

(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
2023年11月16日(16.11.2023)



(10) 国際公開番号

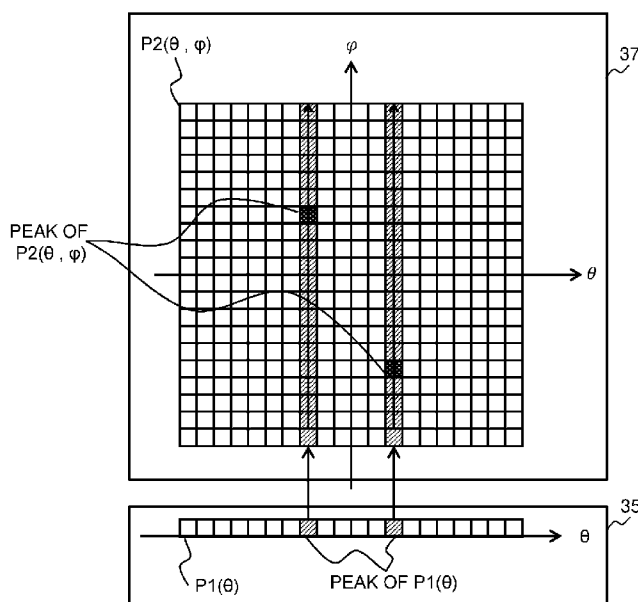
WO 2023/218632 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 7/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/020185
- (22) 国際出願日: 2022年5月13日(13.05.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (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).
- (74) 代理人: 弁理士法人サンネクスト国際特許事務所(SUNNEXT INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1400002 東京都品川区東品川二丁目3番12号 シーフォートスクエア センタービルディング16階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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,

(54) Title: RADAR DEVICE AND TARGET DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: レーダ装置および物標検知方法

FIG. 4



(57) Abstract: A radar device (1) comprises a plurality of antennas arranged two-dimensionally in a coordinate system having a first axis and a second axis as coordinate axes. The radar device (1) comprises a first axis direction estimation unit (35) that calculates, on the basis of received signals, a first peak value by scanning angles in the first axis direction in terms of a first spectrum intensity based on steering vectors of the antennas in the first axis direction. The radar device (1) also comprises a second axis direction estimation unit (37) that calculates, on the basis of received signals and the first



WO 2023/218632 A1

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, 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, 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))

peak value, a second peak value by scanning angles in the second axis direction in terms of a second spectrum intensity of the received signals based on steering vectors of the antennas in the second axis direction.

(57) 要約 : レーダ装置 (1) は、第 1 軸および第 2 軸を座標軸とする座標系に 2 次元配置された複数のアンテナを備える。レーダ装置 (1) は、受信信号に基づいてアンテナの第 1 軸方向のステアリングベクトルに基づく第 1 のスペクトル強度において第 1 軸方向に角度を走査して第 1 のピーク値を算出する第 1 軸方向推定部 (35) を有する。またレーダ装置 (1) は、受信信号と第 1 のピーク値とに基づいてアンテナの第 2 軸方向のステアリングベクトルに基づく受信信号の第 2 のスペクトル強度において第 2 軸方向に角度を走査して第 2 のピーク値を算出する第 2 軸方向推定部 (37) を有する。

明 細 書

発明の名称：レーダ装置および物標検知方法

技術分野

[0001] 本発明は、レーダ装置および物標検知方法に関する。

背景技術

[0002] 例えば、車両などに搭載されるミリ波レーダは、送信波が物標で反射した反射波を受信することで、物標の距離、速度、角度を求めることができる。ミリ波レーダは、受信アンテナが水平方向に複数配置されていれば水平方向の角度を算出することができ、垂直方向に複数配置されていれば物標の高さを算出することができる（例えば、特許文献1参照）。また、複数の受信アンテナを平面的に配置して2次元スペクトルを生成することで水平角度と垂直角度を求める方法がある（例えば、特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平9-288178号公報

特許文献2：特開2017-58359

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上述した従来技術のうち、特許文献1のように、推定した水平方位と垂直方位をそれぞれ推定する手法では、複数物標を検知した際に複数の水平方位推定結果と複数の垂直方位推定結果を正しく組み合わせる必要がある。他のセンサ情報や信号レベルの大きな差異がない場合、正しく組み合わせるのが困難という問題がある。また、平面的に配置された複数の受信アンテナを用いて2次元スペクトルを生成する手法は、複数物標の水平方位と垂直方位を正しい組み合わせで求めることができる一方、2次元スペクトルの生成処理やピーク探索に膨大な計算量を必要とするという問題がある。

[0005] 本発明は以上の点を考慮してなされたもので、計算量を抑制しつつ精度よく物標検知を行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述した課題を解決するため、本発明の一態様では、送信信号が物標で反射した反射波が複数のアンテナを介して受信された受信信号の到来方向を推定するレーダ装置であって、前記受信信号を信号処理して前記到来方向を推定する信号処理部を有し、前記複数のアンテナは、第1軸および第2軸を座標軸とする座標系に2次元配置され、前記信号処理部は、前記受信信号に基づいて前記アンテナの前記第1軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第1のスペクトル強度において前記第1軸方向に角度を走査して第1のピーク値を算出し、該第1のピーク値に基づいて前記第1軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第1軸方向推定部と、前記受信信号と前記第1のピーク値とに基づいて前記アンテナの前記第2軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第2のスペクトル強度において前記第2軸方向に角度を走査して第2のピーク値を算出し、該第2のピーク値に基づいて前記第2軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第2軸方向推定部とを含むことを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、計算量を抑制しつつ精度よく物標検知を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施形態1に係るレーダ装置の構成を示す図である。

[図2]実施形態1に係る第1軸に対する物標からの反射波の角度と、第2軸に対する物標からの反射波の角度を示す図である。

[図3]第2軸空間平均化処理部および第1軸方向推定部における2次元配置された受信アンテナの使い方を示す図である。

[図4]走査範囲限定処理部および第2軸方向推定部における処理を示す図であ

る。

[図5]信号処理部の第2軸空間平均化処理部から第2軸方向推定部までの処理の流れを示すフローチャートである。

[図6]実施形態1に係るアンテナ配置例を示す図である。

[図7]第1軸方向の1次元角度スペクトル強度の計算結果の一例を示す図である。

[図8]第2軸方向の2次元角度スペクトル強度の計算結果の一例を示す図である。

[図9]実施形態2に係るアンテナ配置例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0009] 以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。実施形態は、本発明を説明するための例示であって、説明の明確化のため、適宜、省略および簡略化がなされている。本発明は、他の種々の形態でも実施することが可能である。特に限定しない限り、各構成要素は単数でも複数でもよい。
- [0010] 同一あるいは同様の機能を有する構成要素が複数ある場合に、同一の符号に異なる添字を付してそれらを区別する。これらの複数の構成要素を区別する必要がない場合には、添字を省略して説明する場合がある。
- [0011] 実施形態において、プログラムを実行して行う処理について説明する場合がある。ここで、コンピュータは、プロセッサ（例えばCPU（Central Processing Unit）、GPU（Graphics Processing Unit））によりプログラムを実行し、記憶資源（例えばメモリ）等を用いながら、プログラムで定められた処理を行う。そのため、プログラムを実行して行う処理の主体を、プロセッサとしてもよい。プログラムを実行して行う処理の主体は、演算部であればよく、特定の処理を行う専用回路を含んでいてもよい。ここで、専用回路とは、例えばFPGA（Field Programmable Gate Array）やASIC（Application Specific Integrated Circuit）、CPLD（Complex Programmable Logic Device）等である。
- [0012] [実施形態1]

(実施形態 1 係るレーダ装置 1 の構成)

図 1 は、実施形態 1 係るレーダ装置 1 の構成を示す図である。レーダ装置 1 は、例えば鉄道や自動車などの車両に搭載される。

- [0013] レーダ装置 1 は車両の周辺や前方に存在する物標を検知するために用いられる。レーダ装置 1 は送信した送信波が物標で反射しレーダ装置 1 に戻ってきた反射波を受信することで物標のデータを取得する。物標のデータは物標までの距離、レーダ装置 1 に対する物標の相対速度、物標の存在する方向などである。
- [0014] 図 1 に示すように、レーダ装置 1 は、送信部 10 と受信部 20 と信号処理部 30 とメモリ部 40 とを備えている。
- [0015] 送信部 10 は、発振器 11 と送信アンテナ 12 とを有する。ミリ波レーダによる物標検知では、一般的に FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式と呼ばれる時刻に応じて周波数が線形に変化するチャープ信号を送受信した結果に基づいて距離や速度情報を算出する。発振器 11 は、信号処理部 30 内の信号制御部 31 から送信する信号の情報を受け取り、チャープ信号を生成する。生成されたチャープ信号は、送信アンテナ 12 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。
- [0016] 受信部 20 は、複数の受信アンテナ 21、各受信アンテナ 21 に接続されたミキサ 22 および A/D (Analog to Digital) 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 21 で受信される。反射波を受信した受信信号は、ミキサ 22 に入力される。ミキサ 22 は、受信信号と送信信号 (発振器 11 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する。ビート信号は、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 30 に出力される。
- [0017] 信号処理部 30 では、A/D 変換後のビート信号を用いてフーリエ変換、距離・速度算出、第 1 軸方向推定、第 2 軸方向推定の処理が行われる。
- [0018] メモリ部 40 には、アンテナ座標情報や送信信号の変調設定の情報等、信

