

(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
2024年7月4日(04.07.2024)



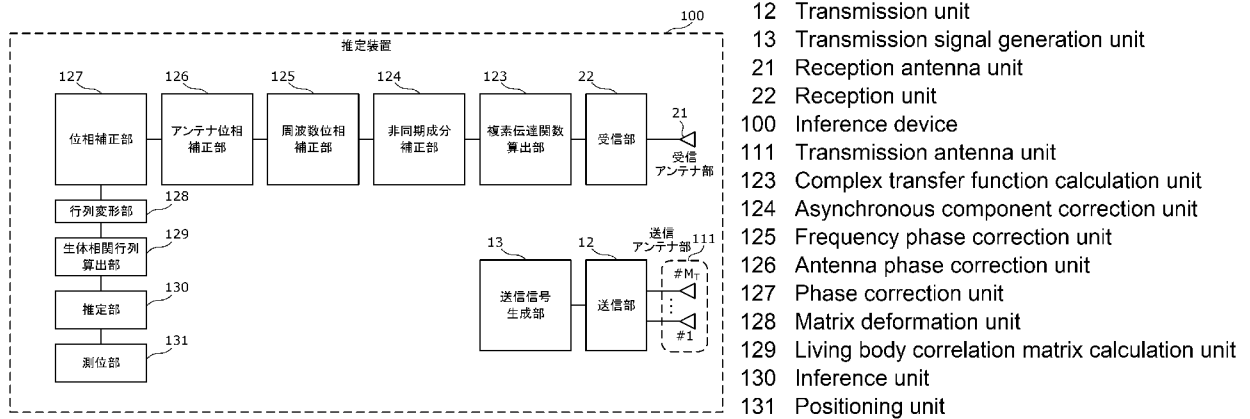
(10) 国際公開番号

WO 2024/143069 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 13/42 (2006.01) G01S 7/02 (2006.01)
A61B 5/11 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/045511
- (22) 国際出願日: 2023年12月19日(19.12.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-209282 2022年12月27日(27.12.2022) JP
- (71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 飯塚 翔一 (IIZUKA, Shoichi). 中山 武司 (NAKAYAMA, Takeshi). 白木 信之 (SHIRAKI, Nobuyuki). 本間 尚樹 (HONMA, Naoki).
- (74) 代理人: 新居 広守, 外 (NII, Hiromori et al.); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目3番10号イトーピア新大阪ビル6階新居国際特許事務所内 Osaka (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: INFERENCE DEVICE, INFERENCE METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 推定装置、推定方法及びプログラム



(57) Abstract: An inference device (100) comprises: a transmission signal generation unit (13); a transmission antenna unit (111); a transmission unit (12); a reception antenna unit (21); a reception unit (22); a complex transfer function calculation unit (123); a third complex transfer function calculation unit that calculates a third complex transfer function obtained by correcting frequency phase error and antenna phase error from a second complex transfer function obtained by dividing all elements of a first complex transfer function by a direct wave component; a living body correlation matrix calculation unit (129); and an inference unit (130) that infers a third distance which is a sum of a first distance between the transmission antenna unit (111) and a living body and a second distance between the reception antenna unit (21) and the living body, and a first angle which is a direction to the living body as seen from the transmission antenna unit (111) or the reception antenna unit (21).

WO 2024/143069 A1



MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：推定装置 (1 0 0) は、送信信号生成部 (1 3) と、送信アンテナ部 (1 1 1) と、送信部 (1 2) 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、直接波成分で第一複素伝達関数の全要素を除算することにより算出された第二複素伝達関数から周波數位相誤差及びアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出する第三複素伝達関数算出部と、生体相関行列算出部 (1 2 9) と、送信アンテナ部 (1 1 1) と生体との間の第一距離及び受信アンテナ部 (2 1) と生体との間の第二距離の和である第三距離と、送信アンテナ部 (1 1 1) または受信アンテナ部 (2 1) から見た生体の方向である第一角度とを推定する推定部 (1 3 0) と、を備える。

明 細 書

発明の名称：推定装置、推定方法及びプログラム

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] 特許文献1：特開2015-117972号公報
特許文献2：特開2017-129558号公報
特許文献3：特開2018-008021号公報
特許文献4：特開2012-088279号公報
特許文献5：特開2012-137340号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：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、及び、推定

装置から生体への方向を推定することが難しい。

[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、及び、推定装置から生体への方向を推定できる推定装置等を提供する。

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、生体までの距離と角度を推定する推定装置であって、 S 個（ S は2以上の自然数）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、但し M 及び N のうち少なくともいずれか一方は2以上）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第一複素伝達関数を、前記 S 個のサブキャリア信号がそれぞれ対応している S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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する第一複素伝達関数算出部と、前記第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出する第二複素伝達関数算出部と、前記第二複素伝達関数から前記 M 個の送信アンテナ素子と前記

N個の受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記M個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出する第三複素伝達関数算出部と、前記第三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S個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S個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する推定部と、を備える。

[0008] また、本開示の他の一形態に係る推定方法は、生体までの距離と角度を推定する推定方法であって、S個（Sは2以上の自然数）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、受信アンテナ部を構成するN個（Nは1以上の自然数、但しM及びNのうち少なくともいずれか一方は2以上）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第一複素伝達関数を、前記S個のサブキャリア信号がそれぞれ対応しているS個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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、前記第一複素伝達関数の1

以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出し、前記第二複素伝達関数から前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記M個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出し、前記第三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S個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記S個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する。

[0009] 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、及び、推定装置から生体への方向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。

[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、図1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8]図8は、複数の生体が存在する場合の図1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。

発明を実施するための形態

[0012] (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。

[0013] 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RCS (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。RCS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RCSは姿勢によってさまざまに変化する。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 一方、特許文献3には、OFDM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OFDMドップラレーダが開示されている。また、特許文献4には、OFDM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。

[0017] また、特許文献6及び7には、OFDM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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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FMCW (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MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いたToF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LAN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。

[0021] 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、OFDM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。

[0022] すなわち、本開示の第1の態様に係る推定装置は、生体までの距離と角度を推定する推定装置であって、S個（Sは2以上の自然数）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、但しM及びNのうち少なくともいずれか一方は2以上）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第一複素伝達関数を、前記 S 個のサブキャリア信号がそれぞれ対応している S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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する第一複素伝達関数算出部と、前記第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出する第二複素伝達関数算出部と、前記第二複素伝達関数から前記 M 個の送信アンテナ素子と前記 N 個の受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記 S 個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記 M 個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出する第三複素伝達関数算出部と、前記第三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 S 個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 S 個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する推定部と、を備える。

[0023] 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。

[0024] 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、前記第三複素伝達関数算出部は、(i) 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間の $M \times N$ 個のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との間の $M \times N$ 通りの伝搬経路の各経路における、理想的な複素伝達関数と、 (i, i) 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、前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差を補正するための周波數位相補正值を $M \times N$ 通りの伝搬経路のそれぞれ毎に算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正する周波數位相補正部、を備える。このため、送信部及び受信部の内部の回路または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。

[0025] 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、前記第三複素伝達関数算出部は、 (i, i) 前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との間のM個のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との間の $M \times N$ 通りの伝搬経路の各経路における、理想的な複素伝達関数と、 (i, i) 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、前記 $M \times N$ 個の組み合わせにおけるアンテナ位相誤差を補正するためのアンテナ位相補正值を前記S個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正するアンテナ位相補正部、を備える。このため、送信部及び受信部の内部の回路または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4の態様に係る推定装置は、第1の態様から第3の態様のいずれか1つの態様に係る推定装置であって、 $M \times N \times S$ 個の要素からなる前記第三複素伝達関数を $A \times 1$ または $1 \times A$ （ A は2以上 $M \times N \times S$ 以下の整数）の複素伝達関数ベクトルに変形する行列変形部を備え、前記生体相関行列算出部は、前記 $1 \times A$ の複素伝達関数ベクトルに基づいて前記 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記S個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。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。

[0027] 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、前記推定部は、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法、Capon法、及び、ビームフォーマー法のいずれかの手法を用いて前記第三距離及び前記第一角度を推定する。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1の態様に係る推定方法は、生体までの距離と角度を推定する推定方法であって、S個 (Sは2以上の自然数) 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、受信アンテナ部を構成するN個 (Nは1以上の自然数、但しM及びNのうち少なくともいずれか一方は2以上) 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第一複素伝達関数を、前記S個のサブキャリア信号がそれぞれ対応しているS個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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、前記第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出し、前記第二複素伝達関数から前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との位置関係から算出さ

