

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7653624号
(P7653624)

(45)発行日 令和7年3月31日(2025.3.31)

(24)登録日 令和7年3月21日(2025.3.21)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 S 13/32 (2006.01)

G 0 1 S 7/02 (2006.01)

G 0 1 S 13/46 (2006.01)

G 0 1 S 13/32

G 0 1 S 7/02

G 0 1 S 13/46

2 1 6

請求項の数 9 (全30頁)

(21)出願番号	特願2023-570725(P2023-570725)	(73)特許権者	314012076
(86)(22)出願日	令和4年11月17日(2022.11.17)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/042775		大阪府門真市元町2番6号
(87)国際公開番号	WO2023/127340	(74)代理人	100109210
(87)国際公開日	令和5年7月6日(2023.7.6)		弁理士 新居 広守
審査請求日	令和6年3月29日(2024.3.29)	(74)代理人	100137235
(31)優先権主張番号	特願2021-212607(P2021-212607)		弁理士 寺谷 英作
(32)優先日	令和3年12月27日(2021.12.27)	(74)代理人	100131417
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 道坂 伸一
		(72)発明者	飯塚 翔一
			日本国大阪府門真市大字門真1006番
			地 パナソニック株式会社内
		(72)発明者	中山 武司
			日本国大阪府門真市大字門真1006番
			地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 推定装置、推定方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

生体までの距離を推定する推定装置であって、
複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成する送信信号生成部と、
M個（Mは1以上の自然数）の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、
前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチ
キャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させる送信部と、
N個（Nは1以上の自然数）の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、
前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記M個
の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反
射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当す
る第一期間について観測する受信部と、
前記受信部において前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記M個
の送信アンテナ素子のそれぞれと前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せであ
るM×N個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前
記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信
号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する複素伝達関数
算出部と、
前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記M×N個の組合せのそれぞれ毎に、
(i) 前記複素伝達関数算出部により算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の

受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、 (i, i) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する生体相関行列算出部と、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との間の第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との間の第二距離の和である第三距離を推定する推定部と、

前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数と、第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数を含む基準複素伝達関数行列とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正する補正値を算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正するキャリブレーション部、とを備える

10

推定装置。

【請求項 2】

生体までの距離を推定する推定装置であって、

複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成する送信信号生成部と、 M 個 (M は 1 以上の自然数) の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、

前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させる送信部と、

N 個 (N は 1 以上の自然数) の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、

前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する受信部と、

20

前記受信部において前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する複素伝達関数算出部と、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、 (i, i) 前記複素伝達関数算出部により算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に従って時刻毎に逐次記録し、 (i, i) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する生体相関行列算出部と、

30

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との間の第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との間の第二距離の和である第三距離を推定する推定部と、

前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数と、第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数を含む基準複素伝達関数行列とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正する補正値を算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正するキャリブレーション部、を備え、

40

前記生体相関行列算出部は、時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数に基づき、各時刻で記録された複数の複素伝達関数に基づく複素伝達関数行列を当該複素伝達関数行列の基準となる要素で正規化し、正規化された複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、前記 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する

推定装置。

【請求項 3】

50

前記M及び前記Nの少なくとも一方は、2以上であり、

前記推定装置は、さらに、

前記複素伝達関数算出部で算出された前記複数の複素伝達関数を用いて前記生体の、前記M個の送信アンテナ素子及び前記N個の受信アンテナ素子のうち2以上のアンテナ素子からの角度である第一角度を算出する角度推定部と、

前記第一角度及び前記第三距離から前記第一距離を算出し、前記生体の位置を算出する測位部と、を備える

請求項1または2に記載の推定装置。

【請求項4】

前記M及び前記Nの少なくとも一方は、3以上であり、

前記推定部は、前記 $M \times N$ の組合せのそれぞれについて、当該組合せに含まれる送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の位置を焦点とし、かつ、長軸の長さが前記第三距離である楕円を算出し、算出により得られる前記 $M \times N$ 個の楕円の交点のうち互いに最も近い前記 $M \times N$ 個の交点に基づいて、生体の位置を推定する

請求項1または2に記載の推定装置。

【請求項5】

前記生体相関行列算出部は、前記複数の複素伝達関数を、サブキャリア方向に逆フーリエ変換することで時間領域の生体成分を抽出し、抽出された前記生体成分を用いて、前記生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する

請求項1または2に記載の推定装置。

【請求項6】

前記推定部は、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いて距離を推定する

請求項1または2に記載の推定装置。

【請求項7】

M個 (Mは1以上の自然数) の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、N個 (Nは1以上の自然数) の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、を備える推定装置による推定方法であって、

複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成し、

前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させ、

前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測し、

前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、
(i) 算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、
(ii) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との第二距離の和である第三距離を推定し、

前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数と、

10

20

30

40

50

第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数を含む基準複素伝達関数行列とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正する補正値を算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正する

推定方法。

【請求項 8】

M 個 (M は 1 以上の自然数) の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、 N 個 (N は 1 以上の自然数) の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、を備える推定装置による推定方法であって、

複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成し、

前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させ、

前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測し、

前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、(i) 算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に従って時刻毎に逐次記録し、(i i) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、

前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との第二距離の和である第三距離を推定し、

前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数と、第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数を含む基準複素伝達関数行列とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正する補正値を算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正し、

前記生体相関行列の算出では、時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数に基づき、各時刻で記録された複数の複素伝達関数に基づく複素伝達関数行列を当該複素伝達関数行列の基準となる要素で正規化し、正規化された複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、前記 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する

推定方法。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 に記載の推定方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、無線信号を利用した生体の距離または位置を推定する推定装置及び推定方法等に関する。

【背景技術】

【0002】

人物の位置などを知る方法として、無線信号を利用する方法が検討されている (例えば、特許文献 1 ~ 4 参照)。特許文献 1、2 及び 3 には、差分計算を用いてドップラシフト

10

20

30

40

50

を含む成分を解析することで、検出対象となる人物の位置や状態を推定する技術が開示されている。特許文献 4 及び 5 には、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号を用いたドップラセンサが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2015 - 117972 号公報

【文献】特開 2017 - 129558 号公報

【文献】特開 2018 - 008021 号公報

【文献】特開 2012 - 088279 号公報

10

【文献】特開 2012 - 137340 号公報

【非特許文献】

【0004】

【文献】H. Yamada, M. Ohmiya, Y. Ogawa and K. Itoh, " Superresolution techniques for time-domain measurements with a network analyzer," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 39, no. 2, pp. 177-183, Feb. 1991

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の方法では、より高精度に推定装置から生体までの距離、生体への方向などを推定することが難しい。

20

【0006】

本開示は、上述の事情を鑑みてなされたもので、より高精度に推定装置から生体までの距離等を推定できる推定装置等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】

【0007】

上記目的を達成するために、本開示の一形態に係る推定装置は、生体までの距離を推定する推定装置であって、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成する送信信号生成部と、M個(Mは1以上の自然数)の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させる送信部と、N個(Nは1以上の自然数)の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する受信部と、前記受信部において前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せであるM×N個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する複素伝達関数算出部と、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記M×N個の組合せのそれぞれ毎に、(i)前記複素伝達関数算出部により算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、(ii)時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、M×N行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する生体相関行列算出部と、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との間の第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との間の第二距離の和である第三距離を推定する推定部と、を備える。

30

40

【0008】

また、本開示の他の一形態に係る推定方法は、M個(Mは1以上の自然数)の送信アン

50

テナ素子を有する送信アンテナ部と、 N 個（ N は1以上の自然数）の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、を備える推定装置による推定方法であって、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成し、前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させ、前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測し、前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、 (i) 算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、 $(i+1)$ 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との第二距離の和である第三距離を推定する。

10

【0009】

20

なお、これらの全般的または具体的な態様は、システム、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能なCD-ROMなどの記録媒体で実現されてもよく、装置、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

【発明の効果】

【0010】

本開示によれば、より高精度に推定装置から生体までの距離等を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、実施の形態1における推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

30

【図2】図2は、図1に示す推定装置の検出対象の一例を示す図である。

【図3】図3は、受信信号の位相が周波数及び距離により変化することを示す模式図である。

【図4】図4は、実施の形態1における位相誤差とチャネルの関係を示す模式図である。

【図5】図5は、周波数と位相差の傾きの関係を示す模式図である。

【図6】図6は、実施の形態1における時間領域生体成分伝達関数行列の位相を示す模式図である。

【図7】図7は、生体、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の位置関係と第三距離によって限定される生体の位置を示す模式図である。

【図8】図8は、複数の受信アンテナ素子を用いることで生体の位置を推定する模式図である。

40

【図9】図9は、実施の形態1における推定装置の推定処理を示すフローチャートである。

【図10】図10は、実施の形態1におけるキャリアブレーション値算出処理を示すフローチャートである。

【図11】図11は、実施の形態1における測距処理を示すフローチャートである。

【図12】図12は、実施の形態2における推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図13】図13は、図12に示す推定装置の検出対象の一例を示す図である。

【図14】図14は、図12に示す推定装置の検出対象の位置関係の一例を示す図である。

【図15】図15は、複数の生体が存在する場合の図12に示す推定装置の検出対象の位

50

置関係の一例を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、実施の形態 2 における推定装置の推定処理を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 2】

(本開示の基礎となった知見)

人物の位置などを知る方法として、無線信号を利用する方法が検討されている。

【0 0 1 3】

例えば特許文献 1 及び 2 には、所定の領域に無線信号を送信し、検出対象で反射した無線信号を複数のアンテナで受信して、送受信アンテナ間の複素伝達関数を推定することが開示されている。複素伝達関数は、入力と出力の関係を表す複素数の関数であり、ここでは、送受信アンテナ間の伝搬特性を表すものである。この複素伝達関数の要素の数は、送信アンテナ数及び受信アンテナ数の積と等しい。さらに、特許文献 3 には特許文献 2 と同様の構成にて、受信電力から求められる R C S (Radar Cross Section) を用いて生体の姿勢を推定することが開示されている。R C S は送信波を反射した物体の面積を表す指標であり、生体の R C S は姿勢によってさまざまに変化する。

【0 0 1 4】

特許文献 1 には、さらに、フーリエ変換を用いてドップラシフトを含む成分を解析することで、検出対象となる人物の位置や状態を知ることができることが開示されている。より具体的には、複素伝達関数の要素の時間変化を記録し、その時間波形をフーリエ変換する。人物などの生体は、呼吸や心拍などの生体活動により、反射波に僅かなドップラ効果を与える。したがって、ドップラシフトを含む成分は人物の影響を含んでいる。一方、ドップラシフトの無い成分は人物の影響を受けていない、つまり固定物からの反射波や送受信アンテナ間の直接波に対応する。すなわち、フーリエ変換した波形において所定の周波数範囲に含まれる成分を用いて、検出対象となる人物の位置や状態を知ることができる。

