

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7573926号
(P7573926)

(45)発行日 令和6年10月28日(2024.10.28)

(24)登録日 令和6年10月18日(2024.10.18)

(51)国際特許分類		F I			
G 0 1 S	7/03 (2006.01)	G 0 1 S	7/03	2 3 0	
H 0 1 Q	21/06 (2006.01)	H 0 1 Q	21/06		
G 0 1 S	7/02 (2006.01)	G 0 1 S	7/02	2 1 8	
G 0 1 S	13/931 (2020.01)	G 0 1 S	13/931		

請求項の数 11 (全54頁)

(21)出願番号	特願2019-53737(P2019-53737)	(73)特許権者	322003857 パナソニックオートモーティブシステムズ株式会社 神奈川県横浜市都筑区池辺町4 2 6 1 番地
(22)出願日	平成31年3月20日(2019.3.20)	(74)代理人	110002952 弁理士法人鷲田国際特許事務所
(65)公開番号	特開2020-153869(P2020-153869 A)	(72)発明者	岩佐 健太 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
(43)公開日	令和2年9月24日(2020.9.24)	(72)発明者	岸上 高明 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
審査請求日	令和4年1月11日(2022.1.11)	(72)発明者	四方 英邦 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
審判番号	不服2023-10182(P2023-10182/J 1)		
審判請求日	令和5年6月20日(2023.6.20)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーダ装置及び送受信アレーアンテナ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーダ信号を送信する第1アレーアンテナ及び第2アレーアンテナの一方が接続されたレーダ送信回路と、

前記レーダ信号がターゲットに反射された反射波信号を受信する前記第1アレーアンテナ及び前記第2アレーアンテナの残りの一方が接続されたレーダ受信回路と、

を具備し、

前記第1アレーアンテナが前記レーダ送信回路に接続される場合、前記第2アレーアンテナが前記レーダ受信回路に接続され、

前記第2アレーアンテナが前記レーダ送信回路に接続される場合、前記第1アレーアンテナが前記レーダ受信回路に接続され、

前記第1アレーアンテナ及び前記第2アレーアンテナは第1軸及び第2軸による2次元平面上に配置され、

前記第2アレーアンテナは、複数の第2アンテナ列を含み、

前記複数の第2アンテナ列のそれぞれは第1の個数の第2アンテナを含み、前記第1の個数の第2アンテナのうち、隣り合う第2アンテナは前記第1軸方向に第1の間隔、前記第2軸方向に第2の間隔離れて配置され、

前記第1アレーアンテナは、複数の第1アンテナ列と少なくとも1つの第3アンテナ列とを含み、

前記複数の第1アンテナ列のそれぞれは、前記第1軸方向に、前記第1の間隔で配置さ

10

20

れた複数の第 1 アンテナにより構成され、

前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列は、前記第 1 軸方向に、前記第 1 の間隔および前記第 1 の間隔より広い第 3 の間隔で配置された複数の第 3 アンテナにより構成され、

前記第 1 アンテナ列と前記第 3 アンテナ列とは、前記第 2 軸方向に、前記第 2 の間隔の前記第 1 の個数倍の間隔で、交互に配置され、

前記複数の第 1 アンテナ列のそれぞれを構成する前記第 1 の間隔の全ての合計は、前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列を構成する前記第 1 の間隔および前記第 3 の間隔の全ての合計よりも小さく、

前記複数の第 1 アンテナは、前記第 1 軸方向にて、前記複数の第 3 アンテナとは、異なる位置に配置される、

レーダ装置。

【請求項 2】

前記第 3 の間隔は、前記第 1 の間隔に、前記第 1 の個数に 1 を加えた個数倍を乗算した間隔であり、

前記複数の第 3 アンテナは、前記第 3 の間隔により分割される 2 つの領域の少なくとも 1 つの領域において前記第 1 の間隔で配置される、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 3】

前記 2 つの領域の一方に配置される第 1 アンテナ数と、前記 2 つの領域の他方に配置される第 1 アンテナ数とは同じであるか、あるいは、差分が 1 である、

請求項 2 に記載のレーダ装置。

【請求項 4】

前記第 2 軸方向に配置された前記複数の第 1 アンテナ列および前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列は 1 つの第 1 アンテナ群を構成し、前記第 1 アレーアンテナは、前記第 1 軸方向に配置された複数の前記第 1 アンテナ群を有する、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 5】

前記第 1 軸方向に配置された前記複数の第 2 アンテナ列は 1 つの第 2 アンテナ群を構成し、

前記第 2 アレーアンテナは、複数の前記第 2 アンテナ群を有する、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 6】

前記第 1 アレーアンテナは、送信アレーアンテナであり、

前記複数の第 1 アンテナ列および前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列のそれぞれは、送信アンテナ列であり、

前記複数の第 1 アンテナおよび前記複数の第 3 アンテナのそれぞれは、送信アンテナであり、

前記レーダ送信回路は、前記送信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号を送信し、

前記第 2 アレーアンテナは、受信アレーアンテナであり、

前記複数の第 2 アンテナ列のそれぞれは、受信アンテナ列であり、

前記複数の第 2 アンテナのそれぞれは、受信アンテナであり、

前記レーダ受信回路は、前記受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにて反射された反射波信号を受信する、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 7】

前記レーダ送信回路は、前記送信アレーアンテナを用いてビームフォーミングを行う、

請求項 6 に記載のレーダ装置。

【請求項 8】

前記第 1 の間隔及び前記第 2 の間隔は、0.5 波長以上、かつ、1 波長以下の値である、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記第 1 アンテナ、前記第 3 アンテナ及び前記第 2 アンテナの少なくとも 1 つは、複数のサブアレー素子を含む、

請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 10】

第 1 アレーアンテナと、

第 2 アレーアンテナと、

前記第 1 アレーアンテナが、レーダ信号を送信する送信アレーアンテナである場合、前記第 2 アレーアンテナは、前記レーダ信号がターゲットに反射された反射波信号を受信する受信アレーアンテナであり、

10

前記第 2 アレーアンテナが、前記レーダ信号を送信する送信アレーアンテナである場合、前記第 1 アレーアンテナは、前記レーダ信号がターゲットに反射された反射波信号を受信する受信アレーアンテナであり、

前記第 1 アレーアンテナ及び前記第 2 アレーアンテナは第 1 軸及び第 2 軸による 2 次元平面上に配置され、

前記第 2 アレーアンテナは、複数の第 2 アンテナ列を含み、

前記複数の第 2 アンテナ列のそれぞれは第 1 の個数の第 2 アンテナを含み、前記第 1 の個数の第 2 アンテナのうち、隣り合う第 2 アンテナは前記第 1 軸方向に第 1 の間隔、前記第 2 軸方向に第 2 の間隔離れて配置され、

前記第 1 アレーアンテナは、複数の第 1 アンテナ列と少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列とを含み、

20

前記複数の第 1 アンテナ列のそれぞれは、前記第 1 軸方向に、前記第 1 の間隔で配置された複数の第 1 アンテナにより構成され、

前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列は、前記第 1 軸方向に、前記第 1 の間隔および前記第 1 の間隔より広い第 3 の間隔で配置された複数の第 3 アンテナにより構成され、

前記複数の第 1 アンテナ列と前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列とは、前記第 2 軸方向に、前記第 2 の間隔の前記第 1 の個数倍の間隔で、交互に配置され、

前記複数の第 1 アンテナ列のそれぞれを構成する前記第 1 の間隔の全ての合計は、前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列を構成する前記第 1 の間隔および前記第 3 の間隔の全ての合計よりも小さく、

30

前記複数の第 1 アンテナは、前記第 1 軸方向にて、前記複数の第 3 アンテナとは、異なる位置に配置される、

送受信アレーアンテナ。

【請求項 11】

前記第 1 アレーアンテナは、送信アレーアンテナであり、

前記複数の第 1 アンテナ列および前記少なくとも 1 つの第 3 アンテナ列のそれぞれは、送信アンテナ列であり、

前記複数の第 1 アンテナおよび前記複数の第 3 アンテナのそれぞれは、送信アンテナであり、

前記第 2 アレーアンテナは、受信アレーアンテナであり、

40

前記複数の第 2 アンテナ列のそれぞれは、受信アンテナ列であり、

前記複数の第 2 アンテナのそれぞれは、受信アンテナである、

請求項 10 に記載の送受信アレーアンテナ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、レーダ装置及び送受信アレーアンテナに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、高分解能が得られるマイクロ波又はミリ波を含む波長の短いレーダ送信信号を用

50

いたレーダ装置の検討が進められている。また、屋外での安全性を向上させるために、車両以外にも、歩行者を含む物体（ターゲット）をより広角な範囲で検知するレーダ装置（以下、「広角レーダ装置」と呼ぶ）の開発が求められている。

【0003】

また、レーダ装置として、受信ブランチに加え、送信ブランチにも複数のアンテナ素子（アレーアンテナ）を備え、送受信アレーアンテナを用いた信号処理によりビーム走査を行う構成（MIMO（Multiple Input Multiple Output）レーダと呼ぶこともある）が提案されている（例えば、非特許文献1を参照）。

【0004】

MIMOレーダでは、送受信アレーアンテナにおけるアンテナ素子の配置を工夫することにより、最大で送信アンテナ素子数と受信アンテナ素子数との積に等しい仮想的な受信アレーアンテナ（以下、仮想受信アレーと呼ぶ）を構成できる。これにより、少ない素子数によってアレーアンテナの実効的な開口長を拡大し、角度分解能を向上できる。

【0005】

また、垂直方向又は水平方向の一次元走査以外にも、垂直方向及び水平方向の2次元におけるビーム走査を行う場合にもMIMOレーダが適用可能である（例えば、特許文献1及び非特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特表2017-534881号公報

【非特許文献】

【0007】

【文献】P. P. Vaidyanathan, P. Pal, Chun-Yang Chen, "MIMO radar with broadband waveforms: Smearing filter banks and 2D virtual arrays," IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp.188 - 192, 2008.