号処理部30で必要な情報が格納されている。アンテナ座標情報は、例えば二次元配置された受信アンテナ21の第1軸方向の間隔 d_{11} および第2軸方向の間隔 d_{21} である(図6を参照して後述)。また、アンテナ座標情報は、第1軸方向の受信アンテナ21の基準となる受信アンテナサブアレイに対する他の受信アンテナサブアレイのオフセット値 d_{12} 、 d_{13} 、…を含む。同様に、アンテナ座標情報は、第2軸方向の受信アンテナ21の基準となる列に対する他の列のオフセット値 d_{22} 、 d_{23} 、…を含む(図9を参照して後述)。

[0019] 送信アンテナ12から送信された信号は、物標までの距離の2倍の距離の経路を通過して受信アンテナ21で受信される。時刻に応じて周波数が変化する信号が送信されてから物標で反射して受信アンテナ21に届くまでに送信時からの遅延時間が発生することで、送信信号と受信信号との間に周波数差が発生する。物標までの距離が長いほど、遅延時間が大きく、送受信信号の周波数差が大きくなる。A/D変換後のビート信号が時間方向にフーリエ変換されることで、周波数差に基づいて物標までの距離が求められる。

[0020] フーリエ変換部32は、以上のように信号処理部30に入力された受信信号に対して2次元FFT(Fast Fourier Transform)を行う。FFT処理により距離および速度のパワースペクトルが得られる。距離・速度算出部33は、フーリエ変換部32において得られた距離・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。

[0021] フーリエ変換部32は、それぞれの受信アンテナ21で受信した信号に対してFFT処理を行うため、受信アンテナ21のチャンネル数と同じ数の距離および速度スペクトルを得る。ここで、得られるピークbinは、全ての受信アンテナ21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21ごとに異なる。受信アンテナ21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21で得られる複素情報とアンテナ配置から物標の方向を求

める。

- [0022] 距離・速度算出部33の後段処理は、算出された距離および速度binごとに行われる。以後受信信号とは、距離および速度スペクトルのピークbinにおける複素数信号のことをさすものとする。
- [0023] 第2軸空間平均化処理部34以降の処理は物標の方向を求める処理である。
- [0024] 図2は、実施形態1に係る第1軸に対する物標からの反射波の角度と、第2軸に対する物標からの反射波の角度を示す図である。本実施形態では、受信アンテナが第1軸および第2軸の2次元配置になっているとし、第1軸に対する物標の角度 θ を図2(a)のように定義し、第2軸に対する物標の角度 ϕ を図2(b)のように定義する。例えば第1軸が水平方向であり、第2軸が垂直方向であるが、これに限られない。
- [0025] 図3は、第2軸空間平均化処理部および第1軸方向推定部における2次元配置された受信アンテナ21の使い方を示す図である。第2軸空間平均化処理部34は、2次元配置された受信アンテナ21を1次元として使うための処理を行う。具体的には2次元配置された受信アンテナ21で得られた信号を第2軸座標が等しい受信アンテナアレイ21Aごとに受信信号をグループ化し、各グループの受信信号の相関行列Rを求め、全グループの相関行列の平均化処理を行う。詳細は後述する。ここで得られた受信信号の相関行列Rは、第1軸に平行な1次元アンテナアレイによる受信信号の相関行列とみなされる。
- [0026] 第1軸方向推定部35は、第2軸空間平均化処理部34で得た相関行列Rと、1次元とみなしたアンテナ座標を用いて、角度 θ に関する1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ の計算を行う。そして、第1軸方向推定部35は、1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ が閾値以上となる角度 θ を求めることで、第1軸に対する物標の存在する方向を示す角度 θ を推定する。例えば第1軸が水平方向のとき、水平角度を求めるための計算となる。方向の推定はCaponやMUSIC (Multiple Signal Classification) 等の公知の

手法を用いて行う。

[0027] 図4は、走査範囲限定処理部36および第2軸方向推定部37における処理を示す図である。走査範囲限定処理部36は、第1軸方向推定部35の結果から2次元方向推定を行う第1軸の角度範囲を決定する。2次元方向推定を行う第1軸の角度範囲は、第1軸方向推定部35で1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ が閾値以上となる角度 θ を含む所定範囲である。

[0028] 第2軸方向推定部37は、走査範囲限定処理部36で決定した角度 θ の範囲内に限定し、角度 ϕ に関する2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の計算を行って、2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ が閾値以上となる角度 ϕ を求める第2軸方向推定を行う。第2軸方向推定によって、第2軸に対する物標の存在する方向を示す角度 ϕ を推定することで、物標の第1軸に対する角度 θ と第2軸に対する角度 ϕ を確定する。

[0029] 次に、第2軸空間平均化処理部34、第1軸方向推定部35、走査範囲限定処理部36、第2軸方向推定部37について説明する。まず、アンテナ配置を説明する。

[0030] (実施形態1に係るアンテナ配置例)

図6は、実施形態1に係るアンテナ配置例を示す図である。本実施形態では、受信アンテナアレイは、第1軸方向に6列、第2軸方向に3列となるグリッド状に配置された18素子の受信アンテナ $R \times 1 \sim R \times 18$ で構成される。 $R \times 1 \sim R \times 6$ の受信アンテナサブアレイをG1、 $R \times 7 \sim R \times 12$ の受信アンテナサブアレイをG2、 $R \times 13 \sim R \times 18$ の受信アンテナサブアレイをG3とする。

[0031] 受信アンテナサブアレイG1、G2、G3において第1軸と平行に配置される6素子の受信アンテナの間隔を d_1 とし、第2軸座標の異なる受信アンテナサブアレイG1、G2、G3の第2軸座標差(間隔)を d_2 とする。受信アンテナサブアレイG1、G2、G3は、グリッド状に配置された複数のアンテナを複数の平行線で区画した場合に、第2軸方向に複数配置され、第2軸から同一の距離に位置する、同一の素子数を含む直線状のアンテナサブ

アレイの一例である。

[0032] なお、受信アンテナ $R \times 1 \sim R \times 18$ は、MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) や、他の拡張信号処理により得られた仮想的なアンテナでもよい。仮想アンテナを用いる場合、第2軸空間平均処理の前に仮想アンテナにおける仮想受信信号を生成するにすればよい。

[0033] (第2軸空間平均化処理部34、第1軸方向推定部35、第2軸方向推定部37の処理)

図5は、信号処理部30の第2軸空間平均化処理部34から第2軸方向推定部37までの処理の流れを示すフローチャートである。

[0034] 先ずステップS1では、第2軸空間平均化処理部34は、第2軸座標が等しいアンテナアレイをサブアレイとしてグループ化する(1次元アンテナサブアレイ生成処理)。 $R \times 1 \sim R \times 6$ の受信アンテナサブアレイをG1、 $R \times 7 \sim R \times 12$ の受信アンテナサブアレイをG2、 $R \times 13 \sim R \times 18$ の受信アンテナサブアレイをG3とする。

[0035] ここで、各受信アンテナ $R \times 1 \sim R \times 18$ で得られる受信信号を $s_1 \sim s_{18}$ とする。受信アンテナサブアレイG1の信号を $s(1) = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]$ とする。受信アンテナサブアレイG2の信号を $s(2) = [s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}, s_{12}]$ とする。受信アンテナサブアレイG3の信号を $s(3) = [s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}, s_{17}, s_{18}]$ とする。

[0036] 次にステップS2では、第2軸空間平均化処理部34は、各受信アンテナサブアレイから得られた受信信号 $s(1)$ 、 $s(2)$ 、 $s(3)$ を用いて相関行列 R_1 、 R_2 、 R_3 を算出する(サブアレイ相関行列計算処理)。次にステップS3では、第2軸空間平均化処理部34は、各受信アンテナサブアレイの受信信号 $s(1)$ 、 $s(2)$ 、 $s(3)$ から算出された3個の相関行列 R_1 、 R_2 、 R_3 を平均した行列 R_{mean} を生成する(相関行列平均処理)。

[0037] 第1軸方向推定部35は、第1軸方向推定に必要な1次元角度スペクトル

強度の計算を行う。第1軸方向推定を行うためには、2次元配置されたアンテナを1次元として使う場合の1次元ステアリングベクトルが必要である。先ずステップS4では、第1軸方向推定部35は、アンテナ座標情報をもとに1次元ステアリングベクトル $a_1(\theta)$ を生成する（第1軸1次元ステアリングベクトル生成処理）。第1軸に沿った受信アンテナの座標を用いて1次元ステアリングベクトル $a_1(\theta)$ は、式(1)のように表される。 λ は波長を示している。また θ は求めるスペクトルの方向によって変化させる値である。

[0038] [数1]

$$a_1(\theta) = \begin{bmatrix} \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 0 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 1 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 2 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 3 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 4 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 5 \cdot \sin \theta}{\lambda}\right) \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (1)$$