【0 0 1 5】

特許文献 2 には、複素伝達関数の要素の時間変化を記録し、その差分情報を解析することにより、生体による影響を含んだ僅かなドップラシフトを含む成分を抽出する方法が開示されている。すなわち、前記差分情報を用いて検出対象となる人物の位置や状態を知ることができる。

【0 0 1 6】

一方、特許文献 3 には、O F D M 信号を用いたパルスを送信し、対象である移動体によるドップラシフトを検出する O F D M ドップラレーダが開示されている。また、特許文献 4 には、O F D M ドップラレーダに関してフーリエ変換が不要で高速な処理方法が開示されている。

【0 0 1 7】

また、特許文献 6 及び 7 には、O F D M 信号を送信することで、送受信アンテナ間の複素伝達関数の推定精度を向上させる技術が開示されている。特許文献 5 では、複素伝達関数をサブキャリア毎に平均化することで、特許文献 7 では、最大の受信電力を持つサブキャリアを選択することで、それぞれ受信されたノイズ成分が軽減できることが開示されている。

【0 0 1 8】

しかしながら、特許文献 1、2 及び 3 の方法では無変調波を送信しているため、市販のデバイスを流用することが困難であり、専用のハードウェアを必要とする。すなわち、現在普及している通信デバイスを利用することができず、利用者は既存の通信装置に加え専用ハードウェアを追加で設置する必要がある。

【0 0 1 9】

また、特許文献 4 及び 5 の方法も十分な精度を得るためには送信パルスを急峻にする必要があり、そのためには広い周波数帯域が必要である。そのためハードウェアのコストが民生向けの通信装置と比べて高価となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

非特許文献 1 の技術では、ネットワークアナライザなどの測定器を用いて複数の周波数の信号を送受信することで、送信アンテナと受信アンテナ間の T o F (Time Of Flight) や T o F から算出できる距離を推定可能である。これは F M C W (Frequency Modulated Continuous Wave) レーダによる測距センサと同様に、周波数が異なる 2 つの信号を同一位相で送信した場合、受信アンテナで受信される位相は信号の周波数差とアンテナ間を伝搬する距離に依存して変化する性質を活用している。非特許文献 1 の技術はさらに M U S I C (M U l t i p l e S i g n a l C l a s s i f i c a t i o n) 法を用いた T o F 推定を行うことで分解能を向上させている。しかしながら、送信側と受信側が同一の基準周波数で動作するか、高精度に同期されている必要があり、無線 L A N などの家庭用機器を用いることはできない。また、推定可能であるのはアンテナ間の距離のみであり、例えば特別な機器を持たない生体などとの距離を推定することはできない。

10

【 0 0 2 1 】

そこで、発明者らは、このことを鑑み、既存の通信デバイスを用いて低コストかつ高精度に、O F D M に代表されるマルチキャリア無線信号を利用して、推定装置から生体までの距離等の推定を行うことができる推定装置等を発明するに至った。

【 0 0 2 2 】

すなわち、本開示の第 1 の態様に係る推定装置は、生体までの距離を推定する推定装置であって、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成する送信信号生成部と、M 個 (M は 1 以上の自然数) の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させる送信部と、N 個 (N は 1 以上の自然数) の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する受信部と、前記受信部において前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複素算出する複素伝達関数算出部と、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、(i) 前記複素伝達関数算出部により算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、(i i) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する生体相関行列算出部と、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との間の第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との間の第二距離の和である第三距離を推定する推定部と、を備える。

20

30

【 0 0 2 3 】

この構成により、送信信号に O F D M などのマルチキャリア信号を用いることで既存の通信装置を流用して、生体までの距離を計測する生体レーダを実現することが可能である。例えば O F D M などのマルチキャリア信号の受信機はすでに携帯電話やテレビジョン放送受信機、無線 L A N 機器などとして普及しており、無変調信号を用いる場合より低コストに生体までの距離を計測する生体レーダを実現することができる。

40

【 0 0 2 4 】

本開示の第 2 の態様に係る推定装置は、第 1 の態様に係る推定装置であって、さらに、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数と、第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数を含む基準複素伝達関数行列とに基づいて、

50

サブキャリア方向の位相誤差を補正する補正值を算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正するキャリブレーション部、を備える。

【0025】

このため、送信部及び受信部の内部の回路やアンテナの位相特性の影響による誤差を排除することができ、より高精度に推定装置から生体までの距離を測定することができる。

【0026】

本開示の第3の態様に係る推定装置は、第1の態様または第2の態様に係る推定装置であって、前記M及び前記Nの少なくとも一方は、2以上であり、前記推定装置は、さらに、前記複素伝達関数算出部で算出された前記複数の複素伝達関数を用いて前記生体の、前記M個の送信アンテナ素子及び前記N個の受信アンテナ素子のうち2以上のアンテナ素子からの角度である第一角度を算出する角度推定部と、前記第一角度及び前記第三距離から前記第一距離を算出し、前記生体の位置を算出する測位部と、を備える。

10

【0027】

このため、より高精度に推定装置を基準とした生体の位置を推定することができる。

【0028】

本開示の第4の態様に係る推定装置は、第1の態様または第2の態様に係る推定装置であって、前記M及び前記Nの少なくとも一方は、3以上であり、前記推定部は、前記M×Nの組合せのそれぞれについて、当該組合せに含まれる送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の位置を焦点とし、かつ、長軸の長さが前記第三距離である楕円を算出し、算出により得られる前記M×N個の楕円の交点のうち互いに最も近い前記M×N個の交点に基づいて、生体の位置を推定する。

20

【0029】

このため、より高精度に推定装置を基準とした生体の位置を推定することができる。

【0030】

本開示の第5の態様に係る推定装置は、第1の態様から第4の態様のいずれか1つの態様に係る推定装置であって、前記生体相関行列算出部は、前記複数の複素伝達関数を、サブキャリア方向に逆フーリエ変換することで、前記生体相関行列を算出する。

【0031】

本開示の第6の態様に係る推定装置は、第1の態様から第4の態様のいずれか1つの態様に係る推定装置であって、前記推定部は、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いて距離を推定する。

30

【0032】

このため、MUSIC法を用いることで細かい距離分解能での測距が可能である。

【0033】

本開示の第7の態様に係る推定方法は、M個 (Mは1以上の自然数) の送信アンテナ素子を有する送信アンテナ部と、N個 (Nは1以上の自然数) の受信アンテナ素子を有する受信アンテナ部と、を備える推定装置による推定方法であって、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成し、前記マルチキャリア信号を処理して前記送信アンテナ部に出力することで、前記マルチキャリア信号を前記送信アンテナ部に送信させ、前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信された前記マルチキャリア信号が生体によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、前記生体の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測し、前記第一期間に観測された複数の前記受信信号を用いて、前記M個の送信アンテナ素子のそれぞれと前記N個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せであるM×N個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける前記送信アンテナ素子と前記受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、前記複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、前記M×N個の組合せのそれぞれ毎に、(i) 算出された複数の前記複素伝達関数を、前記複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、(i i) 時系列に逐次記録された前記複数の複素伝達関数から生体に関する

40

50

成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された前記生体相関行列を用いて、前記送信アンテナ部と前記生体との第一距離及び前記受信アンテナ部と前記生体との第二距離の和である第三距離を推定する。

【 0 0 3 4 】

この構成により、送信信号に OFDM などのマルチキャリア信号を用いることで既存の通信装置を流用して、生体までの距離を計測する生体レーダを実現することが可能である。例えば OFDM などのマルチキャリア信号の受信機はすでに携帯電話やテレビジョン放送受信機、無線 LAN 機器などとして普及しており、無変調信号を用いる場合より低コストに生体までの距離を計測する生体レーダを実現することができる。

10

【 0 0 3 5 】

本開示の第 8 の態様に係るプログラムは、第 7 の態様に係る推定方法をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

【 0 0 3 6 】

なお、これらの包括的または具体的な態様は、システム、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な CD-ROM などの記録媒体で実現されてもよく、装置、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

【 0 0 3 7 】

以下、本開示の実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも本開示の好ましい一具体例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、本開示の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、より好ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

20

【 0 0 3 8 】

(実施の形態 1)

以下では、図面を参照しながら、実施の形態 1 における推定装置 10 が検出対象である生体までの距離を推定する方法について説明する。

30

【 0 0 3 9 】

[推定装置 10 の構成]

図 1 は、実施の形態 1 における推定装置 10 の構成の一例を示すブロック図である。図 2 は、図 1 に示す推定装置 10 の検出対象の一例を示す図である。

【 0 0 4 0 】

図 1 に示す推定装置 10 は、送信アンテナ部 11 と、送信部 12 と、送信信号生成部 13 と、受信アンテナ部 21 と、受信部 22 と、複素伝達関数算出部 23 と、キャリアブレーション部 24 と、生体相関行列算出部 25 と、推定部 26 とを備える。推定装置 10 は、推定装置 100 を方向または位置の基準として、推定装置 10 から生体 50 までの距離を推定する。

40

【 0 0 4 1 】

[送信アンテナ部 11]

送信アンテナ部 11 は、 M 個の送信アンテナ素子を有する。ここでは、 M は、1 以上の自然数である。本実施の形態では、送信アンテナ部 11 は、1 個の送信アンテナ素子を備える。上述したように、送信アンテナ素子は、後述する送信部 12 により生成されたマルチキャリア信号（送信波）を送信する。

【 0 0 4 2 】

[送信信号生成部 13]

送信信号生成部 13 は、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生

50

成する。具体的には、送信信号生成部 13 は、それぞれ互いに異なる周波数帯の複数のサブキャリアに対応する複数のサブキャリア信号を生成し、生成した複数のサブキャリア信号を多重化することでマルチキャリア信号を生成する。本実施の形態では、送信信号生成部 13 は、マルチキャリア信号として、周波数帯の利用効率が高い、 S 個のサブキャリアからなる OFDM 信号を生成することを例に説明するが、マルチキャリア変調により得られるマルチキャリア信号であれば各サブキャリアが直交している OFDM 信号を生成することに限らずに、単純な FDM (Frequency Division Multiplexing) 信号などの他のマルチキャリア信号を生成しても構わない。

【0043】

また、送信信号生成部 13 が生成する信号は、通信用に用いる信号と共用であっても構わない。

【0044】

[送信部 12]

送信部 12 は、送信信号生成部 13 が生成した信号に適切な処理を加え、送信波を生成する。ここで行われる処理には例えば信号を IF (Intermediate Frequency) の周波数帯から RF (Radio Frequency) の周波数帯に変換するアップコンバート、適切な送信レベルに信号を増幅するアンプなどがある。そして図 2 に示すように、送信部 12 は、処理後のマルチキャリア信号を送信アンテナ部 11 に出力することで、当該マルチキャリア信号を送信アンテナ部 11 に送信させる。これにより、マルチキャリア信号は、送信アンテナ部 11 が備える 1 個の送信アンテナ素子から送信される。