【文献】Direction-of-arrival estimation using signal subspace modeling, Cadzow, J.A., Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume: 28, Issue: 1 Publication Year: 1992, Page(s): 64-79

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

送受信ブランチのアンテナ配置によっては、レーダ装置の検出性能が劣化してしまう場合がある。

【0009】

本開示の非限定的な実施例は、検出性能を向上できるレーダ装置の提供に資する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本開示の一実施例に係るレーダ装置は、第1アレーアンテナが接続された第1レーダ回路と、第2アレーアンテナが接続された第2レーダ回路と、を具備し、前記第1アレーアンテナ及び前記第2アレーアンテナは第1軸及び第2軸による2次元平面上に配置され、前記第2アレーアンテナは、複数の第2アンテナ列を含み、前記複数の第2アンテナ列のそれぞれは複数の第2アンテナを含み、前記複数の第2アンテナのうち、隣り合う第2アンテナは前記第1軸方向に第1の間隔、前記第2軸方向に第2の間隔離れて配置され、前記第1アレーアンテナは、複数の第1アンテナ列を含み、前記複数の第1アンテナ列のそれぞれは複数の第1アンテナを含み、前記複数の第1アンテナのそれぞれは、前記第2軸方向について同じ位置、及び、前記第1軸方向について異なる位置に配置され、前記複数の第1アンテナ列のうち、前記第2軸方向にて連続して配置される2つの第1アンテナ列は、前記第1軸方向にて異なる位置に配置される第1アンテナを少なくとも1つ含む。

【0011】

10

20

30

40

50

なお、これらの包括的または具体的な実施例は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム、または、記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよ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】

【0012】

本開示の一実施例によれば、レーダ装置の検出性能を向上できる。

【0013】

本開示の一実施例における更なる利点および効果は、明細書および図面から明らかにされる。かかる利点および/または効果は、いくつかの実施形態並びに明細書および図面に記載された特徴によってそれぞれ提供されるが、1つまたはそれ以上の同一の特徴を得るために必ずしも全てが提供される必要はない。

10

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】実施の形態1に係るレーダ装置の構成例を示すブロック図

【図1B】実施の形態1に係るレーダ装置の構成例を示すブロック図

【図2】実施の形態1に係るレーダ送信信号の一例を示す図

【図3】実施の形態1に係る送信アンテナの切替制御の一例を示す図

【図4】実施の形態1に係るレーダ送信信号生成部の他の構成例を示すブロック図

【図5】実施の形態1に係るレーダ送信信号の送信タイミング、及び、測定範囲の一例を示す図

20

【図6】実施の形態1に係る方向推定部の動作説明に用いる3次元座標系を示す図

【図7A】実施の形態1に係る送信アンテナの配置例を示す図

【図7B】実施の形態1に係る受信アンテナの配置例を示す図

【図8】実施の形態1に係るサブアレーアンテナ構成の一例を示す図

【図9A】実施の形態1のバリエーション1に係る送信アンテナの配置例を示す図

【図9B】実施の形態1のバリエーション1に係る受信アンテナの配置例を示す図

【図10A】実施の形態1のバリエーション1に係るアンテナ配置例を示す図

【図10B】実施の形態1のバリエーション1に係るアンテナ配置例を示す図

【図10C】実施の形態1のバリエーション1に係るアンテナ配置例を示す図

【図10D】実施の形態1のバリエーション1に係るアンテナ配置例を示す図

30

【図11A】実施の形態1のバリエーション1に係るサブアレーアンテナの配置例を示す図

【図11B】実施の形態1のバリエーション1に係るサブアレーアンテナ及び無給電素子の配置例を示す図

【図12A】実施の形態1のバリエーション1に係る2次元ビームによる指向性パターン

の一例を示す図

【図12B】実施の形態1のバリエーション1に係る2次元ビームによる指向性パターンを1次元に縮退した一例を示す図

【図13A】実施の形態1のバリエーション1に係る仮想受信アレーにウェイトをかけた場合の電力分布の一例を示す図

40

【図13B】実施の形態1のバリエーション1に係る仮想受信アレーにウェイトをかけた場合の2次元ビームによる指向性パターンの一例を示す図

【図13C】実施の形態1のバリエーション1に係る仮想受信アレーにウェイトをかけた場合の2次元ビームによる指向性パターンを1次元に縮退した一例を示す図

【図14】実施の形態1の比較例に係るアンテナ配置の一例を示す図

【図15A】実施の形態1の比較例に係る2次元ビームによる指向性パターンの一例を示す図

【図15B】実施の形態1の比較例に係る2次元ビームによる指向性パターンを1次元に縮退した一例を示す図

【図16A】実施の形態1のバリエーション1と比較例に係る2次元ビームによる指向性

50

パターンの比較を示す図

【図 1 6 B】実施の形態 1 のバリエーション 1 と比較例に係る 2 次元ビームによる指向性

パターンの比較を示す図

【図 1 7】実施の形態 1 のバリエーション 2 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 8 A】実施の形態 1 のバリエーション 2 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 8 B】実施の形態 1 のバリエーション 2 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 8 C】実施の形態 1 のバリエーション 2 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 9 A】実施の形態 1 のバリエーション 3 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 9 B】実施の形態 1 のバリエーション 3 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 1 9 C】実施の形態 1 のバリエーション 3 に係るアンテナ配置例を示す図

10

【図 1 9 D】実施の形態 1 のバリエーション 3 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 0 A】実施の形態 1 のバリエーション 4 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 0 B】実施の形態 1 のバリエーション 4 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 1】実施の形態 1 のバリエーション 5 に係る送信アンテナ配置例を示す図

【図 2 2 A】実施の形態 1 のバリエーション 5 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 2 B】実施の形態 1 のバリエーション 5 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 2 C】実施の形態 1 のバリエーション 5 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 2 D】実施の形態 1 のバリエーション 5 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 3 A】実施の形態 1 のバリエーション 6 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 3 B】実施の形態 1 のバリエーション 6 に係るアンテナ配置例を示す図

20

【図 2 3 C】実施の形態 1 のバリエーション 6 に係るアンテナ配置例を示す図

【図 2 4 A】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る送信アンテナの配置例を示す図

【図 2 4 B】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る受信アンテナの配置例を示す図

【図 2 4 C】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る仮想受信アレーの配置例を示す図

【図 2 5 A】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る送信アンテナの配置例を示す図

【図 2 5 B】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る受信アンテナの配置例を示す図

【図 2 5 C】実施の形態 1 のバリエーション 7 に係る仮想受信アレーの配置例を示す図

【図 2 6 A】実施の形態 2 に係る送信アンテナ及び仮想受信アレーの配置例を示す図

【図 2 6 B】実施の形態 2 に係る送信アンテナ及び仮想受信アレーの配置例を示す図

【図 2 7】実施の形態 3 に係るレーダ装置の構成例を示すブロック図

30

【図 2 8】実施の形態 4 に係るレーダ装置の構成例を示すブロック図

【図 2 9】チャープパルスを用いた場合の送信信号及び反射波信号の一例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0015】

例えば、レーダ装置として、パルス波を繰り返し発信するパルスレーダ装置が知られている。より広角な範囲において車両/歩行者を検知する広角パルスレーダ装置の受信信号は、近距離に存在するターゲット（例えば車両）と、遠距離に存在するターゲット（例えば歩行者）とからの複数の反射波が混合された信号になりやすい。このため、（1）レーダ送信部では、低いレンジサイドローブとなる自己相関特性（以下、低レンジサイドローブ特性と呼ぶ）を有するパルス波又はパルス変調波を送信する構成が要求され、（2）レーダ受信部では、広い受信ダイナミックレンジを有する構成が要求される。

