個の未知信号の到来方向 θ と、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ とを用いて、 $M \times M$ チルダの次元を有するアレー誤差行列 C を算出する。

[0041] M チルダ個の未知信号の到来方向 θ が推定されている場合、周波数領域信号 x は、下記の式 (5) のようにモデル化することができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &\equiv \begin{bmatrix} x_1(\theta_1, f) & x_1(\theta_2, f) & x_1(\theta_{\tilde{M}}, f) \\ x_2(\theta_1, f) & x_2(\theta_2, f) & x_2(\theta_{\tilde{M}}, f) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_M(\theta_1, f) & x_M(\theta_2, f) & x_M(\theta_{\tilde{M}}, f) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1M} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{M1} & \cdots & c_{MM} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1(\theta_1, f) & a_1(\theta_2, f) & \cdots & a_1(\theta_{\tilde{M}}, f) \\ a_2(\theta_1, f) & a_2(\theta_2, f) & & a_2(\theta_{\tilde{M}}, f) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_M(\theta_1, f) & a_M(\theta_2, f) & \cdots & a_M(\theta_{\tilde{M}}, f) \end{bmatrix} = \mathbf{CA} \end{aligned} \quad (5)$$

[0042] 式 (5) より、アレー誤差行列 C は、以下のように算出することができる。

$$\mathbf{C} = \mathbf{XA}^H (\mathbf{AA}^H)^{-1} \quad (6)$$

アレー誤差行列推定部 14 は、アレー誤差行列 C を算出すると、各信号の到来方向 θ 毎に、そのアレー誤差行列 C から受信アンテナ $2-1 \sim 2-M$ の振幅誤差及び位相誤差を算出する。

[0043] 以上で明らかなように、この実施の形態 4 によれば、アレー誤差行列推定部 14 が、到来方向推定部 8 により推定された複数の未知信号の到来方向 θ

と、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ とを用いて、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の本数 $M \times$ 到来方向推定部 8 により推定された到来方向の数 M チルダの次元を有するアレー誤差行列 C を算出し、各信号の到来方向 θ 毎に、そのアレー誤差行列 C から受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定するように構成したので、到来方向推定部 8 により M チルダ個の未知信号の到来方向 θ が推定された場合、各信号の到来方向 θ 毎に、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定することができる効果を奏する。

[0044] 実施の形態 5.

上記実施の形態 1 ~ 3 では、フーリエ変換部 4-1 ~ 4-M がベースバンド複素信号を FFT する時間の範囲内で、到来方向 θ を推定する未知の信号が 1 波だけ入射される例を説明しているが、到来方向 θ を推定する未知の信号が複数波入射される場合、複数の未知の信号の到来方向 θ を推定するようにしてもよい。

[0045] 図 5 はこの発明の実施の形態 5 によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図 1 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

相関行列算出部 15-1 ~ 15-M は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ から複数の周波数データを抽出して、複数の周波数データの相関行列 R を算出する処理を実施する。なお、相関行列算出部 15-1 ~ 15-M は相関行列算出手段を構成している。

[0046] 固有ベクトル算出部 16-1 ~ 16-M は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、相関行列算出部 15-1 ~ 15-M により算出された相関行列 R から、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M により受信された到来方向が異なる複数の未知信号に対応する固有ベクトルを特定し、その固有ベクトルを参照信号正規化部 5-

1 ～ 5 - Mにより正規化された周波数領域信号 $\mathbf{x} [m, k]$ として基準周波数正規化部 6 - 1 ～ 6 - Mに出力する処理を実施する。なお、固有ベクトル算出部 16 - 1 ～ 16 - Mは固有ベクトル特定手段を構成している。

[0047] 次に動作について説明する。

相関行列算出部 15 - 1 ～ 15 - Mは、上記実施の形態 1 と同様に、参照信号正規化部 5 - 1 ～ 5 - Mが周波数領域信号を正規化すると、正規化後の周波数領域信号 $\mathbf{x} [m, k]$ から、例えばKチルダ個の周波数データを抽出する。

相関行列算出部 15 - 1 ～ 15 - Mは、Kチルダ個の周波数データを抽出すると、それらの周波数データの相関行列を算出する。

例えば、l番目の周波数データの相関行列 $R_{xx, m, l}$ は、下記の式 (7) のように算出することができる。

$$R_{xx, m, l} = \mathbf{x}_{m, l} \mathbf{x}_{m, l}^H \quad (7)$$

[0048] 相関行列算出部 15 - 1 ～ 15 - Mは、l番目の周波数データの相関行列 $R_{xx, m, l}$ を算出すると、その相関行列 $R_{xx, m, l}$ を周波数方向にシフトすることで、その相関行列 $R_{xx, m, l}$ をL (=K - Kチルダ + 1) 回平均する。

周波数方向平均後の相関行列 $R_{xx, m}$ は、下記の式 (8) のように算出することができる。

$$R_{xx, m} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \mathbf{x}_{m, l} \mathbf{x}_{m, l}^H \quad (8)$$