【0045】

[受信アンテナ部 21]

受信アンテナ部 21 は、 N 個の受信アンテナ素子を有する。ここで、 N は、1 以上の自然数である。本実施の形態では、受信アンテナ部 21 は、1 個の受信アンテナ素子を備える。そして、例えば図 2 に示すように、1 個の受信アンテナ素子は、1 個の送信アンテナ素子から送信され、生体 50 によって反射された信号 (受信信号) を受信する。

【0046】

[受信部 22]

受信部 22 は、1 個の受信アンテナ素子により受信された受信信号であって、1 個の送信アンテナ素子から送信されたマルチキャリア信号が生体 50 によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、当該生体 50 の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する。生体の活動に由来する周期は、生体 50 の呼吸、心拍及び体動のいずれかの周期のうち半周期以上の時間である生体由来の周期 (生体変動周期) である。

【0047】

受信部 22 は、1 個の受信アンテナ素子で受信された高周波の信号を、信号処理が可能な低周波の信号に変換する。そして受信部 22 は、1 個の OFDM 信号に対して復調を行い S 個のサブキャリアの信号に復調する。 S 個のサブキャリア信号のそれぞれは、IQ シンボルで表される。受信部 22 は、少なくとも第一期間、 N 個 (本実施の形態では 1 個) の受信アンテナ素子で受信された高周波の信号を変換することで得られた $S \times M$ 組 (本実施の形態では S 組) のサブキャリア信号を、複素伝達関数算出部 23 に出力する。なお、受信部 22 は、常に受信アンテナ部 21 で受信された受信信号を観測し続け、複素伝達関数算出部 23 に連続的に、または定期的に S 個のサブキャリア信号 (IQ シンボル) を伝達し続けてもよい。

【0048】

[複素伝達関数算出部 23]

複素伝達関数算出部 23 は、受信部 22 において第一期間に観測された複数の受信信号を用いて、 M 個 (本実施の形態では 1 個) の送信アンテナ素子のそれぞれと N 個 (本実施の形態では 1 個) の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個 (本実施の形態では 1 個) の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、複数のサブキャリア信号がそれぞ

10

20

30

40

50

れ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する。なお、 $M \times N$ 個の組合せは、 M 個の送信アンテナ素子と N 個の受信アンテナ素子とを 1 対 1 で組み合わせた時に取り得る全ての組合せである。

【 0 0 4 9 】

本実施の形態では、複素伝達関数算出部 2 3 は、受信部 2 2 から伝達された $S \times M$ 組（本実施の形態では S 組）のサブキャリア信号を用いて、 S 個のサブキャリア信号のそれぞれに対して各送信アンテナ素子と各受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を算出する。なお、算出された複素伝達関数行列には、直接波、固定物由来の反射波など、生体 5 0 を経由しない反射波も含まれている。

【 0 0 5 0 】

1 つのサブキャリア信号から複素伝達関数を算出する方法には例えばパイロット信号やガードインターバル信号といった既知信号で受信 I Q シンボルを除算する方法がある。本実施の形態では、 S 個のサブキャリア信号間の位相差に着目するため、基準となるサブキャリア信号 $S 0$ でそのほかのサブキャリア信号を除算する。

【 0 0 5 1 】

複素伝達関数算出部 2 3 は、 S 個のサブキャリア信号のそれぞれに対して前記の複素関数算出を行い、得られた S 個の複素伝達関数行列をキャリブレーション部 2 4 に出力する。

【 0 0 5 2 】

なお、複素伝達関数算出部 2 3 は、連続的または定期的に、受信部 2 2 により出力される複数のサブキャリア信号のそれぞれを用いて、常に複素伝達関数行列を求めてもよい。この構成とすることで、推定装置 1 0 が通信装置のハードウェアを共用する構成である場合、通信装置の処理で使用するために常時算出されている複素伝達関数行列を推定装置 1 0 でも利用できる。

【 0 0 5 3 】

[キャリブレーション部 2 4]

キャリブレーション部 2 4 は、算出された複素伝達関数行列 h を取得し、周波数方向の位相誤差をキャリブレーションする。図 3 を用いてキャリブレーションが必要な位相誤差について説明する。図 3 は、受信信号の位相が周波数及び距離により変化することを示す模式図である。

【 0 0 5 4 】

周波数が異なる信号が空間を伝搬して受信されるとき、送信信号が受信信号に対して位相回転する量は、周波数及び送信アンテナと受信アンテナとの間の距離（以下、アンテナ間距離という）に依存して異なる。このため、アンテナ間距離は、既知の複数の周波数の信号を送受信し位相差を測定することで逆算して求めることができる。ところが、実際に測定される位相差は、送信アンテナと受信アンテナとの間の空間伝搬による影響だけでなく、送信機や受信機の内部の回路やアンテナの位相特性の影響による誤差（以下、位相誤差という）を含む。そのため、アンテナ間距離を正しく測定するためには、観測した信号から位相誤差を取り除く必要がある。

【 0 0 5 5 】

図 4 は前述の位相誤差とチャネル（複素伝達関数）との対応を示す図である。

【 0 0 5 6 】

位相誤差は、測定で得られた行列で示されるチャネル h_{meas} と、アンテナ間距離から算出可能な行列で示される空間の理想チャネル h_{ideal} との差とを算出することで、求めることができる。このことは、アンテナ間距離の推定に限らず、生体 5 0 との距離を推定する場合にも当てはまる。

【 0 0 5 7 】

以降、キャリブレーション部 2 4 の具体的な動作を説明する。ここで周波数方向の位相誤差とは、複素伝達関数算出部 2 3 で算出された、基準となるサブキャリア信号 $S 0$ の位相との差のうちアンテナ間の空間伝搬によらないものを指す。具体的には、位相誤差は、送信アンテナ部 1 1 及び受信アンテナ部 2 1 の周波数特性や送信部 1 2 の内部の回路の電

10

20

30

40

50

気長、受信部 2 2 の内部の回路の電気長などによる影響が存在する。位相誤差は、送信アンテナ部 1 1 及び送信部 1 2 による位相誤差 $e^{j\phi_{tx}}$ と、受信アンテナ部 2 1 及び受信部 2 2 による位相誤差 $e^{j\phi_{rx}}$ とを含む。

【 0 0 5 8 】

キャリアブレーション部 2 4 は、所定の方法で算出された周波数方向キャリアブレーション値をもとに複素伝達関数行列のキャリアブレーションを行う。まず、キャリアブレーション部 2 4 は、あらかじめ入力された送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離 d をもとに理想的なアンテナ素子間のチャネルである h_{ideal} を求める。入力されるアンテナ間距離 d は、例えば、実際にユーザが送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の距離を計測することで得られた値である。ここで h_{ideal} はサブキャリア数 S 個の要素を持つ複素数のベクトルであり i 番目の要素は、

10

【数 1】

$$h_{ideal(i)} = \exp(-jk_id) \quad (\text{式 1})$$

で計算される。ここで k_i は i 番目のサブキャリアの波数である。このように、 h_{ideal} は、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数である。

【 0 0 5 9 】

次に、キャリアブレーション部 2 4 は、基準となる第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数行列を含む基準複素伝達関数行列を複素伝達関数算出部 2 3 から取得する。なお、基準複素伝達関数行列の測定は、生体による影響が少ない無人状態で行われることが望ましいが、生体による影響が含まれていてもよい。基準複素伝達関数行列には、複素伝達関数算出部 2 3 から取得した最初の複素伝達関数行列が用いられてもよい。なお、基準複素伝達関数行列には、無人状態でない場合や直接波成分が十分大きくない場合、基準複素伝達関数行列を観測時間 (slow time) に対してフーリエ変換し、時間変動しない成分のみを抽出しての結果が用いられてもよい。また、キャリアブレーション部 2 4 は、複素伝達関数の絶対値の時間変動を同時に算出することで得られた変動が少ないタイミングのデータに基づいて新たな基準複素伝達関数行列を算出し、算出した新たな基準複素伝達関数行列で基準複素伝達関数行列を更新してもよい。本実施の形態では、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子はともに 1 個であるため、基準複素伝達関数行列は、要素数 S のベクトル h_{meas} である。

20

30

【 0 0 6 0 】

次に、キャリアブレーション部 2 4 は、理想的なチャネル h_{ideal} と、基準複素伝達関数 (チャネル h_{meas}) とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正するための補正值を算出する。具体的には、キャリアブレーション部 2 4 は、計算で得られた理想的なチャネルである h_{ideal} と、測定されたチャネル h_{meas} との差を計算し、その差を補正值 (キャリアブレーション値) h_{cal} とする。具体的には以下の計算で h_{cal} を求める。

【 0 0 6 1 】

【数 2】

$$h_{cal} = h_{ideal} \oslash h_{meas} \quad (\text{式 2})$$

ここで $\oslash$ はベクトルの要素ごとの除算であるアダマール除算を表す。

40

【 0 0 6 2 】

キャリアブレーション値 h_{cal} は、基準複素伝達関数行列が変わらなければ同一であるため、キャリアブレーション値 h_{cal} には、メモリ等に記憶して次回以降は記憶した値が用いられることが望ましい。

【 0 0 6 3 】

50

最後に、キャリブレーション部 2 4 は、キャリブレーション値 h_{cal} をもとに複素伝達関数行列 h を次式に従ってキャリブレーション（補正）する。

【 0 0 6 4 】

【 数 3 】

$$h' = \angle h_{cal} \circ h \quad (\text{式 3})$$

ここで $\angle h_{cal}$ は h_{cal} の位相角を表す。また、 $\circ$ は要素ごとの積であるアダマール積を表す。

【 0 0 6 5 】

キャリブレーション部 2 4 は、このようにして得られたキャリブレーション済みの複素伝達関数行列 h' を後段の生体相関行列算出部 2 5 に出力する。

10

【 0 0 6 6 】

なお、本実施の形態では、複素伝達関数の測定結果からキャリブレーション値を算出する方法を説明したが、キャリブレーション値は時間変化しないため、キャリブレーション値には工場などでネットワークアナライザ等の測定器を用いて測定されてメモリに保持された値が用いられてもよい。

【 0 0 6 7 】

[生体相関行列算出部 2 5]

生体相関行列算出部 2 5 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、キャリブレーション部 2 4 により算出された複数のキャリブレーション済み複素伝達関数行列を、複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録する。そして、生体相関行列算出部 2 5 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、 $M \times N$ の組合せのそれぞれ毎に、時系列に逐次記録された第一期間に観測されたキャリブレーション済みの複素伝達関数行列 h' から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 次元の行列により表現される生体成分伝達関数行列を複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。