れる基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記M個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出し、前記第三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S個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記S個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する。

[0029] 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。

[0030] 本開示の第5の態様に係るプログラムは、第6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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] (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 100 が、推定装置 100 から検出対象である生体までの距離及び方向を推定する方法について説明する。

[0034] 実施の形態 1 では送信アンテナが複数である MISO 方式の場合について説明する。なお、受信アンテナが複数である SIMO 方式または送信アンテナと受信アンテナ双方が複数である MIMO 方式においても同様に適用可能である。

[0035] [推定装置 100 の構成]

図 1 は、実施の形態 1 における推定装置 100 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 100 の検出対象の一例を示す図である。

[0036] 図 1 に示す推定装置 100 は、送信アンテナ部 111 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 123 と、非同期成分補正部 124 と、周波數位相補正部 125 と、アンテナ位相補正部 126 と、位相補正部 127 と、行列変形部 128 と、生体相関行列算出部 129 と、推定部 130 と、測位部 131 とを備える。推定装置 100 は、推定装置 100 を方向または位置の基準として、生体 50 の存在する位置を推定する。

[0037] [送信アンテナ部 111]

送信アンテナ部 111 は、M 個（M は 2 以上の自然数）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 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。

[0038] [送信信号生成部 13]

送信信号生成部 13 は、送信アンテナ部 111 が備える M 個の送信アンテナ

ナ素子のそれぞれ毎に、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生成する。送信信号生成部13は、それぞれ互いに異なる周波数帯のS個のサブキャリアに対応するS個のサブキャリア信号を生成し、生成したS個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がマルチキャリア信号として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。なお、OFDM信号は、周波数帯の利用効率が高く、例えば、S個のサブキャリアに対応するS個のサブキャリア信号が多重化された信号である。

[0039] 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。

[0040] [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111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111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111が備えるM個 (Mは2以上の自然数) の送信アンテナ素子から送信される。

[0041] [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、M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。

[0042] [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、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 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。

[0043] 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、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、1 Q 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 $S \times M$ 組のサブキャリア信号を、複素伝達関数算出部 123 に出力する。

[0044] 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 123 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（1 Q シンボル）を伝達し続けてもよい。

[0045] [複素伝達関数算出部 123]

複素伝達関数算出部 123 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 2 個以上）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 M 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、S 個のサブキャリア信号がそれぞれ対応している S 個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。

[0046] 本実施の形態では、複素伝達関数算出部 1 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、 $S \times M$ 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第一複素伝達関数を算出する。

[0047] なお、算出された第一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。

[0048] 1 つのサブキャリア信号から第一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。

[0049] なお、複素伝達関数算出部 1 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 S 個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 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 0 でも利用できる。複素伝達関数算出部 1 2 3 は、第一複素伝達関数算出部の一例である。

[0050] なお、複素伝達関数算出部 1 2 3 は、第一複素伝達関数を式 1 に従って特異値分解して、特異値分解により得られた右特異ベクトル V を第一複素伝達関数 h_0 の代わりに出力してもよい。

[0051] [数1]

$$h_0 = U \Sigma V^H \quad (\text{式 1})$$

[0052] ここで H はエルミート行列を表す。これにより後段に渡すデータの量を削減することができる。特異値分解を行う場合は以降の説明中の h を V と読み替えることにより同様の処理が可能である。

[0053] [非同期成分補正部 1 2 4]

複素伝達関数算出部 1 2 3 において算出された第一複素伝達関数行列は、時間的に変動する位相の誤差成分を含む。この誤差成分は、非同期成分と呼ばれる。非同期成分は、送信部 1 2 と受信部 2 2 との間のクロック揺らぎ、

送信信号のデジタルーアナログ変換または受信信号のアナログーデジタル変換のタイミング揺らぎ等に起因して生じる。

[0054] 非同期成分補正部 124 は、第一複素伝達関数行列から生体 50 に由来する位相変化を残しつつ非同期成分を取り除くことで、第二複素伝達関数を算出する。

[0055] 本実施例では、非同期成分を取り除く方法として特異値分解を用いる方法を説明する。非同期成分は、送信アンテナ部 111 と受信アンテナ部 21 との間のどの伝搬路を経由した成分にも等しく重畳される。一方で、生体 50 に由来する位相変化は、生体 50 が反射、散乱した伝搬路を経由した成分にのみ重畳される。すなわち、非同期成分補正部 124 は、第一複素伝達関数から生体 50 による反射または散乱の影響の少ない成分を抽出し、その成分を全体から除算する。これにより、非同期成分補正部 124 は、第一複素伝達関数から生体 50 に由来する成分を残しつつ、非同期成分を取り除くことができる。具体的には、非同期成分補正部 124 は、第一複素伝達関数行列を $h_0(t)$ としたとき、式 2 のように、左特異ベクトル $U(t)$ 、右特異ベクトル $V(t)$ 、及び、特異値ベクトル $\Sigma(t)$ に特異値分解する。

[0056] [数2]

$$\begin{aligned} h_0(t) &= U(t)\Sigma(t)V^H(t) & (\text{式 2}) \\ U(t) &= [u_1(t) \ u_2(t) \ \cdots \ u_M(t)] & (\text{式 2-1}) \\ V(t) &= [v_1(t) \ v_2(t) \ \cdots \ v_S(t)] & (\text{式 2-2}) \end{aligned}$$

[0057] このようにして得られた各特異値ベクトルは、送信アンテナ部 111 と受信アンテナ部 21 との間の複数の送信信号のそれぞれの伝搬路を表し、最大の特異値に対応する左特異ベクトル $u_1(t)$ と右特異ベクトル $v_1(t)$ とは送信アンテナ部 111 と受信アンテナ部 21 との間の直接波の伝搬に対応する。

[0058] 次に、非同期成分補正部 124 は、式 3 に示すように左特異ベクトル $u_1(t)$ と右特異ベクトル $v_1(t)$ とを用いて非同期成分を補正した第二複素伝達関数行列 $h'(t)$ を求める。

[0059]

[数3]

$$h'(t) = h_0(t)/(u_1^H h_0(t) v_1) \quad (\text{式 } 3)$$

[0060] 本実施の形態では特異値分解を用いる方法を説明したが、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）してもよい。この操作によっても非同期成分を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、複数の受信信号から抽出された、生体50を経由しない直接波成分の一例である。基準となる複素伝達関数の要素は、特異値分解で得られる要素に限らずに、第一複素伝達関数のうちの任意の1つの要素であってもよいし、第一複素伝達関数の複数の要素の平均であってもよいし、第一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あってもよい。

[0061] このように、非同期成分補正部124は、第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分で、第一複素伝達関数の全要素を除算することにより、第二複素伝達関数を算出する。直接波成分は、複数の受信信号から抽出された、生体50を経由しない成分である。非同期成分補正部124は、第二複素伝達関数算出部の一例である。

[0062] [周波數位相補正部125]

周波數位相補正部125は、非同期成分補正部124により算出された第二複素伝達関数行列 h' を取得し、周波数方向の位相誤差を補正するための周波數位相補正值 $h_{c, a, l}$ を求める。周波数方向の位相誤差とは、互いに異なる周波数を有する複数の信号間における位相誤差である。図3を用いて補正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。

[0063] 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。図3の3つの送信波1301-A、1301-B、1301-Cは、同じ位相で送信アンテナ部111から送信された周波数が互いに異なる信号であり、伝搬距離が

増えるにつれて位相が異なってゆくことが分かる（1302-B、1302-C）。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。

[0064] 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。

[0065] 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50との距離を推定する場合にも当てはまる。

[0066] 次に、周波數位相補正部125の具体的な動作について説明する。周波數位相補正部125は、第二複素伝達関数行列 h' を取得し、周波數位相誤差を補正する。ここで周波數位相誤差とは、第二複素伝達関数行列において基準サブキャリア信号 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、周波數位相誤差は、送信アンテナ部111及び受信アンテナ部21の周波数特性、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による誤差を含む。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 $e^{j\phi_{rx}}$ を含む。

[0067] 周波數位相補正部125が受け取った第二複素伝達関数行列 h' は次の式4で表される。

[0068] [数4]

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \cdots & h_{MS} \end{pmatrix} \quad (\text{式4})$$

