(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
2022年6月23日(23.06.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/130710 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 7/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/033521

(22) 国際出願日： 2021年9月13日(13.09.2021)

(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 2020-209991 2020年12月18日(18.12.2020) JP

(71) 出願人:日立Ａｓｔｅｍｏ株式会社(**HITACHI ASTEMO, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者:中尾 美裕(**NAKAO Miyu**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 赤峰 幸徳(**AKAMINE Yukinori**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 黒田 浩司(**KURODA Hiroshi**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立Ａｓｔｅｍｏ株式会社内 Ibaraki (JP).

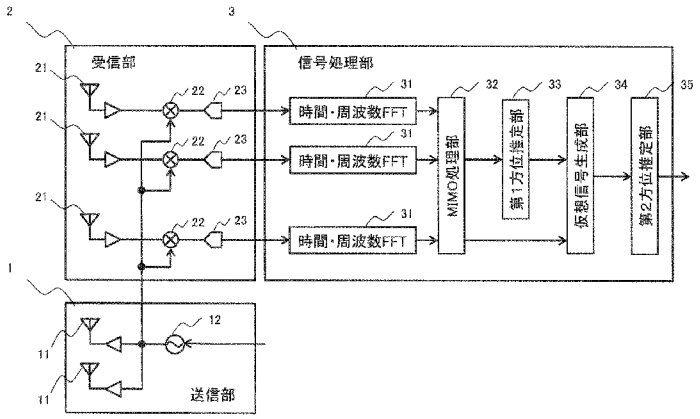
(74) 代理人: ポレール特許業務法人 (**POLAIRE I.P.C.**); 〒1030021 東京都中央区日本橋本石町三丁目３番５号 Tokyo (JP).

(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,

(54) **Title:** RADAR DEVICE

(54) 発明の名称： レーダ装置

図3



1 Transmission unit
2 Receiving unit
3 Signal processing unit
31 Time/frequency FFT
32 MIMO processing unit
33 First orientation estimation unit
34 Virtual signal generation unit
35 Second orientation estimation unit

(57) **Abstract:** Provided is a radar device which increases angular resolution without physically increasing the number of antenna elements. A plurality of receiving antennas 40 in this radar device include a first antenna array L1, the antennas of which are arranged along the same axis and positioned so as to have equal intervals interposed between antennas, and also include one or more other receiving antennas positioned at an interval from the receiving antenna adjacent thereto which is greater than the antenna interval of the first antenna array. The radar device also has: a first orientation estimation unit 33 for performing target orientation estimation processing on the basis of the received signals from the first antenna array; a virtual signal generation unit 34 for generating a virtual signal from a virtual receiving antenna positioned along the same axis in a range which exceeds the aperture length of the plurality of receiving antennas, on the basis of the target orientation estimated by the first orientation estimation unit and the received signals from the plurality of receiving

WO 2022/130710 A1

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)）

antennas which include the other receiving antennas; and a second orientation estimation unit 35 for performing target orientation estimation processing on the basis of the received signals from the plurality of receiving antennas and the virtual signal from the virtual receiving antenna generated by the virtual signal generation unit.

(57) 要約：アンテナ素子を物理的に増やすことなく角度分解能を高めたレーダ装置を提供する。レーダ装置の複数の受信アンテナ４０は同一軸上に配置され、アンテナ間隔が等間隔に配置された第１アンテナアレーＬ１と、隣接する受信アンテナと第１アンテナアレーのアンテナ間隔よりも長い間隔で配置される１以上の他の受信アンテナとを含み、第１アンテナアレーからの受信信号に基づき、物標の方位推定処理を行う第１方位推定部３３と、他の受信アンテナを含む複数の受信アンテナからの受信信号及び第１方位推定部が推定した物標方位に基づき、同一軸上で複数の受信アンテナの開口長を超える範囲に位置する仮想受信アンテナからの仮想信号を生成する仮想信号生成部３４と、複数の受信アンテナからの受信信号と仮想信号生成部の生成した仮想受信アンテナからの仮想信号とに基づき、物標の方位推定処理を行う第２方位推定部３５とを有する。

明　細　書

発明の名称 ： レーダ装置

技術分野

[0001] 本発明はレーダ装置に関する。

背景技術

[0002] ミリ波レーダは、離れた物標の距離、速度、方位角度を求めることができ、自動運転および先端運転支援システムのセンサとして使用される。ミリ波レーダにおいて角度分解能はアンテナアレーの開口長により決まり、高い角度分解能を得るためにはアンテナアレーの開口長を長くする必要がある。アンテナアレー開口長を長くするためにはアンテナ間隔を広げるか、アンテナの数を増やすことになる。しかし、アンテナ間隔を過度に広げると実際には物標が存在しない方位にも物標の虚像を検知する折返しが発生するという問題があり、アンテナの数を増やすとコストが高くなる問題がある。

[0003] ＭＩＭＯレーダは、複数の送信アンテナと複数の受信アンテナを使用し、受信アンテナの開口長を送信アンテナの数と受信アンテナの数の積の個数分まで仮想的に広げることができる。これにより、少ないアンテナ数で効率的に開口長を広げることができる。

[0004] さらに高分解能を実現する方法として、非特許文献１で記されているＭＵＳＩＣ（Multiple Signal Classification）法が知られている。ＭＵＳＩＣ法は信号の固有ベクトルと雑音の固有ベクトルとの直交性を利用する方法であり、アレー受信信号の相関行列を算出した後、固有値展開により波源数推定を行い、角度をスイープさせながら直交性により生じるヌル検出演算を行う。角度スイープによるヌル検出のため高い分解能が得られる一方で、計算負荷が重い。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：R. O. Schmidt、「Multiple emitter location and signal pa

rameter estimation」、IEEE Trans. Antennas Propagation、Vol.34 no. 3、March 1986、pp.276-280

非特許文献2：中澤利之、高橋応明、安部實、「不等間隔アレーを用いた方位推定」、電子情報通信学会論文誌Ｂ　Vol. J83-B No.6、2000、 pp.845-851

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 一般的なミリ波レーダにおける方位推定は、受信した信号の経路差により生じる受信信号の位相差を読み取ることで実現される。アンテナ間隔ｄ、物標の角度方位θ、自由空間での送信波の波長λのとき、アンテナの受信信号にはｄｓｉｎθの経路差が生じ、位相差Δφ＝２πｄｓｉｎθ／λが生じる。この位相差を検出することで、物標の角度方位を求めることができる。ここで、位相差Δφがπ以上となると、位相差が（Δφ－π）となる物標の角度方位と区別ができないために角度折返しによる虚像が発生する。角度折返しを防ぐためには、アンテナ間隔ｄをλ／２以下にする必要がある。一方、角度分解能は、アンテナ端からアンテナ端までの距離である開口長により決まる。したがって、角度折返しによる虚像を発生させることなく、開口長を拡張するためにアンテナ数を増やすとコストが高くなる。

[0007] 本発明では開口長を広げるために、受信アンテナから得られた受信信号から、計算によって実際には受信アンテナが存在しない位置での仮想信号を生成する。物標方位と受信アンテナの位置とによって受信信号の位相情報が異なることから、受信信号の実部と虚部のそれぞれの値はアンテナ座標を変数とする多項式で表せる。受信複素信号をもとに多項式近似により外挿処理を実施することで仮想的に開口長を拡張することができる。

[0008] 図１に、Ｒｘ１、Ｒｘ２、…、Ｒｘ１２で示される受信アンテナ４０の受信信号値４１を示している。受信アンテナＲｘ１、Ｒｘ２、…、Ｒｘ１２は、それぞれアンテナ位置ｘ１、ｘ２、…、ｘ１２にある。また、図１の例では、受信信号値４１は理想的な受信信号値であり、曲線４２で表される曲線ｐ上にあるとする。ただし、この例では、受信アンテナ４０は実際にはＲｘ

１～Ｒｘ６しか存在せず、受信アンテナＲｘ７～Ｒｘ１２は外挿処理により受信信号値を求める仮想アンテナである。すなわち、アンテナ位置ｘ１～ｘ６に対応する受信信号値４１から多項式近似により曲線ｐを求め、アンテナ位置ｘ７～ｘ１２に対応する受信信号値を予測する。これにより、開口長を仮想的に拡張する。

[0009] ここで、アンテナ座標を変数とし、それぞれの受信アンテナのアンテナ位置に対応する受信信号の値を結んだ曲線は、物標の方位が正面のときに最も緩やかな曲線を描き、正面から離れた方位では振動周期が短くなるという特徴がある。信号の値の振動が細かい場合、多項式近似により求める曲線の精度が悪くなるため、多項式近似による仮想信号生成を行う前に、物標の大まかな方位情報を得て、その方位を正面とするように受信信号を位相シフトする。この処理により正面から離れた物標においても正面にある場合と同等の振動の曲線とすることができる。