20

【 0 0 6 8 】

ここで生体成分伝達関数行列は、受信信号に含まれる、生体 5 0 を経由した反射波または散乱波（生体成分）を抽出したものである。生体成分を時系列に記録された複素伝達関数から求める方法には特許文献 1 で開示されているフーリエ変換や特許文献 2 で開示されている差分情報を用いる方法がある。

30

【 0 0 6 9 】

例えばフーリエ変換を用いる方法では、複素伝達関数行列 h' を観測時間（slow time）に対しフーリエ変換し特定の周波数成分のみを抽出することで、生体の活動の影響を含み得る周波数、例えば 0 . 1 H z から 3 H z に含まれる複数の周波数成分のそれぞれに対し生体成分伝達関数行列 h'_{fft} を算出することができる。

【 0 0 7 0 】

ここで、生体成分伝達関数行列 h'_{fft} の周波数（行列の列方向）及び位相の関係を図 5 に示す。実線 1 1 0 1 は生体 5 0 がある位置に存在した場合の生体成分伝達関数行列の各成分の位相がサブキャリア周波数によって変動する様子を表す。ここでの位相は複素伝達関数算出の際に基準としたサブキャリア S_0 の周波数における位相からの差分である。上記位置から生体 5 0 が送信アンテナまたは受信アンテナに近づくと、生体 5 0 が反射する電波の経路長が短くなるため、グラフの傾きがなだらかになり破線 1 1 0 2 のようになる。原理的にはこのグラフの傾きから T o F（Time Of Flight）または生体までの距離が推定可能である。具体的にはこの生体成分伝達関数行列 h'_{fft} をさらにサブキャリア方向に逆フーリエ変換し時間領域生体成分伝達関数行列 h'_{ifft} を求めると、生体成分を含む信号が送信機から送信されてから受信機で受信されるまでの時間が求まる。

40

【 0 0 7 1 】

図 6 に時間領域生体成分伝達関数行列 h'_{ifft} の時間（行列の列方向）と位相の関係を示す。図 5 における実線 1 1 0 1 及び破線 1 1 0 2 の位相変化がそれぞれ実線 1 2 0 1、破線 1 2 0 2 で示すピークとして現れる。しかし、ここで求まる時間の時間分解能 Δt

50

はサブキャリアの帯域幅 B を用いて

【数 4】

$$\Delta t = \frac{1}{B} [\text{s}] \quad (\text{式 4})$$

で表され、例えば帯域幅が 20 MHz の場合、時間分解能は $0.5 \mu\text{s}$ に相当し、距離分解能に換算すると約 15 m と実用には堪えない。

【0072】

そこで本実施の形態では MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いて分解能の向上が図られている。MUSIC 法を用いるために

10

生体相関行列算出部 25 は、生体成分伝達関数行列 $\mathbf{h}'_{fft}$ の相関行列 $\mathbf{R}'_f$ を次式に従って算出する。

【0073】

【数 5】

$$\mathbf{R}'_f = \mathbf{E} [\mathbf{h}'_{fft} \mathbf{h}'_{fft}^H] \quad (\text{式 5})$$

【0074】

生体成分伝達関数行列 $\mathbf{h}'_{fft}$ は、 $\mathbf{h}'$ に対するフーリエ変換後の生体による揺れを含みうる周波数それぞれに対して存在し、式 5 の $\mathbf{E}[\cdot]$ は周波数方向の平均処理を示す。

20

【0075】

[推定部 26]

推定部 26 は、生体相関行列算出部 25 が算出した相関行列 $\mathbf{R}'_f$ を用いて MUSIC 法による測距を行う。つまり、推定部 26 は、MUSIC 法を用いて距離を推定する。まず推定部 26 は、生体相関行列 $\mathbf{R}'_f$ を固有値分解し、信号に対応するベクトル $\mathbf{U}_S'$ 及び雑音に対応する固有ベクトル $\mathbf{U}_N'$ を求める。ここで信号に対応する固有ベクトルとは、第一固有ベクトルから順に、測距したい対象の数までのベクトルであり、例えば対象が 1 人であれば第一固有ベクトルのみである。また、信号に対応する固有ベクトルとは、例えば、対象が k 人 (k は 2 以上の自然数) であれば第一固有ベクトルから第 k 固有ベクトルまでの k 個の固有ベクトルである。また、雑音に対応する固有ベクトルとは、信号に対応する固有ベクトル以外の固有ベクトルを指す。

30

【0076】

以上のようにして得られた固有ベクトルを用いて次式に従って MUSIC スペクトル $P_{\text{MUSIC}}(l)$ を算出する。

【0077】

【数 6】

$$P_{\text{MUSIC}}(l) = \frac{\mathbf{a}^H(l) \mathbf{a}(l)}{\mathbf{a}^H(l) \mathbf{U}_N \mathbf{U}_N^H \mathbf{a}(l)} \quad (\text{式 6})$$

40

ここで $\mathbf{a}(d)$ はステアリングベクトルを表し、

【数 7】

$$\mathbf{a}(l) = [1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}l}, \dots, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}l(s-1)}]^T \quad (\text{式 7})$$

と算出される。このようにして得られた MUSIC スペクトル $P_{\text{MUSIC}}(l)$ の極大値をとる l が、図 2 における $a + b$ の距離、すなわち送信アンテナ間と生体 50 間の距離 (第一距離) と受信アンテナと生体 50 間の距離 (第二距離) との和 (第三距離) に対応している。つまり、推定部 26 は、極大値 l を算出することで、第三距離を算出することができる。このようにして、推定部 26 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された

50

生体相関行列を用いて、送信アンテナ部 1 1 と生体 5 0 との間の第一距離及び第二距離の和である第三距離を推定する。

【 0 0 7 8 】

図 7 は、生体、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の位置関係と第三距離によって限定される生体の位置を示す模式図である。

【 0 0 7 9 】

図 7 に示すように、第三距離を推定することで平面上における生体 5 0 の位置は、送信アンテナ部 1 1 及び受信アンテナ部 2 1 の位置を焦点とする楕円 1 2 0 3 の周上に限定されることがわかる。

【 0 0 8 0 】

なお、図 8 に示すように 3 つ以上の送信アンテナまたは受信アンテナを用い、複数の第三距離を推定することで楕円の交点から生体 5 0 の位置を推定してもよい。

【 0 0 8 1 】

図 8 は、複数の受信アンテナ素子を用いることで生体の位置を推定する模式図である。

【 0 0 8 2 】

この場合の推定装置 1 0 の受信アンテナ部 2 1 は、3 つの受信アンテナ素子 2 1 a、2 1 b、2 1 c を備える。なお、受信アンテナ部 2 1 は、3 つ以上の受信アンテナ素子を有していればよく、3 つの受信アンテナ素子を有することに限定されない。また、受信アンテナ部 2 1 が 3 つ以上の受信アンテナ素子を有する代わりに、送信アンテナ部 1 1 が 3 つ以上の送信アンテナ素子を有していてもよい。

【 0 0 8 3 】

これにより、送信アンテナ部 1 1 の送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子 2 1 a の組合せ、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子 2 1 b の組合せ、並びに、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子 2 1 c の組合せの 3 つの組合せ（つまり、 $M \times N$ 個の組合せ）のそれぞれについて、当該組合せに含まれる送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の位置を焦点とし、かつ、長軸の長さが第三距離である楕円を算出し、算出により得られる 3 つ（つまり、 $M \times N$ 個）の楕円の交点のうち互いに最も近い 3 つの（つまり、 $M \times N$ 個）交点に基づいて、生体 5 0 の位置を推定する。

【 0 0 8 4 】

〔 推定装置 1 0 の動作 〕

以上のように構成された推定装置 1 0 の推定処理の動作について説明する。図 9 は、本実施の形態における推定装置 1 0 の推定処理を示すフローチャートである。

【 0 0 8 5 】

推定装置 1 0 は、まずキャリブレーション値の算出を行う（S 1 0 0）。ステップ S 1 0 0 の処理の詳細は、図 1 0 を用いて説明する。

【 0 0 8 6 】

次に、推定装置 1 0 は、算出したキャリブレーション値をもとに前記第三距離の測距を行う（S 2 0 0）。ステップ S 2 0 0 の処理の詳細は、図 1 1 を用いて説明する。

【 0 0 8 7 】

図 1 0 は、ステップ S 1 0 0 におけるキャリブレーション値算出の詳細な処理を示すフローチャートである。

【 0 0 8 8 】

まず、推定装置 1 0 は、送信アンテナ素子から S 個のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を送信する。（S 1 0 1）。

【 0 0 8 9 】

そして、推定装置 1 0 は、推定対象領域である所定の空間に生体やその他動体の存在しない第二期間に、送信アンテナ素子からマルチキャリア信号を送信し、受信した受信信号を受信アンテナ素子で観測する（S 1 0 2）。

【 0 0 9 0 】

次に、推定装置 1 0 は、第二期間に観測された受信信号に対してマルチキャリア復調を

10

20

30

40

50

行い S 個の信号列に復調する (S 1 0 3)。

【0 0 9 1】

次に、推定装置 1 0 は、第二期間に観測された複数のサブキャリアのそれぞれの受信信号から、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する (S 1 0 4)。この処理は、各サブキャリアに対して並列または逐次的に行われる。詳細は上述した通りであるため、ここでの説明は省略する。以下も同様である。

【0 0 9 2】

次に、推定装置 1 0 は、あらかじめ与えられた送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の距離から理想的なチャネル h_{ideal} を算出する (S 1 0 5)。

10

【0 0 9 3】

次に、推定装置 1 0 は、理想的なチャネル h_{ideal} と測定したチャネル h_{meas} とに基づいて、式 2 に従いキャリブレーション値 h_{cal} を算出する (S 1 0 6)。

【0 0 9 4】

図 1 1 は、ステップ S 2 0 0 における測距の詳細な処理を示すフローチャートである。

【0 0 9 5】

まず、推定装置 1 0 は、送信アンテナ素子から S 個のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を送信する (S 2 0 1)。

【0 0 9 6】

そして、推定装置 1 0 は、 N 個の受信アンテナ素子のそれぞれにより受信された受信信号であって、 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれから送信されたマルチキャリア信号が生体 5 0 によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、生体 5 0 の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する (S 2 0 2)。

20

【0 0 9 7】

次に、推定装置 1 0 は、第一期間に観測された受信信号に対してマルチキャリア復調を行い、 S 個の信号列に復調する (S 2 0 3)。

【0 0 9 8】

次に、推定装置 1 0 は、複数のサブキャリア信号のそれぞれに対して第一期間に観測された $M \times N$ の受信信号から、 M 個の送信アンテナ素子のそれぞれと N 個の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する (S 2 0 4)。