[0069] 第二複素伝達関数行列 h' は、 $M \times S$ の行列である。第二複素伝達関数行列 h' の同じ列に含まれる M 個の要素は、同じサブキャリア（つまり同じ周波数）の受信信号により生成された要素であり、異なる M 個の送信アンテナ素子により送信された信号に基づく要素である。また、第二複素伝達関数行列 h' の同じ行に含まれる S 個の要素は、同じ送信アンテナ素子の信号により生成された要素であり、異なる S 個のサブキャリア信号に基づく要素である。周波數位相補正部 125 は、第二複素伝達関数行列の各行、すなわち各アンテナに対し、周波數位相補正值を所定の方法で算出する。ここでは j 行目に着目して補正值を算出する方法を説明する。まず、周波數位相補正部 125 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_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、式 5 で計算される。

[0070] [数5]

$$h_{ideal}(i) = \exp(-jk_i d_j) \quad (\text{式5})$$

[0071] 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の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。

[0072] 次に、周波數位相補正部 125 は、基準となる第二期間に観測された $M \times S$ 個の複素伝達関数行列を含む基準複素伝達関数行列を非同期成分補正部 124 から取得する。第二期間は、当該生体 50 の活動に由来する周期に相当する。生体の活動に由来する周期とは、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。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 123 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、周波數位相補正部 125

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。

[0073] 次に、周波数位相補正部125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、S個のサブキャリアにおける周波数位相誤差を補正するための周波数位相補正值 h_{cal} を算出する。具体的には、周波数位相補正部125は、計算で得られた理想的なチャネルである h_{ideal} と、測定された基準複素伝達関数行列 h_{meas} との比を算出し、その比を周波数位相補正值 h_{cal} とする。具体的には以下の式6を用いて周波数位相補正值 h_{cal} が算出される。

[0074] [数6]

$$h_{cal} = h_{ideal} \oslash h_{meas} \quad (\text{式6})$$

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。

[0075] 周波数位相補正值 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。このため、周波数位相補正部125は、算出した周波数位相補正值 h_{cal} をメモリ等に記憶し、次回以降にメモリ等に記憶した周波数位相補正值 h_{cal} を用いてもよい。つまり、周波数位相補正部125は、一度周波数位相補正值 h_{cal} を算出すれば、次回以降は周波数位相補正值 h_{cal} を算出しなくてもよい。

[0076] [アンテナ位相補正部126]

アンテナ位相補正部126は、非同期成分補正部124により算出された第二複素伝達関数行列 h' を取得し、アンテナ位相誤差を補正するためのアンテナ位相補正值 h_{cal2} を求める。ここでアンテナ位相誤差とは、第二複素伝達関数行列 h' において基準送信アンテナ素子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、アンテナ位相誤差は、

送信アンテナ部 1 1 1 及び受信アンテナ部 2 1 の周波数特性、送信部 1 2 の内部の回路の電気長、受信部 2 2 の内部の回路の電気長などによる影響による誤差を含む。アンテナ位相誤差は、送信アンテナ部 1 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。

[0077] アンテナ位相補正部 1 2 6 が受け取った第二複素伝達関数行列 $\mathbf{h}'$ は次の式 7 で表される。

[0078] [数7]

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \cdots & h_{MS} \end{pmatrix} \quad (\text{式 7})$$

[0079] 第二複素伝達関数行列 $\mathbf{h}'$ は、 $M \times S$ の行列である。第二複素伝達関数行列 $\mathbf{h}'$ の同じ列に含まれる M 個の要素は、同じサブキャリア（つまり同じ周波数）の受信信号により生成された要素であり、異なる M 個の送信アンテナ素子により送信された信号に基づく要素である。また、第二複素伝達関数行列 $\mathbf{h}'$ の同じ行に含まれる S 個の要素は、同じ送信アンテナ素子の信号により生成された要素であり、異なる S 個のサブキャリア信号に基づく要素である。アンテナ位相補正部 1 2 6 は、第二複素伝達関数行列の各列、すなわち各周波数に対し、アンテナ位相補正值を所定の方法で算出する。ここでは i 列目に着目して補正值を算出する方法を説明する。まず、アンテナ位相補正部 1 2 6 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_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_{ideal2} を求める。ここで h_{ideal2} は送信アンテナ素子数 M 個の要素を持つ複素数のベクトルであり j 番目の要素は、式 8 で計算される。

[0080] [数8]

$$h_{ideal2(j)} = \exp(-jk_id_j) \quad (\text{式 8})$$

[0081] 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_{ideal2} 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の距離に基づい

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。

[0082] 次に、アンテナ位相補正部 126 は、基準となる第二期間に観測された $M \times S$ 個の複素伝達関数行列を含む基準複素伝達関数行列を非同期成分補正部 124 から取得する。第二期間は、当該生体 50 の活動に由来する周期に相当する。生体の活動に由来する周期とは、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。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、非同期成分補正部 124 から取得した最初の第二複素伝達関数行列が用いられてもよい。また、アンテナ位相補正部 126 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。また、あらかじめ既知の位置にいる生体からの反射波を基準複素伝達関数行列としてもよい。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。

[0083] 次に、アンテナ位相補正部 126 は、理想的なチャネル h_{ideal2} と、基準複素伝達関数（チャネル h_{meas} ）とに基づいて、 M 個の送信アンテナ素子におけるアンテナ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、アンテナ位相補正部 126 は、計算で得られた理想的なチャネルである h_{ideal2} と、測定された基準複素伝達関数行列 h_{meas} との比を計算し、その比をアンテナ位相補正值 h_{cal2} とする。具体的には以下の計算でアンテナ位相補正值 h_{cal2} を求める。

[0084] [数9]

$$h_{cal2} = h_{ideal2} \oslash h_{meas} \quad (式9)$$

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。

[0085] アンテナ位相補正值 h_{ca12} は、基準複素伝達関数行列が変わらなければ同一である。このため、アンテナ位相補正部 126 は、算出したアンテナ位相補正值 h_{ca12} をメモリ等に記憶し、次回以降にメモリ等に記憶した周波数値を用いてもよい。つまり、アンテナ位相補正部 126 は、一度アンテナ位相補正值 h_{ca12} を算出すれば、次回以降はアンテナ位相補正值 h_{ca12} を算出しなくてもよい。

[0086] なお、本実施例で周波數位相補正部 125 の動作をアンテナ位相補正部 126 の動作の前に説明したが、実際の実行順序は順不同である。つまり、周波數位相補正部 125 の動作は、アンテナ位相補正部 126 の動作の前に行われてもよいし、後に行われてもよいし、同時に（並列に）行われてもよい。

[0087] [位相補正部 127]

次に、位相補正部 127 は、周波數位相補正值 h_{ca11} とアンテナ位相補正值 h_{ca12} とに基づいて、第二複素伝達関数行列 h' を次の式 10 に従って補正し、第三複素伝達関数行列 h'' を算出する。

[0088] [数10]

$$h'' = \angle h_{ca11} \circ \angle h_{ca12} \circ h' \quad (\text{式 10})$$

ここで $\angle h_{cal}$ は h_{ca1} の複素数である各要素の絶対値を 1 に正規化した、位相角を表す行列である。また、 $\circ$ は要素ごとの積であるアダマール積を表す。

[0089] なお、周波數位相補正部 125、アンテナ位相補正部 126 及び位相補正部 127 により、第二複素伝達関数行列 h' が補正されて、第三複素伝達関数行列 h'' が算出されるため、周波數位相補正部 125、アンテナ位相補正部 126 及び位相補正部 127 は、第三複素伝達関数行列 h'' を算出する第三複素伝達関数算出部の一例である。第三複素伝達関数算出部は、第二複素伝達関数行列 h' から M 個の送信アンテナ素子と受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対するオフセット値を第二複素伝達関数行列 h' の S 個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、M 個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数行列 h'' を算出する。

[0090] [行列変形部 1 2 8]

位相補正部 1 2 7 で算出された第三複素伝達関数行列 $\mathbf{h}'$ は式 1 1 で表される。

[0091] [数11]

$$\mathbf{h}'' = \begin{pmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \cdots & h_{MS} \end{pmatrix} \quad (\text{式 1 1})$$

[0092] 行列変形部 1 2 8 は、第三複素行列から任意の 1 行及び 1 列を取り出し、取り出した 1 行及び 1 列をベクトルとして並び替え、第一複素伝達関数ベクトル $\mathbf{h}_v$ を算出する。例えば、1 行目と 1 列目とが取り出された場合の $\mathbf{h}_v$ は式 1 2 で表される。