40

【0016】

広角レーダ装置の構成として、以下の 2 つの構成が挙げられる。

【0017】

一つ目は、パルス波又は変調波を狭角（例えば、数度程度のビーム幅）の指向性ビームを用いて、機械的又は電子的に走査してレーダ波を送信し、狭角の指向性ビームを用いて反射波を受信する構成である。この構成では、高分解能を得るためには多くの走査を行うことになるので、例えば、より高速移動するターゲットに対する追従性が劣化しやすくなる。

【0018】

50

二つ目は、複数のアンテナ（アンテナ素子）で構成されるアレーアンテナによって反射波を受信し、素子間隔（アンテナ間隔）に対する受信位相差に基づく信号処理アルゴリズムによって反射波の到来角を推定する手法（Direction of Arrival (DOA) estimation）を用いる構成である。この構成では、送信ブランチでの送信ビームの走査間隔を間引いたとしても、受信ブランチにおいて到来角を推定できるので、走査時間の短縮化が図れ、1つ目の構成と比較して追従性が向上する。例えば、到来方向推定方法には、行列演算に基づくフーリエ変換、逆行列演算に基づくCapon法及びLP（Linear Prediction）法、又は、固有値演算に基づくMUSIC（Multiple Signal Classification）及びESPRIT（Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques）が挙げられる。

【0019】

10

また、MIMOレーダは、時分割、周波数分割又は符号分割を用いて多重した信号を複数の送信アンテナから送信し、周辺物体で反射された信号を複数の受信アンテナで受信し、受信信号の各々から、多重された送信信号を分離して受信する。

【0020】

また、MIMOレーダにおけるアンテナ素子の構成は、1つのアンテナ素子を用いる構成（以下、単体アンテナと呼ぶ）と、複数のアンテナ素子（又はサブアレー素子と呼ぶ）を用いてサブアレー化した構成（以下、サブアレーと呼ぶ）とに大別される。

【0021】

単体アンテナを用いる場合は、サブアレーを用いる場合と比較して、広い指向性を有する特性になる一方、アンテナ利得が相対的に低くなる。そのため、レーダ反射波に対する受信SNR（Signal to Noise Ratio）を向上するには、受信信号処理において、より多くの加算処理を行うか、又は、より多くのアンテナ素子を用いてレーダ反射波を受信する。

20

【0022】

一方、サブアレーを用いる場合は、単体アンテナを用いる場合と比較して、アンテナの物理的なサイズが大きくなり、メインビーム方向のアンテナ利得を向上できる。例えば、サブアレーの物理的なサイズは、送信信号の無線周波数（キャリア周波数）における波長程度以上となる。

【0023】

上述したように、MIMOレーダは、垂直方向又は水平方向の一次元走査（測角）以外にも、垂直方向及び水平方向の2次元におけるビーム走査を行う場合にも適用可能である。

30

【0024】

例えば、車両に搭載される長距離用の2次元ビームを走査可能なMIMOレーダでは、水平方向に1次元にビーム走査を行うMIMOレーダと同等の水平方向の高い分解能に加え、垂直方向の角度推定能力が要望される。

【0025】

しかしながら、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の各々において、アンテナ素子を水平方向及び垂直方向に半波長程度で等間隔に配置する場合、アンテナ素子が隣接しているため、物理的制約からアンテナ素子をサブアレー化してアンテナ利得を高利得化することが困難である。換言すると、送信アンテナ素子又は受信アンテナ素子にサブアレーを用いる場合、サブアレーのサイズ（例えば、1波長以上）よりも狭い間隔にはアンテナ素子の配置が困難である。

40

【0026】

一方、アンテナを不等間隔に配置し、アンテナ素子間隔を1波長以上に拡げることにより、アンテナ素子をサブアレー化することも可能である（例えば、特許文献1を参照）。しかしながら、仮想受信アレーのアンテナ素子間隔が1波長以上になることによって、角度方向のグレーティングローブ又はサイドローブ成分が発生しやすくなる。このため、レーダ装置は、検知角度範囲内においてグレーティングローブに起因する偽のピークを誤ってターゲット（物標）として検出（誤検出）する確率が増加し、レーダ装置の検出性能が劣化してしまう。

【0027】

50

本開示に係る一実施例は、仮想受信アレーの開口長を拡大し、不要なグレーティングローブの発生を抑えることにより、誤検出の確率を低減し、所望の指向性パターンを実現可能とする。また、本開示に係る他の実施例は、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の少なくとも1つを、サブアレーを用いて構成し、アンテナ素子の指向性利得を向上可能とする。

【0028】

以下、本開示の一実施例に係る実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、実施の形態において、同一の構成要素には同一の符号を付し、その説明は重複するので省略する。

【0029】

以下、複数の送信アンテナ（例えば、送信サブアレー）及び複数の受信アンテナ（例えば、受信サブアレー）の配置の説明の前に、レーダ装置の構成例について説明する。

【0030】

例えば、レーダ装置の送信ブランチにおいて、複数の送信アンテナを時分割で切り替えて、時分割多重された異なるレーダ送信信号を送出し、受信ブランチにおいて、各送信信号を分離して受信処理を行うMIMOレーダの構成について説明する。なお、レーダ装置の構成は、これに限定されず、送信ブランチにおいて、複数の送信アンテナから周波数分割多重された異なる送信信号を送出し、受信ブランチにおいて、各送信信号を分離して受信処理を行う構成でもよい。また、同様に、レーダ装置の構成は、送信ブランチで複数の送信アンテナから符号分割多重された送信信号を送出し、受信ブランチで、受信処理を行う構成でもよい。

【0031】

なお、以下に説明する実施の形態は一例であり、本開示は以下の実施の形態により限定されるものではない。

【0032】

[実施の形態1]

[レーダ装置の構成]

図1Aは、本実施の形態に係るレーダ装置10の構成例を示すブロック図である。

【0033】

レーダ装置10は、例えば、レーダ送信部（送信ブランチ）100と、レーダ受信部（受信ブランチ）200と、基準信号生成部300と、を有する。

【0034】

レーダ送信部100は、基準信号生成部300から出力されるリファレンス信号に基づいて高周波（無線周波数：Radio Frequency）のレーダ信号（レーダ送信信号）を生成する。そして、レーダ送信部100は、複数の送信アンテナ108-1～108-Nt（例えば、後述する図1Bを参照）によって構成される送信アレーアンテナを用いて、レーダ送信信号を所定の送信周期にて送信する。

【0035】

レーダ受信部200は、レーダ送信信号が物標（ターゲット。図示せず）に反射した反射波信号を、複数の受信アンテナ202-1～202-Na（例えば、後述する図1Bを参照）を含む受信アレーアンテナを用いて受信する。レーダ受信部200は、基準信号生成部300から出力されるリファレンス信号を用いて、下記の処理動作を行うことで、レーダ送信部100と同期した処理を行う。また、レーダ受信部200は、各受信アンテナ202において受信した反射波信号を信号処理し、例えば、物標の有無検出又は反射波信号の到来方向の推定を行う。なお、物標はレーダ装置10が検出する対象の物体であり、例えば、車両（4輪及び2輪を含む）、人、ブロック又は縁石などを含む。

【0036】

基準信号生成部300は、レーダ送信部100及びレーダ受信部200のそれぞれに接続されている。基準信号生成部300は、基準信号としてのリファレンス信号をレーダ送信部100及びレーダ受信部200に供給し、レーダ送信部100及びレーダ受信部200

10

20

30

40

50

0 の処理を同期させる。

【 0 0 3 7 】

図 1 B は、図 1 A に示すレーダ装置 1 0 のより詳細な構成例を示すブロック図である。図 1 B を用いて各構成部の詳細を説明する。

【 0 0 3 8 】

[レーダ送信部 1 0 0 の構成]

レーダ送信部 1 0 0 は、レーダ送信信号生成部 1 0 1 と、切替制御部 1 0 5 と、送信切替部 1 0 6 と、送信無線部 1 0 7 - 1 ~ 1 0 7 - N t と、送信アンテナ 1 0 8 - 1 ~ 1 0 8 - N t と、を有する。すなわち、レーダ送信部 1 0 0 は、Nt 個の送信アンテナ 1 0 8 を有し、各送信アンテナ 1 0 8 は、それぞれ個別の送信無線部 1 0 7 に接続されている。

10

【 0 0 3 9 】

レーダ送信信号生成部 1 0 1 は、基準信号生成部 3 0 0 から出力されるリファレンス信号を所定数倍したタイミングクロックを生成し、生成したタイミングクロックに基づいてレーダ送信信号を生成する。そして、レーダ送信信号生成部 1 0 1 は、所定のレーダ送信周期 (T_r) にてレーダ送信信号を繰り返し出力する。レーダ送信信号は、例えば、 $y(k, M) = I(k, M) + j Q(k, M)$ で表される。ここで、 j は虚数単位を表し、 k は離散時刻を表し、 M はレーダ送信周期の序数を表す。また、 $I(k, M)$ 及び $Q(k, M)$ は、第 M 番目のレーダ送信周期における離散時刻 k におけるレーダ送信信号 ($k M$) の同相成分 (In-Phase 成分)、及び、直交成分 (Quadrature 成分) をそれぞれ表す。