30

【0 0 9 9】

次に、推定装置 1 0 は、キャリブレーション値 h_{cal} を用いて式 3 に従いキャリブレーション済みの複素伝達関数行列 h' を算出する (S 2 0 5)。

【0 1 0 0】

次に、推定装置 1 0 は、キャリブレーション済みの複素伝達関数行列 h' から生体成分伝達関数行列 h'_{fft} を算出し、さらに生体成分伝達関数行列 h'_{fft} をサブキャリア方向に逆フーリエ変換し時間領域生体成分伝達関数行列 h'_{ifft} を求め、式 5 に従い生体成分相関行列 R'_f を算出する (S 2 0 6)。つまり、推定装置 1 0 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、(i) 算出された複数の複素伝達関数を、複数の受信信号が観測された順である時系列に逐次記録し、($i i$) 時系列に逐次記録された複数の複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。

40

【0 1 0 1】

次に、推定装置 1 0 は、式 6 に従い $MUSIC$ スペクトル $P_{MUSIC}(l)$ を算出する (S 2 0 7)。

【0 1 0 2】

最後に、推定装置 1 0 は、前記 $MUSIC$ スペクトル $P_{MUSIC}(l)$ が極大となる l

50

を探索し、探索結果を送信アンテナ素子と生体 5 0 との間の第一距離と、生体 5 0 と受信アンテナ素子との間の第二距離の和である第三距離として出力する (S 2 0 8)。

【 0 1 0 3 】

[効果等]

本実施の形態の推定装置 1 0 及び推定方法によれば、送信信号に O F D M などのマルチキャリア信号を用いることで既存のマルチキャリア送受信機を流用して生体とアンテナとの間の距離を推定することが可能である。また、M U S I C 法を用いることで細かい距離分解能での測距が可能である。シミュレーションではバンド幅 2 0 M H z の信号を用いて誤差中央値約 1 m での測位が可能であった。

【 0 1 0 4 】

10

(実施の形態 2)

実施の形態 1 で説明した推定装置 1 0 は、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子とがともに 1 つである S I S O (Single Input Single Output) 方式を用いたが、受信アンテナ素子または送信アンテナ素子の一方が複数のアンテナである S I M O (Single Input Multiple Output) または M I S O (Multiple Input Single Output) 方式にも適用可能である。

【 0 1 0 5 】

実施の形態 2 では送信アンテナが複数である M I S O 方式の場合について説明する。

【 0 1 0 6 】

[推定装置 1 0 0 の構成]

20

図 1 2 は、実施の形態 2 における推定装置 1 0 0 の構成の一例を示すブロック図である。図 1 3 は、図 1 2 に示す推定装置 1 0 0 の検出対象の一例を示す図である。

【 0 1 0 7 】

図 1 2 に示す推定装置 1 0 は、送信アンテナ部 1 1 1 と、送信部 1 2 と、送信信号生成部 1 3 と、受信アンテナ部 2 1 と、受信部 2 2 と、複素伝達関数算出部 1 2 3 と、キャリアブレーション部 1 2 4 と、生体相関行列算出部 1 2 5 と、推定部 1 2 6 と、角度推定部 1 2 7 と、測位部 1 2 8 とを備える。推定装置 1 0 は、推定装置 1 0 0 を方向または位置の基準として、生体 5 0 の存在する位置を推定する。

【 0 1 0 8 】

[送信アンテナ部 1 1 1]

30

送信アンテナ部 1 1 1 は、M 個 (M は 2 以上) の送信アンテナ素子を有する。上述したように、送信アンテナ素子は、後述する送信部 1 2 により生成されたマルチキャリア信号 (送信波) を送信する。

【 0 1 0 9 】

[送信信号生成部 1 3]

送信信号生成部 1 3 は、送信アンテナ部 1 1 1 が備える送信アンテナ素子ごとに、複数のサブキャリア信号が変調されたマルチキャリア信号を生成する。本実施の形態では、実施の形態 1 と同様に周波数帯の利用効率が高い、S 個のサブキャリアからなる O F D M 信号を生成することを例に説明するが、マルチキャリア変調により得られるマルチキャリア信号であれば各サブキャリアが直交している O F D M 信号を生成することに限らずに、単純な F D M (Frequency Division Multiplexing) 信号などの他のマルチキャリア信号を生成しても構わない。

40

【 0 1 1 0 】

また、送信信号生成部 1 3 が生成する信号は、通信用に用いる信号と共用であっても構わない。

【 0 1 1 1 】

[送信部 1 2]

送信部 1 2 は、送信信号生成部 1 3 が生成した信号に適切な処理を加え、送信波を生成する。ここで行われる処理には例えば信号を I F (Intermediate Frequency) の周波数帯から R F (Radio Frequency) の周波数帯に変換するアップコンバート、適切な送信レ

50

ベルに信号を増幅するアンプなどがある。そして図 1 3 に示すように、送信部 1 2 は、処理後のマルチキャリア信号を送信アンテナ部 1 1 1 に出力することで、当該マルチキャリア信号を送信アンテナ部 1 1 1 に送信させる。これにより、マルチキャリア信号は、送信アンテナ部 1 1 1 が備える M 個 (M は 2 以上) の送信アンテナ素子から送信される。

【 0 1 1 2 】

[受信アンテナ部 2 1]

受信アンテナ部 2 1 は、N 個の受信アンテナ素子を有する。ここで、N は、1 以上の自然数である。本実施の形態では、受信アンテナ部 2 1 は、1 個の受信アンテナ素子を備える。そして、例えば図 1 3 に示すように、1 個の受信アンテナ素子は、M 個の送信アンテナ素子から送信され、生体 5 0 によって反射された信号 (受信信号) を受信する。

10

【 0 1 1 3 】

[受信部 2 2]

受信部 2 2 は、1 個の受信アンテナ素子により受信された受信信号であって、M 個の送信アンテナ素子から送信されたマルチキャリア信号が生体 5 0 によって反射または散乱された反射信号を含む受信信号を、当該生体 5 0 の活動に由来する周期に相当する第一期間について観測する。生体の活動に由来する周期とは、生体 5 0 の呼吸、心拍及び体動のいずれかの周期のうち半周期以上の時間である生体由来の周期 (生体変動周期) である。

【 0 1 1 4 】

受信部 2 2 は、1 個の受信アンテナ素子で受信された高周波の信号を、信号処理が可能な低周波の信号に変換する。そして受信部 2 2 は、M 個の送信アンテナ素子により送信された M 個の OFDM 信号に対して復調を行い、 $S \times M$ 個のサブキャリアの信号に復調する。 $S \times M$ 個のサブキャリア信号のそれぞれは、IQ シンボルで表される。受信部 2 2 は、少なくとも第一期間、N 個 (本実施の形態では 1 個) の受信アンテナ素子で受信された高周波の信号を変換することで得られた $S \times M$ 組のサブキャリア信号を、複素伝達関数算出部 2 3 に出力する。

20

【 0 1 1 5 】

なお、受信部 2 2 は、常に受信アンテナ部 2 1 で受信された受信信号を観測し続け、複素伝達関数算出部 2 3 に連続的に、または定期的に $S \times M$ 個のサブキャリア信号 (IQ シンボル) を伝達し続けてもよい。

【 0 1 1 6 】

30

[複素伝達関数算出部 1 2 3]

複素伝達関数算出部 1 2 3 は、受信部 2 2 において第一期間に観測された複数の受信信号を用いて、M 個 (本実施の形態では 1 個) の送信アンテナ素子のそれぞれと N 個 (本実施の形態では 1 個) の受信アンテナ素子のそれぞれとの組合せである $M \times N$ 個 (本実施の形態では 1 個) の組合せのそれぞれについて、当該組合せにおける送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を、複数のサブキャリア信号がそれぞれ対応している複数のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出する。なお、 $M \times N$ 個の組合せは、M 個の送信アンテナ素子と N 個の受信アンテナ素子とを 1 対 1 で組み合わせた時に取り得る全ての組合せである。

【 0 1 1 7 】

40

本実施の形態では、複素伝達関数算出部 2 3 は、受信部 2 2 から伝達された $S \times M$ 個のサブキャリア信号を用いて、S 個のサブキャリア信号のそれぞれに対して各送信アンテナ素子と各受信アンテナ素子との間の伝搬特性を表す複素伝達関数を算出する。

【 0 1 1 8 】

なお、算出された複素伝達関数行列には、直接波、固定物由来の反射波など、生体 5 0 を経由しない反射波も含まれている。

【 0 1 1 9 】

1 つのサブキャリア信号から複素伝達関数を算出する方法には、例えばパイロット信号やガードインターバル信号といった既知信号で受信 IQ シンボルを除算する方法がある。本実施の形態では、S 個のサブキャリア信号間の位相差に着目するため、基準となる送信

50

アンテナ素子のサブキャリア信号 S_0 でそのほかのサブキャリア信号を除算する。すなわち、 M 行 S 列の複素伝達関数行列の要素のうち基準となる要素を定め、各時刻の複素伝達関数行列を基準となる要素で正規化（除算）されてもよい。この操作によって送信部と受信部の動作クロックのずれに起因するノイズも除去することが可能である。なお、基準となる複素伝達関数の要素は複素伝達関数の各要素の平均でもよいし、複素伝達関数の相関行列を固有値分解して得られる直接波成分でもよい。

【0120】

複素伝達関数算出部 123 は、 S 個のサブキャリア信号のそれぞれに対して前記の複素伝達関数の算出を行い、得られた S 個の複素伝達関数行列をキャリアレーション部 124 に出力する。

10

【0121】

なお、複素伝達関数算出部 123 は連続的または定期的に、受信部 22 により出力される複数のサブキャリア信号のそれぞれを用いて、常に複素伝達関数行列を求めてもよい。この構成とすることで、推定装置 10 が通信装置のハードウェアを共用する構成である場合、通信装置の処理で使用するために常時算出されている複素伝達関数行列を推定装置 100 でも利用できる。

【0122】

なお、実施の形態 1 では複素伝達関数をそのままキャリアレーション部 24 に出力するとしたが、本実施の形態では複素伝達関数行列を次式に従って特異値分解する。

【0123】

20

【数 8】

$$h = U \Sigma V^H \quad (\text{式 8})$$

ここで H はエルミート行列を表す。こうして得られる行列 V を後段のキャリアレーション部 124 に出力する。こうすることで後段に渡すデータの量を削減することができる。なお、実施の形態 1 と同様に複素伝達関数を渡してもよく、その場合は V を h と読み替えることにより同様の処理が可能である。

【0124】

[キャリアレーション部 124]