[0093] [数12]

$$\mathbf{h}_v = [h_{11} \cdots h_{1S} \ h_{21} \cdots h_{M1}] \quad (\text{式 1 2})$$

[0094] [生体相関行列算出部 1 2 9]

生体相関行列算出部 1 2 9 は、S 個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、行列変形部 1 2 8 により算出された第一複素伝達関数ベクトル $\mathbf{h}_v$ を、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 9 は、S 個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第一複素伝達関数ベクトル $\mathbf{h}_v$ 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 S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。

[0095] 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。

[0096] 例えばフーリエ変換を用いる方法では、第一複素伝達関数ベクトル $\mathbf{h}_v$ 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、生体成分複素伝達関数ベクトル h_{fft} を算出することができる。ここで、生体成分複素伝達関数ベクトル h_{fft} は、生体の活動の影響を含みうる周波数、例えば 0.1 Hz から 3 Hz 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。この方法では、算出された生体成分複素伝達関数ベクトル h_{fft} をさらにサブキャリア方向に逆フーリエ変換し、時間領域で表現された生体成分複素伝達関数ベクトル h_{ifft} を求めることにより、生体成分を含む信号が送信部 12 から送信され、受信部 22 で受信されるまでの時間が算出される。

[0097] ここで、複素伝達関数ベクトル 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 1101 は生体 50 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。ここでの位相は基準とするサブキャリア S0 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 50 が送信アンテナまたは受信アンテナに近づくと、生体 50 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 1102 のようになる。原理的にはこのグラフの傾きから Tof (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部 12 から送信されてから受信部 22 で受信されるまでの時間が求まる。

[0098] 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 1101 及び破線 1102 の位相変化がそれぞれ実線 1201、破線 1202 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 、サブキャリアの帯域幅 B を用いて式 13 で表される。

[0099] [数13]

$$\Delta t = \frac{1}{B} [s] \quad (\text{式 13})$$

[0100] 例えば帯域幅が20MHzの場合、時間分解能は0.05μsに相当し、距離分解能に換算すると約15mと実用には堪えない。

[0101] 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129は、生体成分複素伝達関数ベクトル h_{fft} の相関行列 R'_f (生体相関行列) を次の式14に従って算出する。

[0102] [数14]

$$R'_f = E[h_{fft(m)} h_{fft(m)}^H] \quad (\text{式14})$$

[0103] ここで式14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。

[0104] このように、生体相関行列算出部129は、第三複素伝達関数行列 h' から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列をS個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する。

[0105] [推定部130]

推定部130は、生体相関行列算出部129が算出した相関行列 R'_f を用いてMUSIC法による測距と角度推定を行う。まず推定部130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。

[0106] 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 $P_{MUSIC}(l, \theta)$ を算出する。

[0107]

[数15]

$$P_{MUSIC}(l, \theta) = \frac{\mathbf{a}^H(l, \theta) \mathbf{a}(l, \theta)}{\mathbf{a}^H(l, \theta) \mathbf{U}_N \mathbf{U}_N^H \mathbf{a}(l, \theta)} \quad (\text{式 15})$$

[0108] ここで $\mathbf{a}(l, \theta)$ はステアリングベクトルを表し、式 16 で算出される。

[0109] [数16]

$$\mathbf{a}(l, \theta) = [e^{-j\frac{2\pi}{\lambda_1}(l+d_1)}, \dots, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda_S}(l+d_M)}]^T \quad (\text{式 16})$$

[0110] ここでステアリングベクトルの要素の並び順は行列変形部 128 が第三複素伝達関数行列から第一複素伝達関数ベクトルを算出する際に行った変形と同じである。また、 λ_i は i 番目のサブキャリアの波長を表し、 l は送信アンテナ部の基準となる位置（例えば 1 番目のアンテナ素子の中心）から生体 50 を経由し、受信アンテナ部までの合計距離を表す。 d_i は i 番目の送信アンテナ素子から生体 50 を経由して受信アンテナ素子までの合計距離と、基準送信アンテナ素子から生体 50 を経由して受信アンテナ素子までの合計距離の差である。このようにして得られた MUSIC スペクトル $P_{MUSIC}(l, \theta)$ の極大値をとる l は、図 2 における距離 a （第一距離）及び距離 b （第二距離）の和（第三距離）に対応している。距離 a （第一距離）は、送信アンテナ素子と生体 50 との間の距離である。距離 b （第二距離）は、受信アンテナ素子と生体 50 との間の距離である。また、 $P_{MUSIC}(l, \theta)$ の極大値をとる θ は、図 2 における送信アンテナ素子から見た生体 50 への方向（第一角度）の推定値に対応している。つまり、推定部 130 は、MUSIC スペクトル $P_{MUSIC}(l, \theta)$ の極大値をとる l を算出することで第三距離を算出でき、MUSIC スペクトル $P_{MUSIC}(l, \theta)$ の極大値をとる θ を算出することで第一角度を推定できる。このようにして、推定部 130 は、 S 個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 111 と生体 50 との間の第一距離及び第二距離の和である第三距離と送信アンテナ素子から見た生体 50 の方向である第一角度を推定する。

[0111] 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。

[0112] [測位部 1 3 1]

測位部 1 3 1 は、推定部 1 3 0 で推定した第三距離 L と第一角度 θ とに基づいて、生体 5 0 の座標を算出する。図 7 は、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 の関係を示す図である。図 7 における第一距離 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 点に確定される。以下、数式を用いて生体 5 0 の座標算出方法を説明する。

[0113] まず測位部 1 3 1 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。具体的には、第一距離 a は、以下の式 1 7 により算出される。

[0114] [数 17]

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

[0115] 最後に測位部 1 3 1 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) を次の式 1 8 を用いて算出する。

[0116] [数 18]

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

[0117] なお、本実施の形態では、行列変形部 1 2 8 により第三複素伝達関数行列の行方向及び列方向の要素を同時に含むように変形が行われるとしたが、推定部 1 3 0 は、行方向及び列方向のそれぞれについて個別に MUSIC 法を行ってもよい。これにより、推定部 1 3 0 は、第三距離と第一角度とを個別に求めてもよい。この場合、生体数が 2 以上の場合も、推定部 1 3 0 は、図 8 に示すように、複数の生体 5 0-1、5 0-2 について、第三距離及び第一角度を推定し、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。本実施例のように、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、推定部130は、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または距離を同時に推定することも可能である。

[0118] また、第三距離と第一角度の推定を個別に行う場合、推定部130は、第三複素伝達関数行列 h'' を特異値分解または固有値分解して式2及び式3のように特定の方向にビームフォーミングを行うことで第三距離または第一角度の推定精度を向上させることができる。

[0119] [推定装置100の動作]

以上のように構成された推定装置100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100の推定処理を示すフローチャートである。

[0120] 推定装置100は、M個の送信アンテナ素子からS個のサブキャリア信号を含むマルチキャリア信号を送信する(S1000)。

[0121] 次に、推定装置100は、1個以上の受信アンテナ素子でステップS1000にて送信したマルチキャリア信号を受信する(S1100)。

[0122] 次に、推定装置100は、受信したマルチキャリア信号から第一複素伝達関数行列 h を算出する(S1200)。

[0123] 次に、推定装置100は、算出した第一複素伝達関数行列 h に対して非同期成分の補正を行い、第二複素伝達関数行列 h' を算出する(S1300)。

[0124] 次に推定装置100は、第二複素伝達関数行列 h' に基づいて周波数位相補正值 $h_{c_{a11}}$ の算出を行う(S1400)。

[0125] 次に推定装置100は、第二複素伝達関数行列 h' に基づいてアンテナ位相補正值 $h_{c_{a12}}$ の算出を行う(S1500)。なお、ステップS1400は、ステップS1500よりも前に行われてもよいし後に行われてもよいし並

列で行われてもよい。

[0126] 次に、推定装置 100 は、算出した周波數位相補正值 h_{ca11} とアンテナ位相補正值 h_{ca12} に基づいて、第三複素伝達関数行列 h'' を算出する (S1600)。

[0127] 次に、推定装置 100 は、第三複素伝達関数行列 h'' から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する (S1700)。