[0049] 固有ベクトル算出部 16 - 1 ～ 16 - Mは、相関行列算出部 15 - 1 ～ 15 - Mが相関行列 $R_{xx, m, l}$ をL回平均すると、平均後の相関行列 $R_{xx, m}$ の固有値展開を実施して、受信アンテナ 2 - 1 ～ 2 - Mにより受信された到来方向が異なる複数の未知信号に対応する固有ベクトルを特定する。

例えば、N波の受信信号が同時に入射されている状況下では、平均後の相関行列 $R_{xx, m}$ の固有値の中で、値が大きい上位N個の固有値を特定して、上位N個の固有値に対応するN個の固有ベクトルを特定する。N個の固有ベクトルは、N波の受信信号に係る周波数領域信号に対応している。

固有ベクトル算出部 16-1 ~ 16-M は、上位 N 個の固有値に対応する N 個の固有ベクトルを特定すると、N 個の固有ベクトルを参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ として基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M に出力する。

なお、固有ベクトルの特定は、受信アンテナ 2 毎に独立に行い、固有値が近い固有ベクトルを各受信アンテナ 2 の間に対応させることで、各受信アンテナ 2 で同じ到来方向 θ に関する周波数領域信号を推定することができる。

[0050] 以上で明らかなように、この実施の形態 5 によれば、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ から複数の周波数データを抽出して、複数の周波数データの相関行列 R を算出する相関行列算出部 15-1 ~ 15-M と、相関行列算出部 15-1 ~ 15-M により算出された周波数領域信号の相関行列 R から、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M により受信された到来方向が異なる複数の未知信号に対応する固有ベクトルを特定し、複数の固有ベクトルを参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ として基準周波数正規化部 6-1 ~ 6-M に出力する固有ベクトル算出部 16-1 ~ 16-M とを設けるように構成したので、複数の放射源 1 から放射された未知の信号の到来方向 θ を推定することができる効果を奏する。

[0051] 実施の形態 6.

上記実施の形態 1 ~ 5 では、放射源 1 から到来方向 θ が未知の信号を放射される例を示しているが、キャリブレーション装置が自ら信号を放射するレーダの形態を有していてもよい。

[0052] 図 6 はこの発明の実施の形態 6 によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図 1 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

送信信号生成部 21 はレーダで一般的に用いられるベースバンド信号（例えば、線形周波数変調信号、符号変調信号、CW 信号など）を生成する。

送信部 22 は送信信号生成部 21 により生成されたベースバンド信号に対

して、各種の信号処理（例えば、信号の増幅処理、帯域通過フィルタ処理、周波数変換処理など）を実施することでRF信号（送信信号）を得て、そのRF信号を送信アンテナ23に出力する送信機である。なお、送信信号生成部21及び送信部22から信号生成手段が構成されている。

送信アンテナ23は送信部22から出力されたRF信号を空間に放射する。

[0053] 次に動作について説明する。

送信信号生成部21は、レーダで一般的に用いられるベースバンド信号を生成し、そのベースバンド信号を送信部22に出力する。

また、送信信号生成部21は、そのベースバンド信号をFFTすることで、そのベースバンド信号を周波数領域の信号に変換し、その周波数領域信号を参照信号正規化部5-1～5-Mに出力する。

参照信号正規化部5-1～5-Mは、上記実施の形態1と同様に、フーリエ変換部4-1～4-Mにより変換された周波数領域信号のうち、いずれか1つの受信アンテナ2に係る周波数領域信号を参照信号に設定するようにしてもよいが、送信信号生成部21から出力された周波数領域信号を参照信号に設定するようにしてもよい。

[0054] 送信部22は、送信信号生成部21からベースバンド信号を受けると、そのベースバンド信号に対して、各種の信号処理を実施することでRF信号を得て、そのRF信号を送信アンテナ23に出力する。

これにより、送信アンテナ23からRF信号が空間に放射される。空間に放射されたRF信号は、空間に存在している反射体に反射されたのち、受信アンテナ2-1～2-Mで受信される。

以降の処理内容は、上記実施の形態1と同様であるため詳細な説明を省略する。

[0055] 実施の形態7.

上記実施の形態1～6では、到来方向推定部8が、広帯域ビーム形成部7により形成されたビームパターンP（ θ チルダ）のピークを検出することで

、放射源 1 から放射された信号の到来方向 θ を推定したのち、振幅・位相誤差推定部 9 が、到来方向推定部 8 により推定された到来方向 θ と参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ を用いて、受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を推定するもの
を示したが、放射源 1 から放射された信号の到来方向 θ と受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の振幅誤差及び位相誤差を同時に推定するようにしてもよい。

[0056] 図 7 はこの発明の実施の形態 7 によるキャリブレーション装置を示す構成図であり、図において、図 1 と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