[0010] そのため、多項式近似によって仮想信号を生成するためには、物標の方位情報が必要になる。上述の通り、受信アンテナの間隔がλ／２より大きくなるように配置された場合、角度折返しによる虚像が発生し、物標の正しい方位情報を得ることができない。アンテナ間隔をλ／２よりも大きくしつつ角度折返しによる虚像の発生を防ぐ方法として不等間隔アンテナがあるが（非特許文献２参照）、複数の物標からの反射波が混ざって受信された場合には適用できない。

[0011] 本発明は少ない送受信アンテナでありながら、計算負荷が低く、さまざまな間隔で配置された複数の物標に対しても安定した精度で方位検出することが可能な、高分解能なレーダ装置を実現することを目的とする。

[0012] なお、図１に示した受信アンテナＲｘ１～Ｒｘ６には、アンテナ素子（パターン）が設けられた受信アンテナと、送受信アンテナをＭＩＭＯとして使用することにより得られる受信アンテナとの双方を含むものとし、特記しない限り両者を区別せず、実受信アンテナと呼ぶものとする。同様に、仮想受信アンテナまたは仮想アンテナと表記する場合には、多項式近似により受信

信号値が予測される受信アンテナ（図１では受信アンテナＲｘ７～Ｒｘ１２）のことを指すものとする。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明の一実施の態様であるレーダ装置は、複数の受信アンテナからの受信信号から物標の方位推定処理を行うレーダ装置であって、複数の受信アンテナは同一軸上に配置され、アンテナ間隔が等間隔に配置された第１アンテナアレーと、隣接する受信アンテナと第１アンテナアレーのアンテナ間隔よりも長い間隔で配置される１以上の他の受信アンテナとを含んでおり、第１アンテナアレーからの受信信号に基づき、物標の方位推定処理を行う第１方位推定部と、他の受信アンテナを含む複数の受信アンテナからの受信信号及び第１方位推定部が推定した物標方位に基づき、同一軸上で複数の受信アンテナの開口長を超える範囲に位置する仮想受信アンテナからの仮想信号を生成する仮想信号生成部と、複数の受信アンテナからの受信信号と仮想信号生成部の生成した仮想受信アンテナからの仮想信号とに基づき、物標の方位推定処理を行う第２方位推定部とを有する。

発明の効果

[0014] アンテナ素子を物理的に増やすことなく角度分解能を高めたレーダ装置を提供する。

[0015] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]仮想信号生成について説明するための図である。

[図2A]レーダ装置の送受信アンテナ素子の配置例を表す図である。

[図2B]レーダ装置の実受信アンテナの配置例を表す図である。

[図2C]仮想受信アンテナの配置例を表す図である。

[図3]レーダ装置のブロック図である。

[図4]仮想信号生成部の処理を説明するための図である。

[図5A]３度間隔の２物標を検知した場合の角度方位スペクトルを表す図であ

る。

[図5B]６度間隔の２物標を検知した場合の角度方位スペクトルを表す図である。

[図6A]３度間隔の２物標を検知した場合の信号強度と多項式近似曲線を表す図である。

[図6B]６度間隔の２物標を検知した場合の信号強度と多項式近似曲線を表す図である。

[図7]外挿範囲の選択処理についてのフローチャートである。

[図8A]６度間隔の２物標を検知した場合の角度方位スペクトルを表す図である。

[図8B]６度間隔の２物標を検知した場合の信号強度と多項式近似曲線を表す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 本実施例のレーダ装置の実受信アンテナは、受信アンテナが同一軸上（同一直線上）にλ／２間隔で等間隔に配置される部分とλ／２よりも広い間隔をあけて配置される部分を持つ配置とする。実受信アンテナはすべてアンテナ素子として配置してもよいが、ＭＩＭＯ処理後の受信アンテナ配置として実現してもよく、これによりアンテナ素子の数を最小化することが可能である。

[0018] 上述の通り、多項式近似によって仮想信号を生成するためには、物標の方位情報が必要になるが、この段階での方位情報はおおまかな方位推定でよい。物標の大まかな方位推定を行うとき、λ／２よりも広い間隔があいている受信アンテナを含めて方位推定を行うと虚像が発生する可能性があるため、同一軸上にλ／２間隔で等間隔に配置されたアンテナの受信信号のみを用いて方位推定を行う。開口長が短いため推定精度は低下するが、必要な精度での方位推定は可能であり、少ない演算量で方位推定が可能である利点がある。

[0019] これに対して多項式近似を行うときには、λ／２よりも広い間隔をあけて

配置されるアンテナを含めた同一軸上の全てのアンテナによる受信信号を使用し、多項式近似曲線が最もフィットする多項式を求める。この多項式を用いて、実受信アンテナの間や外側など実際には実受信アンテナが存在しない位置における仮想受信アンテナの受信信号を求める。

[0020] 図２Ａに本実施例のレーダ装置における送信アンテナ素子１１と受信アンテナ素子２１の配置の一例を示す。図２Ａに示されているアンテナ素子は、例えば誘電体基板上にアンテナパターンを形成することによって形成されている。図２Ａのアンテナ配置において、同一軸上に配置された３素子の送信アンテナ素子１１の間隔のうち１つはｄ（ｄ≦λ／２）であり、もう１つはｄ’（ｄ＜ｄ’）である。また、３素子の受信アンテナ素子２１は同一軸上に２ｄ間隔で配置されている。

[0021] 図２Ｂは、本実施例のレーダ装置における実受信アンテナの配置例を示す図であり、図２Ａに示したアンテナ素子配置におけるＭＩＭＯ処理後の実受信アンテナの配置に相当する。本実施例の実受信アンテナは、同一軸上に配置される第１アンテナアレーＬ１と隣接する受信アンテナと第１アンテナアレーＬ１のアンテナ間隔よりも長い間隔で配置される１以上の他の受信アンテナとを含み、第１アンテナアレーＬ１はアンテナ間隔がλ／２以下である等間隔アンテナアレーである。図２Ｂの例では、他の受信アンテナには第２アンテナアレーＬ２が相当し、第１アンテナアレーＬ１と第２アンテナアレーＬ２間の距離または第２アンテナアレーＬ２のアンテナ間隔のいずれかはλ／２よりも広くされている。このとき、実受信アンテナの開口長（受信アンテナ４０ｌと受信アンテナ４０ｒとの距離）ができるだけ大きくなるように、第１アンテナアレーＬ１と第２アンテナアレーＬ２間の距離または第２アンテナアレーＬ２のアンテナ間隔が設定されることが望ましい。第２アンテナアレーＬ２のアンテナ間隔は等間隔であっても、不等間隔であってもよい。

[0022] 図２Ｂの例では第１アンテナアレーＬ１は間隔ｄの等間隔の６素子からなり、第１アンテナアレーＬ１の受信信号が後述する第１方位推定部３３に入

力される。広角なアンテナにおいて角度折返しを発生させることなく、できるだけ大きな開口長とするため、第１アンテナアレーＬ１のアンテナ間隔ｄは送信するレーダの波長λの略半分に等しくする。

[0023] 後述する仮想信号生成部３４では実受信アンテナ全体（第１アンテナアレーＬ１及び第２アンテナアレーＬ２）の受信信号と第１アンテナアレーＬ１による方位推定結果とに基づき、図２Ｃに点線で示す仮想アンテナアレーＬＶに対応する仮想信号を求める。第１アンテナアレーＬ１及び仮想アンテナアレーＬＶは、その全体で等間隔アンテナアレーとなるアンテナ配置を形成している。図２Ｃでは、仮想アンテナアレーＬＶのアンテナ位置と第２アンテナアレーＬ２のアンテナ位置とが一致していない例を示しているが、一致していてもよい。なお、図示したアンテナ配置はあくまで一例であり、例えば送信アンテナ素子１１や受信アンテナ素子２１のアンテナ素子数はこれに限定されるものではない。

[0024] 図３にレーダ装置の構成を示す。レーダ装置は送信部１と受信部２と信号処理部３を有する。レーダ装置のアンテナ素子１１，２１は例えば、図２Ａに示したように配置され、信号処理部３ではＭＩＭＯ処理が行われるものとする。送信部１は発振器１２と複数の送信アンテナ素子１１を有する。発振器１２は発振周波数が時間で連続的に変化するチャープ信号を生成し、生成されたチャープ信号は送信アンテナ素子１１から送信波として送信される。送信された送信波は他車両などの物標で反射され、反射波となる。

[0025] 受信部２は複数の受信アンテナ素子２１、各アンテナ素子に接続されたミキサ２２およびＡ／Ｄ変換機２３を有する。物標で反射した反射波の一部は受信アンテナ素子２１で受信される。受信した信号はミキサ２２に入力され、ミキサ２２は受信信号と送信信号（発振器１２の発振信号）とをミキシングすることでビート信号を生成し、その後Ａ／Ｄ変換機２３によりデジタル信号に変換されて、信号処理部３に出力される。