【 0 0 4 0 】

レーダ送信信号生成部 1 0 1 は、符号生成部 1 0 2 と、変調部 1 0 3 と、L P F (Low Pass Filter) 1 0 4 とを含む。以下、レーダ送信信号生成部 1 0 1 における各構成部について説明する。

20

【 0 0 4 1 】

符号生成部 1 0 2 は、レーダ送信周期 T_r 毎に、符号長 L の符号系列の符号 $a_n(M)$ ($n=1, \dots, L$) (パルス符号) を生成する。符号生成部 1 0 2 において生成される符号 $a_n(M)$ には、例えば、低レンジサイドローブ特性が得られる符号が用いられる。符号系列としては、例えば、Barker 符号、M 系列符号、又は、Gold 符号などが挙げられる。

【 0 0 4 2 】

変調部 1 0 3 は、符号生成部 1 0 2 から出力されるパルス符号系列 (例えば、符号 $a_n(M)$) に対してパルス変調 (例えば、振幅変調、A S K (Amplitude Shift Keying)、パルスシフトキーイング) 又は位相変調 (Phase Shift Keying) を行い、変調信号を L P F 1 0 4 へ出力する。

30

【 0 0 4 3 】

L P F 1 0 4 は、変調部 1 0 3 から出力される変調信号のうち、所定の制限帯域以下の信号成分を、ベースバンドのレーダ送信信号として送信切替部 1 0 6 へ出力する。

【 0 0 4 4 】

図 2 は、レーダ送信信号生成部 1 0 1 によって生成されるレーダ送信信号の一例を示す。図 2 に示すように、レーダ送信周期 T_r のうち、符号送信区間 T_w の間に符号長 L のパルス符号系列が含まれる。各レーダ送信周期 T_r のうち、符号送信区間 T_w の間にパルス符号系列が送信され、残りの区間 ($T_r - T_w$) は無信号区間となる。1 つの符号には、 L 個のサブパルスが含まれる。また、1 つのサブパルスあたり、 N_o 個のサンプルを用いたパルス変調が施されることにより、各符号送信区間 T_w 内には、 $N_r (= N_o \times L)$ 個のサンプルの信号が含まれる。また、レーダ送信周期 T_r における無信号区間 ($T_r - T_w$) には、 N_u 個のサンプルが含まれる。

40

【 0 0 4 5 】

切替制御部 1 0 5 は、レーダ送信部 1 0 0 における送信切替部 1 0 6、及び、レーダ受信部 2 0 0 における出力切替部 2 1 1 を制御する。なお、切替制御部 1 0 5 における、レーダ受信部 2 0 0 の出力切替部 2 1 1 に対する制御動作についてはレーダ受信部 2 0 0 の動作の説明において後述する。以下では、切替制御部 1 0 5 における、レーダ送信部 1 0

50

0の送信切替部106に対する制御動作について説明する。

【0046】

切替制御部105は、例えば、レーダ送信周期 T_r 毎に、送信アンテナ108（換言すると、送信無線部107）を切り替える制御信号（以下、「切替制御信号」と呼ぶ）を送信切替部106に出力する。

【0047】

送信切替部106は、レーダ送信信号生成部101から出力されるレーダ送信信号を、切替制御部105から出力される切替制御信号によって指示される送信無線部107へ出力する切替動作を行う。例えば、送信切替部106は、切替制御信号に基づいて、複数の送信無線部107-1~107- N_t のうち一つを選択して切り替えて、選択した送信無線部107へレーダ送信信号を出力する。

10

【0048】

第 z ($z=1, \dots, N_t$)番目の送信無線部107は、送信切替部106から出力されるベースバンドのレーダ送信信号に対して、周波数変換を行いキャリア周波数（Radio Frequency: RF）帯のレーダ送信信号を生成し、送信増幅器により所定の送信電力 P [dB]に増幅して第 z 番目の送信アンテナ108へ出力する。

【0049】

第 z ($z=1, \dots, N_t$)番目の送信アンテナ108は、第 z 番目の送信無線部107から出力されるレーダ送信信号を空間に放射する。

【0050】

図3は、本実施の形態に係る送信アンテナ108の切替動作の一例を示す。なお、本実施の形態に係る送信アンテナ108の切替動作は、図3に示す例に限定されるものではない。

20

【0051】

図3では、切替制御部105は、レーダ送信周期 T_r 毎に、第1の送信アンテナ108（又は送信無線部107-1）から第 N_t の送信アンテナ108（又は送信無線部107- N_t ）までを順に切り替える指示を示す切替制御信号を、送信切替部106に出力する。よって、第1の送信アンテナ108から第 N_t の送信アンテナ108の各々において、レーダ送信信号は N_p ($=N_t \times T_r$)周期の送信間隔で送信される。

【0052】

切替制御部105は、アンテナ切替周期 N_p での送信無線部107の切替動作を N_c 回繰り返す制御を行う。

30

【0053】

なお、各送信無線部107における送信信号の送信開始時刻は、周期 T_r に同期させなくてもよい。例えば、各送信無線部107では、送信開始時刻に異なる送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を設けて、レーダ送信信号の送信を開始してもよい。このような送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を設ける場合、後述するレーダ受信部200の処理において、送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を考慮した送信位相補正係数を導入することにより、ドップラ周波数によって受信信号において異なる位相回転になる影響を抑制できる。このような送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を測定毎に可変することで、他のレーダ装置（図示せず）からの干渉がある場合又は他のレーダ装置に干渉を与える場合に、他レーダ間で干渉の影響を相互にランダム化する効果が得られる。

40

【0054】

また、レーダ送信部100は、レーダ送信信号生成部101の代わりに、図4に示すレーダ送信信号生成部101aを備えてもよい。レーダ送信信号生成部101aは、図1Bに示す符号生成部102、変調部103及びLPF104を有さず、代わりに符号記憶部111及びDA変換部112を備える。符号記憶部111は、符号生成部102（図1B）において生成される符号系列を予め記憶し、記憶している符号系列を巡回的に順次読み出す。DA変換部112は、符号記憶部111から出力される符号系列（デジタル信号）をアナログ信号（ベースバンド信号）に変換する。

50

【 0 0 5 5 】

[レーダ受信部 2 0 0 の構成]

図 1 B において、レーダ受信部 2 0 0 は、 N_a 個の受信アンテナ 2 0 2 を備え、アレーアンテナを構成する。レーダ受信部 2 0 0 は、 N_a 個のアンテナ系統処理部 2 0 1 - 1 ~ 2 0 1 - N_a と、CFAR (Constant False Alarm Rate) 部 2 1 3 と、方向推定部 2 1 4 と、を有する。

【 0 0 5 6 】

各受信アンテナ 2 0 2 は、物標 (ターゲット) に反射したレーダ送信信号である反射波信号を受信し、受信した反射波信号を、対応するアンテナ系統処理部 2 0 1 へ受信信号として出力する。

10

【 0 0 5 7 】

各アンテナ系統処理部 2 0 1 は、受信無線部 2 0 3 と、信号処理部 2 0 7 とを有する。

【 0 0 5 8 】

受信無線部 2 0 3 は、増幅器 2 0 4 と、周波数変換器 2 0 5 と、直交検波器 2 0 6 と、を有する。受信無線部 2 0 3 は、基準信号生成部 3 0 0 から出力されるリファレンス信号を所定数倍したタイミングクロックを生成し、生成したタイミングクロックに基づいて動作する。具体的には、増幅器 2 0 4 は、受信アンテナ 2 0 2 から出力される受信信号を所定レベルに増幅し、周波数変換器 2 0 5 は、高周波帯域の受信信号をベースバンド帯域に周波数変換し、直交検波器 2 0 6 は、直交検波により、ベースバンド帯域の受信信号を、I 信号及びQ信号を含むベースバンド帯域の受信信号に変換する。

20

【 0 0 5 9 】

各アンテナ系統処理部 2 0 1 - z (ただし、 $z = 1 \sim N_a$ の何れか) の信号処理部 2 0 7 は、AD変換部 2 0 8、2 0 9 と、相関演算部 2 1 0 と、出力切替部 2 1 1 と、ドップラ解析部 2 1 2 - 1 ~ 2 1 2 - N_t と、を有する。