反復計算部 31-1 ~ 31-M は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M により正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ と、未知の信号の到来方向 θ と受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の位置から決まるステアリングベクトルと、そのステアリングベクトルを到来方向 θ で微分した微分値とを用いて、その到来方向 θ と一緒に受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の複素振幅 $\gamma_m(f)$ である振幅誤差及び位相誤差の反復計算を実施する。なお、反復計算部 31-1 ~ 31-M は振幅位相誤差推定手段を構成している。

到来方向平均部 32 は例えば CPU を実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、反復計算部 31-1 ~ 31-M により反復計算された到来方向 θ の平均を求める処理を実施する。

[0057] 次に動作について説明する。

反復計算部 31-1 ~ 31-M は、上記実施の形態 1 と同様に、参照信号正規化部 5-1 ~ 5-M がフーリエ変換部 4-1 ~ 4-M により変換された周波数領域信号を正規化すると、正規化後の周波数領域信号 $x[m, k]$ と、未知の信号の到来方向 θ と受信アンテナ 2-1 ~ 2-M の位置から決まるステアリングベクトルと、そのステアリングベクトルを到来方向 θ で微分した微分値とを用いて、下記の式 (9) に示すような線形方程式を生成する。

$$\begin{bmatrix} x_m(f_c) \\ x_m(f_c + k\Delta f) \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} a_m(\theta_0, f) & \frac{\partial a_m(\theta_0, f)}{\partial \theta} \\ a_m(\theta_0, f + \Delta f) & \frac{\partial a_m(\theta_0, f + \Delta f)}{\partial \theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_m \\ \gamma_m \Delta \theta \end{bmatrix} \quad (9)$$

式(9)において、右辺の2行×2列の行列における $a_m(\theta_0, f)$ と $a_m(\theta_0, f + \Delta f)$ がステアリングベクトルであり、 $\partial a_m(\theta_0, f) / \partial \theta$ と $\partial a_m(\theta_0, f + \Delta f) / \partial \theta$ がステアリングベクトルを到来方向 θ で微分した微分値である。

[0058] 反復計算部31-1～31-Mは、線形方程式を生成すると、反復計算を実施することで、未知の信号の到来方向 θ と受信アンテナ2-1～2-Mの複素振幅 $\gamma_m(f)$ である振幅誤差及び位相誤差を同時に推定する。

到来方向平均部32は、反復計算部31-1～31-Mが未知の信号の到来方向 θ を推定すると、それらの到来方向 θ の平均を求める。

[0059] 以上で明らかなように、この実施の形態7によれば、反復計算部31-1～31-Mが、参照信号正規化部5-1～5-Mにより正規化された周波数領域信号 $x[m, k]$ と、未知の信号の到来方向 θ と受信アンテナ2-1～2-Mの位置から決まるステアリングベクトルと、そのステアリングベクトルを到来方向 θ で微分した微分値とを用いて、その到来方向 θ と一緒に受信アンテナ2-1～2-Mの複素振幅 $\gamma_m(f)$ である振幅誤差及び位相誤差の反復計算を実施するように構成したので、上記実施の形態1と同様に、到来方向が既知である放射源を事前に用意することなく、未知の信号の到来方向 θ を高精度に推定しながら、複数の受信アンテナ2-1～2-Mの振幅誤差及び位相誤差を推定することができる効果を奏する。

[0060] なお、本願発明はその発明の範囲内において、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

[0061] この発明は、各アンテナの振幅誤差や位相誤差の経年変化が生じて、到来方向が既知である放射源を事前に用意することなく、その振幅誤差や位相

誤差を補償する必要があるキャリブレーション装置に適している。

符号の説明

[0062] 1 放射源、2-1～2-M 受信アンテナ（素子アンテナ）、3-1～3-M 受信部（信号変換手段）、4-1～4-M フーリエ変換部（信号変換手段）、5-1～5-M 参照信号正規化部（参照信号正規化手段）、6-1～6-M 基準周波数正規化部（基準周波数正規化手段）、7 広帯域ビーム形成部（到来方向推定手段）、8 到来方向推定部（到来方向推定手段）、9 振幅・位相誤差推定部（振幅位相誤差推定手段）、11-1～11-M 帯域分割部（帯域分割手段）、12-1～12-M 基準周波数正規化部（基準周波数正規化手段）、13-1～13-M 相互相関算出部（相互相関算出手段）、14 アレー誤差行列推定部（振幅位相誤差推定手段）、15-1～15-M 相関行列算出部（相関行列算出手段）、16-1～16-M 固有ベクトル算出部（固有ベクトル特定手段）、21 送信信号生成部（信号生成手段）、22 送信部（信号生成手段）、23 送信アンテナ、31-1～31-M 反復計算部（振幅位相誤差推定手段）、32 到来方向平均部。

請求の範囲

[請求項1]