[0026] 信号処理部３に入力された受信信号は時間・周波数ＦＦＴ部３１において２次元ＦＦＴを行う。ＦＦＴ処理により距離・速度のパワースペクトルが得

られる。ここで得られる距離・速度のパワースペクトルから閾値以上のピークｂｉｎを探索することで、検知した物標の距離および速度を求めることができる。ここで、得られるピークｂｉｎは全受信アンテナで同一となるが、ピークｂｉｎにおける周波数スペクトルの振幅と位相の複素情報は受信アンテナごとに異なる。受信アンテナごとの複素情報の異なり方はアンテナ配置と物標方位により決まるため、各受信アンテナで得られる複素情報とアンテナ配置により物標方位を求めることができる。以降、ピークｂｉｎにおける周波数スペクトルの振幅と位相の複素情報を複素信号と呼ぶものとする。

[0027] 時間・周波数ＦＦＴ部３１からの複素信号はＭＩＭＯ処理部３２により送受信アンテナをＭＩＭＯとして使用した場合の受信アンテナ配置に対応するように配列される。ここで、ＭＩＭＯにより得られる受信アンテナ配置は図２Ｂに示すような配列を有し、隣接する受信アンテナ同士の間隔がλ／２以下で等間隔となる第１アンテナアレーＬ１を有している。ＭＩＭＯ処理部３２は、第１アンテナアレーＬ１の受信アンテナに対応する複素信号のみを第１方位推定部３３に出力する。

[0028] 第１方位推定部３３は、入力された第１アンテナアレーＬ１の複素信号を用いて物標の方位を推定する。アンテナ本来の有する受信アンテナの開口長よりも狭い、一部の等間隔アンテナ部分のみを用いた方位推定となるため、第１方位推定部３３による方位推定は角度分解能の低いおおまかな物標方位となる。しかしながら、第１方位推定部３３での方位推定は、のちに角度分解能の高い方位推定を行うための準備として行うものであるため、低分解能であってもよい。そこで、軽い計算負荷で物標のおおまかな方位を求めることができる空間ＦＦＴまたはデジタルビームフォーミングを用いる。このように、第１方位推定部３３は等間隔アンテナ部分である第１アンテナアレーＬ１の複素信号から推定されたおおまかな物標方位情報を出力する。

[0029] 仮想信号生成部３４には全受信アンテナの複素信号と第１方位推定部３３において求められた物標のおおまかな方位が入力される。仮想信号生成部３４においてＭＩＭＯ処理後の受信アンテナ配置は既知である。そこで、仮想

信号生成部３４では同一軸上に配置される全受信アンテナ（第１アンテナアレーＬ１及び第２アンテナアレーＬ２）で受信した複素信号を用いて、同一軸上でアンテナが存在しない位置（図２Ｃに示す仮想アンテナアレーＬＶのアンテナ位置）での仮想信号を生成し、生成した複素信号を出力する。

[0030] 第２方位推定部３５には、仮想信号生成部３４の生成した実仮想アンテナ配置（図２Ｃに示す第１アンテナアレーＬ１及び仮想アンテナアレーＬＶの受信アンテナのアンテナ配置）に対応する複素信号が入力され、空間ＦＦＴやデジタルビームフォーミングといった角度方位推定処理により、角度方位を算出する。

[0031] 仮想信号生成部３４の処理について図４を用いて説明する。仮想信号生成部３４に入力された複素信号は第１方位推定部３３により求められた物標の方位が０度になるように位相シフトされる（ステップＳ１０１）。これは上述したように０度から離れた角度方位からの反射波の場合には受信信号の複素情報の変化が大きくなり、多項式近似曲線を引くことが困難になるためである。

[0032] 位相シフト後の複素信号は実部（実部信号）と虚部（虚部信号）とに分割される。実部信号と虚部信号のそれぞれに対して多項式近似曲線を求める（ステップＳ１０２、Ｓ１０３）。求めた多項式近似曲線上の仮想アンテナ位置に対応する値が仮想信号となる。仮想信号の生成において、多項式近似曲線を求めるために使用する実受信アンテナの開口長（図１の例では受信アンテナＲｘ１～Ｒｘ６で定まる開口長）が仮想アンテナにより得たい目標の開口長（図１の例では受信アンテナＲｘ１～Ｒｘ１２で定まる開口長）に対して狭い場合、雑音の多い環境下で過剰にフィッティングしてしまうことで、本来求めたい多項式近似曲線と乖離してしまい、その結果、最終的に算出される角度方位の分解能が劣化することが分かった。

[0033] このような雑音への過剰フィッティングを抑圧するため開口長を拡大する外挿範囲を選択する（ステップＳ１０４）。多項式近似曲線の振動の数はその次数により制限され、実受信アンテナから離れた位置では多項式近似曲線

の値が発散する。言い換えれば、外挿範囲を広くとりすぎた場合には、発散によりフィッティング精度が劣化する。そのため、多項式近似曲線による外挿（開口長の拡大）にあたっては、必要な分離分解能を得るのに十分な範囲を選択し、選択された範囲の外側の仮想信号は方位の推定には用いない。

[0034] 外挿範囲の決定後、実部と虚部に分けられていた信号を再度あわせ、複素信号に戻す（ステップＳ１０５）。

[0035] 仮想信号生成にあたり、第１方位推定部３３による物標方位が正面になるように位相シフトを行っているため、仮想信号生成の最後に得られた複素信号に逆位相シフトを施す（ステップＳ１０６）ことで、正しい方位の信号が得られる。仮想信号生成部３４は、逆位相シフトを施した複素信号を仮想信号として出力する。

[0036] 続いて、ステップＳ１０４における外挿範囲の選択方法について説明する。

[0037] 多項式近似による曲線を受信アンテナ開口長から右側（アンテナ座標の正の方向）に拡張し、間隔ｄ＝λ／２のアンテナ５０素子相当のアンテナ開口長とした場合について、図５Ａに－１．５度の方位と１．５度の方位の３度間隔の２物標からの反射波の方位推定スペクトルを示し、図５Ｂに－３度の方位と３度の方位の６度間隔の２物標からの反射波の方位推定スペクトルを示す。ここでは多項式の次数は３次に固定している。このように同じ次数で同じ開口長であっても、図５Ａに示されるように３度の分離分解能が得られているにもかかわらず、図５Ｂに示されるように６度間隔の物標の分離ができないことがある。

[0038] 図６Ａには図５Ａのスペクトルを得たときの多項式近似曲線を示し、図６Ｂには図５Ｂのスペクトルを得たときの多項式近似曲線を示している。図６Ａでは、５０素子分の仮想アンテナ開口長の範囲内で信号実部の近似曲線５１と信号虚部の近似曲線５２とには発散は見られない。これに対して、図６Ｂでは、信号実部の近似曲線５３と信号虚部の近似曲線５４はともに実受信アンテナ開口長から離れるにつれ値が発散している。このため、方位推定ス

ペクトルに劣化が生じたものと考えられる。

[0039] 外挿範囲の選択は多項式近似曲線の発散による方位推定スペクトルの劣化を抑制するために行うものであり、外挿範囲の選択は多項式近似曲線の値によって決定する。図７に外挿範囲の選択方法の一例を示す。ここでは第１アンテナアレーＬ１のアンテナ座標の右側に外挿するものとする。

[0040] まず、外挿を行う前に、必要な分解能に応じて外挿範囲の初期設定をしておく。外挿範囲の右端の座標をend_re（実部信号）、end_re（虚部信号）とする。初期設定においてend_reとend_imとは等しい。例えば図６Ｂの近似曲線において、end_re、end_imはそれぞれ４９である。近似曲線が発散した図６Ｂの例では、近似曲線はアンテナ位置１９付近で極値をとり、この極値点の右側は単調増加となっている。

[0041] そこで、まず実部信号について、多項式近似曲線の極値をとるアンテナ位置を探す（ステップＳ２０１）。図６Ｂの例ではアンテナ位置１９付近となる。次にＭＩＭＯアンテナの左端である座標０から極値をとる座標までの区間における近似曲線の絶対値の最大値を探索する。ここで抽出した絶対値の最大値をmax_reとする（ステップＳ２０２）。図６Ｂの例ではアンテナ位置０付近がmax_reを与えるアンテナ位置である。次に、極値をとるアンテナ座標よりも右側（アンテナ座標の正の方向）で値がmax_reを超える仮想信号位置p_reを探索する（ステップＳ２０３）。元の外挿範囲であるアンテナ位置０～end_reの範囲内で仮想信号位置p_reが存在する場合には外挿範囲の右端をp_reに更新する。元の外挿範囲内に仮想信号位置p_reが存在しなければ、外挿範囲は初期設定のままとする（ステップＳ２０４、ステップＳ２０５）。なお、多項式近似曲線に複数の極値が存在する場合には、最も右側（外挿する方向に沿って最も外側）に位置する極値を基準として、上記フローを行う。