キャリアレーション部 124 は、算出され行列 V を取得し、周波数方向の位相誤差をキャリアレーションする。ここで周波数方向の位相誤差とは、複素伝達関数算出部 123 で算出された、基準となるサブキャリア信号 S_0 の位相との差のうちアンテナ間の空間伝搬によらないものを指す。具体的には、位相誤差は、送信アンテナ部 111 及び受信アンテナ部 21 の周波数特性や送信部 12 の内部の回路の電気長、受信部 22 の内部の回路の電気長などによる影響が存在する。位相誤差は、送信アンテナ部 111 及び送信部 12 による位相誤差 $e^{j\phi_{tx}}$ と、受信アンテナ部 21 及び受信部 22 による位相誤差 $e^{j\phi_{rx}}$ とを含む。

30

【0125】

キャリアレーション部 124 が受け取った V 行列は次式で表される。

【0126】

40

【数 9】

$$V = \begin{pmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{M1} & \cdots & v_{MS} \end{pmatrix} \quad (\text{式 9})$$

【0127】

キャリアレーション部 124 は、 V 行列の各行、すなわち各アンテナに対し、所定の方法で算出された周波数方向キャリアレーション値をもとにキャリアレーションを行う。ここでは j 行目に着目して補正を行う方法を説明する。まず、キャリアレーション部 124 は、あらかじめ入力された j 番目の送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の距離 d

50

j をもとに、理想的なアンテナ素子間のチャネルである h_{ideal} を求める。ここで h_{ideal} はサブキャリア数 S 個の要素を持つ複素数のベクトルであり i 番目の要素は

【数 1 0】

$$h_{ideal(i)} = \exp(-jk_id_j) \quad (\text{式 1 0})$$

で計算される。ここで k_i は i 番目のサブキャリアの波数である。このように、 h_{ideal} は、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間のアンテナ間距離に基づいて得られる、送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との間の理想的な複素伝達関数である。

【0 1 2 8】

次に、キャリブレーション部 1 2 4 は、基準となる第二期間に観測された $M \times N$ 個の複素伝達関数行列を含む基準複素伝達関数行列を複素伝達関数算出部 1 2 3 から取得する。なお、基準複素伝達関数行列の測定は、生体による影響が少ない無人状態で行われることが望ましいが、生体による影響が含まれていてもよい。基準複素伝達関数行列には、複素伝達関数算出部 1 2 3 から取得した最初の複素伝達関数行列が用いられてもよい。また、キャリブレーション部 1 2 4 は、複素伝達関数の絶対値の時間変動を同時に算出することで得られた変動が少ないタイミングのデータに基づいて新たな基準複素伝達関数行列を算出し、算出した新たな基準複素伝達関数行列で基準複素伝達関数行列を更新してもよい。本実施の形態では、送信アンテナ素子が M 個であり、受信アンテナ素子が 1 個であるため、基準複素伝達関数行列は要素数 $S \times M$ の行列 h_{meas} である。その後、キャリブレーション部 1 2 4 は、第一期間で測定した複素伝達関数行列と同様に特異値分解により基準 V 行列 v_{meas} を算出する。

【0 1 2 9】

次に、キャリブレーション部 2 4 は、理想的なチャネル h_{ideal} と、基準複素伝達関数（チャネル h_{meas} ）とに基づいて、サブキャリア方向の位相誤差を補正するための補正值を算出する。具体的には、キャリブレーション部 2 4 は、計算で得られた理想的なチャネルである h_{ideal} と、測定された基準 V 行列 v_{meas} との差を計算し、その差を補正值（キャリブレーション値） v_{cal} とする。具体的には以下の計算で v_{cal} を求める。

【0 1 3 0】

【数 1 1】

$$v_{cal} = h_{ideal} \oslash v_{meas} \quad (\text{式 1 1})$$

V 行列とチャネル h は読み替えが可能であり、実施の形態 1 と同様に h_{ideal} を用いてキャリブレーション値の算出が可能である。キャリブレーション値 v_{cal} は、基準複素伝達関数行列が変わらなければ同一であるため、キャリブレーション値 v_{cal} には、メモリ等に記憶して次回以降は記憶した値が用いられることが望ましい。

【0 1 3 1】

最後に、キャリブレーション部 1 2 4 は、キャリブレーション値 v_{cal} をもとに V 行列 v を次式に従ってキャリブレーション（補正）する。

【0 1 3 2】

【数 1 2】

$$v' = \angle v_{cal} \circ v \quad (\text{式 1 2})$$

ここで $\angle v_{cal}$ は v_{cal} の位相角を表す。また、 $\circ$ は要素ごとの積であるアダマール積を表す。

【0 1 3 3】

キャリブレーション部 1 2 4 は、 V 行列のそのほかの送信アンテナに対応する行に対しても同様の補正を行い、キャリブレーション済みの V 行列 V' を後段の生体相関行列算出部

1 2 5 及び角度推定部 1 2 7 に出力する。

【 0 1 3 4 】

[生体相関行列算出部 1 2 5]

生体相関行列算出部 1 2 5 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、 $M \times N$ 個の組合せのそれぞれ毎に、キャリアレーション部 1 2 4 により算出された複数のキャリアレーション済み V 行列を、複数の受信信号が観測された時系列順に逐次記録する。そして、生体相関行列算出部 1 2 5 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎、かつ、 $M \times N$ の組合せのそれぞれ毎に、時系列に逐次記録された第一期間に観測されたキャリアレーション済みの V 行列 V' から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 次元の行列により表現される生体成分伝達関数行列を複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。

10

【 0 1 3 5 】

ここで生体成分伝達関数行列は、受信信号に含まれる、生体 5 0 を経由した反射波または散乱波（生体成分）を抽出したものである。生体成分を時系列に記録された複素伝達関数から求める方法には、特許文献 1 で開示されているフーリエ変換や特許文献 2 で開示されている差分情報を用いる方法がある。

【 0 1 3 6 】

例えばフーリエ変換を用いる方法では、V 行列 V' を観測時間（slow time）に対しフーリエ変換し特定の周波数成分のみを抽出することで、生体成分 V 行列 V'_{fft} を算出することができる。ここで、生体成分 V 行列 V'_{fft} は、生体の活動の影響を含みうる周波数、例えば 0 . 1 H z から 3 H z に含まれる複数の周波数成分のそれぞれに対してそれぞれ算出される。実施の形態 1 と同様に、この生体成分 V 行列 V'_{fft} をさらにサブキャリア方向に逆フーリエ変換し、時間領域生体成分 V 行列 V'_{ifft} を求めることにより、生体成分を含む信号が送信機から送信され、受信機で受信されるまでの時間が求まる。しかし、ここで求まる時間の時間分解能 Δt 、サブキャリアの帯域幅 B を用いて

20

【 数 1 3 】

$$\Delta t = \frac{1}{B} [s] \quad (\text{式 1 3})$$

で表され、例えば帯域幅が 2 0 M H z の場合、時間分解能は 0 . 5 μ s に相当し、距離分解能に換算すると約 1 5 m と実用には堪えない。

30

【 0 1 3 7 】

そこで本実施の形態では、MUSIC (MULTiple Signal Classification) 法を用いて分解能の向上が図られている。MUSIC 法を用いるために生体相関行列算出部 1 2 5 は、生体成分 V 行列 V'_{fft} の相関行列 R'_f を次式に従って算出する。

【 0 1 3 8 】

【 数 1 4 】

$$R'_f = E[v'_{fft(m)} v'_{fft(m)}^H] \quad (\text{式 1 4})$$

【 0 1 3 9 】

40

ここで式 1 4 の $E[\cdot]$ は、列方向すなわち送信アンテナごとの、生体の影響を含みうる周波数方向の平均演算を示し、 m は送信アンテナの 1 から M までのインデックス番号を示す。

【 0 1 4 0 】

[推定部 1 2 6]

推定部 1 2 6 は、生体相関行列算出部 1 2 5 が算出した相関行列 R'_f を用いて MUSIC 法による測距を行う。つまり、推定部 2 6 は、MUSIC 法を用いて距離を推定する。まず推定部 1 2 6 は、生体相関行列 R'_f を固有値分解し、信号に対応するベクトル U_S' 及び雑音に対応する固有ベクトル U_N' を求める。ここで信号に対応する固有ベクトルとは、第一固有ベクトルから順に、測距したい対象の数までのベクトルであり、例えば対象が 1

50

人であれば第一固有ベクトルのみである。また、信号に対応する固有ベクトルとは、例えば、対象が k 人（ k は 2 以上の自然数）であれば第一固有ベクトルから第 k 固有ベクトルまでの k 個の固有ベクトルである。また、雑音に対応する固有ベクトルとは、信号に対応する固有ベクトル以外の固有ベクトルを指す。

【 0 1 4 1 】

以上のようにして得られた固有ベクトルを用いて、次式に従って MUSIC スペクトル $P_{MUSIC}(l)$ を算出する。

【 0 1 4 2 】

【 数 1 5 】

$$P_{MUSIC}(l) = \frac{\mathbf{a}^H(l)\mathbf{a}(l)}{\mathbf{a}^H(l)\mathbf{U}_N\mathbf{U}_N^H\mathbf{a}(l)} \quad (\text{式 1 5})$$

10

ここで $\mathbf{a}(l)$ はステアリングベクトルを表し、

【 数 1 6 】

$$\mathbf{a}(l) = [1, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}l}, \dots, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}l(S-1)}]^T \quad (\text{式 1 6})$$

と算出される。このようにして得られた MUSIC スペクトル $P_{MUSIC}(l)$ の極大値をとる l が、図 1 3 における送信アンテナ素子と生体 5 0 との距離 a （第一距離）、及び受信アンテナ素子と生体 5 0 との距離 b （第二距離）の和（第三距離）に対応している。つまり、推定部 2 6 は、極大値 l を算出することで、第三距離を算出することができる。このようにして、推定部 2 6 は、複数のサブキャリアのそれぞれ毎に算出された生体相関行列を用いて、送信アンテナ部 1 1 1 と生体 5 0 との間の第一距離及び第二距離の和である第三距離を推定する。

20

【 0 1 4 3 】

推定部 1 2 6 は、推定された送信アンテナ素子と生体 5 0 との距離 a （第一距離）、及び受信アンテナ素子と生体 5 0 との距離 b （第二距離）の和を第三距離 L として測位部 1 2 8 に出力する。

【 0 1 4 4 】

30

[角度推定部 1 2 7]

角度推定部 1 2 7 は、キャリブレーション部 1 2 4 が算出したキャリブレーション済みの V 行列を用いて、生体 5 0 が送信アンテナ部 1 2 1（つまり、推定装置 1 0 0）から見てどの角度（方向）にいるかを推定する。本実施の形態では、複数の送信アンテナ素子から信号を送信しているため、推定には例えば特許文献 1 に挙げる MUSIC 法を用いた到来角推定を用いることができる。なお、本実施の形態では、送信アンテナ素子からの角度を推定したが、受信アンテナ素子を複数具備する装置を用いて受信アンテナ素子からの角度を推定してもよい。