到来方向が未知の信号を受信するアレーアンテナと、
前記アレーアンテナを構成している複数の素子アンテナの受信信号を周波数領域の信号に変換する信号変換手段と、
前記信号変換手段により変換された複数の周波数領域の信号のうち、いずれか1つの素子アンテナに係る周波数領域の信号又は事前を取得している前記未知の信号の周波数スペクトルを参照信号に設定し、前記参照信号を用いて、前記複数の周波数領域の信号を正規化する参照信号正規化手段と、
前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を正規化する基準周波数正規化手段と、
前記基準周波数正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を用いて、前記未知の信号の到来方向を推定する到来方向推定手段と、
前記到来方向推定手段により推定された到来方向と前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を用いて、前記複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を推定する振幅位相誤差推定手段と
を備えたキャリアブレーション装置。

[請求項2]

前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を複数の帯域に分割する帯域分割手段を備え、
前記基準周波数正規化手段は、前記帯域分割手段により分割された帯域毎に、当該帯域内の周波数領域の信号に含まれている基準となる周波数の信号を用いて、当該帯域内の周波数領域の信号を正規化することを特徴とする請求項1記載のキャリアブレーション装置。

[請求項3]

前記複数の素子アンテナの受信信号のうち、いずれか1つの受信信

号又は事前に取得している前記未知の信号を基準信号に設定して、前記複数の素子アンテナの受信信号と前記基準信号の相互相関を算出し、その相互相関結果を用いて、前記受信信号の信号対雑音電力比を高めるS N R改善処理を実施し、S N R改善処理後の受信信号を前記信号変換手段に出力する相互相関算出手段を備えたことを特徴とする請求項1記載のキャリブレーション装置。

[請求項4] 前記到来方向推定手段は、前記アレーアンテナにより受信された到来方向が異なる複数の未知信号の到来方向を推定し、

前記振幅位相誤差推定手段は、前記到来方向推定手段により推定された複数の未知信号の到来方向と前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号を用いて、前記アレーアンテナを構成している素子アンテナの数×前記到来方向推定手段により推定された到来方向の数の次元を有するアレー誤差行列を算出し、前記アレー誤差行列から前記複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を推定することを特徴とする請求項1記載のキャリブレーション装置。

[請求項5] 前記参照信号正規化手段により正規化された周波数領域の信号から複数の周波数データを抽出して、前記複数の周波数データの相関行列を算出する相関行列算出手段と、

前記相関行列算出手段により算出された相関行列から、前記アレーアンテナにより受信された到来方向が異なる複数の未知信号に対応する固有ベクトルを特定し、前記固有ベクトルを前記参照信号正規化手段により正規化された周波数領域の信号として前記基準周波数正規化手段に出力する固有ベクトル特定手段とを備えたことを特徴とする請求項1記載のキャリブレーション装置。

[請求項6] 送信信号を生成する信号生成手段と、

前記信号生成手段により生成された送信信号を空間に放射する送信アンテナとを備え、

前記アレーアンテナは、前記送信アンテナから放射されたのち、前

記空間に存在している反射体に反射された前記送信信号の反射波を受信することを特徴とする請求項 1 記載のキャリブレーション装置。

[請求項7]

到来方向が未知の信号を受信するアレーアンテナと、

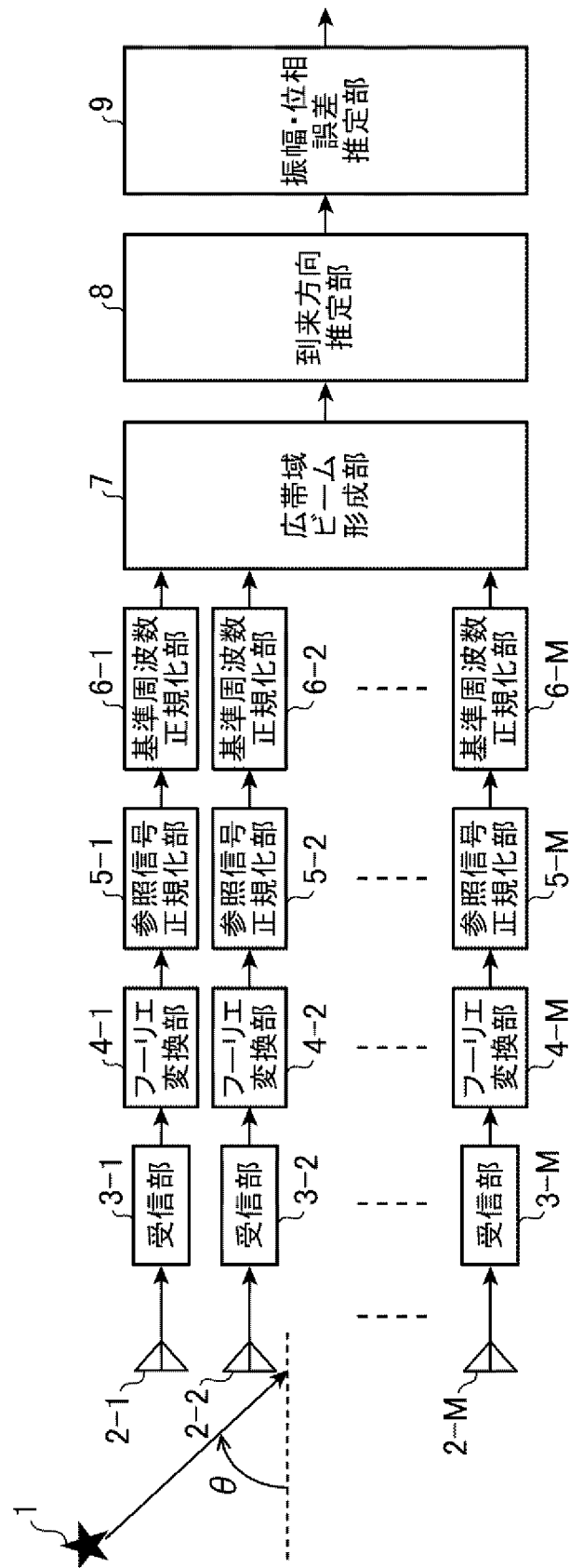
前記アレーアンテナを構成している複数の素子アンテナの受信信号を周波数領域の信号に変換する信号変換手段と、