[0042] 虚部信号も同様にして極値までの区間の絶対値の最大値max_imを超える仮想信号位置p_imを探索する（ステップＳ２０６～ステップＳ２１０）。元の外挿範囲内に仮想信号位置p_reまたは仮想信号位置p_imが存在する場合、そ

の小さい方（仮想信号位置p_re及び仮想信号位置p_imで、より左側に位置する方）を外挿範囲の右端として外挿範囲を設定する（ステップＳ２１１）。

[0043] 図７のフローにしたがって図６Ｂの近似曲線から外挿による仮想アンテナ信号の有効範囲を選択すると、外挿範囲の右端となる仮想アンテナ位置は２８になる。このときの方位推定スペクトルは図８Ａのようになり、２物標を分離検知できる。図８Ｂは図７に示す処理により選択された仮想信号生成範囲における近似曲線である。

[0044] なお、図７の処理はあくまで一例であり、例えば、外挿は受信アンテナの左側に対して行ってもよく、左右両側に対して行ってもよい。

[0045] 仮想信号生成部３４において多項式近似曲線を導出する際、多項式の次数を決めておく必要がある。しかし、受信信号実部、受信信号虚部を示す曲線は物標数や物標間隔により形状が異なるため、あらかじめ決められた次数で高いフィッティング精度が得られない場合もある。そこで、様々な物標数の場合に適応させる必要がある場合、仮想信号生成部３４の処理について、次数を異ならせて多項式近似曲線の導出を複数回行い、受信信号との差が最も小さくなる、すなわち最もフィッティング精度の高い次数の多項式近似曲線を選択するようにしてもよい。

符号の説明

[0046] １：送信部、２：受信部、３：信号処理部、１１：送信アンテナ素子、１２：発振器、２１：受信アンテナ素子、２２：ミキサ、２３：Ａ／Ｄ変換機、３１：時間・周波数ＦＦＴ部、３２：ＭＩＭＯ処理部、３３：第１方位推定部、３４：仮想信号生成部、３５：第２方位推定部、４０：受信アンテナ、４１：受信信号値、５１～５４：近似曲線。

請求の範囲

[請求項1] 複数の受信アンテナからの受信信号から物標の方位推定処理を行うレーダ装置であって、

前記複数の受信アンテナは同一軸上に配置され、アンテナ間隔が等間隔に配置された第１アンテナアレーと、隣接する受信アンテナと前記第１アンテナアレーのアンテナ間隔よりも長い間隔で配置される１以上の他の受信アンテナとを含んでおり、

前記第１アンテナアレーからの受信信号に基づき、物標の方位推定処理を行う第１方位推定部と、

前記他の受信アンテナを含む前記複数の受信アンテナからの受信信号及び前記第１方位推定部が推定した物標方位に基づき、前記同一軸上で前記複数の受信アンテナの開口長を超える範囲に位置する仮想受信アンテナからの仮想信号を生成する仮想信号生成部と、

前記複数の受信アンテナからの受信信号と前記仮想信号生成部の生成した前記仮想受信アンテナからの仮想信号とに基づき、物標の方位推定処理を行う第２方位推定部とを有するレーダ装置。

[請求項2] 請求項１において、

送信波を送信する複数の送信アンテナ素子と、

前記送信波が物標で反射された反射を受信する複数の受信アンテナ素子とを有し、

前記複数の受信アンテナ素子で受信された受信信号をＭＩＭＯ処理することにより得られる複数の受信アンテナが、同一軸上に配置され、アンテナ間隔が等間隔に配置された前記第１アンテナアレーと、隣接する受信アンテナと前記第１アンテナアレーのアンテナ間隔よりも長い間隔で配置される１以上の前記他の受信アンテナとを含む配置を有しているレーダ装置。

[請求項3] 請求項２において、

前記送信波の自由空間での波長をλとするとき、

前記第１アンテナアレーのアンテナ間隔はλ／２以下であるレーダ装置。

[請求項4] 請求項１において、

前記複数の受信アンテナからの受信信号のそれぞれについて、距離・速度のパワースペクトルのピークにおける振幅と位相の複素情報を複素信号として出力するＦＦＴ部を有し、

前記仮想信号生成部は、複数の受信アンテナからの受信信号のそれぞれについて前記ＦＦＴ部によって求められた複素信号が入力され、前記第１方位推定部が推定した物標方位が０度となるように入力された前記複素信号の位相をシフトし、位相がシフトされた前記複素信号の実部と虚部のそれぞれについて多項式近似曲線を導出し、前記多項式近似曲線に基づき、前記仮想受信アンテナの位置における複素信号の値を求めるレーダ装置。

[請求項5] 請求項４において、

前記仮想信号生成部は、前記同一軸上で前記複数の受信アンテナの開口長内であって、前記複数の受信アンテナのいずれも存在しない位置に位置する仮想受信アンテナからの仮想信号を生成するレーダ装置。

[請求項6] 請求項４において、

前記仮想信号生成部は、前記多項式近似曲線に基づいて求めた、前記仮想受信アンテナの位置における複素信号の値を前記第１方位推定部が推定した物標方位分シフトさせて、前記仮想受信アンテナからの仮想信号として出力するレーダ装置。

[請求項7] 請求項４において、

前記仮想信号生成部は、前記仮想信号を生成する範囲を前記多項式近似曲線が発散しない範囲に制限するレーダ装置。

[請求項8] 請求項４において、

前記仮想信号生成部は、異なる次数の前記多項式近似曲線を導出し

、

複数の前記多項式近似曲線のうち最もフィッティング精度の高い次数の多項式近似曲線を選択し、選択した前記多項式近似曲線に基づき、前記仮想受信アンテナの位置における複素信号の値を求めるレーダ装置。