[0039] 次にステップS5では、第1軸方向推定部35は、ステップS3で求めた行列 R_{mean} とステップS4で生成した1次元ステアリングベクトル $a_1(\theta)$ を用いて、第1軸方向の1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ を計算する（第1軸1次元方向スペクトル計算処理）。1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ の計算方法は、例えばCapon法を用いた場合、式(2)のように表される。

[0040] [数2]

$$P_1(\theta) = \frac{1}{a_1(\theta)^H R_{mean}^{-1} a_1(\theta)} \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0041] アンテナの視野角などから予め定めた所定範囲で角度 θ を走査して第1軸

方向の1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ を計算する。

[0042] 図7は、同一距離・速度binに第1軸方向の異なる物標が2個存在する場合に得られる1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ の一例を示している。

1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ の計算は、Caponに限らず、例えばDBF(Digital Beamforming)やMUSIC等を用いてもよい。

[0043] 次にステップS6では、第1軸方向推定部35は、1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ が所定の閾値を超えるとときの角度 θ を抽出する(第1軸方向ピーク抽出処理)。本実施形態では、 $\theta = \alpha_1, \alpha_2$ が第1軸方位として抽出されたとする。

[0044] 次にステップS7では、走査範囲限定処理部36は、第1軸方向推定部35で抽出した第1軸ピーク角度 α_1, α_2 を受けて、次の第2軸方向推定部37で計算する2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の計算範囲を決め、リスト化する。例えば、 α_1, α_2 のそれぞれの ± 1 度範囲内で1度刻みの場合、第2軸方向推定部37には $(\alpha_1 - 1, \alpha_1, \alpha_1 + 1)$ 、 $(\alpha_2 - 1, \alpha_2, \alpha_2 + 1)$ を θ の走査範囲として出力する。このリストは例えば、 α_1, α_2 のみであってもよい。第1軸に平行な受信アンテナサブアレイの1グループあたりのアンテナ素子数が十分にあり、第1軸方向推定のビーム走査が詳細に行われている場合、第2軸方向推定リストが α_1, α_2 のみでも十分な精度が得られる。

[0045] 第2軸方向推定部37は、第2軸方向推定に必要な2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の計算を行う。先ずステップS8では、第2軸方向推定部37は、2次元に配置された受信アンテナの受信信号 $s_1 \sim s_{18}$ を用いて 18×18 の相関行列 R を生成する(全アンテナアレイ相関行列計算処理)。

[0046] 第2軸方向推定を行うためには、2次元配置された受信アンテナ21の2次元ステアリングベクトルが必要である。次にステップS9では、第2軸方向推定部37は、アンテナ座標情報をもとに2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ を生成する(第2軸2次元ステアリングベクトル計算処理)。

2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ は、式(3)のように表される。このとき θ は、走査範囲限定処理部36により定められたリスト内の値で変化させるものであり、先ずは α_1 を含むリスト内の値で変化させる。

[0047] [数3]

$$a_2(\theta, \phi) = \begin{bmatrix} \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 0 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 0 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 5 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 0 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 0 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 1 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 5 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 1 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 0 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 2 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d1 \cdot 5 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d2 \cdot 2 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0048] 次にステップS10では、第2軸方向推定部37は、走査範囲限定処理部36により定められた θ と、アンテナの視野角などからあらかじめ定められた所定の範囲の ϕ について2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ を計算する(所定範囲内2次元方向スペクトル計算処理)。2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ は、2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ と相関行列 R を用いて、式(4)のように計算される。

[0049] [数4]

$$P_2(\theta, \phi) = \frac{1}{a_2(\theta, \phi)^H R^{-1} a_2(\theta, \phi)} \cdot \cdot \cdot (4)$$

[0050] 最後にステップS11では、第2軸方向推定部37は、2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ が所定の閾値以上となるときの θ, ϕ を抽出する(所定範囲内方向ピーク抽出処理)。第2軸方向推定部37は、ステップS9~S11の処理を、 α_2 を含むリストについても同様に行う。

[0051] 図8は、第2軸方向の2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の計算結

果の一例を示す図である。図8は、同一距離・速度 bin に第1軸方向、第2軸方向ともに異なる2個の物標が存在する場合に得られる2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の一例を示している。

[0052] 距離・速度算出部33で得たピークが複数ある場合、それぞれの距離・速度 bin に対してステップS1～S11の処理を繰り返し行う。

[0053] 本実施形態では、受信アンテナ21が第1軸方向に6素子、第2軸方向に3素子の合計18素子からなる長方形配置の構成となっているが、第1軸および第2軸方向に並ぶアンテナ素子数の組み合わせはこの限りではない。また、検知する物標数についてもこの限りではない。

[0054] (実施形態1の効果)

本実施形態では、受信アンテナを、第1軸および第2軸を座標軸とする座標系に2次元配置された第1軸に平行なアンテナアレイごとにまとめる。そして、受信信号の第1軸方向のスペクトル強度がピーク値となる第1軸方向のピーク角度を算出する。そして、受信信号の第2軸方向のスペクトル強度がピーク値となる第2軸方向のピーク角度の算出を、第1軸方向のピーク角度に基づいて限定した範囲で行う。

[0055] よって本実施形態によれば、送信信号が物標に反射した反射波の到来方向、すなわち物標の位置の2つの軸に対する角度を、計算量を抑制しつつ精度よく求めることができる。また、ミリ波レーダにおける高分解能化を図ることができる。

[0056] また、本実施形態では、アンテナサブアレイ毎に受信信号をグループ化し、第2軸方向に異なるアンテナを介して受信された受信信号の平均化処理を行い、平均化された受信信号に基づいて第1軸方向のステアリングベクトルを算出する。よって、本実施形態によれば、第2軸の座標が異なる複数の受信アンテナの受信信号に基づく第1軸方向のステアリングベクトルを算出できる。

[0057] また、本実施形態では、複数のアンテナは、第1軸方向に並ぶ素子数が第2軸方向に並ぶ素子数以上である。第1軸方向に並ぶ素子数が第2軸方向に

並ぶ素子数よりも十分に多ければ、2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \alpha)$ のピーク値の算出の際、第1軸方向の角度 θ の走査範囲をより小さくできる。また、さらには1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ のピーク値を与える角度 θ のみとできる。よって、計算量を抑制できる。

[0058] また、本実施形態では、仮想アンテナを用いて複数のアンテナを構成することができる。

[0059] (実施形態1の変形例)

第2軸方向に並ぶアンテナの数が第2軸角度の異なる物標の数に対して十分多い場合、ステップ S_{11} までの処理を終えた後、第1軸と第2軸を入れ替えてステップ $S_1 \sim S_{11}$ を再度行って推定角度の精度確認を行ってもよい。この場合、2次元配置された受信アンテナ 2_1 で得られた信号を、例えば図6の $R \times 1$, $R \times 7$, $R \times 13$ のような第1軸座標が等しい受信アンテナアレイごとに受信信号をグループ化する。そして、各グループの受信信号の相関行列を求め、全グループの相関行列の平均化処理を行う。

[0060] 図6のようなアンテナ配置の場合、受信アンテナは6個のアンテナサブアレイのグループで構成される。ここで得られた受信信号の相関行列は第2軸に平行な1次元アンテナアレイによる受信信号の相関行列とみなされる。

[0061] そして、平均化処理後の相関行列と第2軸方向に1次元配列と見なしたアンテナ座標を用いて第2軸に関する物標の存在する方向を示す角度 ϕ を推定する。得られた第2軸1次元方向推定情報 ϕ から2次元ステアリングベクトルを用いた第1に関する方向推定を行う第2軸の角度範囲を決定する。方向推定を行う第2軸の角度範囲内において、第1軸に関する物標の方向を推定し、物標の第1軸に対する角度と第2軸に対する角度を確定する。

[0062] 実施形態1の変形例では、第1軸に関する到来方向の推定処理と、第2軸に関する到来方向の推定処理を行った後に、第1軸と第2軸とを入れ替えて、入れ替え後の第1軸に関する到来方向の推定処理と、第2軸に関する到来方向の推定処理とを行う。よって、第1軸と第2軸との入れ替え前後の第1軸方向および第2軸方向の角度の推定値の一致を確認することで、計算量を

抑制しつつ角度の推定精度を保証できる。

[0063] [実施形態 2]

図 6 に示した実施形態 1 のアンテナ配置例は、第 1 軸に平行なアンテナアレイと第 2 軸に平行なアンテナアレイがあるが、第 2 軸方向に座標が異なるアンテナが第 2 軸に対して平行でなくてもよい。本実施形態では、実施形態 1 のアンテナ配置例とは異なるアンテナ配置について説明する。

[0064] (実施形態 2 に係るアンテナ配置)

図 9 は、実施形態 2 に係るアンテナ配置例を示す図である。本実施形態においても、受信アンテナアレイは、第 1 軸方向に 6 列、第 2 軸方向に 3 列となるグリッド状に配置された 18 素子の受信アンテナ $R \times 1 \sim R \times 18$ で構成される。 $R \times 1 \sim R \times 6$ の受信アンテナサブアレイを G 1 1、 $R \times 7 \sim R \times 12$ の受信アンテナサブアレイを G 1 2、 $R \times 13 \sim R \times 18$ の受信アンテナサブアレイを G 1 3 とする。