[0128] 次に、推定装置 100 は、生体相関行列に基づいて、MUSIC法を用いて第三距離 L 及び第一角度 θ の推定を行う (S1800)。

[0129] 最後に、推定装置 100 は、第三距離 L と第一角度 θ とをもとに生体 50 の位置を推定する (S1900)。

[0130] [効果等]

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

[0131] 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。

[0132] 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。

[0133] 例えば、実施の形態 1 及び 2 では、生体 50 の距離推定や位置推定を例として説明したが、生体 50 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。

[0134] なお、上記各実施の形態において、各構成要素は、専用のハードウェアで構成されるか、各構成要素に適したソフトウェアプログラムを実行すること

によって実現されてもよい。各構成要素は、CPUまたはプロセッサなどのプログラム実行部が、ハードディスクまたは半導体メモリなどの記録媒体に記録されたソフトウェアプログラムを読み出して実行することによって実現されてもよい。

- [0135] 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、CD-ROM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

- [0136] 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

- [0137] 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
 5 0、5 0－1、5 0－2 生体
 1 0 0 推定装置
 1 1 1 送信アンテナ部
 1 2 3 複素伝達関数算出部
 1 2 4 非同期成分補正部

- 1 2 5 周波數位相補正部
- 1 2 6 アンテナ位相補正部
- 1 2 7 位相補正部
- 1 2 8 行列変形部
- 1 2 9 生体相関行列算出部
- 1 3 0 推定部
- 1 3 1 測位部
- 1 0 0 1 送信アンテナ部から生体までの経路
- 1 0 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 3-1、1 2 0 3-2 楕円
- 1 3 0 1-A、1 3 0 1-B、1 3 0 1-C 送信アンテナ部から送信される各サブキャリア信号の位相
- 1 3 0 2-B、1 3 0 2-C 送信アンテナ部から送信された周波数が異なる信号の位相変化

請求の範囲

[請求項1]

生体までの距離と角度を推定する推定装置であって、

S個（Sは2以上の自然数）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、但しM及びNのうち少なくともいずれか一方は2以上）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第一複素伝達関数を、前記S個のサブキャリア信号がそれぞれ対応しているS個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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する第一複素伝達関数算出部と、

前記第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出する第二複素伝達関数算出部と、

前記第二複素伝達関数から前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記M個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出する第三複素伝達関数算出部と、

前記第三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S個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S個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する推定部と、を備える

推定装置。

[請求項2]

前記第三複素伝達関数算出部は、(i) 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間の $M \times N$ 個のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との間の $M \times N$ 通りの伝搬経路の各経路における、理想的な複素伝達関数と、(ii) 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、前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差を補正するための周波數位相補正値を $M \times N$ 通りの伝搬経路のそれぞれ毎に算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正する周波數位相補正部、を備える、

請求項1に記載の推定装置。

[請求項3]

前記第三複素伝達関数算出部は、(i) 前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との間のM個のアンテナ間距離に基づいて得られる、前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アン

テナ素子との間の $M \times N$ 通りの伝搬経路の各経路における、理想的な複素伝達関数と、(i i) 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、前記 $M \times N$ 個の組み合わせにおけるアンテナ位相誤差を補正するためのアンテナ位相補正值を前記 S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、前記第一期間に対する複素伝達関数を補正するアンテナ位相補正部、を備える、

請求項 1 または 2 に記載の推定装置。

[請求項4] $M \times N \times S$ 個の要素からなる前記第三複素伝達関数を $A \times 1$ または $1 \times A$ (A は 2 以上 $M \times N \times S$ 以下の整数) の複素伝達関数ベクトルに変形する行列変形部を備え、

前記生体相関行列算出部は、前記 $1 \times A$ の複素伝達関数ベクトルに基づいて前記 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記 S 個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出する、

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の推定装置。

[請求項5] 前記推定部は、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法、Capon法、及び、ビームフォーマー法のいずれかの手法を用いて前記第三距離及び前記第一角度を推定する

請求項 1 から 4 いずれか 1 項に記載の推定装置。

[請求項6] 生体までの距離と角度を推定する推定方法であって、

S 個 (S は 2 以上の自然数) 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 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、

受信アンテナ部を構成する N 個 (N は 1 以上の自然数、但し M 及び N のうち少なくともいずれか一方は 2 以上) 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第一複素伝達関数を、前記S個のサブキャリア信号がそれぞれ対応しているS個のサブキャリアのそれぞれ毎に複数算出し、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、

前記第一複素伝達関数の1以上の要素を用いて抽出された直接波成分であって、前記複数の受信信号から前記生体を経由しない直接波成分で、前記第一複素伝達関数の全要素を除算することにより第二複素伝達関数を算出し、

前記第二複素伝達関数から前記M個の送信アンテナ素子と前記N個の受信アンテナ素子との位置関係から算出される基準位相に対する、前記第二複素伝達関数の前記S個のサブキャリアにおける周波數位相誤差、及び、前記M個の送信アンテナ素子におけるアンテナ位相誤差を補正した第三複素伝達関数を算出し、

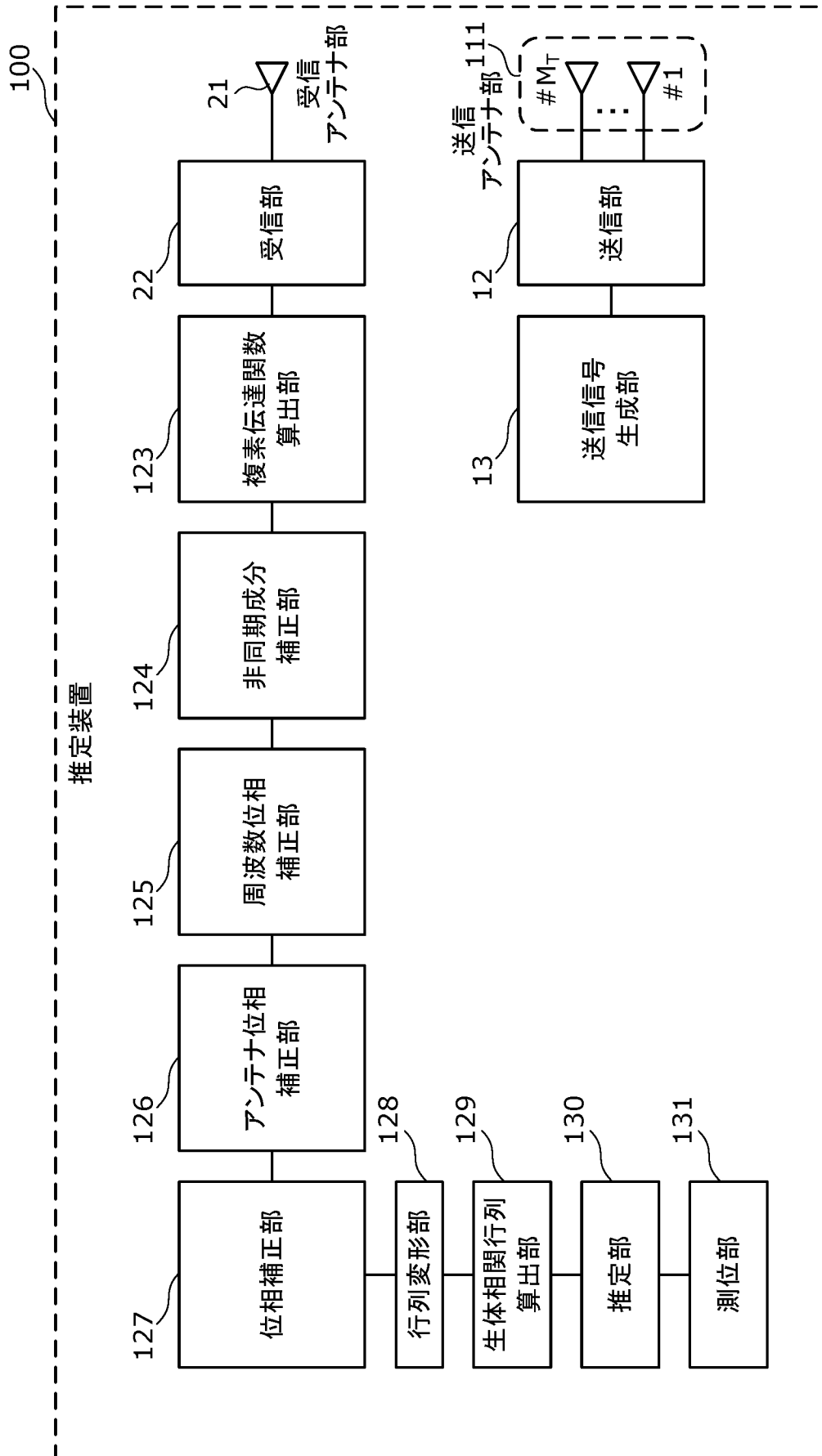
前記第三複素伝達関数から生体に関する成分を抽出することで、 $M \times N$ 行列の生体相関行列を前記S個のサブキャリアのそれぞれ毎に算出し、