【 0 1 4 5 】

角度推定部 1 2 7 は、推定した生体 5 0 の存在する角度である第一角度 θ を測位部 1 2 8 に渡す。

40

【 0 1 4 6 】

[測位部 1 2 8]

測位部 1 2 8 は、推定部で推定した第三距離 L と角度推定部 1 2 7 で推定した第一角度 θ とをもとに、生体 5 0 の座標を算出する。図 1 4 に生体 5 0、送信アンテナ部 1 1 1、受信アンテナ部 2 1、第三距離 L 、及び第一角度 θ の関係を示す。図 1 4 中の第一距離 a 及び第二距離 b の和に相当する第三距離 L が定まると、生体 5 0 の位置は楕円 1 2 0 3 の周上にあることが分かり、さらに送信アンテナ部 1 1 1 からの角度である第一角度 θ が定まるため、生体 5 0 の位置は、楕円 1 2 0 3 の周上の 1 点に確定する。以下、数式を用いて生体 5 0 の座標算出方法を説明する。

50

【 0 1 4 7 】

まず測位部 1 2 8 は、第一距離 a を、第三距離 L 、第一角度 θ 、及びアンテナ間距離 d を用いて余弦定理から算出する。具体的な式は以下の通りである。

【 0 1 4 8 】

【 数 1 7 】

$$\begin{aligned}(L - a)^2 &= a^2 + d^2 - 2ad\cos\theta \\ a(2d\cos\theta - 2L) &= d^2 - L^2 \\ \therefore a &= \frac{L^2 - d^2}{2(L - d\cos\theta)}\end{aligned}\quad (\text{式 1 7})$$

10

【 0 1 4 9 】

最後に測位部 1 2 8 は、第一距離 a 及び第一角度 θ を用いて生体 5 0 の座標 (x, y) を次式で算出する。

【 0 1 5 0 】

【 数 1 8 】

$$(x, y) = (a\cos\theta, a\sin\theta) \quad (\text{式 1 8})$$

【 0 1 5 1 】

なお、本実施の形態では、存在する生体数は 1 として説明したが、生体数が 2 以上の場合も、図 1 5 に示すようにそれぞれの生体について、第三距離及び第一角度とを推定し、第三距離及び第一角度の組合せを相関行列の固有値の大小関係から推定し、それぞれの生体の座標を求めることが可能である。また、MUSIC スペクトル算出時に使用するステアリングベクトルを距離及び角度の 2 次元に拡張することで、複数人の第三距離及び第一角度の組合せを同時に推定することが可能である。なお、ステアリングベクトルの次元をさらに拡張することで別の送信または受信アンテナ素子からの角度や距離などを同時に推定することも可能である。

20

【 0 1 5 2 】

[推定装置 1 0 0 の動作]

以上よう構成された推定装置 1 0 0 の推定処理の動作について説明する。図 1 6 は、実施の形態 2 における推定装置 1 0 0 の推定処理を示すフローチャートである。

30

【 0 1 5 3 】

推定装置 1 0 0 は、まずキャリブレーション値の算出を行う (S 1 0 0 0)。

【 0 1 5 4 】

次に、推定装置 1 0 は、算出したキャリブレーション値をもとに第三距離 L の測距を行う (S 1 1 0 0)。また、推定装置 1 0 は、測距と並行または前後して推定装置 1 0 0 は生体 5 0 の角度である第一角度 θ を推定する (S 1 2 0 0)。

【 0 1 5 5 】

最後に、推定装置 1 0 0 は、第三距離 L と第一角度 θ とをもとに生体 5 0 の位置を推定する (S 1 3 0 0)。各ステップの処理は前述しているため省略する。

40

【 0 1 5 6 】

[効果等]

本実施の形態によれば、MISO や SIMO 構成の推定装置を用いても生体の座標を推定することができる。

【 0 1 5 7 】

以上のように、本開示によれば、無線信号を利用して生体が存在する距離や位置の推定を、短時間かつ高精度に行うことができる推定装置及び推定方法を実現することができる。

【 0 1 5 8 】

以上、本開示の一態様に係る測位センサ及び距離推定方法について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、これらの実施形態に限定されるものではない。本開示の趣旨

50

を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施形態に施したもの、あるいは異なる実施形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の範囲内に含まれる。

【 0 1 5 9 】

例えば、実施の形態 1 及び 2 では、生体 5 0 の距離推定や位置推定を例として説明したが、生体 5 0 に限らない。高周波の信号が照射された場合に、その活動によって反射波にドップラ効果を与える種々の動体（機械等）に適用可能である。

【 0 1 6 0 】

また、本開示は、このような特徴的な構成要素を備える、測位センサとして実現することができるだけでなく、測位センサに含まれる特徴的な構成要素をステップとする推定方法などとして実現することもできる。また、そのような方法に含まれる特徴的な各ステップをコンピュータに実行させるコンピュータプログラムとして実現することもできる。そして、そのようなコンピュータプログラムを、C D - R O M 等のコンピュータで読取可能な非一時的な記録媒体あるいはインターネット等の通信ネットワークを介して流通させることができるのは、言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 6 1 】

本開示は、無線信号を利用した生体の距離や位置を推定する測位センサ及び距離推定方法に利用でき、特に、生体と機械を含む生体の距離や位置を測定する測定器、生体の距離や位置に応じた制御を行う家電機器、生体の侵入を検知する監視装置などに搭載される測距センサ及び方向推定方法に利用できる。