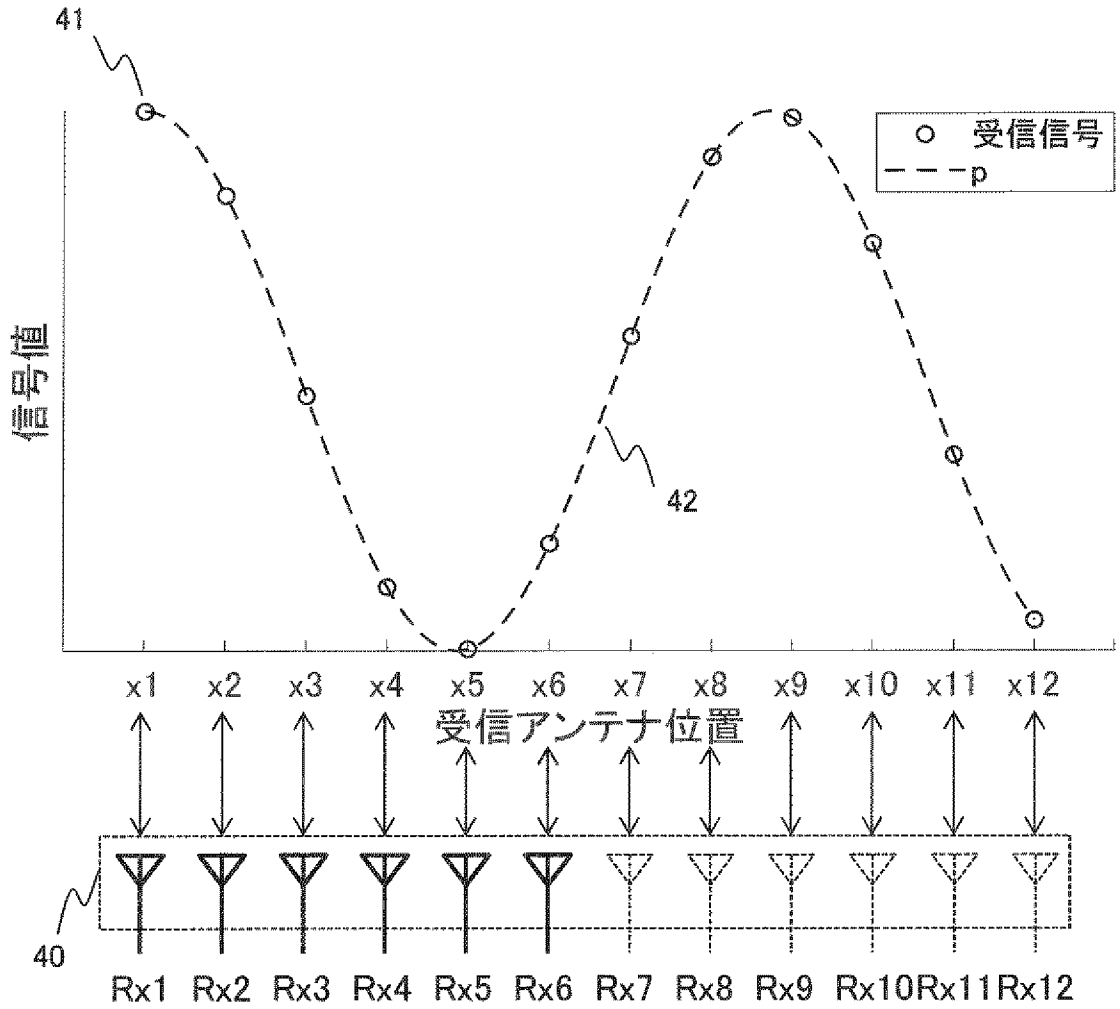
[請求項9] 請求項１において、

前記複数の受信アンテナからの受信信号のそれぞれについて、距離・速度のパワースペクトルのピークにおける振幅と位相の複素情報を複素信号として出力するＦＦＴ部を有し、

前記第１方位推定部は、複数の受信アンテナからの受信信号のそれぞれについて前記ＦＦＴ部によって求められた複素信号が入力され、空間ＦＦＴまたはデジタルビームフォーミングにより物標の方位推定処理を行うレーダ装置。

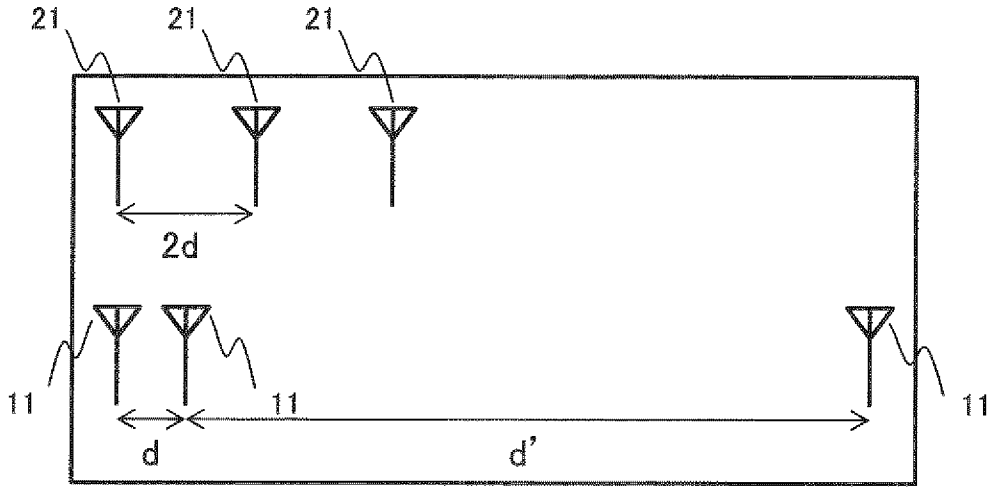
[図1]

図1


41
受信信号
p
信号値
42
x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10 x11 x12
受信アンテナ位置
40
Rx1 Rx2 Rx3 Rx4 Rx5 Rx6 Rx7 Rx8 Rx9 Rx10 Rx11 Rx12

[図2A]

図2A


21
21
21
2d
11
11
11
d
d'

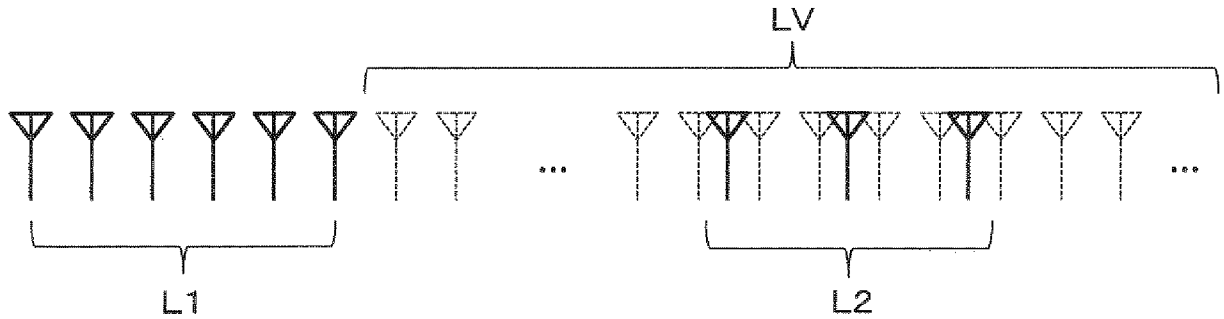
[図2B]

図2B



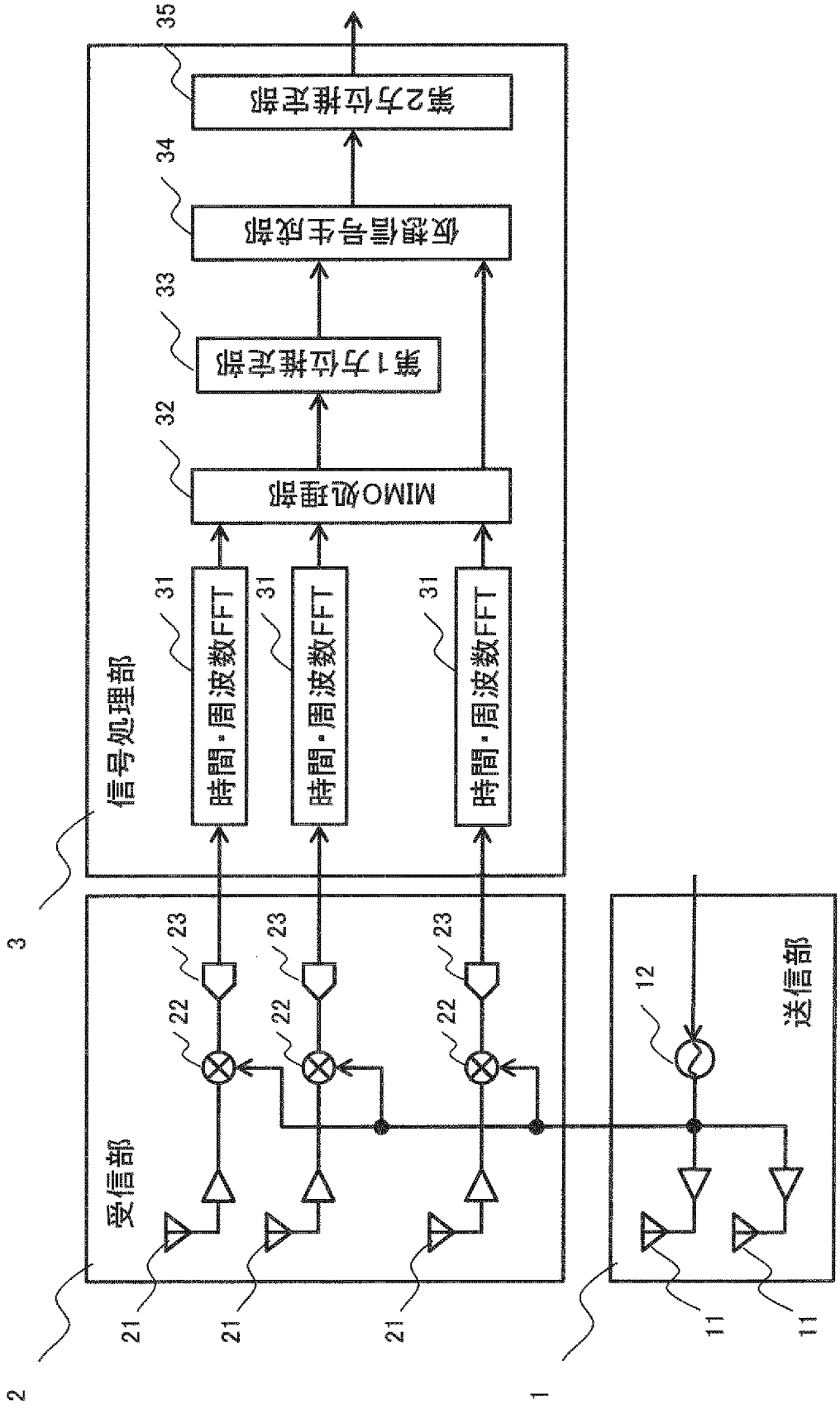
[図2C]