前記S個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と、前記送信アンテナ部または前記受信アンテナ部から見た前記生体の方向である第一角度とを推定する、

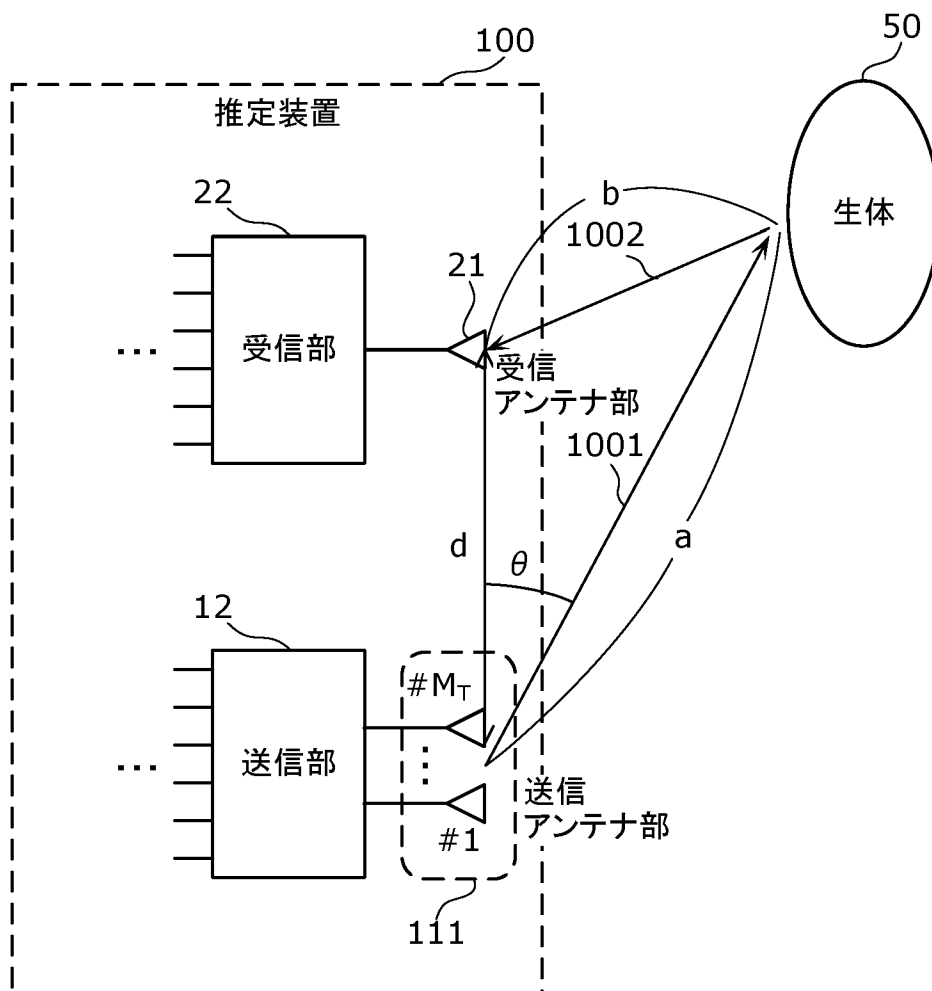
推定方法。

[請求項7] 請求項6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。

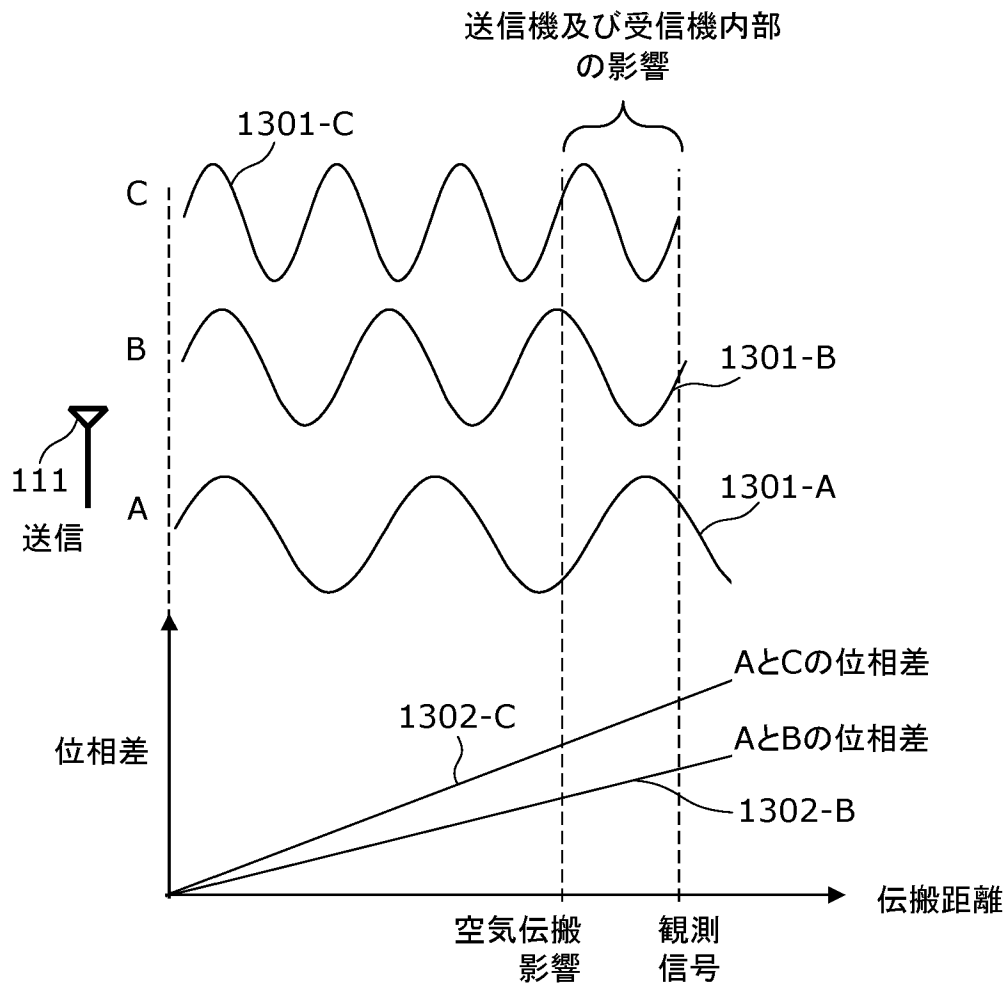
[図1]



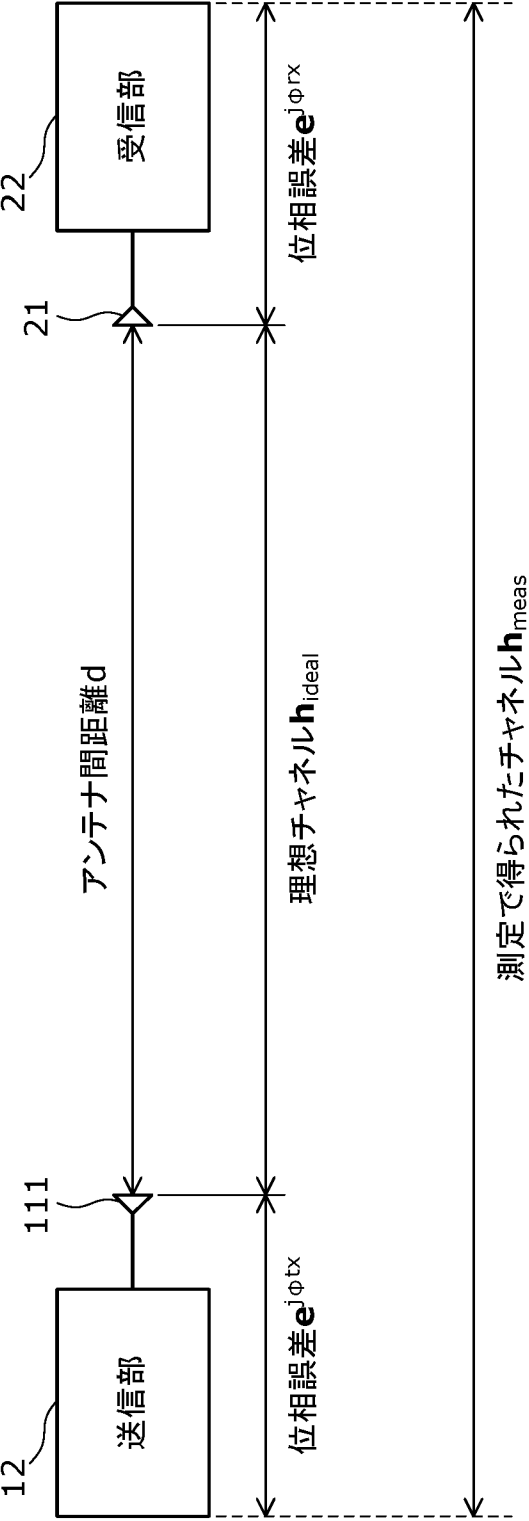
[図2]