[0065] 受信アンテナサブアレイ G 1 1、G 1 2、G 1 3 において第 1 軸と平行に配置される 6 素子の受信アンテナの間隔を d_1 とし、第 2 軸座標の異なるアンテナサブアレイの第 2 軸座標差 (間隔) を d_2 とする。受信アンテナサブアレイ G 1 1 と受信アンテナサブアレイ G 1 2 の第 1 軸座標の差 (オフセット値) を d_{12} とし、受信アンテナサブアレイ G 1 2 と受信アンテナサブアレイ G 1 3 の第 1 軸座標の差 (オフセット値) を d_{13} とする。受信アンテナサブアレイ G 1 1、G 1 2、G 1 3 は、グリッド状に配置された複数のアンテナを複数の平行線で区画した場合に、第 2 軸方向に複数配置されており、第 2 軸からそれぞれが異なる距離に位置する、同一の素子数を含む直線状のアンテナサブアレイの一例である。

[0066] 本実施形態では、アンテナ配置は実施形態 1 と異なる。一方、2 軸空間平均処理 (ステップ S 1 ~ S 3) と 2 次元方向推定処理 (ステップ S 4 ~ S 6) と走査範囲限定処理 (ステップ S 7) と全アンテナアレイ相関行列計算処理 (ステップ S 8) は実施形態 1 と同様である。

[0067] 本実施形態の第 2 軸 2 次元ステアリングベクトル計算処理 (ステップ S 9

）では、次のようにして本実施形態の2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ を計算する。すなわち、実施形態1の2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ を表す式(3)において、受信アンテナサブアレイG12の成分の指数関数内の第1項の $d_1 \cdot n$ ($n=0, 1, \dots, 5$) に代えて $(d_{12} + d_1 \cdot n)$ ($n=0, 1, \dots, 5$) を代入する。また、式(3)において、受信アンテナサブアレイG13の成分の指数関数内の第1項の $d_1 \cdot n$ ($n=0, 1, \dots, 5$) に代えて $(d_{13} + d_1 \cdot n)$ ($n=0, 1, \dots, 5$) を代入する。よって、本実施形態における2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ は、式(5)のように表される。以降のステップS10、S11は、式(5)の2次元ステアリングベクトル $a_2(\theta, \phi)$ を用いて、実施形態1と同様に実行できる。

[0068] [数5]

$$a_2(\theta, \phi) = \begin{bmatrix} \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 0 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 0 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot d_1 \cdot 5 \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 0 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot (d_{12} + d_1 \cdot 0) \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 1 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot (d_{12} + d_1 \cdot 5) \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 1 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot (d_{13} + d_1 \cdot 0) \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 2 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \\ \vdots \\ \exp\left(\frac{-j2\pi \cdot (d_{13} + d_1 \cdot 5) \cdot \sin \theta}{\lambda} + \frac{-j2\pi \cdot d_2 \cdot 2 \cdot \sin \phi}{\lambda}\right) \end{bmatrix} \cdot \dots \quad (5)$$

[0069] (実施形態2の効果)

本実施形態では、グリッド状に配置された複数のアンテナを複数の平行線で区画して、同一の素子数を含む直線状のアンテナサブアレイが第2軸方向に複数配置されていると見なした場合に、複数のアンテナサブアレイは、第2軸からそれぞれが異なる距離に位置する。よって、受信アンテナを柔軟に配置できる。また、レーダ装置を多様な形態で車両などに搭載できる。

[0070] [その他の実施形態]

(1)

第2軸方向推定部37の2次元角度スペクトル強度 $P_2(\theta, \phi)$ の計算において、第1軸方向推定部35の結果に応じて、第1軸角度 θ の1次元角度スペクトル強度計算の角度範囲の他に、第2軸角度 ϕ の2次元角度スペクトル強度計算の角度の走査範囲および／または走査間隔を変えてもよい。

[0071] 例えば第1軸が水平方向、第2軸が垂直方向であるとする。物標を検知し、第1軸方向推定を行った結果、レーダ装置1が取り付けられた車両等の進行方向に物標があると推定された場合、その物標が衝突する正面にあるのか、衝突しない上部にあるのかの判断が重要である。この場合の第2軸方向推定は重要であるためより正確に求める必要がある。

[0072] 一方で物標を検知し、第1軸方向推定を行った結果、レーダ装置1が取り付けられた車両等の進行方向の外側に物標があると推定された場合、衝突する可能性は低く、第2軸方向の重要性は低い。この場合の第2軸方向推定は進行方向に検知した場合よりも精度を下げてよい。このため、第2軸の2次元角度スペクトル強度計算の角度の走査間隔を大きくしたり、走査範囲を狭めたりしてもよい。

[0073] 例えば、鉄道車両の場合の線区情報または自動車である場合の地図情報と物標検知とをリンクさせ、検出した物標が衝突する正面にあるのか、衝突しない上部などの正面以外にあるのかを判断してもよい。第1軸方向推定を行った結果、例えば物標がカーブやトンネルの上部などの衝突しない進路外の位置に存在すると判断できる場合には、第2軸方向推定の際の2次元角度スペクトル強度計算の角度の走査間隔を大きくしたり、走査範囲を狭めたりする。

[0074] このように、第2のピーク値の算出の際の第2軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、第1軸方向推定部による推定処理の結果に応じて変えることで、計算リソースや計算時間の配分を領域毎に異ならせることができる。よって、計算量の抑制および計算速度の向上と、物標検知精度の向上との両

立を図ることができる。

[0075] (2)

第1軸に平行に並ぶアンテナアレイが等間隔に整列している場合、第1軸方向推定部35の処理前に各アンテナサブアレイ内の受信信号を用いた受信アンテナ間の空間フーリエ変換を行う。そして、第1軸方向推定部35の1次元角度スペクトル強度の計算において、受信アンテナ間の空間フーリエ変換の結果に応じて、1次元角度スペクトル強度 $P_1(\theta)$ のピーク値の算出のための第1軸角度 θ の走査範囲および/または走査間隔を決定してもよい。

[0076] 受信アンテナ間空間フーリエ変換を行うことで、少ない処理の粗い角度間隔でいくつかのスペクトル強度が得られる。このスペクトル強度の値が大きい角度の周辺では、物標の存在確率が高いと考えられるため、第1軸方向推定部35における1次元角度スペクトル強度計算の角度間隔を小さくする。一方で、スペクトル強度の値が小さい角度の周辺では、物標の存在確率が低いと考えられるため、第1軸方向推定部35における1次元角度スペクトル強度計算の角度間隔を大きくするか、または省略する。

[0077] このように、受信信号に対して複数のアンテナ間の空間フーリエ変換を実施し、第1のピーク値の算出の際の第1軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、空間フーリエ変換の結果に応じて異ならせることにより、効率よく物標の方向を求めることができる。

[0078] なお、受信アンテナ間空間フーリエ変換は、フーリエ変換部32で距離・速度を求める2次元フーリエ変換とあわせて3次元フーリエ変換として処理してもよい。

[0079] このように、高精度の物標検知が求められる領域を予め特定し、この特定領域内で細かい角度でスペクトルを算出し高精度の物標検知を行う一方で、特定領域外の検出精度を下げることで、計算負荷を増大させることなく高精度度の物標検知を行うことができる。

[0080] 本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例を含む

。例えば、上記した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、矛盾しない限りにおいて、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成で置き換え、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えるといった実施形態および変形例の組み合わせも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、構成の追加、削除、置換、統合、または分散をすることが可能である。また、実施形態で示した構成および処理は、処理効率または実装効率に基づいて適宜分散、統合、または入れ替えることが可能である。

符号の説明

[0081] 1 : レーダ装置、 10 : 送信部、 11 : 発振器、 12 : 送信アンテナ、 20 : 受信部、 21 : 受信アンテナ、 21A : 受信アンテナアレイ、 22 : ミキサ、 23 : 変換機、 30 : 信号処理部、 31 : 信号制御部、 32 : フーリエ変換部、 33 : 距離・速度算出部、 34 : 第2軸空間平均化処理部、 35 : 第1軸方向推定部、 36 : 走査範囲限定処理部、 37 : 第2軸方向推定部、 40 : メモリ部

請求の範囲

[請求項1]

送信信号が物標で反射した反射波が複数のアンテナを介して受信された受信信号の到来方向を推定するレーダ装置であって、

前記受信信号を信号処理して前記到来方向を推定する信号処理部を有し、

前記複数のアンテナは、第1軸および第2軸を座標軸とする座標系に2次元配置され、

前記信号処理部は、

前記受信信号に基づいて前記アンテナの前記第1軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第1のスペクトル強度において前記第1軸方向に角度を走査して第1のピーク値を算出し、該第1のピーク値に基づいて前記第1軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第1軸方向推定部と、

前記受信信号と前記第1のピーク値とに基づいて前記アンテナの前記第2軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第2のスペクトル強度において前記第2軸方向に角度を走査して第2のピーク値を算出し、該第2のピーク値に基づいて前記第2軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第2軸方向推定部と