前記信号変換手段により変換された複数の周波数領域の信号のうち、いずれか 1 つの素子アンテナに係る周波数領域の信号又は事前に取得している前記未知の信号の周波数スペクトルを参照信号に設定し、前記参照信号を用いて、前記複数の周波数領域の信号を正規化する参照信号正規化手段と、

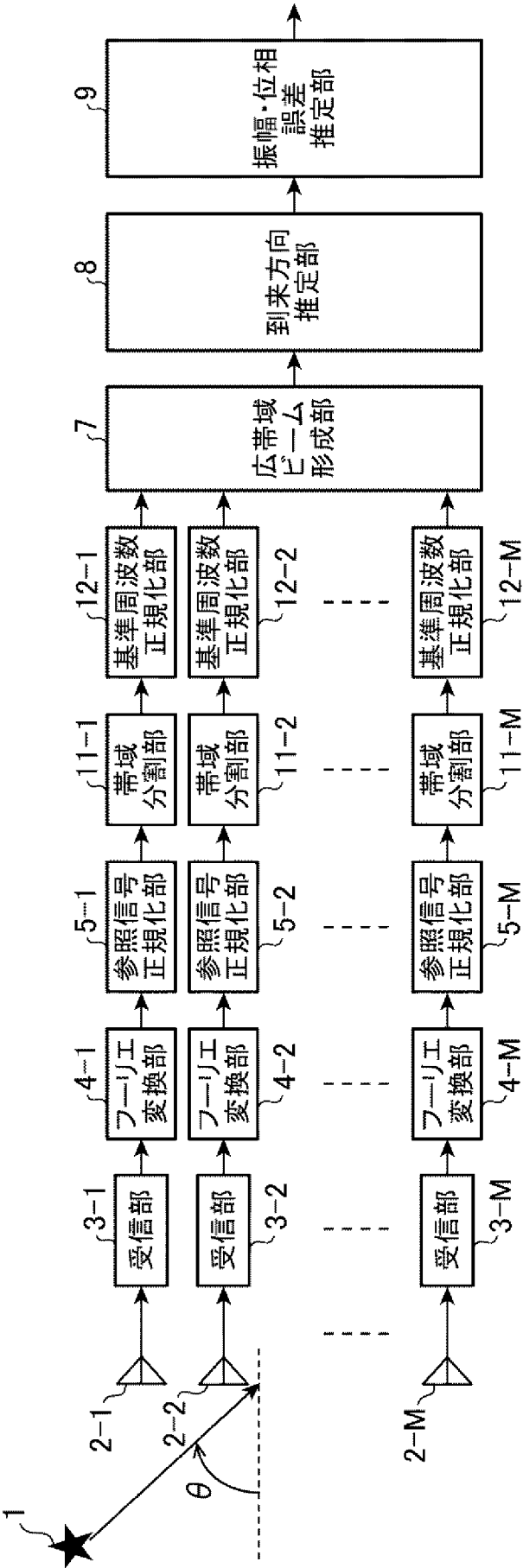
前記参照信号正規化手段により正規化された複数の周波数領域の信号と、前記未知の信号の到来方向と前記複数の素子アンテナの位置から決まるステアリングベクトルと、前記ステアリングベクトルを前記到来方向で微分した微分値とを用いて、前記到来方向と一緒に前記複数のアンテナの振幅誤差及び位相誤差を反復計算する振幅位相誤差推定手段と