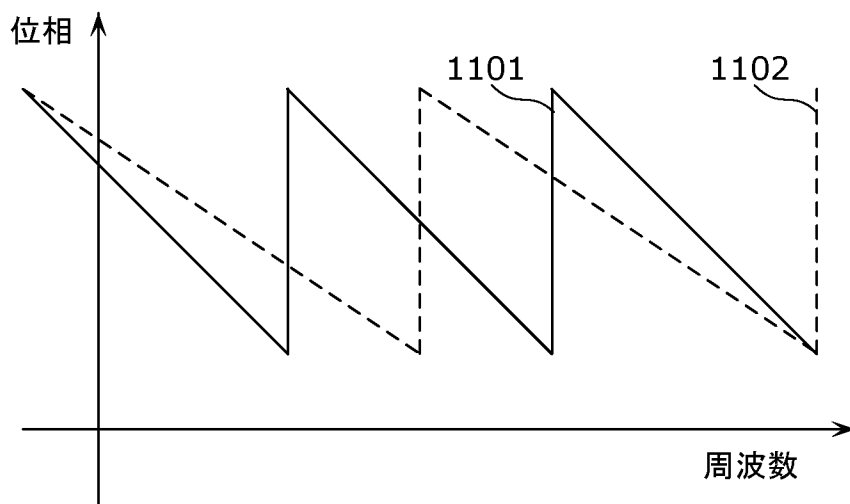
[図3]



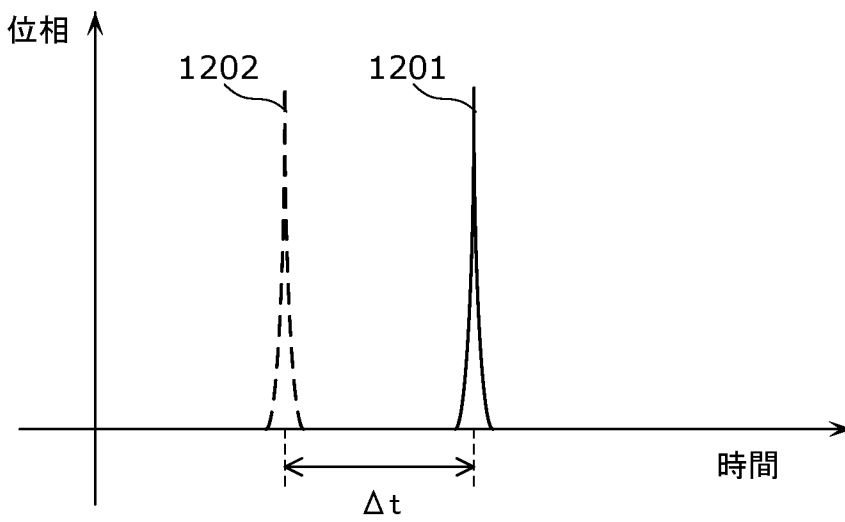
[図4]



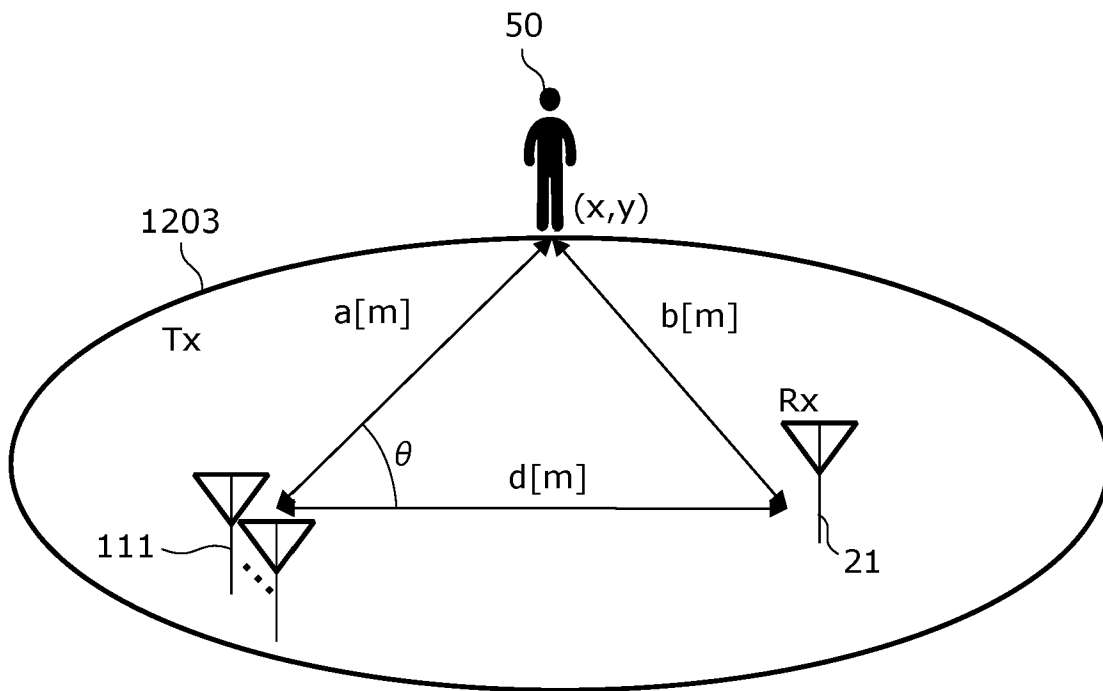
[図5]



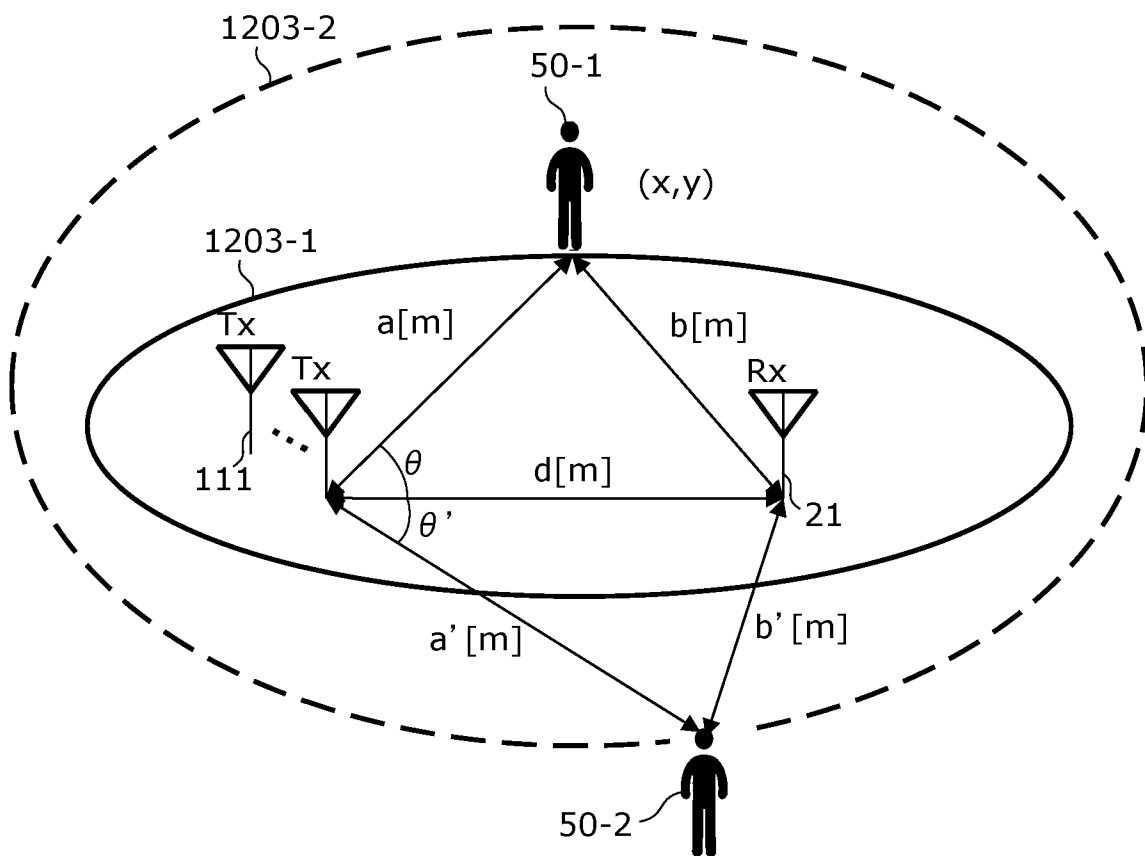
[図6]