を含むことを特徴とするレーダ装置。

[請求項2]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記複数のアンテナは、グリッド状に配置され、

前記複数のアンテナを複数の平行線で区画して、同一の素子数を含む直線状のアンテナサブアレイが前記第2軸方向に複数配置されていると見なした場合に、

前記複数のアンテナサブアレイは、前記第2軸から同一の距離またはそれぞれが異なる距離に位置することを特徴とするレーダ装置。

[請求項3]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記アンテナサブアレイ毎に前記受信信号をグループ化し、前記第2軸方向に異なる前記アンテナを介して受信された前記受信信号の平均化処理を行う平均化処理部を有し、

前記第1軸方向推定部は、

前記平均化処理部によって平均化された前記受信信号に基づいて前記第1軸方向のステアリングベクトルを算出する

ことを特徴とするレーダ装置。

[請求項4]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記複数のアンテナは、前記第1軸方向に並ぶ素子数が前記第2軸方向に並ぶ素子数以上であることを特徴とするレーダ装置。

[請求項5]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記複数のアンテナは、仮想アンテナを含むことを特徴とするレーダ装置。

[請求項6]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記第2軸方向推定部は、

前記第1軸方向の角度の走査範囲を前記第1のピーク値を含む所定範囲に限定し、前記第2軸方向の角度の走査範囲を走査して前記第2のピーク値を算出することを特徴とするレーダ装置。

[請求項7]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記第2軸方向推定部は、

前記第2のピーク値の算出の際の前記第2軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、前記第1軸方向推定部による前記推定処理の結果に応じて決定することを特徴とするレーダ装置。

[請求項8]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記受信信号に対して前記複数のアンテナ間の空間フーリエ変換を実施し、

前記第1のピーク値の算出の際の前記第1軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、前記空間フーリエ変換の結果に応じて決定するこ

とを特徴とするレーダ装置。

[請求項9]

請求項1に記載のレーダ装置であって、

前記第1軸に関する前記到来方向の推定処理と、前記第2軸に関する前記到来方向の推定処理を行った後に、前記第1軸と前記第2軸とを入れ替えて、入れ替え後の前記第1軸に関する前記到来方向の推定処理と、前記第2軸に関する前記到来方向の推定処理とを行うことを特徴とするレーダ装置。

[請求項10]

送信信号が物標で反射した反射波が複数のアンテナを介して受信された受信信号の到来方向を推定するレーダ装置が実行する物標検知方法であって、

前記レーダ装置が、前記受信信号を信号処理して前記到来方向を推定する信号処理ステップを有し、

前記複数のアンテナは、第1軸および第2軸を座標軸とする座標系に2次元配置され、

前記信号処理ステップは、

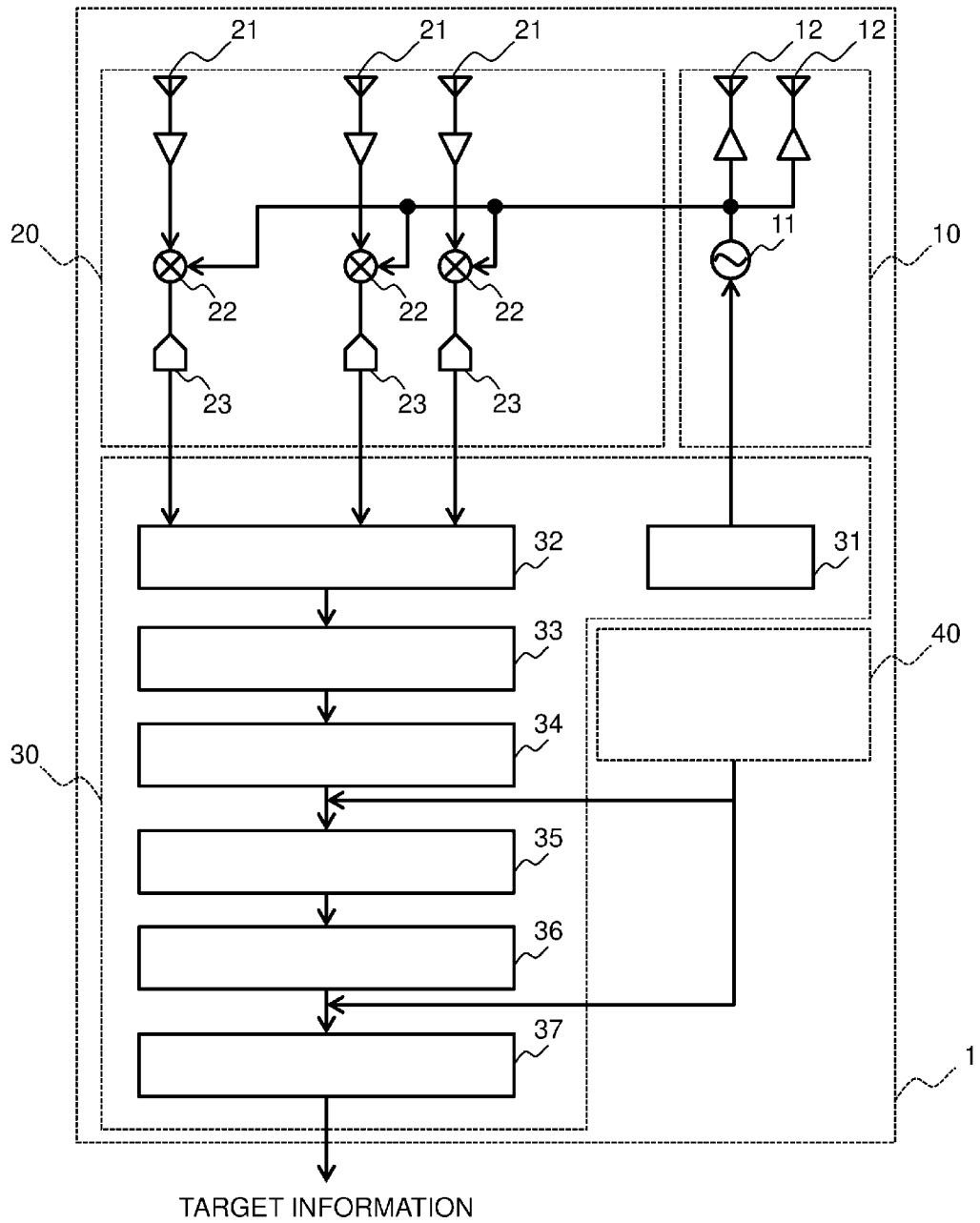
前記レーダ装置が、前記受信信号に基づいて前記アンテナの前記第1軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第1のスペクトル強度において前記第1軸方向に角度を走査して第1のピーク値を算出し、該第1のピーク値に基づいて前記第1軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第1軸方向推定ステップと、

前記レーダ装置が、前記受信信号と前記第1のピーク値とに基づいて前記アンテナの前記第2軸方向のステアリングベクトルを算出し、該ステアリングベクトルに基づく前記受信信号の第2のスペクトル強度において前記第2軸方向に角度を走査して第2のピーク値を算出し、該第2のピーク値に基づいて前記第2軸に関する前記到来方向の推定処理を行う第2軸方向推定ステップと

を含むことを特徴とする物標検知方法。

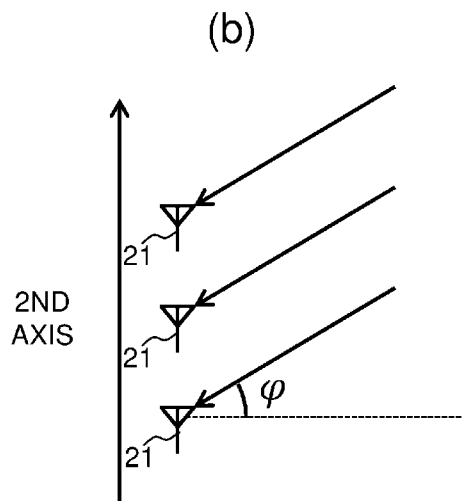
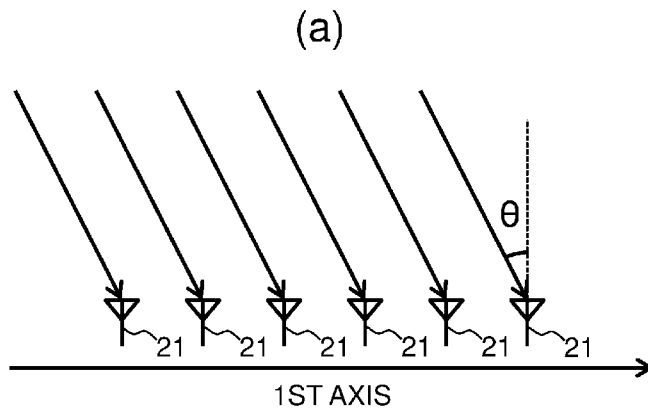
[図1]