を備えたキャリブレーション装置。

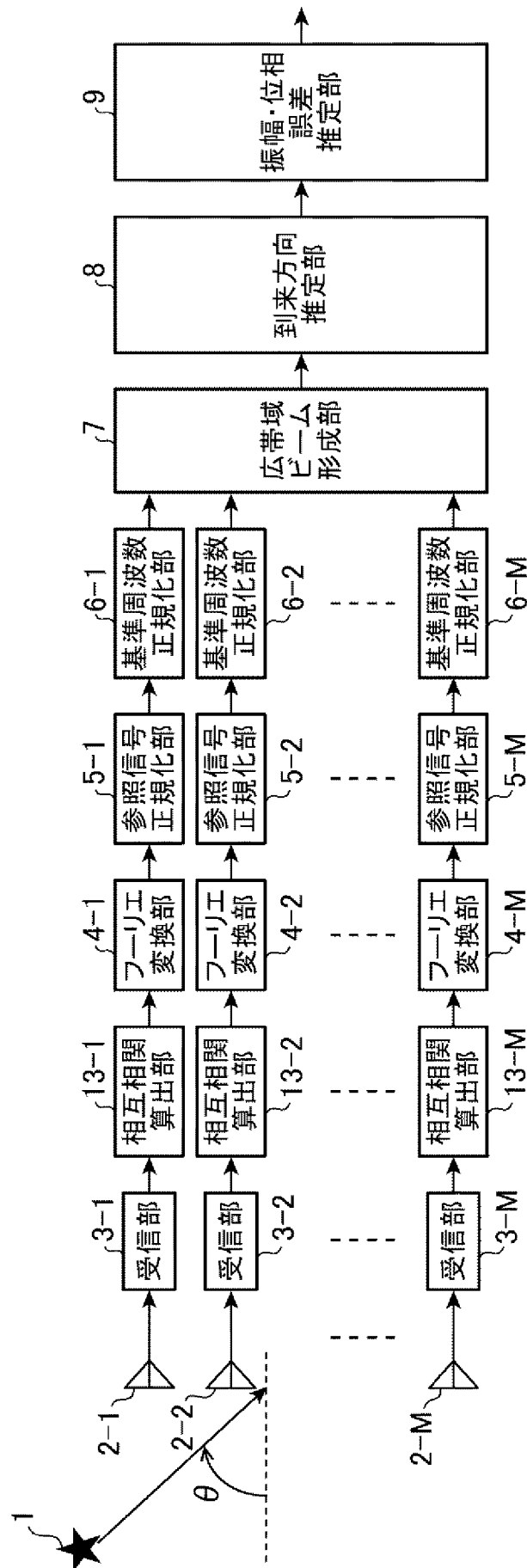
[図1]



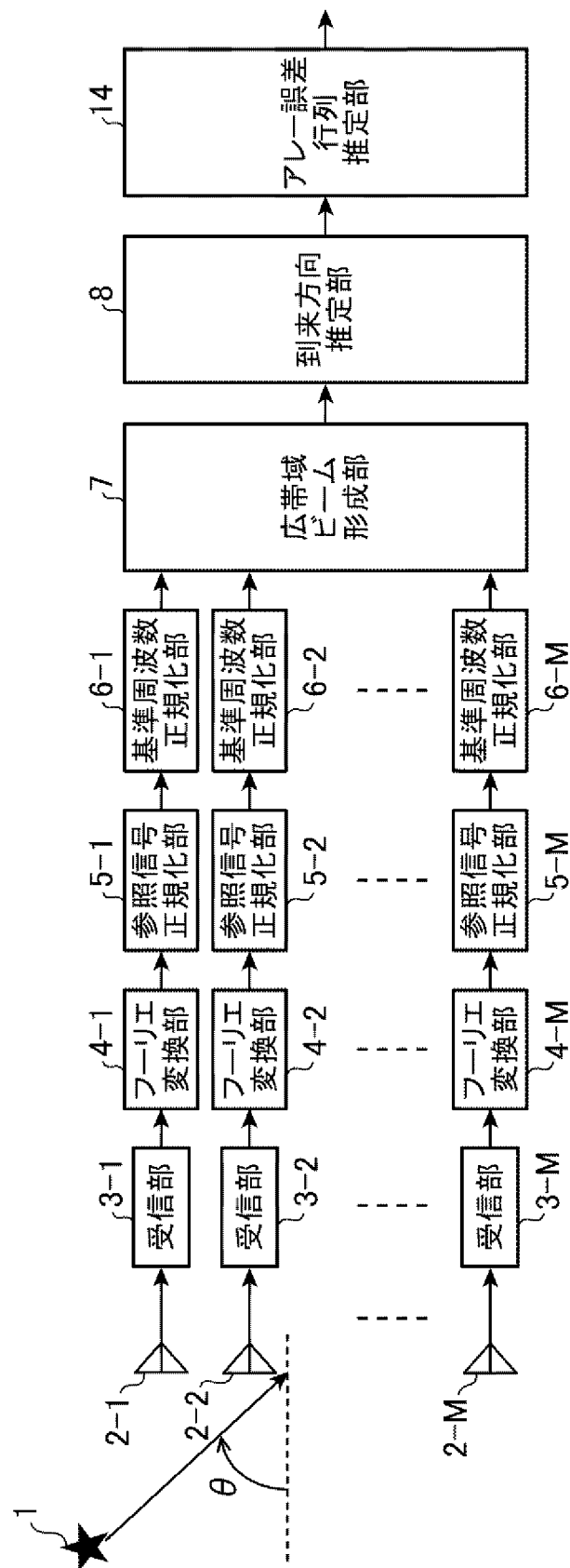
[図2]