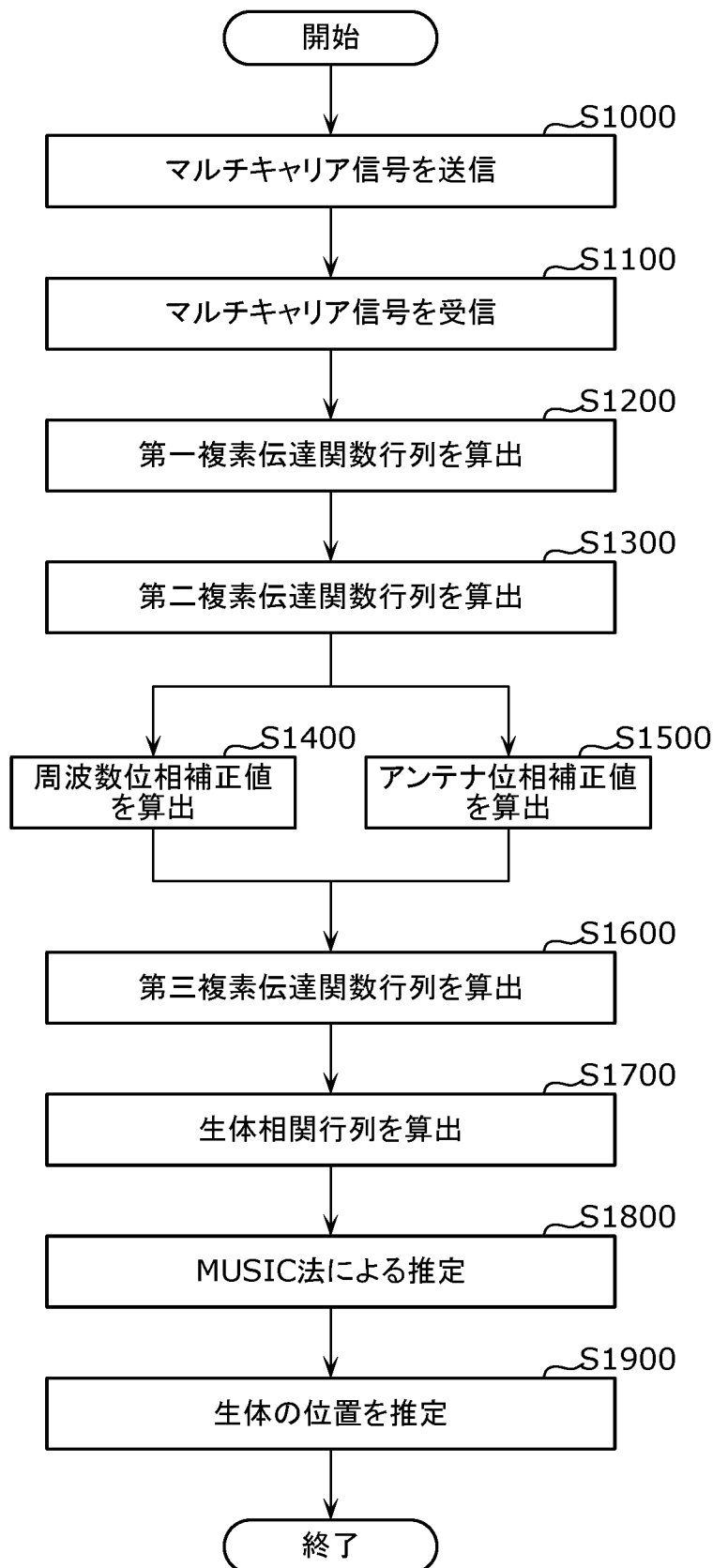
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/045511

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01S 13/42**(2006.01)i; **A61B 5/11**(2006.01)i; **G01S 7/02**(2006.01)i

FI: G01S13/42; G01S7/02 216; A61B5/11 110

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)

G01S7/00 - G01S7/42; G01S13/00 - G01S13/95; A61B5/024; A61B5/11 - A61B5/113

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2020-109389 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 16 July 2020 (2020-07-16) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2020-109387 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 16 July 2020 (2020-07-16) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2020-8548 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 16 January 2020 (2020-01-16) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2020-505179 A (UNIVERSITY OF NOTRE DAME DU LAC) 20 February 2020 (2020-02-20) entire text, all drawings	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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

23 January 2024

Date of mailing of the international search report

06 February 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/045511

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106054156 A (THE FOURTH MILITARY MEDICAL UNIVERSITY OF THE CHINESE PEOPLE'S LIBERATION ARMY) 26 October 2016 (2016-10-26) entire text, all drawings	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/045511

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2020-109389	A	16 July 2020	US	2020/0209351	A1	
				entire text, all drawings			
				CN	111381229	A	
JP	2020-109387	A	16 July 2020	US	2020/0209376	A1	
				entire text, all drawings			
				CN	111381227	A	
JP	2020-8548	A	16 January 2020	US	2020/0011967	A1	
				entire text, all drawings			
				CN	110673129	A	
JP	2020-505179	A	20 February 2020	US	2020/0022607	A1	
				entire text, all drawings			
				WO	2018/145042	A1	
CN	106054156	A	26 October 2016	(Family: none)			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01S 13/42(2006.01)i; A61B 5/11(2006.01)i; G01S 7/02(2006.01)i FI: G01S13/42; G01S7/02 216; A61B5/11 110		
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（IPC）） G01S7/00 - G01S7/42; G01S13/00 - G01S13/95; A61B5/024; A61B5/11 - A61B5/113 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 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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 2020-109389 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）16.07.2020（2020 - 07 - 16） 全文，全図	1-7
A	JP 2020-109387 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）16.07.2020（2020 - 07 - 16） 全文，全図	1-7
A	JP 2020-8548 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）16.01.2020（2020 - 01 - 16） 全文，全図	1-7
A	JP 2020-505179 A（ユニバーシティ・オブ・ノートル・ダム・デュ・ラック） 20.02.2020（2020 - 02 - 20） 全文，全図	1-7
A	CN 106054156 A（THE FOURTH MILITARY MEDICAL UNIVERSITY OF THE CHINESE PEOPLE'S LIBERATION ARMY）26.10.2016（2016 - 10 - 26） 全文，全図	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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 “I” 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抵触するものではなく、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 23.01.2024	国際調査報告の発送日 06.02.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 藤田 都志行 2M 3014 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/045511

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2020-109389	A	16.07.2020	US	2020/0209351	A1	
				全文, 全図			
				CN	111381229	A	
JP	2020-109387	A	16.07.2020	US	2020/0209376	A1	
				全文, 全図			
				CN	111381227	A	
JP	2020-8548	A	16.01.2020	US	2020/0011967	A1	
				全文, 全図			
				CN	110673129	A	
JP	2020-505179	A	20.02.2020	US	2020/0022607	A1	
				全文, 全図			
				WO	2018/145042	A1	
CN	106054156	A	26.10.2016	(ファミリーなし)			