【 0 0 6 0 】

AD変換部 2 0 8 には、直交検波器 2 0 6 からI信号が入力され、AD変換部 2 0 9 には、直交検波器 2 0 6 からQ信号が入力される。AD変換部 2 0 8 は、I信号を含むベースバンド信号に対して、離散時刻でのサンプリングを行うことにより、I信号をデジタルデータに変換する。AD変換部 2 0 9 は、Q信号を含むベースバンド信号に対して、離散時刻でのサンプリングを行うことにより、Q信号をデジタルデータに変換する。

30

【 0 0 6 1 】

ここで、AD変換部 2 0 8、2 0 9 のサンプリングでは、例えば、レーダ送信信号における 1 つのサブパルスの時間 $T_p (= T_w/L)$ あたり、 N_s 個の離散サンプルが行われる。すなわち、1 サブパルスあたりのオーバーサンプル数は N_s となる。

【 0 0 6 2 】

以下の説明では、I信号 $I_z(k, M)$ 及びQ信号 $Q_z(k, M)$ を用いて、AD変換部 2 0 8、2 0 9 の出力としての第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ の離散時刻 k におけるベースバンドの受信信号を複素数信号 $x_z(k, M) = I_z(k, M) + j Q_z(k, M)$ と表す (ただし、 $z = 1 \sim N_a$ の何れか)。また、以下では、離散時刻 k は、レーダ送信周期 (T_r) の開始するタイミングを基準 ($k=1$) とし、信号処理部 2 0 7 は、レーダ送信周期 T_r が終了する前までのサンプル点である $k = (N_r + N_u) N_s / N_o$ まで周期的に動作する。すなわち、 $k = 1, \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o$ となる。ここで、 j は虚数単位である。

40

【 0 0 6 3 】

第 z ($z=1, \dots, N_a$) 番目の信号処理部 2 0 7 における相関演算部 2 1 0 は、レーダ送信周期 T_r 毎に、AD変換部 2 0 8、2 0 9 から受け取る離散サンプル値 $I_z(k, M)$ 及び $Q_z(k, M)$ を含む離散サンプル値 $x_z(k, M)$ と、レーダ送信部 1 0 0 において送信される符号長 L のパルス符号 $a_n(M)$ (ただし、 $z=1, \dots, N_a$ 、 $n=1, \dots, L$) との相関演算を行う。例えば、相関演算部 2 1 0 は、離散サンプル値 $x_z(k, M)$ と、パルス符号 $a_n(M)$ とのスライディング相関演算を行う。例えば、第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ における離散時刻 k のスライディング相関演算の相関演算値 $AC_z(k, M)$ は、次式に基づき算出される。

50

【数 1】

$$AC_z(k, M) = \sum_{n=1}^L x_z(k + N_s(n-1), M) a_n(M)^* \quad (1)$$

【0064】

式(1)において、アスタリスク(*)は複素共役演算子を表す。

【0065】

相関演算部210は、例えば、式(1)に従って、 $k=1, \dots, (Nr+Nu)Ns/No$ の期間に渡って相関演算を行う。

【0066】

なお、相関演算部210は、 $k=1, \dots, (Nr+Nu)Ns/No$ に対して相関演算を行う場合に限定されず、レーダ装置10の測定対象となるターゲットの存在範囲に応じて、測定レンジ(すなわち、 k の範囲)を限定してもよい。これにより、レーダ装置10では、相関演算部210の演算処理量の低減が可能となる。例えば、相関演算部210は、 $k=Ns(L+1), \dots, (Nr+Nu)Ns/No - NsL$ に測定レンジを限定してもよい。この場合、図5に示すように、レーダ装置10は、符号送信区間 T_w に相当する時間区間では測定を行わなくてもよい。

【0067】

これにより、レーダ装置10は、レーダ送信信号がレーダ受信部200に直接的に回り込むような場合でも、レーダ送信信号が回り込む期間(少なくとも1未満の期間)では相関演算部210による処理が行われないので、回り込みの影響を排除した測定が可能となる。また、測定レンジ(k の範囲)を限定する場合、以下で説明する出力切替部211、ドップラ解析部212、CFAR部213及び方向推定部214の処理に対しても、同様に測定レンジ(k の範囲)を限定した処理を適用すればよい。これにより、各構成部での処理量を削減でき、レーダ受信部200における消費電力を低減できる。

【0068】

出力切替部211は、切替制御部105から入力される切替制御信号に基づいて、レーダ送信周期 Tr 毎の相関演算部210の出力を、 N_t 個のドップラ解析部212のうちの一つに選択的に切り替えて出力する。以下、一例として、第 M 番目のレーダ送信周期 $Tr[M]$ における切替制御信号を N_t ビットの情報[$bit1(M), bit2(M), \dots, bitN_t(M)$]で表す。例えば、第 M 番目のレーダ送信周期 $Tr[M]$ の切替制御信号において、第 ND ビット(ただし、 $ND=1 \sim N_t$ の何れか)が'1'である場合、出力切替部211は、第 ND 番目のドップラ解析部212を選択(換言するとON)する。一方、第 M 番目のレーダ送信周期 $Tr[M]$ の切替制御信号において、第 ND ビットが'0'である場合、出力切替部211は、第 ND 番目のドップラ解析部212を非選択(換言するとOFF)とする。出力切替部211は、選択したドップラ解析部212に対して、相関演算部210から入力される相関演算値 $AC_z(k, M)$ を出力する。

【0069】

例えば、図3に示す送信無線部107(又は送信アンテナ108)の切替動作に対応する N_t ビットの切替制御信号を以下に示す。

$$[bit1(1), bit2(1), \dots, bitN_t(1)] = [1, 0, \dots, 0]$$

$$[bit1(2), bit2(2), \dots, bitN_t(2)] = [0, 1, \dots, 0]$$

...

$$[bit1(N_t), bit2(N_t), \dots, bitN_t(N_t)] = [0, 0, \dots, 1]$$

【0070】

上記のように、各ドップラ解析部212は、 $N_p (= N_t \times Tr)$ 周期で順次選択される(換言すると、ONとなる)。例えば、切替制御信号は、上記内容を N_c 回繰り返す。

【0071】

第 z ($z=1, \dots, N_a$)番目の信号処理部207は、 N_t 個のドップラ解析部212を有する。

【0072】

10

20

30

40

50

ドップラ解析部 2 1 2 は、出力切替部 2 1 1 からの出力（例えば、相関演算値 $AC_z(k, M)$ ）に対して、離散時刻 k 毎にドップラ解析を行う。例えば、 N_c が 2 のべき乗値である場合、ドップラ解析において高速フーリエ変換（FFT:Fast Fourier Transform）処理を適用できる。

【0073】

第 z 番目の信号処理部 2 0 7 の第 ND 番目のドップラ解析部 2 1 2 における第 w 番目の出力は、次式に示すように、離散時刻 k におけるドップラ周波数インデックス f_s のドップラ周波数応答 $FT_CI_z^{(ND)}(k, f_s, w)$ を示す。なお、 $ND=1 \sim N_t$ であり、 $k=1, \dots, (N_r + N_u) N_s / N_o$ であり、 w は 1 以上の整数である。また、 j は虚数単位であり、 $z=1 \sim N_a$ である。

【数 2】

$$FT_CI_z^{(ND)}(k, f_s, w) = \sum_{q=0}^{N_t N_c - 1} bit_{ND}(q+1) AC_z(k, N_t N_c (w-1) + q + 1) \exp[-j \frac{2\pi \lfloor \frac{q}{N_t} \rfloor f_s}{N_c}] \quad (2)$$

【0074】

なお、FFT処理の際、ドップラ解析部 2 1 2 は、例えば、Han窓又はHamming窓等の窓関数係数を乗算してもよい。窓関数係数を用いることにより、ピーク周波数 ピーク周辺に発生するサイドローブを抑圧できる。

【0075】

以上、信号処理部 2 0 7 の各構成部における処理について説明した。

【0076】

CFAR部 2 1 3 は、ドップラ解析部 2 1 2 からの出力を用いて、CFAR処理（換言すると、適応的な閾値判定）を行い、ピーク信号を与える離散時刻のインデックス k_{cfar} 及びドップラ周波数のインデックス f_{s_cfar} を抽出し、方向推定部 2 1 4 に出力する。

【0077】

なお、レーダ装置 1 0 は、CFAR処理を行わずに、方向推定部 2 1 4 において方向推定処理を行ってもよい。つまり、CFAR部 2 1 3 を省略してレーダ受信部 2 0 0 を構成してもよい。

【0078】

方向推定部 2 1 4 は、CFAR部 2 1 3 から出力される情報（例えば、時間インデックス k_{cfar} 、及び、ドップラ周波数インデックス f_{s_cfar} ）に基づいて、各ドップラ解析部 2 1 2 からの出力を用いてターゲットの方向推定処理を行う。

【0079】

例えば、方向推定部 2 1 4 は、式(3)に示すような仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ を生成し、方向推定処理を行う。