FIG. 1



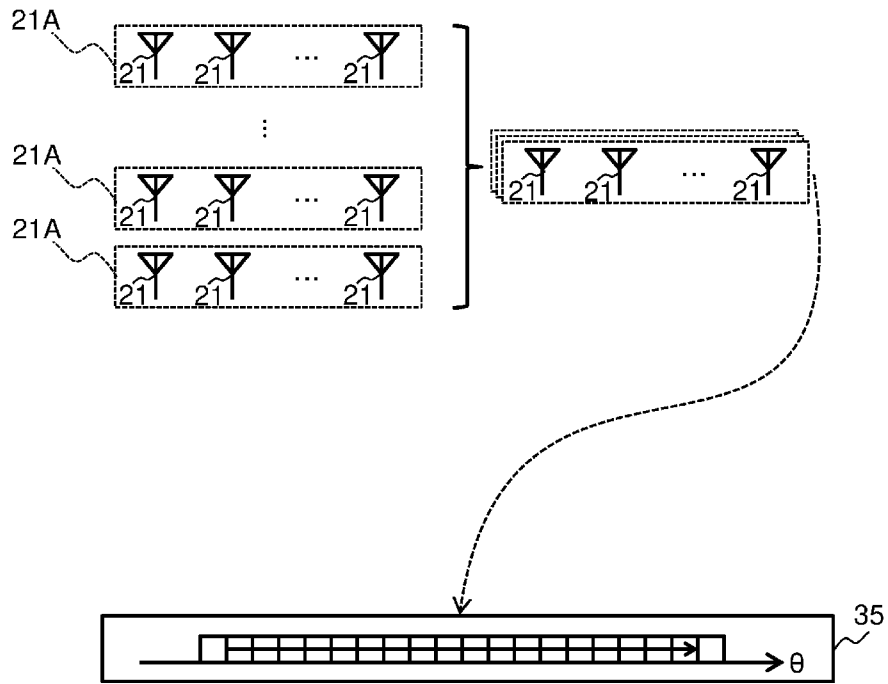
[圖2]

FIG. 2



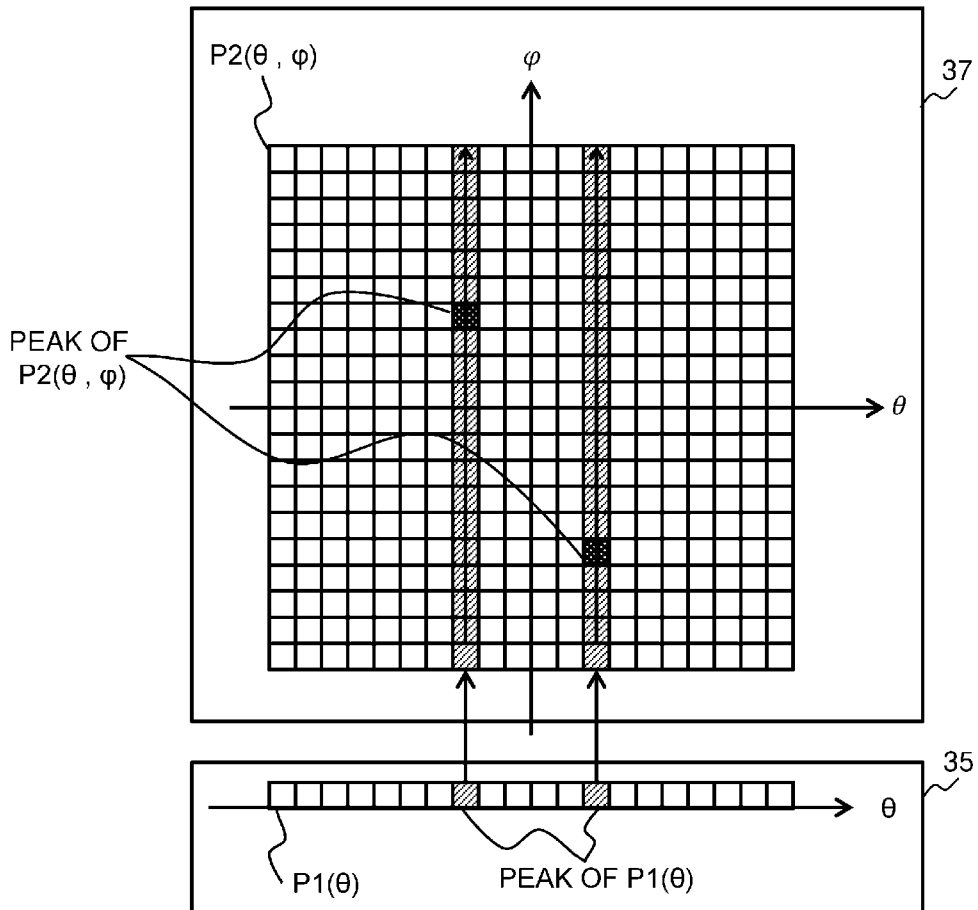
[図3]

FIG. 3



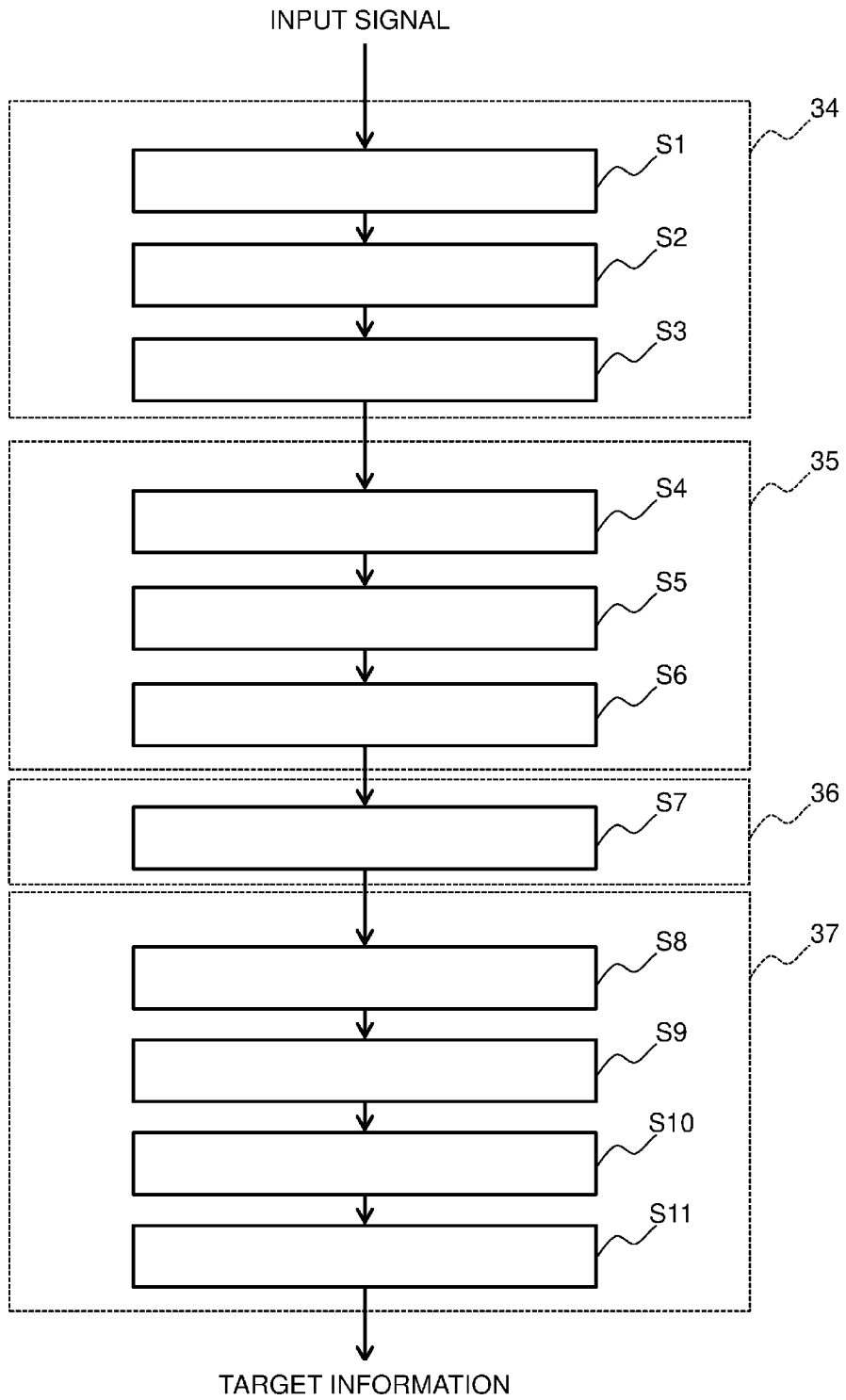
[図4]

FIG. 4



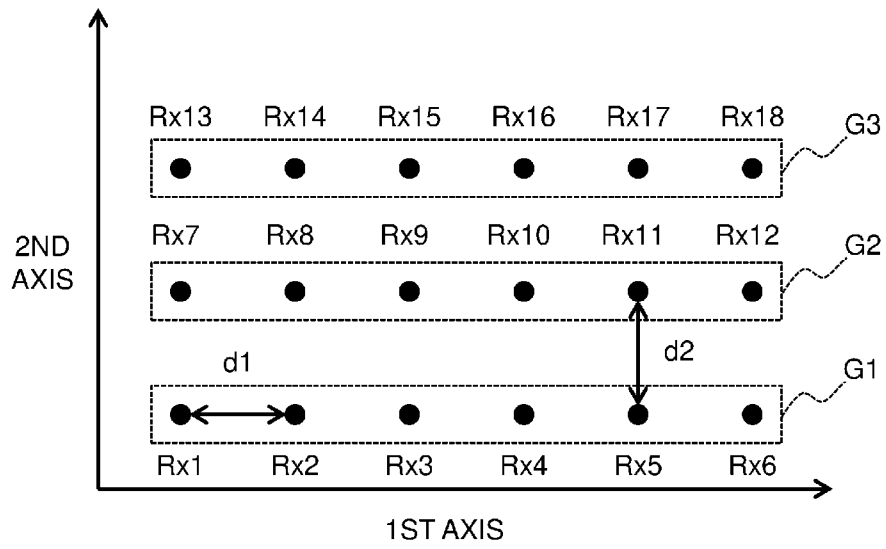
[図5]