図2C



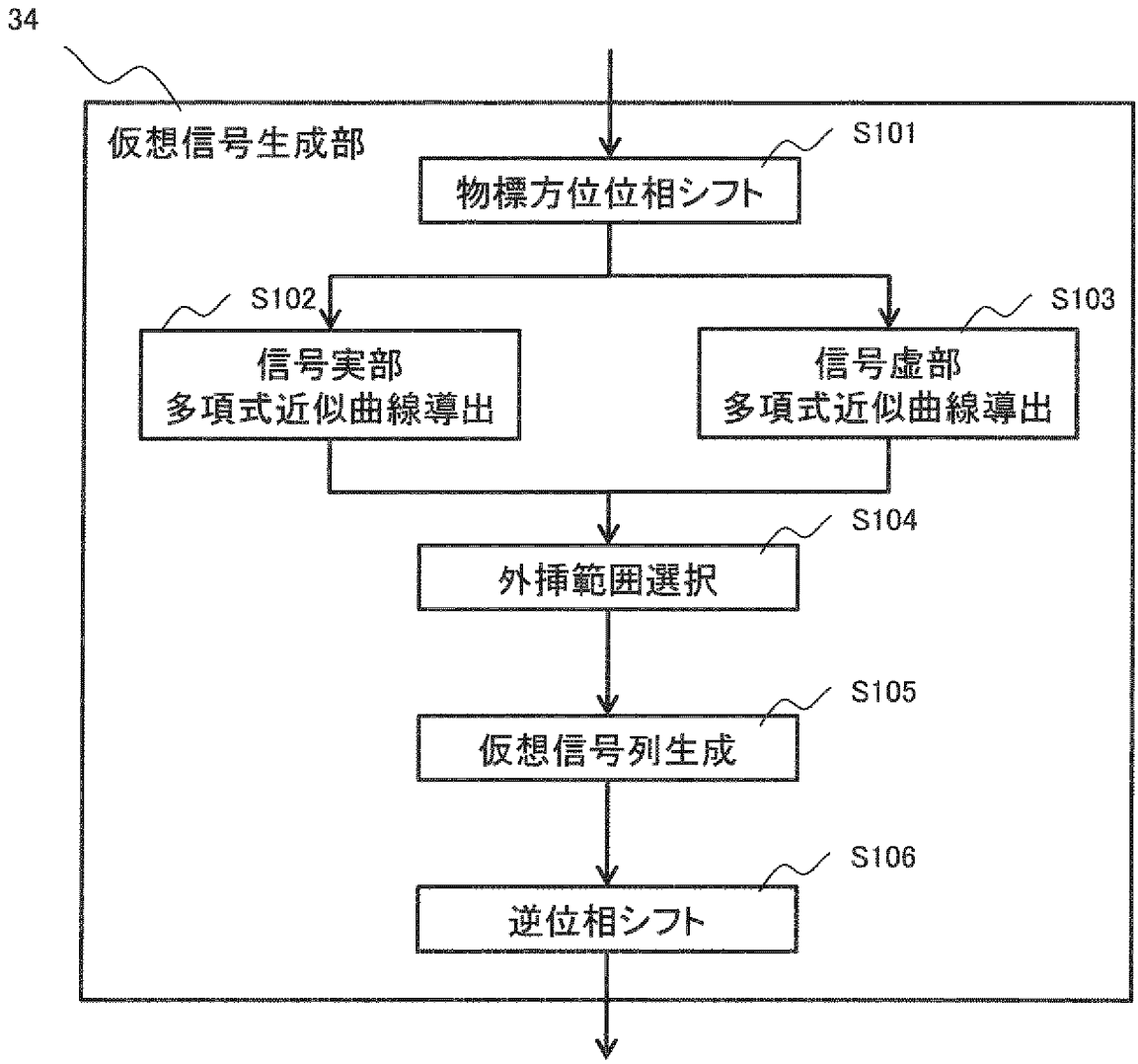
[図3]

図3


送信部
受信部
信号処理部
時間・周波数FFT
MIMO処理部
第1方位推定部
仮想信号生成部
第2方位推定部
1
2
3
11
12
21
22
23
31
32
33
34
35

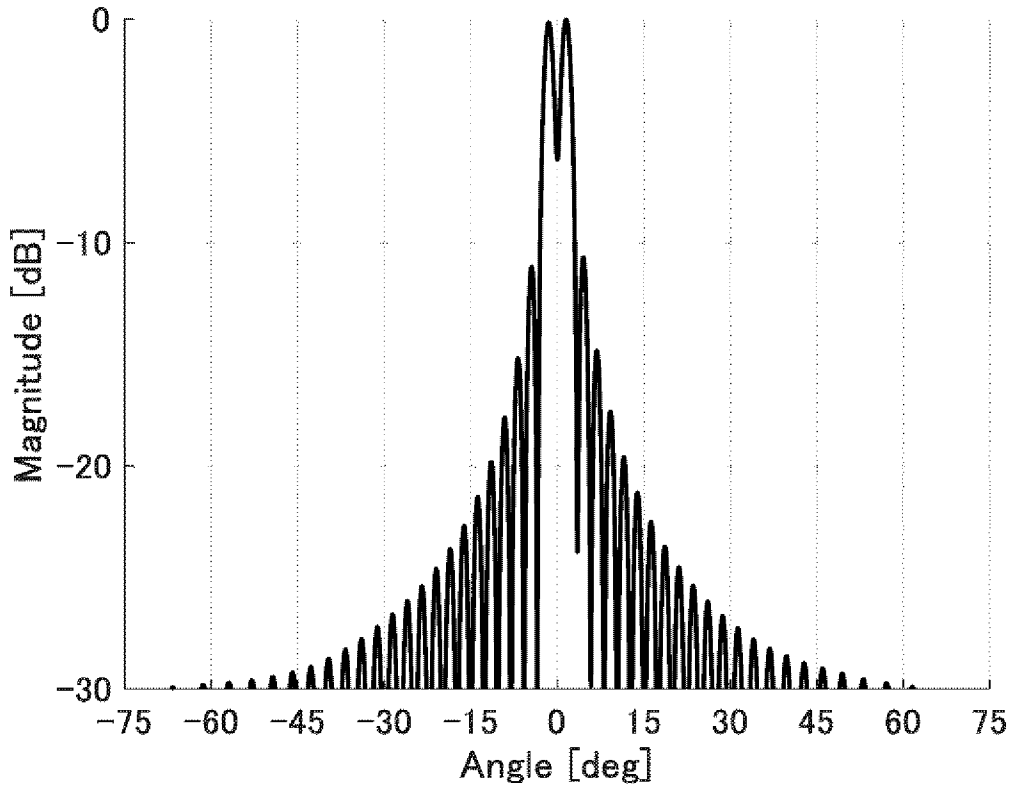
[図4]

図4


34
仮想信号生成部
S101
物標方位位相シフト
S102
信号実部
多項式近似曲線導出
S103
信号虚部
多項式近似曲線導出
S104
外挿範囲選択
S105
仮想信号列生成
S106
逆位相シフト

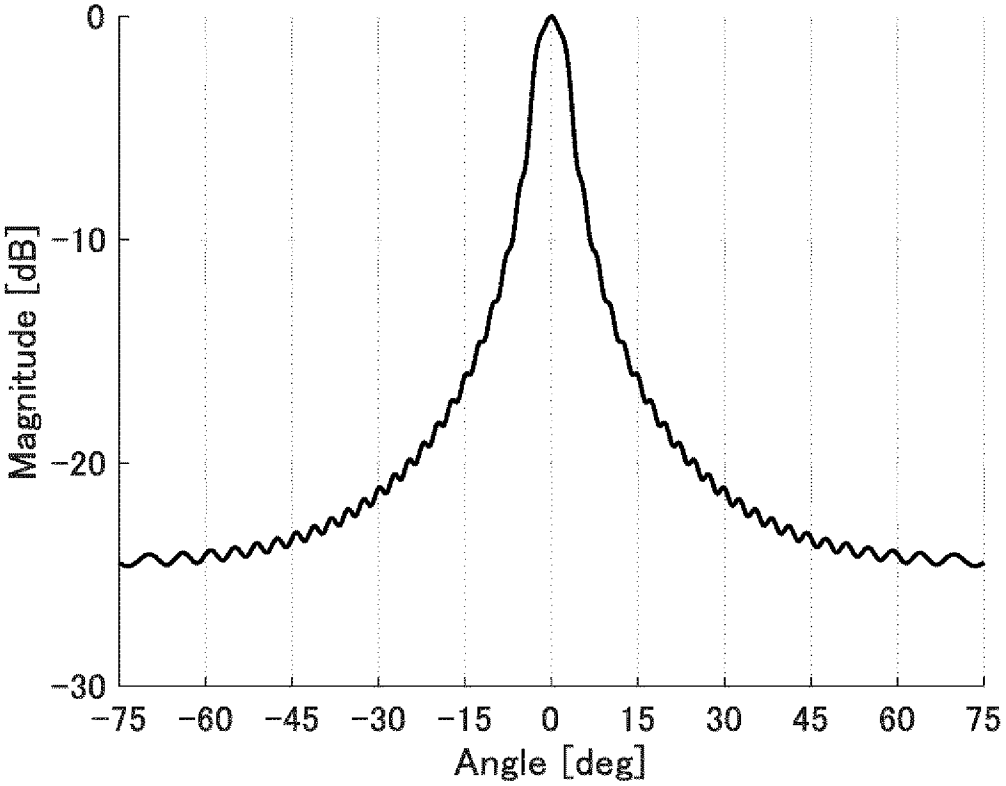
[図5A]