【0080】

以下では、アンテナ系統処理部 2 0 1 - 1 ~ 2 0 1 - N_a の各信号処理部 2 0 7 で同様な処理を施して得られたドップラ解析部 2 1 2 - 1 ~ 2 1 2 - N_t からの w 番目の出力をまとめたものを、式(3)（式(4)）に示すような送信アンテナ数 N_t と受信アンテナ数 N_a との積である $N_t \times N_a$ 個の要素を含む、仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ として表記する。仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ は、ターゲットからの反射波信号に対して各受信アンテナ 2 0 2 間の位相差に基づく方向推定を行う処理に用いる。ここで、 $z=1, \dots, N_a$ であり、 $ND=1, \dots, N_t$ である。

【数 3】

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 h(k, f_s, w) &= \begin{bmatrix} FT_CI_1^{(1)}(k, f_s, w)TxCAL^{(1)}(f_s) \\ FT_CI_1^{(2)}(k, f_s, w)TxCAL^{(2)}(f_s) \\ \vdots \\ FT_CI_1^{(N_t)}(k, f_s, w)TxCAL^{(N_t)}(f_s) \\ FT_CI_2^{(1)}(k, f_s, w)TxCAL^{(1)}(f_s) \\ FT_CI_2^{(2)}(k, f_s, w)TxCAL^{(2)}(f_s) \\ \vdots \\ FT_CI_2^{(N_t)}(k, f_s, w)TxCAL^{(N_t)}(f_s) \\ \vdots \\ FT_CI_{N_a}^{(1)}(k, f_s, w)TxCAL^{(1)}(f_s) \\ FT_CI_{N_a}^{(2)}(k, f_s, w)TxCAL^{(2)}(f_s) \\ \vdots \\ FT_CI_{N_a}^{(N_t)}(k, f_s, w)TxCAL^{(N_t)}(f_s) \end{bmatrix} \quad (3) \\
 &= \begin{bmatrix} h_1(k, f_s, w) \\ h_2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ h_{N_a}(k, f_s, w) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

10

20

【数 4】

$$h_z(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_z^{(1)}(k, f_s, w)TxCAL^{(1)}(f_s) \\ FT_CI_z^{(2)}(k, f_s, w)TxCAL^{(2)}(f_s) \\ \vdots \\ FT_CI_z^{(N_t)}(k, f_s, w)TxCAL^{(3)}(f_s) \end{bmatrix} \quad (4)$$

【0081】

ここで、CFAR処理を行う場合、仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ はCFAR処理によって抽出したピーク信号のインデックスを用いて $h(k_cfar, f_s_cfar, w)$ となる。仮想受信アレー相関ベクトル $h(k_cfar, f_s_cfar, w)$ は、 $N_a \times N_t$ 個の要素を含む列ベクトルである。

30

【0082】

また、レーダ装置 10 では、送信アンテナ 108 を時分割で切り替えているため、異なるドップラ周波数 f_s において異なる位相回転が発生する。式 (3) 及び式 (4) において、 $TxCAL^{(1)}(f_s), \dots, TxCAL^{(N_t)}(f_s)$ は、その位相回転を補正し、基準送信アンテナの位相に一致させるための送信位相補正係数である。

【0083】

例えば、図 3 に示す送信無線部 107 (又は送信アンテナ 108) の切替動作に対応する、第 1 の送信アンテナ 108 ($N_D=1$) を基準送信アンテナとした場合、送信位相補正係数は、次式で表される。

40

【数 5】

$$TxCAL^{(1)}(f_s) = 1, TxCAL^{(2)}(f_s) = \exp\left(-j\frac{2\pi f_s}{N_c} \frac{1}{2}\right), TxCAL^{(N_t)}(f_s) = \exp\left(-j\frac{2\pi f_s}{N_c} \frac{N_t-1}{N_t}\right) \quad (5)$$

【0084】

なお、各送信無線部 107 の送信信号の送信開始時刻に異なる送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を設けた場合、式 (5) に示す送信位相補正係数 $TxCAL^{(N_D)}(f_s)$ に式 (6) の補

50

正係数 $T_{x\text{CAL}}^{(ND)}(f)$ を乗算し、新たな送信位相補正係数 $T_{x\text{CAL}}^{(ND)}(f_s)$ としてよい。これにより、ドップラ周波数によって異なる位相回転の影響を除去できる。ここで、 $T_{x\text{CAL}}^{(ND)}(f_s)$ の ND は、位相基準とする基準送信アンテナ番号である。

【数 6】

$$\Delta_{T_{x\text{CAL}}}^{(ND)}(f_s) = \exp\left(-j \frac{2\pi f_s \Delta_{ND} - \Delta_{ref}}{N_c N_p}\right) \quad (6)$$

【0085】

図 1 B において、方向推定部 214 は、第 1 の信号処理部 207 ~ 第 Na の信号処理部 207 から出力される w 番目のドップラ解析部 212 の仮想受信アレー相関ベクトル $h(k, f_s, w)$ に対して、送信アンテナ間及び受信アレーアンテナ間の移相偏差及び振幅偏差を補正するアレー補正值 $h_{\text{cal}[b]}$ を乗算することで、アンテナ間偏差を補正した仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ を算出する。仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ は式 (7) で表される。なお、 $b=1, \dots, (N_t \times N_a)$ である。

【数 7】

$$h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w) = CA h(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} h_1(k, f_s, w) \\ h_2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ h_{N_a \times N_r}(k, f_s, w) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$CA = \begin{bmatrix} h_{\text{cal}[1]} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_{\text{cal}[2]} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & h_{\text{cal}[N_t \times N_a]} \end{bmatrix}$$

【0086】

アンテナ間偏差を補正した仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ は、 $N_a \times N_t$ 個の要素からなる列ベクトルである。以下では、仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ の各要素を $h_1(k, f_s, w), \dots, h_{N_a \times N_t}(k, f_s, w)$ と表記して、方向推定処理の説明に用いる。

【0087】

方向推定部 214 は、仮想受信アレー相関ベクトル $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ を用いて、受信アンテナ 202 間の反射波信号の位相差に基づいて方向推定処理を行う。

【0088】

方向推定部 214 は、例えば、方向推定評価関数値 $P_H(\theta_u, k, f_s, w)$ における方位方向 θ_u を所定の角度範囲内で可変として空間プロファイルを算出し、算出した空間プロファイルの極大ピークを大きい順に所定数抽出し、極大ピークの方位方向を到来方向推定値とする。

【0089】

なお、評価関数値 $P_H(\theta_u, k, f_s, w)$ は、到来方向推定アルゴリズムによって各種のものがある。例えば、非特許文献 2 に開示されているアレーアンテナを用いた推定方法を用いてもよい。例えばビームフォーマ法は式 (8) 及び式 (9) のように表すことができる。他にも、Capon, MUSIC 等の手法も同様に適用可能である。

【数 8】

$$P_H(\theta_u, k, f_s, w) = |a_H(\theta_u)^H h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)|^2 \quad (8)$$

【数 9】

10

20

30

40

50

$$a_H(\theta_u) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\{-j2\pi d_H \sin\theta_u/\lambda\} \\ \vdots \\ \exp\{-j2\pi(N_{VAH} - 1)d_H \sin\theta_u/\lambda\} \end{bmatrix} \quad (9)$$

【0090】

ここで、上付き添え字Hはエルミート転置演算子である。また、 $a_H(\theta_u)$ は、方位方向 u の到来波に対する仮想受信アレーの方向ベクトルを示す。また、 θ_u は到来方向推定を行う方位範囲内を所定の方位間隔 $\Delta\theta$ で変化させたものである。例えば、 θ_u は以下のように設定される。

$$\theta_u = \theta_{\min} + u \cdot \Delta\theta, \quad u=0, \dots, NU$$

$$NU = \text{floor}[(\theta_{\max} - \theta_{\min})/\Delta\theta] + 1$$

ここで $\text{floor}(x)$ は、実数 x を超えない最大の整数値を返す関数である。

【0091】

上述した方向推定部214の処理を図6に示す3次元座標系に適応し、2次元方向に推定処理を行う場合について説明する。

【0092】

図6は、原点Oを基準とした物標(ターゲット)P_Tの位置ベクトルを r_{PT} と定義する。また、図6では、物標P_Tの位置ベクトル r_{PT} をXZ平面に射影した射影点をP_T'とする。この場合、方位角 θ は、直線O-P_T'とZ軸とのなす角度と定義される(物標PのX座標が正の場合、 $\theta > 0$)。また、仰角 ϕ は、物標P_T、原点O及び射影点P_T'を含む平面内での、物標P_T、原点O及び射影点P_T'を結ぶ線の角度と定義される(物標PのY座標が正の場合、 $\phi > 0$)。なお、以下では、XY平面内に送信アンテナ108及び受信アンテナ202を配置する場合を一例として説明を行う。