FIG. 5



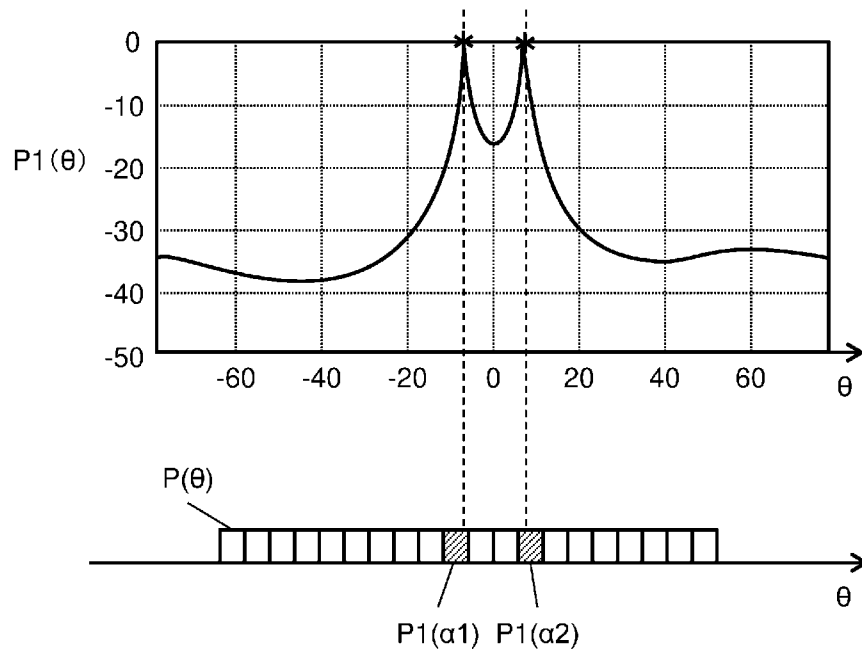
[圖6]

FIG. 6



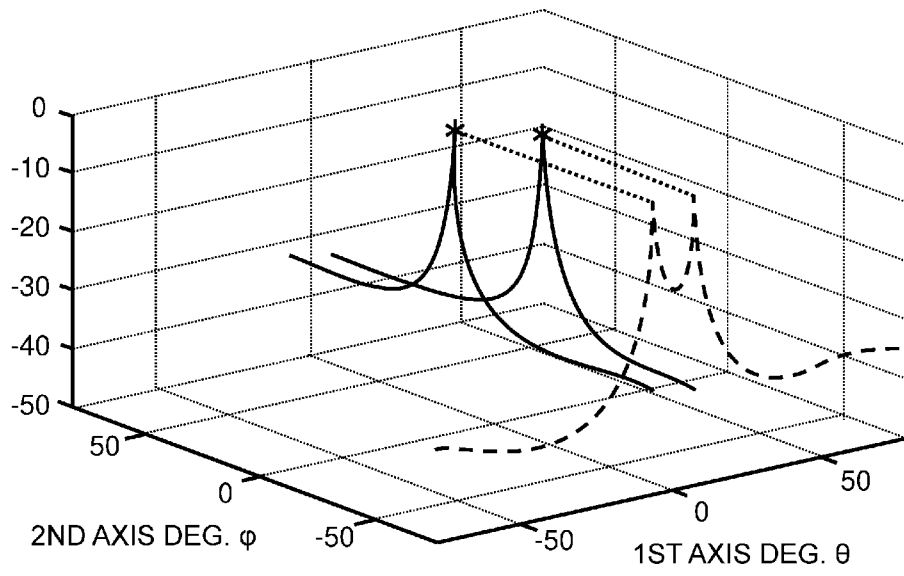
[図7]

FIG. 7



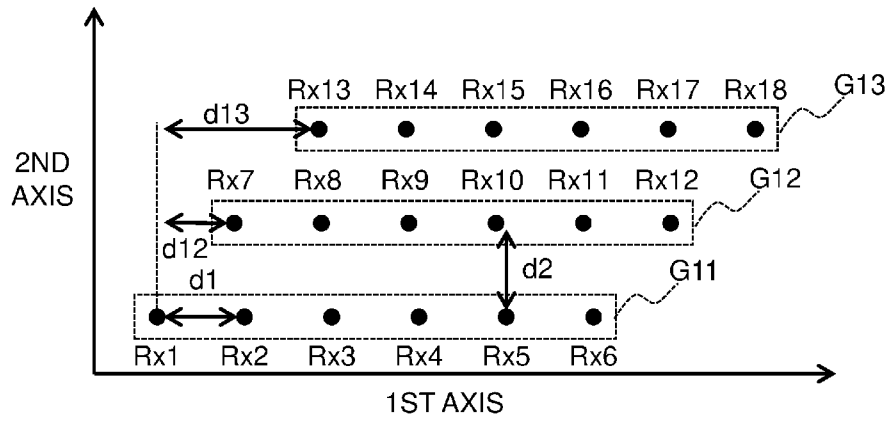
[図8]

FIG. 8



[図9]

FIG. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/020185

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) G01S 3/00 - G01S 3/74; G01S 7/00 - G01S 7/42; G01S 13/00 - G01S 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
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.
X	JP 2005-43194 A (TOSHIBA CORPORATION) 17 February 2005 (2005-02-17) paragraphs [0001], [0009]-[0025], fig. 1-4	1-2, 4, 9-10
Y		5-6, 8
A		3, 7
Y	WO 2018/079097 A1 (SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) 03 May 2018 (2018-05-03) paragraphs [0023]-[0029], fig. 3, 4	5
Y	JP 2017-90229 A (FUJITSU TEN LIMITED) 25 May 2017 (2017-05-25) paragraphs [0054]-[0064], fig. 4	5
Y	US 2020/0326423 A1 (INTEL CORPORATION) 15 October 2020 (2020-10-15) paragraphs [0027]-[0110], fig. 1	5
Y	WO 2021/024473 A1 (OMRON CORPORATION) 11 February 2021 (2021-02-11) paragraphs [0021]-[0027], fig. 3, 4	6, 8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 01 June 2022		Date of mailing of the international search report 14 June 2022
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/JP2022/020185

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2020-3334 A (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LIMITED) 09 January 2020 (2020-01-09) paragraphs [0081]-[0089], fig. 6-9	6, 8
Y	JP 2009-162688 A (HONDA ELESYS COMPANY, LIMITED) 23 July 2009 (2009-07-23) paragraphs [0059], [0060], fig. 16, 17	6, 8
A	WO 2013/080570 A1 (PANASONIC CORPORATION) 06 June 2013 (2013-06-06) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2002-55152 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND. COMPANY, LIMITED) 20 February 2002 (2002-02-20) entire text, all drawings	1-10
A	CN 102253363 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 23 November 2011 (2011-11-23) entire text, all drawings	1-10

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(Invention 1) Claims 1-6 and 8-10

Document 1 (JP 2005-43194 A) (paragraphs [0001] and [0009]-[0025], and fig. 1-4) describes an angle measurement device (paragraph [0001]) for using a multiple signal classification (MUSIC) algorithm to determine the direction of arrival of a radio wave, wherein

- a reception processing unit 2 subjects element signals from antenna elements 11 to 1n (linearly disposed at equal intervals d with respect to a reference direction and forming an array) to processing including analog/digital conversion, and inputs the processed element signals to an arrival azimuth computation unit 100 (paragraphs ([0009] and [0013]), and

- the arrival azimuth computation unit 100

-- uses a MUSIC spectrum $P_{MU}(\theta, \varphi)$ generated on the basis of the element signals to calculate, for each elevation angle, a MUSIC spectrum having the azimuth angle θ as a variable, and adding all of the MUSIC spectra at the elevation angles to generate a $P_{MUSUM}(\theta)$ that is the sum of the MUSIC spectra (paragraphs ([0013]-[0016]),

-- determines an azimuth angle θ_{Peak} at which the $P_{MUSUM}(\theta)$ is a maximum value (as the arrival azimuth angle of the incoming wave) (paragraphs [0017] and [0019]), and

-- uses the MUSIC spectrum $P_{MU}(\theta, \varphi)$ to generate a MUSIC spectrum $P_{MU}(\theta_{Peak}, \varphi)$ at the azimuth angle θ_{Peak} , and determines an elevation angle φ_{Peak} at which the generated spectrum is a maximum value (as the arrival elevation angle of the incoming wave) (paragraphs [0018] and [0019]), and

-- can (exchange the elevation angle and the azimuth angle) calculate, for each of multiple azimuth angles, a MUSIC spectrum having the elevation angle as a variable, determine an elevation angle at which the sum of the MUSIC spectra at the azimuth angles is maximum, and determine an azimuth angle at which the MUSIC spectrum at the determined elevation angle is maximum (paragraph [0024]).