図5A



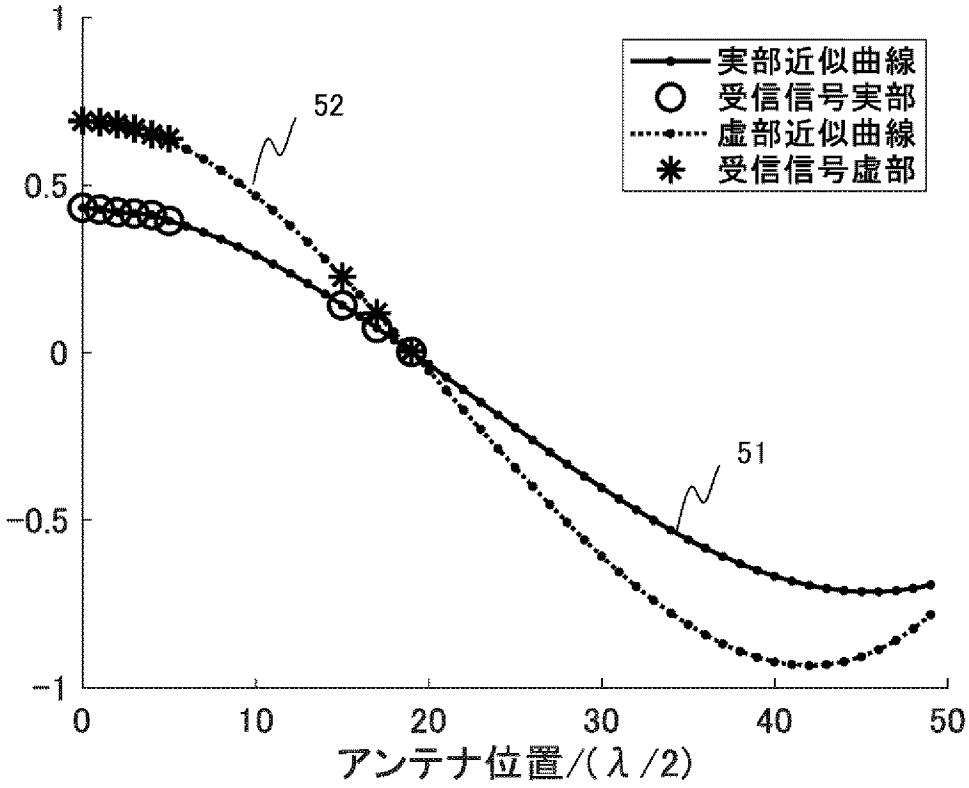
[図5B]

図5B



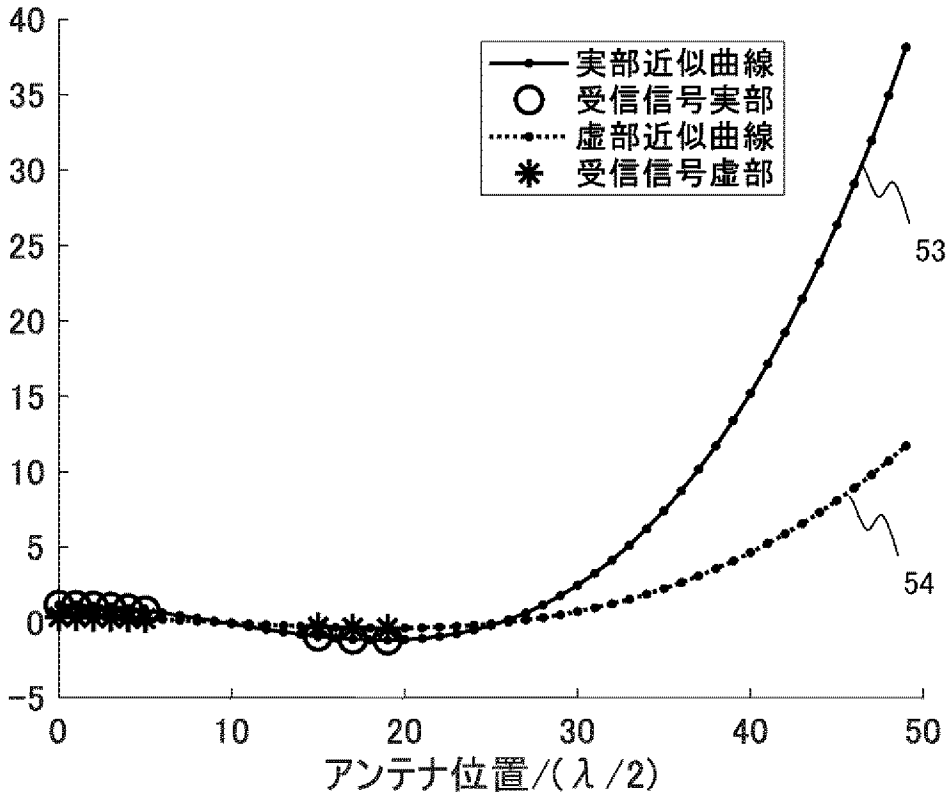
[図6A]

図6A



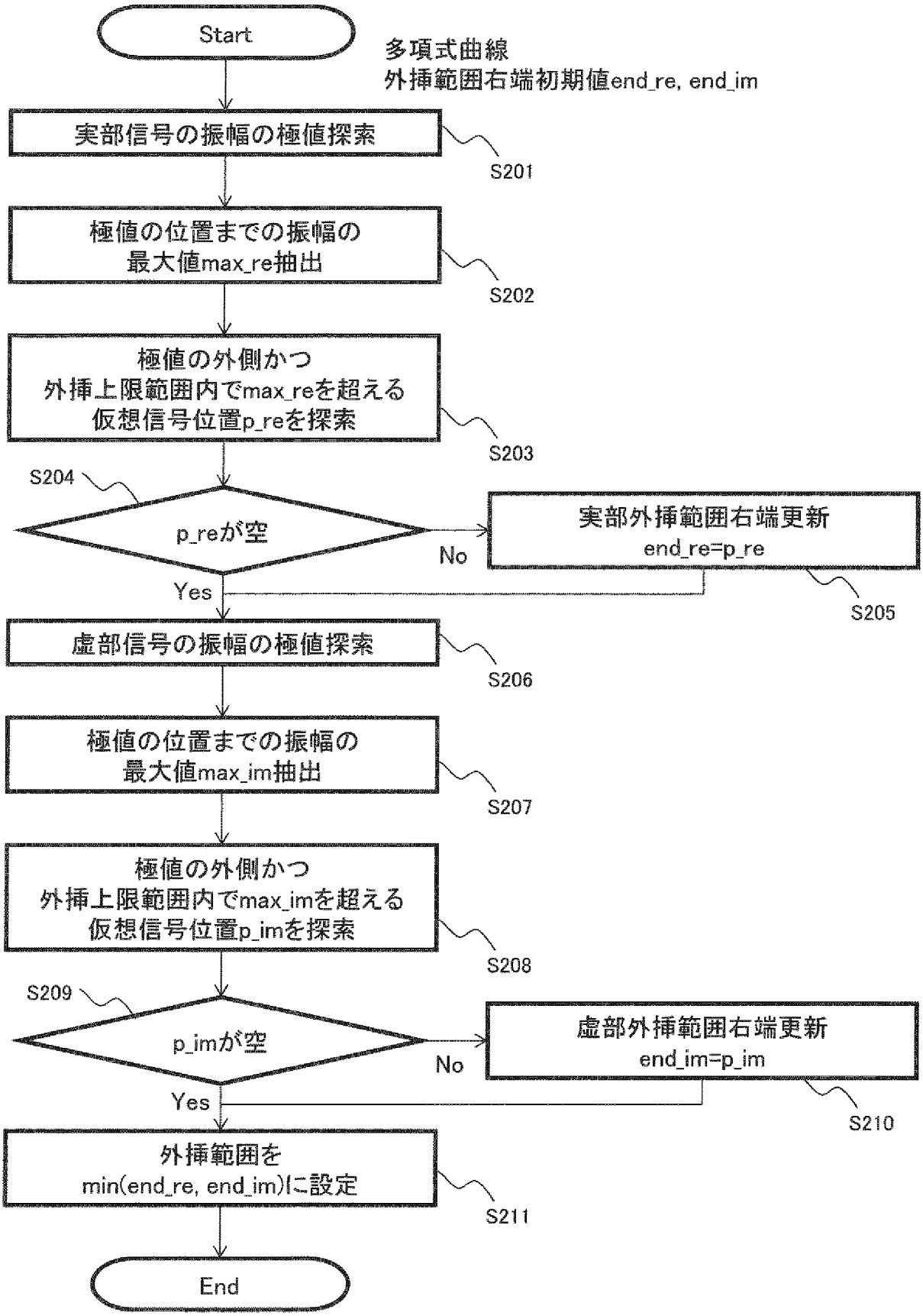
[図6B]