【0093】

原点Oを基準とした、仮想受信アレーにおける第 n_{va} 番目のアンテナ素子の位置ベクトルを $S_{n_{va}}$ と表記する。ここで、 $n_{va}=1, \dots, N_t \times N_a$ である。

【0094】

また、仮想受信アレーにおける第1番目($n_{va}=1$)のアンテナ素子の位置ベクトル S_1 は、第1番目の受信アンテナ202の物理的な位置と原点Oとの位置関係に基づいて決定される。仮想受信アレーにおける他のアンテナ素子の位置ベクトル $S_2, \dots, S_{n_{va}}$ は、第1番目のアンテナ素子の位置ベクトル S_1 を基準に、XY平面内に存在する送信アンテナ109及び受信アンテナ202の素子間隔から決定される仮想受信アレーの相対的な配置を保持した状態で決定される。なお、原点Oを第1番目の受信アンテナ202の物理的な位置と一致させてもよい。

【0095】

レーダ受信部200が遠方界に存在する物標P_Tからの反射波を受信する場合、仮想受信アレーの第1番目のアンテナ素子での受信信号を基準とした、第2番目のアンテナ素子での受信信号の位相差 $d(r_{PT}, 2, 1)$ は、式(10)で示される。ここで、 \hat{x}, \hat{y} はベクトル x 及びベクトル y の内積演算子である。

【数10】

$$d(r_{PT}, 2, 1) = -\frac{2\pi \langle -r_{PT}, (S_2 - S_1) \rangle}{\lambda |r_{PT}|} = \frac{2\pi}{\lambda} \langle \frac{r_{PT}}{|r_{PT}|}, (S_2 - S_1) \rangle = \frac{2\pi}{\lambda} \langle \frac{r_{PT}}{|r_{PT}|}, D(2, 1) \rangle \quad (10)$$

【0096】

なお、仮想受信アレーの第1番目のアンテナ素子の位置ベクトルを基準とした、第2番目のアンテナ素子の位置ベクトルを、素子間ベクトル $D(2, 1)$ として式(11)で表す。

【数11】

10

20

30

40

50

$$D(2,1) = S_2 - S_1 \quad (11)$$

【 0 0 9 7 】

同様に、レーダ受信部 2 0 0 が遠方界に存在する物標 P_T からの反射波を受信する場合、仮想受信アレーの第 $n_{va}^{(r)}$ 番目のアンテナ素子での受信信号を基準とした、第 $n_{va}^{(t)}$ 番目のアンテナ素子での受信信号の位相差 $d(r_{PT}, n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)})$ は、式 (1 2) で示される。ここで、 $n_{va}^{(r)} = 1, \dots, N_t \times N_a$ 、 $n_{va}^{(t)} = 1, \dots, N_t \times N_a$ である。

【 数 1 2 】

$$d(r_{PT}, n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)}) = \frac{2\pi}{\lambda} \langle \frac{r_{PT}}{|r_{PT}|}, D(n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)}) \rangle \quad (12)$$

10

【 0 0 9 8 】

なお、仮想受信アレーの第 $n_{va}^{(r)}$ 番目のアンテナ素子の位置ベクトルを基準とした、第 $n_{va}^{(t)}$ 番目のアンテナ素子の位置ベクトルを、素子間ベクトル $D(n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)})$ として式 (1 3) で表す。

【 数 1 3 】

$$D(n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)}) = S_{n_{va}^{(t)}} - S_{n_{va}^{(r)}} \quad (13)$$

20

【 0 0 9 9 】

式 (1 2) 及び式 (1 3) に示すように、仮想受信アレーの第 $n_{va}^{(r)}$ 番目のアンテナ素子での受信信号を基準とした、第 $n_{va}^{(t)}$ 番目のアンテナ素子での受信信号の位相差 $d(r_{PT}, n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)})$ は、遠方界に存在する物標 P_T の方向を示す単位ベクトル $(r_{PT} / |r_{PT}|)$ 及び素子間ベクトル $D(n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)})$ に依存する。

【 0 1 0 0 】

また、仮想受信アレーが同一平面内に存在する場合、素子間ベクトル $D(n_{va}^{(t)}, n_{va}^{(r)})$ は同一平面上に存在する。方向推定部 2 1 4 は、このような素子間ベクトルの全て又は一部を用いて、素子間ベクトルが示す位置に仮想的にアンテナ素子が存在するとして、仮想面配置アレーアンテナを構成し、2次元における方向推定処理を行う。すなわち、方向推定部 2 1 4 は、仮想受信アレーを構成するアンテナ素子に対する補間処理によって補間された複数の仮想的なアンテナ素子を用いて到来方向推定処理を行う。

30

【 0 1 0 1 】

なお、方向推定部 2 1 4 は、仮想的なアンテナ素子が重複する場合、重複するアンテナ素子のうちの一つのアンテナ素子を予め固定的に選択してもよい。または、方向推定部 2 1 4 は、重複する全ての仮想的なアンテナ素子での受信信号を用いて加算平均処理を施してもよい。

【 0 1 0 2 】

以下、 N_q 個の素子間ベクトル群を用いて、仮想面配置アレーアンテナを構成した場合における、ビームフォーマ法を用いた2次元における方向推定処理について説明する。

40

【 0 1 0 3 】

ここで、仮想面配置アレーアンテナを構成する第 n_q 番目の素子間ベクトルを $D(n_{va(nq)}^{(t)}, n_{va(nq)}^{(r)})$ と表す。ここで、 $n_q = 1, \dots, N_q$ である。

【 0 1 0 4 】

例えば、方向推定部 2 1 4 は、仮想受信アレー相関ベクトル $h_after_cal(k, fs, w)$ の各要素である $h_1(k, fs, w), \dots, h_{N_a \times N}(k, fs, w)$ を用いて、式 (1 4) に示す仮想面配置アレーアンテナ相関ベクトル $h_{VA}(k, fs, w)$ を生成する。

【 数 1 4 】

50

$$h_{VA}(k, fs, w) = CA h(k, fs, w) = \begin{bmatrix} h_{n_{va(1)}^{(t)}}(k, fs, w) h_{n_{va(1)}^{(r)}}^*(k, fs, w) / |h_{n_{va(1)}^{(r)}}^*(k, fs, w)| \\ h_{n_{va(2)}^{(t)}}(k, fs, w) h_{n_{va(2)}^{(r)}}^*(k, fs, w) / |h_{n_{va(2)}^{(r)}}^*(k, fs, w)| \\ \vdots \\ h_{n_{va(Nq)}^{(t)}}(k, fs, w) h_{n_{va(Nq)}^{(r)}}^*(k, fs, w) / |h_{n_{va(Nq)}^{(r)}}^*(k, fs, w)| \end{bmatrix} \quad (14)$$

【 0 1 0 5 】

仮想面配置アレー方向ベクトル $a_{VA}(u, v)$ を式(15)に示す。

10

【 数 1 5 】

$$a_{VA}(\theta_u, \Phi_v) = \begin{bmatrix} \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} \left\langle \frac{r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)}{|r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)|}, D(n_{va(1)}^{(t)}, n_{va(1)}^{(r)}) \right\rangle\right\} \\ \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} \left\langle \frac{r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)}{|r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)|}, D(n_{va(2)}^{(t)}, n_{va(2)}^{(r)}) \right\rangle\right\} \\ \vdots \\ \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} \left\langle \frac{r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)}{|r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)|}, D(n_{va(Nq)}^{(t)}, n_{va(Nq)}^{(r)}) \right\rangle\right\} \end{bmatrix} \quad (15)$$

【 0 1 0 6 】

20

仮想受信アレーがXY平面内に存在する場合、物標PTの方向を示す単位ベクトル $(r_{PT} / |r_{PT}|)$ と、方位角 θ_u 及び仰角 Φ_v との関係を式(16)に示す。

【 数 1 6 】

$$\frac{r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)}{|r_{PT}(\theta_u, \Phi_v)|} = \begin{pmatrix} \sin \theta_u \cos \Phi_v \\ \sin \Phi_v \\ \cos \theta_u \cos \Phi_v \end{pmatrix} \quad (16)$$

【 0 1 0 7 】

30

方向推定部214は、垂直方向及び水平方向の2次元空間プロファイルを算出する各角度方向 u, v に対して、式(16)を用いて単位ベクトル $(r_{PT} / |r_{PT}|)$ を算出する。

【 0 1 0 8 】

さらに、方向推定部214は、仮想面配置アレーアンテナ相関ベクトル $h_{VA}(k, fs, w)$ 、及び、仮想面配置アレー方向ベクトル $a_{VA}(u, v)$ を用いて、水平方向及び垂直方向の2次元方向推定処理を行う。