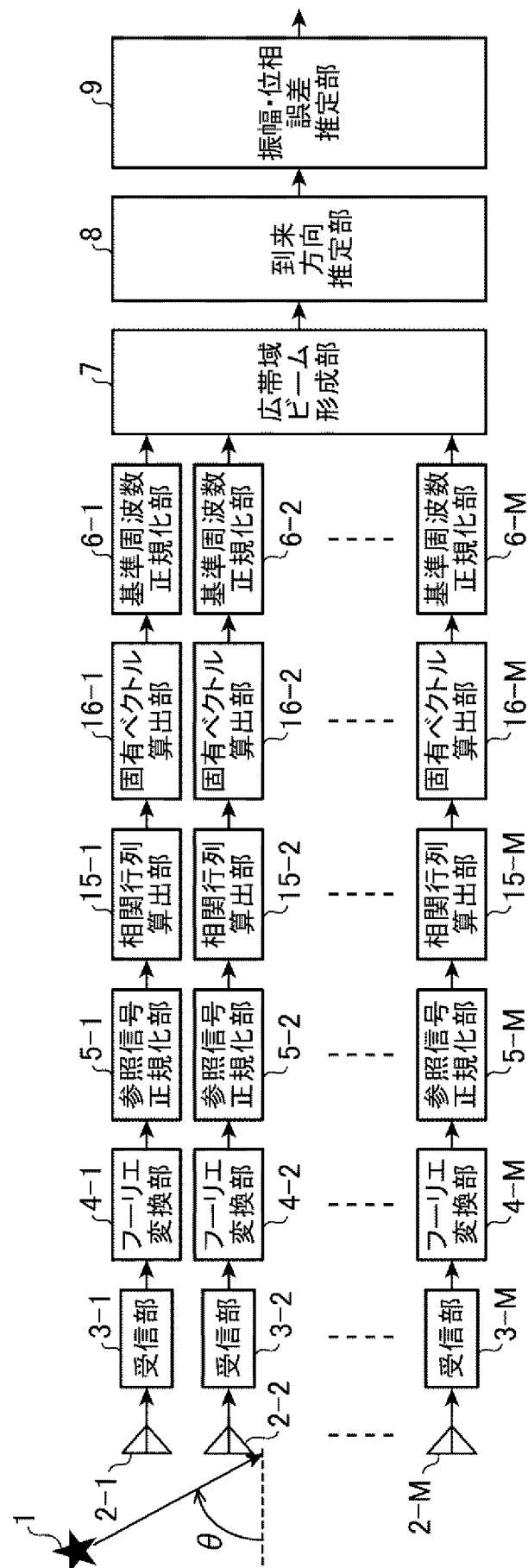
[図3]



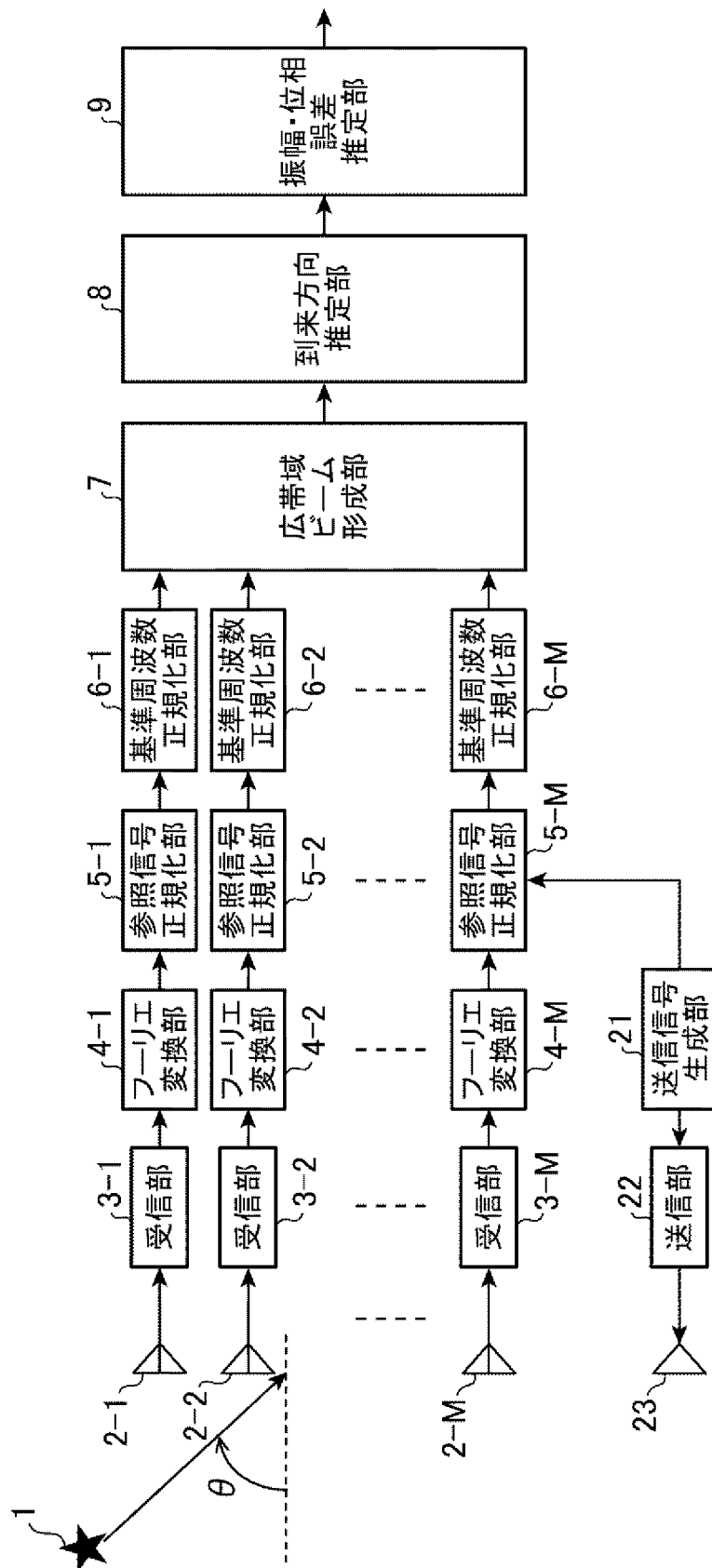
[図4]