図6B



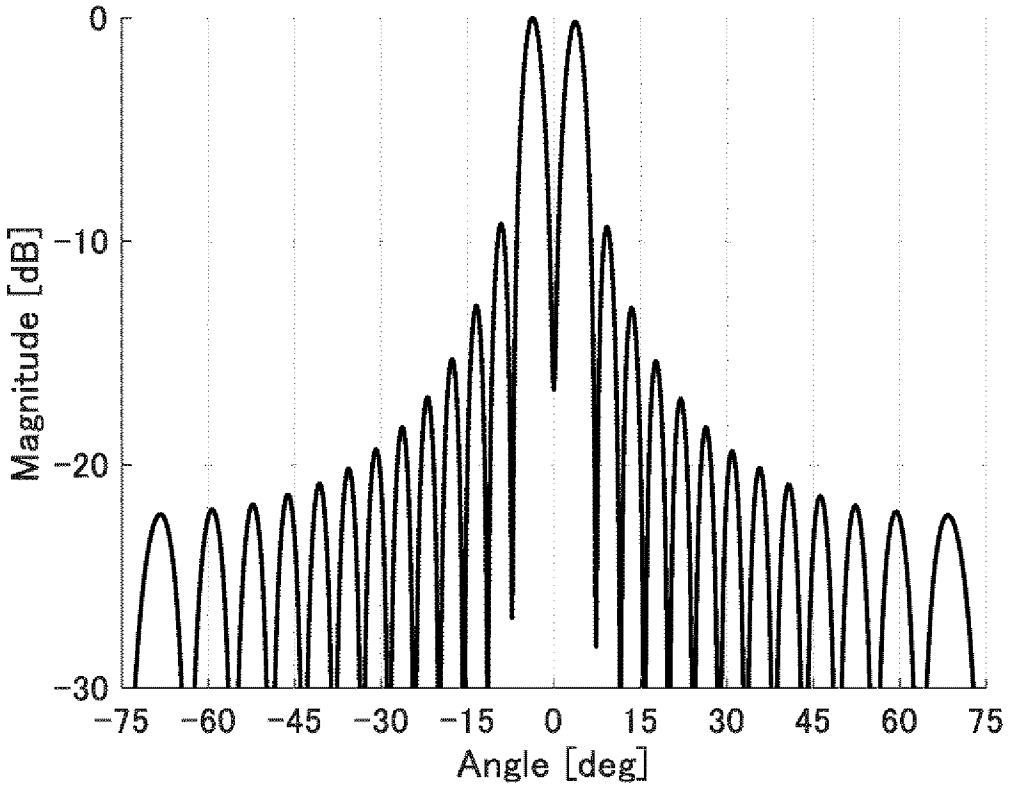
[図7]

図7


Start
多項式曲線
外挿範囲右端初期値end_re, end_im
実部信号の振幅の極値探索
S201
極値の位置までの振幅の
最大値max_re抽出
S202
極値の外側かつ
外挿上限範囲内でmax_reを超える
仮想信号位置p_reを探索
S203
S204
p_reが空
No
実部外挿範囲右端更新
end_re=p_re
S205
Yes
虚部信号の振幅の極値探索
S206
極値の位置までの振幅の
最大値max_im抽出
S207
極値の外側かつ
外挿上限範囲内でmax_imを超える
仮想信号位置p_imを探索
S208
S209
p_imが空
No
虚部外挿範囲右端更新
end_im=p_im
S210
Yes
外挿範囲を
min(end_re, end_im)に設定
S211
End

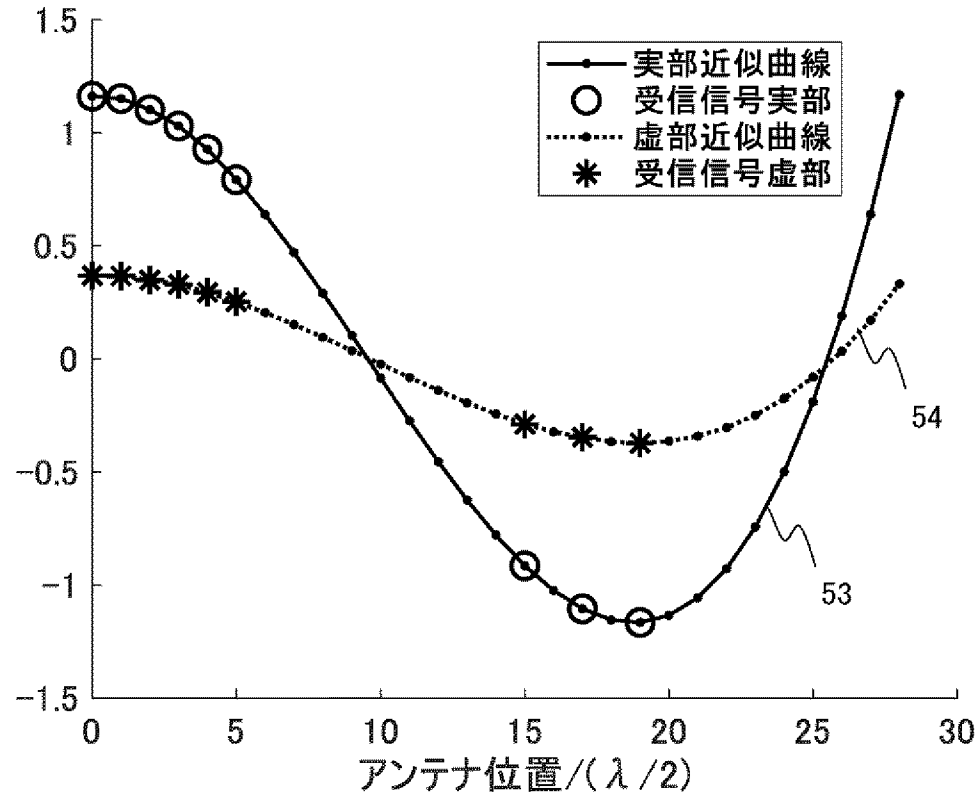
[図8A]

図8A



[図8B]

図8B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/033521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 7/02(2006.01)i
FI: G01S7/02 218

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)

G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95;

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 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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 2020-020696 A (DENSO TEN LTD) 06 February 2020 (2020-02-06) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2008-241702 A (DENSO IT LABORATORY INC) 09 October 2008 (2008-10-09) entire text, all drawings	1-9
A	CN 106291473 A (XIDIAN UNIVERSITY) 04 January 2017 (2017-01-04) entire text, all drawings	1-9
A	US 2020/0200861 A1 (KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM AND MINERALS) 25 June 2020 (2020-06-25) entire text, all drawings	1-9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 October 2021	**16 November 2021**
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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/033521

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2020-020696 A	06 February 2020	(Family: none)	
JP 2008-241702 A	09 October 2008	US 2010/0045507 A1	
CN 106291473 A	04 January 2017	(Family: none)	
US 2020/0200861 A1	25 June 2020	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/033521

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01S 7/02(2006.01)i
FI: G01S7/02 218

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））

G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95;

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	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１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 2020-020696 A (株式会社デンソーテン) 06.02.2020 (2020-02-06) 全文，全図	1-9
A	JP 2008-241702 A (株式会社デンソーアイティーラボラトリ) 09.10.2008 (2008-10-09) 全文，全図	1-9
A	CN 106291473 A (XIDIAN UNIVERSITY) 04.01.2017 (2017-01-04) 全文，全図	1-9
A	US 2020/0200861 A1 (KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM AND MINERALS) 25.06.2020 (2020-06-25) 全文，全図	1-9

☐ 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	国際調査報告の発送日
25.10.2021	16.11.2021

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）
安井　英己 2S 6001
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/JP2021/033521

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2020-020696 A	06.02.2020	（ファミリーなし）	
JP 2008-241702 A	09.10.2008	US 2010/0045507 A1	
CN 106291473 A	04.01.2017	（ファミリーなし）	
US 2020/0200861 A1	25.06.2020	（ファミリーなし）	