Claims 1-2 and 9-10 do not involve an inventive step in light of document 1 (a mere design change made to one prior art), and thus do not have a special technical feature.

However, claim 3 that depends from claim 1 has the special technical feature of "grouping received signals for each antenna subarray, performing a process for averaging the received signals received via different antennas in the second axial direction, and calculating a steering vector in the first axial direction on the basis of the averaged received signals". Accordingly claims 1-3 and 9-10 and claims 4-6 and 8 (which can be examined without substantially additional prior art search or judgment) are classified as invention 1.

(Invention 2) Claim 7

Claim 7 cannot be said to have the same or corresponding technical features between this claim and claim 3 classified as invention 1.

In addition, although claim 7 depends from claim 1 classified as invention 1, the added technical feature relative to claim 1 of "determining, in accordance with the result of the estimation process by the first axial direction estimation unit, a scanning range or scanning intervals at an angle in the second axial direction in calculating the second peak value" has a low technical relevance to the technical feature of claim 3 of "grouping received signals for each antenna subarray, performing a process for averaging the received signals received via different antennas in the second axial direction, and calculating a steering vector in the first axial direction on the basis of the averaged received signals". Thus it cannot be considered that claim 7 has a link of invention to claim 3.

Furthermore, claim 7 is not substantially identical to or similarly closely related to any of the claims classified as invention 1.

Accordingly claim 7 cannot be identified as invention 1.

Meanwhile, claim 7 has the special technical feature of "determining, in accordance with the result of the estimation process by the first axial direction estimation unit, a scanning range or scanning intervals at an angle in the second axial direction in calculating the second peak value"; thus this claim is classified as invention 2.

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
 - The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
 - No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/020185

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2005-43194 A	17 February 2005	(Family: none)	
WO 2018/079097 A1	03 May 2018	US 2019/0235066 A1 paragraphs [0051]-[0054], fig. 3, 4 CN 109923433 A	
JP 2017-90229 A	25 May 2017	(Family: none)	
US 2020/0326423 A1	15 October 2020	EP 3929614 A1	
WO 2021/024473 A1	11 February 2021	(Family: none)	
JP 2020-3334 A	09 January 2020	EP 3816654 A1 paragraphs [0078]-[0088], fig. 6-9 CN 112119323 A WO 2020/003743 A1	
JP 2009-162688 A	23 July 2009	US 2010/0271254 A1 paragraphs [0305]-[0323], fig. 24, 25 WO 2009/081981 A1	
WO 2013/080570 A1	06 June 2013	US 2014/0327567 A1	
JP 2002-55152 A	20 February 2002	US 6333713 B1 EP 1079461 A2	
CN 102253363 A	23 November 2011	(Family: none)	

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）） G01S 3/00 - G01S 3/74; G01S 7/00 - G01S 7/42; G01S 13/00 - G01S 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 - 2022年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2022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
X Y A	JP 2005-43194 A (株式会社東芝) 17.02.2005 (2005 - 02 - 17) [0001],[0009]-[0025], 図1-4	1-2, 4, 9-10 5-6, 8 3, 7
Y	WO 2018/079097 A1 (ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社) 03.05.2018 (2018 - 05 - 03) [0023]-[0029], 図3-4	5
Y	JP 2017-90229 A (富士通テン株式会社) 25.05.2017 (2017 - 05 - 25) [0054]-[0064], 図4	5
Y	US 2020/0326423 A1 (INTEL CORPORATION) 15.10.2020 (2020 - 10 - 15) [0027]-[0110], Fig.1	5
Y	WO 2021/024473 A1 (オムロン株式会社) 11.02.2021 (2021 - 02 - 11) [0021]-[0027], 図3-4	6, 8
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 01.06.2022	国際調査報告の発送日 14.06.2022	
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） 渡辺 慶人 2M 1166 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
Y	JP 2020-3334 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 09.01.2020 (2020 - 01 - 09) [0081]-[0089], 図6-9	6, 8
Y	JP 2009-162688 A (株式会社ホンダエレシス) 23.07.2009 (2009 - 07 - 23) [0059]-[0060], 図16-17	6, 8
A	WO 2013/080570 A1 (パナソニック株式会社) 06.06.2013 (2013 - 06 - 06) 全文, 全図	1-10
A	JP 2002-55152 A (松下電器産業株式会社) 20.02.2002 (2002 - 02 - 20) 全文, 全図	1-10
A	CN 102253363 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 23.11.2011 (2011 - 11 - 23) 全文, 全図	1-10

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

（発明1）請求項1-6,8-10

文献1（JP 2005-43194 A）には、MUSIC（Multiple Signal Classification）アルゴリズムを用いて電波の到来方向を特定する測角装置（[0001]）において、

- 受信処理部2は、（基準となる方向に対して等間隔dで直線状に配置され、アレイを形成する）各アンテナ素子11～1nからの素子信号をアナログ/デジタル変換などの処理を施し、到来方位演算部100に入力し（[0009],[0013]）、

- 到来方位演算部100は、

-- 素子信号に基づいて生成されたMUSICスペクトラム $P_{MU}(\theta, \phi)$ を用いて、方位角 θ を変数とするMUSICスペクトラムを各仰角ごとに計算し、各仰角におけるMUSICスペクトラムをすべて加算することにより、MUSICスペクトラムの和である $P_{MUSUM}(\theta)$ を生成し（[0013]-[0016]）、

-- $P_{MUSUM}(\theta)$ が極大値をとる方位角 θ_{Peak} を（到来波の到来方位角として）特定し（[0017],[0019]）、

-- MUSICスペクトラム $P_{MU}(\theta, \phi)$ を用いて、方位角 θ_{Peak} におけるMUSICスペクトラム $P_{MU}(\theta_{Peak}, \phi)$ を生成し、その極大値をとる仰角 ϕ_{Peak} を（到来波の到来仰角として）特定し（[0018]-[0019]）、

-- 複数の方位角ごとに、仰角を変数とするMUSICスペクトラムを算出し、方位角ごとのMUSICスペクトラムの和を極大とする仰角を特定し、その仰角におけるMUSICスペクトラムを極大とする方位角を特定する（仰角と方位角とを入れ換える）こともできる（[0024]）、

測角装置（[0001],[0009]-[0025]、図1-4）が記載されており、請求項1-2,9-10は、文献1により進歩性（一の先行技術に対する単なる設計変更）が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。

しかしながら、請求項1の従属請求項である請求項3は、「アンテナサブアレイ毎に受信信号をグループ化し、第2軸方向に異なるアンテナを介して受信された受信信号の平均化処理を行い、当該平均化された受信信号に基づいて第1軸方向のステアリングベクトルを算出する」という特別な技術的特徴を有している。したがって、請求項1-3,9-10、及び（実質的に追加的な先行技術調査及び判断を必要とすることなく審査をすることが可能である）請求項4-6,8-を発明1に区分する。

（発明2）請求項7

請求項7は、発明1に区分された請求項3と、同一の又は対応する技術的特徴を有しているとはいえない。

また、請求項7は、発明1に区分された請求項1の従属請求項であるが、請求項1に対して追加された技術的特徴である「第2のピーク値の算出の際の第2軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、第1軸方向推定部による前記推定処理の結果に応じて決定する」事項は、請求項3の技術的特徴である「アンテナサブアレイ毎に受信信号をグループ化し、第2軸方向に異なるアンテナを介して受信された受信信号の平均化処理を行い、当該平均化された受信信号に基づいて第1軸方向のステアリングベクトルを算出する」事項と、技術的関連性が低い。このため、請求項7が請求項3に対して発明の連関性を有しているとは認められない。

さらに、請求項7は、発明1に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係はない。

したがって、請求項7は発明1に区分できない。

そして、請求項7は、「第2のピーク値の算出の際の第2軸方向の角度の走査範囲または走査間隔を、第1軸方向推定部による前記推定処理の結果に応じて決定する」という特別な技術的特徴を有しているため、発明2に区分する。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の
申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

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/JP2022/020185

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2005-43194 A	17.02.2005	(ファミリーなし)	
WO 2018/079097 A1	03.05.2018	US 2019/0235066 A1 [0051]-[0054], FIGS. 3-4 CN 109923433 A	
JP 2017-90229 A	25.05.2017	(ファミリーなし)	
US 2020/0326423 A1	15.10.2020	EP 3929614 A1	
WO 2021/024473 A1	11.02.2021	(ファミリーなし)	
JP 2020-3334 A	09.01.2020	EP 3816654 A1 [0078]-[0088], FIGS. 6-9 CN 112119323 A WO 2020/003743 A1	
JP 2009-162688 A	23.07.2009	US 2010/0271254 A1 [0305]-[0323], FIGS. 24-25 WO 2009/081981 A1	
WO 2013/080570 A1	06.06.2013	US 2014/0327567 A1	
JP 2002-55152 A	20.02.2002	US 6333713 B1 EP 1079461 A2	
CN 102253363 A	23.11.2011	(ファミリーなし)	