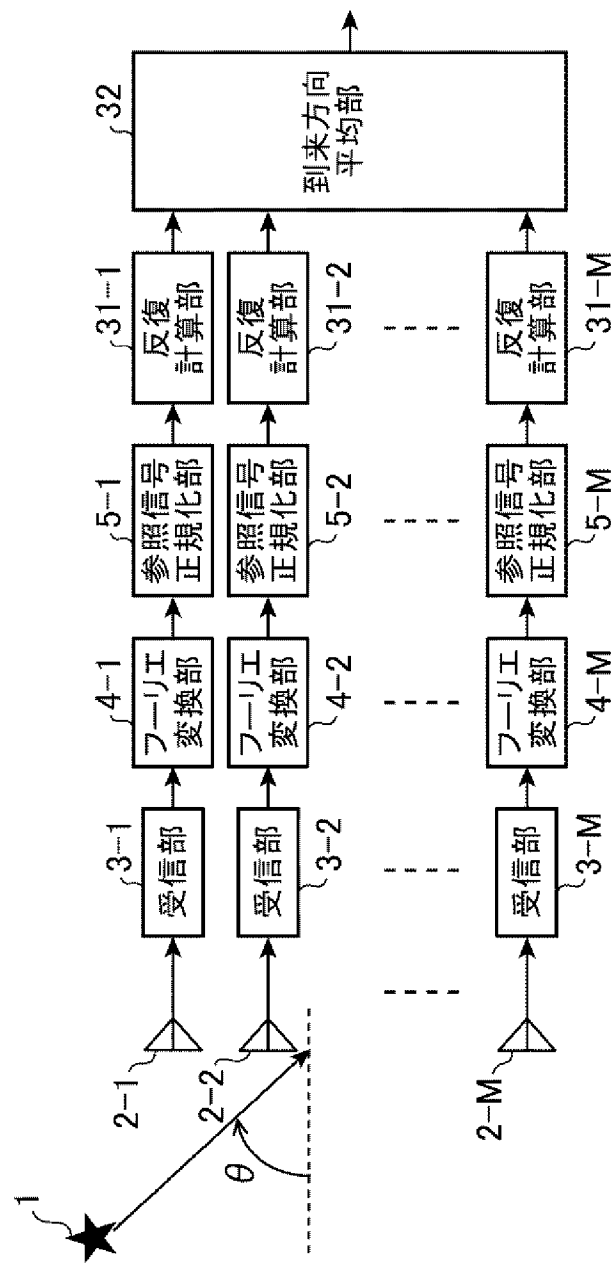
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/062600

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B7/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B7/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-3430 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 09 January 2014 (09.01.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2007-5974 A (Fujitsu Ltd.), 11 January 2007 (11.01.2007), entire text; all drawings & US 2006/0293087 A1 & EP 1744469 A2	1-7
A	JP 2007-304118 A (Toshiba Corp.), 22 November 2007 (22.11.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 August, 2014 (05.08.14)

Date of mailing of the international search report
12 August, 2014 (12.08.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04B7/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04B7/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-3430 A（日本電信電話株式会社）2014.01.09, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2007-5974 A（富士通株式会社）2007.01.11, 全文, 全図 & US 2006/0293087 A1 & EP 1744469 A2	1-7
A	JP 2007-304118 A（株式会社東芝）2007.11.22, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 敬介

5 W

9 1 9 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 7 6