【符号の説明】

【 0 1 6 2 】

1 0、1 0 0 推定装置

1 1 送信アンテナ部

1 2 送信部

1 3 送信信号生成部

2 1 受信アンテナ部

2 2 受信部

2 3、1 2 3 複素伝達関数算出部

2 4、1 2 4 キャリブレーション部

2 5、1 2 5 生体相関行列算出部

2 6、1 2 6 推定部

1 2 7 角度推定部

1 2 8 測位部

3 1 位置推定処理部

5 0 生体

1 0 1 送信アンテナ部から生体までの経路

1 0 2 受信アンテナ部から生体までの経路

1 1 0 1、1 1 0 2 複素伝達関数行列の周波数に対する位相の変化

1 2 0 2、1 2 0 1 複素伝達関数行列の逆フーリエ変換後の位相

1 2 0 3、1 2 0 3 a、1 2 0 3 b、1 2 0 3 c 楕円

10

20

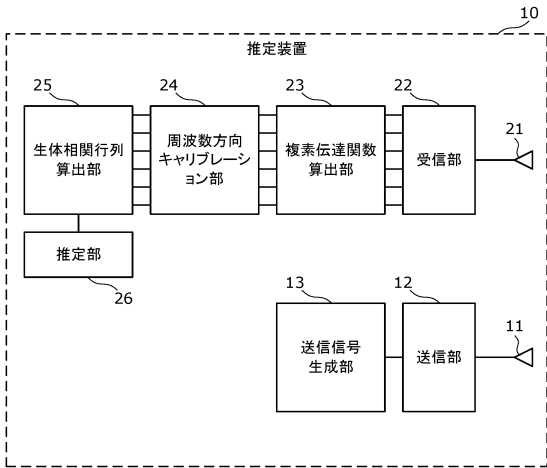
30

40

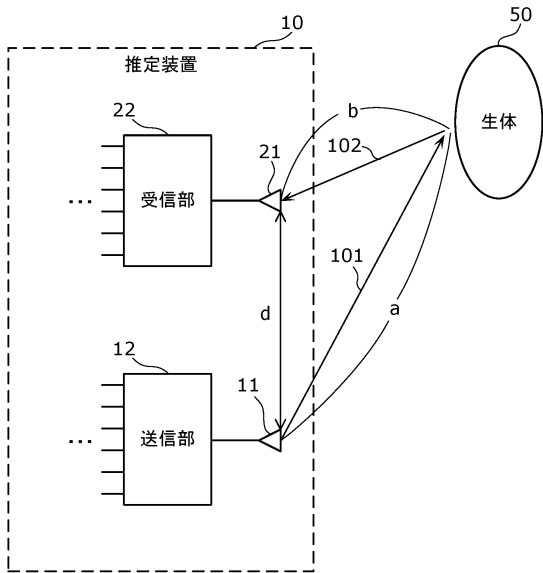
50

【図面】

【図 1】



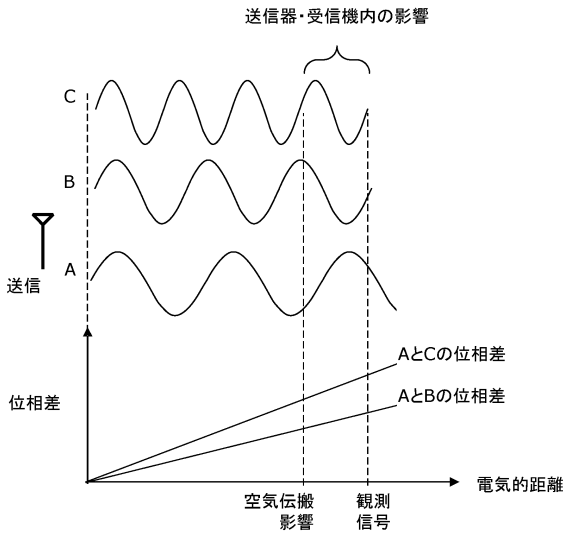
【図 2】



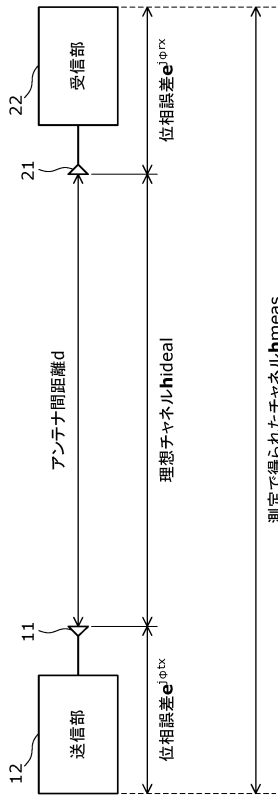
10

20

【図 3】



【図 4】

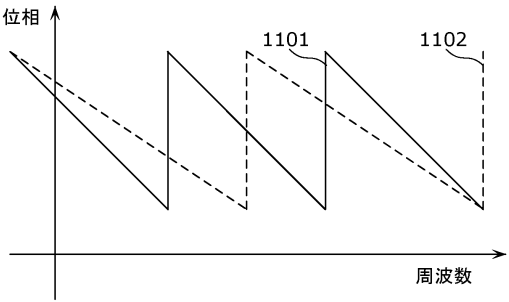


30

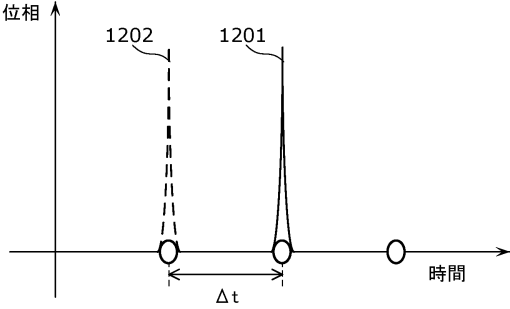
40

50

【図 5】

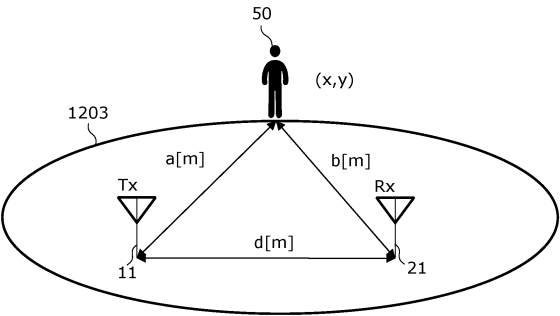


【図 6】

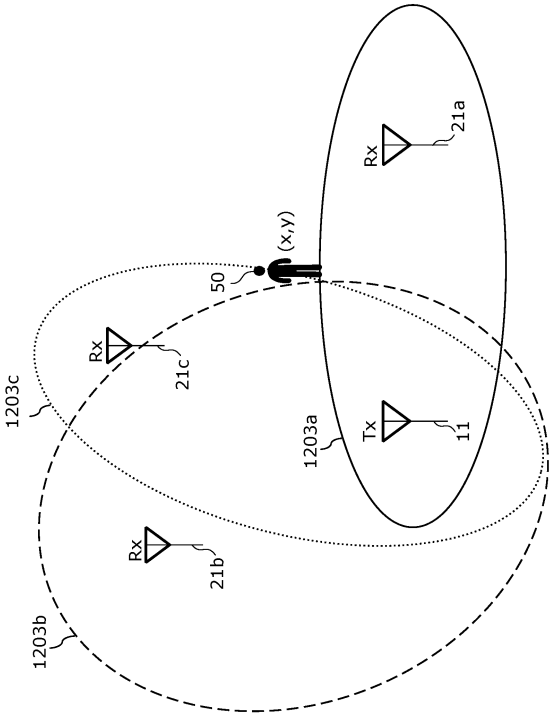


10

【図 7】



【図 8】



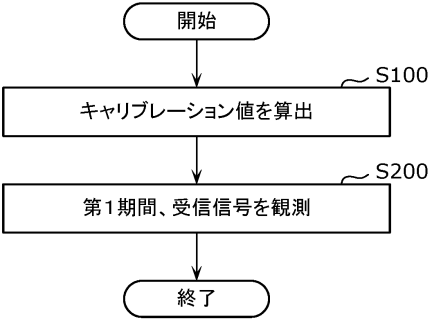
20

30

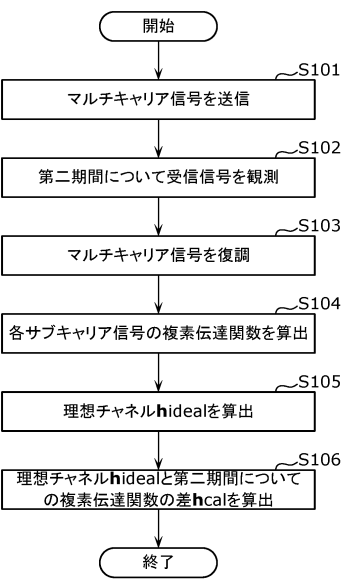
40

50

【図 9】



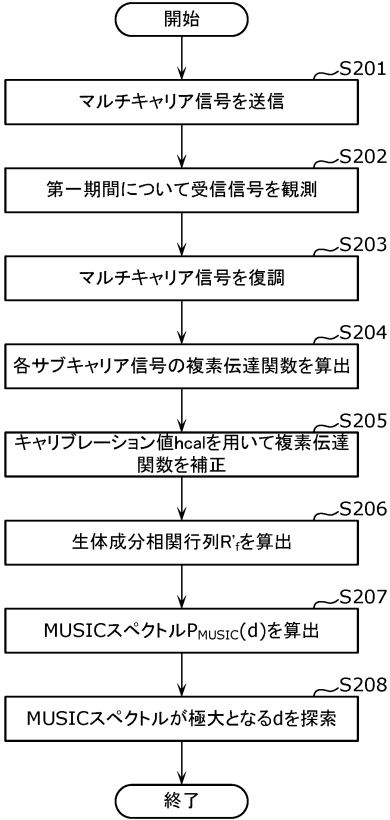
【図 10】



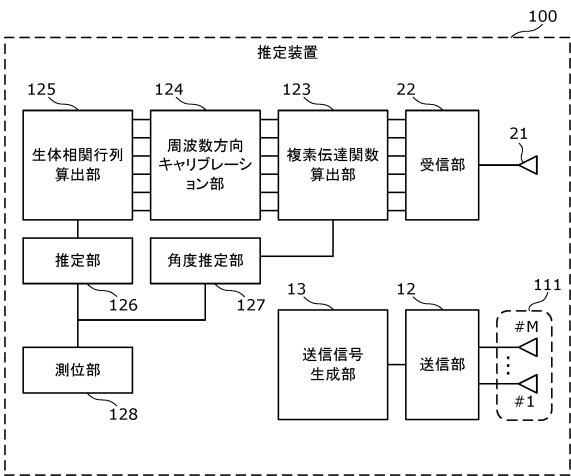
10

20

【図 11】



【図 12】

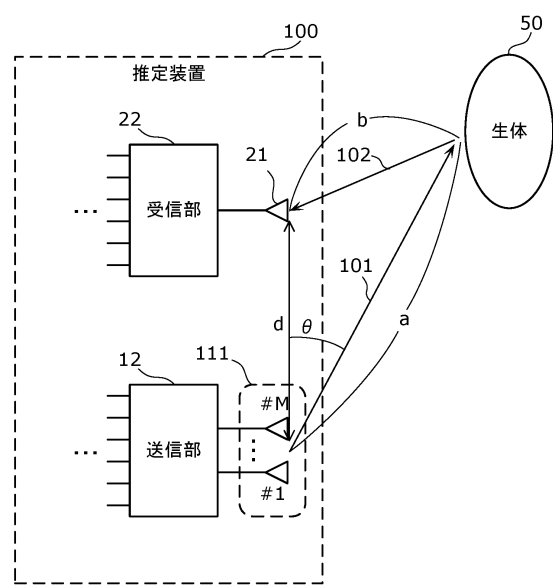


30

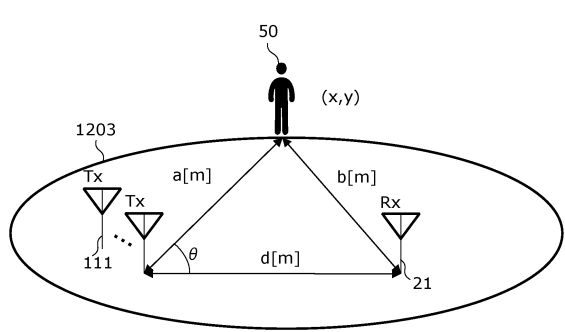
40

50

【図 1 3】

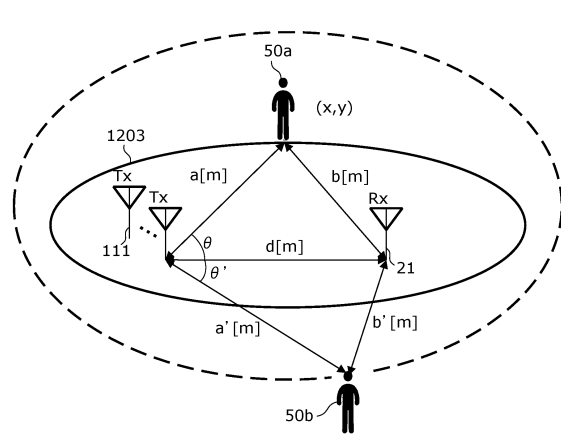


【図 1 4】

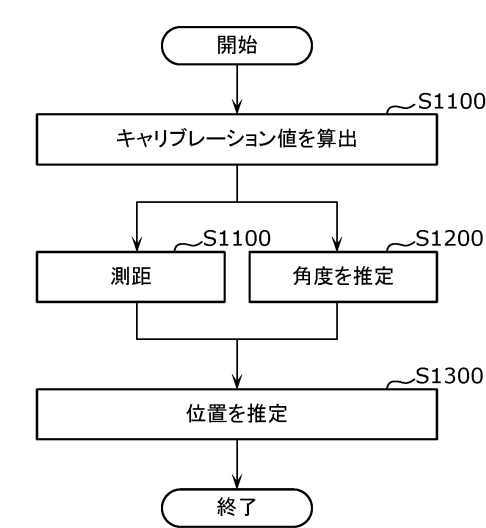


10

【図 1 5】



【図 1 6】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 本間 尚樹
日本国岩手県盛岡市上田三丁目 1 8 番 8 号 国立大学法人岩手大学内
- (72)発明者 田中 亮佑
日本国岩手県盛岡市上田三丁目 1 8 番 8 号 国立大学法人岩手大学内
- (72)発明者 伊藤 友則
日本国岩手県盛岡市上田三丁目 1 8 番 8 号 国立大学法人岩手大学内
- (72)発明者 白木 信之
日本国岩手県盛岡市上田三丁目 1 8 番 8 号 国立大学法人岩手大学内

- 審査官 ▲高▼場 正光
- (56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 1 0 9 3 9 1 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 0 8 4 4 3 2 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 6 8 1 0 6 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 2 2 0 7 3 1 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 0 4 6 6 8 (J P , A)
浅田順之 他 , “ 地上デジタルテレビジョン放送を用いたバースタティックレーダにおける M U S I C 法を用いた移動目標検出法 ” , 電子情報通信学会論文誌 , 日本 , 社団法人電子情報通信学会 , 2010年08月01日 , Volume J93-B, Number 8 , Pages 1061-1074 , ISSN 1344-4697
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 S 3 / 0 0 - G 0 1 S 3 / 7 4
G 0 1 S 5 / 0 0 - G 0 1 S 5 / 1 4
G 0 1 S 7 / 0 0 - G 0 1 S 7 / 4 2
G 0 1 S 1 1 / 0 0 - G 0 1 S 1 1 / 1 6
G 0 1 S 1 3 / 0 0 - G 0 1 S 1 3 / 9 5