【 0 1 0 9 】

ビームフォーマ法を用いた2次元における方向推定処理では、方向推定部214は、仮想面配置アレーアンテナ相関ベクトル $h_{VA}(k, fs, w)$ 及び仮想面配置アレー方向ベクトル $a_{VA}(u, v)$ を用いて、式(17)で示される2次元における方向推定評価関数を用いて垂直方向及び水平方向の2次元空間プロファイルを算出する。方向推定部214は、算出した2次元空間プロファイルの最大値又は極大値となる方位角及び仰角方向を到来方向推定値とする。

40

【 数 1 7 】

$$P_{VA}(\theta_u, \Phi_v, k, fs, w) = |a_{VA}(\theta_u, \Phi_v)^H h_{VA}(k, fs, w)|^2 \quad (17)$$

【 0 1 1 0 】

なお、方向推定部214は、ビームフォーマ法以外にも、仮想面配置アレーアンテナ相

50

関ベクトル $h_{VA}(k, f_s, w)$ 及び仮想面配置アレー方向ベクトル $a_{VA}(u, v)$ を用いて、Capon法又はMUSIC法などの高分解能到来方向推定アルゴリズムを適用してもよい。これにより、演算量は増加するが、角度分解能を向上できる。

【0111】

また、方向推定部214では、図6の3次元座標系に示すように2次元方向に推定処理を行う場合について説明したが、これに限らず、2次元座標系に対応した1次元方向に推定処理を行う場合にも適応可能である。

【0112】

また、ここでは、レーダ送信部100及びレーダ受信部200における複数のアンテナを用いるMIMOレーダの方向推定処理について説明したが、レーダ送信部100及びレーダ受信部200のいずれか一方が複数のアンテナを有する場合についても同様に適応可能である。

10

【0113】

以上、方向推定部214の動作について説明した。

【0114】

なお、上述した時刻情報 k は、距離情報に変換して出力されてもよい。時刻情報 k を距離情報 $R(k)$ に変換するには式(18)を用いればよい。ここで、 T_w は符号送信区間を表し、 L はパルス符号長を表し、 C_0 は光速を表す。

【数18】

$$R(k) = k \frac{T_w C_0}{2L} \quad (18)$$

20

【0115】

また、ドップラ周波数情報は相対速度成分に変換して出力されてもよい。ドップラ周波数 f_s を相対速度成分 $v_d(f_s)$ に変換するには式(19)が用いられてよい。ここで、 λ はRF信号のキャリア周波数の波長である。

【数19】

$$v_d(f_s) = \frac{\lambda}{2} f_s \Delta \Phi \quad (19)$$

30

【0116】

[レーダ装置10におけるアンテナ配置例]

以上の構成を有するレーダ装置10における N_t 個の送信アンテナ108及び N_a 個の受信アンテナ202の配置について説明する。

【0117】

図7A及び図7Bは、本実施の形態に係る送信アンテナ108及び受信アンテナ202の配置例を示す図である。

【0118】

なお、図7A及び図7Bでは、送信アンテナ108及び受信アンテナ202は、第1軸に沿って基本間隔 d_H の整数倍、及び、第2軸に沿って基本間隔 d_V の整数倍の位置に配置される。換言すると、送信アンテナ108(例えば、送信アレーアンテナ)及び受信アンテナ202(例えば、受信アレーアンテナ)は、第1軸及び第2軸による2次元平面上に配置される。ここで、第1軸と第2軸とは直交していることが望ましいが、これに限らない。

40

【0119】

また、送信アンテナ108の配置(送信アレー配置)及び受信アンテナ202の配置(受信アレー配置)は、図7A及び図7Bに示す配置と逆でもよい。換言すると、送信アンテナ108の配置を図7Bに示す受信アンテナ202の配置とし、受信アンテナ202の配置を図7Aに示す送信アンテナ108の配置としてもよい。後述する他の実施の形態及

50

びバリエーションにおいても同様である。

【 0 1 2 0 】

図 7 A に示す送信アンテナ 1 0 8 の配置において、送信アレーアンテナは、第 2 軸方向について同じ位置、及び、第 1 軸方向について異なる位置にそれぞれ配置された複数のアンテナを有する「送信アンテナ列」を複数個有する。

【 0 1 2 1 】

図 7 A に示すように、複数の送信アンテナ列は、第 2 軸方向に $n_s \times d_v$ の間隔で p_t ($p_t \geq 2$) 列配置される。例えば、図 7 A において、第 1 の送信アンテナ列の第 2 軸方向の座標を y_{t0} とすると、第 n ($n=1 \sim p_t$) の送信アンテナ列の第 2 軸方向の座標は、 $y_{t0} + (n-1)n_s$ となる。

10

【 0 1 2 2 】

また、図 7 A に示すように、第 2 軸方向において隣り合う送信アンテナ列（例えば、第 1 の送信アンテナ列と第 2 の送信アンテナ列）に含まれるアンテナは、第 1 軸方向にそれぞれずらして配置される。換言すると、第 2 軸方向に隣り合う送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向において互いに異なる位置に配置されるアンテナを 1 つ以上含む（換言すると、第 1 軸方向において、少なくとも 1 つのアンテナの配置位置が重複しない）。

【 0 1 2 3 】

また、図 7 B に示す受信アンテナ 2 0 2 の配置において、第 1 軸方向に基本間隔 d_H 、第 2 軸方向に基本間隔 d_v 毎に配置された n_s 個のアンテナを含む「受信アンテナ列」が第 1 軸方向に p_r ($p_r \geq 2$) 個繰り返して配置される。換言すると、各受信アンテナ列に含まれる n_s 個のアンテナのうち、隣り合うアンテナは、第 1 軸方向に基本間隔 d_H 、第 2 軸方向に基本間隔 d_v 離れて配置される。図 7 B に示す受信アンテナ 2 0 2 は、鋸歯状に配置される。

20

【 0 1 2 4 】

例えば、図 7 A 及び図 7 B の第 1 軸方向を水平方向とし、第 2 軸方向を垂直方向とする場合について説明する。この場合、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ 1 系統は、図 7 A 及び図 7 B に示す点（白丸、網掛け丸）を位相中心として、第 1 軸方向（例えば、水平方向）及び第 2 軸方向（例えば、垂直方向）に開口長を広げて水平方向及び垂直方向のビーム幅を絞り、アンテナ利得を向上できる。例えば、アンテナ 1 系統は、サブアレーアンテナを用いて構成されてもよい。また、サブアレーアンテナにアレーウエイトをかけてサイドローブを抑制してもよい。

30

【 0 1 2 5 】

図 8 は、サブアレーアンテナの一例を示す。

【 0 1 2 6 】

図 8 に示すように、サブアレーアンテナにおけるサブアレーアンテナ素子の間隔を半波長 ($\lambda/2$) 程度とする。図 8 では、アンテナ 1 系統が、例えば、(a) 第 1 軸方向に 1 素子、第 2 軸方向に 4 素子のサブアレーアンテナ素子で構成される場合、(b) 第 1 軸方向に 1 素子、第 2 軸方向に 6 素子のサブアレーアンテナ素子で構成される場合、(c) 第 1 軸方向に 1 素子、第 2 軸方向に 8 素子のサブアレーアンテナ素子で構成された場合を示す。

【 0 1 2 7 】

なお、サブアレーアンテナの構成は、図 8 に示す構成に限らない。アンテナ 1 系統は、隣り合うアンテナ素子に物理的に干渉しない程度に開口長を拡大したサイズによって構成されてよい。これにより、アンテナ利得を高利得化できる。

40

【 0 1 2 8 】

送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ 1 系統は、例えば、レーダ装置 1 0 の視野角に適したビームパターンを形成するようにサブアレーアンテナで構成されてよい。例えば、レーダ装置 1 0 の視野角 (FOV : field of view) が垂直方向に狭角である場合、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ 1 系統のビームパターンは、水平方向について、より広角とし、垂直方向について、より狭角としてよい。例えば、図 8 では、(c) に示すアンテナ構成が最も狭角であり、垂直方向（換言すると、第 2 軸

50

方向)に並べたサブアレーアンテナ構成が適用されてよい。

【0129】

以下、レーダ装置10における N_t 個の送信アンテナ108及び N_a 個の受信アンテナ202のアンテナ配置に関するバリエーション1~7についてそれぞれ説明する。

【0130】

<バリエーション1>

図9A及び図9Bは、バリエーション1に係るアンテナ配置例を示す。

【0131】

図9Aに示す送信アンテナ108の配置において、送信アンテナ列数は3($p_t=3$)である。また、各送信アンテナ列は、第1軸方向に n_s 個のアンテナ(換言すると同数のアンテナ)をそれぞれ有する。よって、図9Aに示す送信アンテナ108の総数は $3n_s$ 個である。

10

【0132】

例えば、図9Aでは、第1の送信アンテナ列及び第3の送信アンテナ列に含まれる各アンテナは、第1軸方向に d_H 毎に n_s 個配置される。また、図9Aでは、第1の送信アンテナ列に含まれるアンテナと第3の送信アンテナに含まれるアンテナとの間の第1軸方向の座標は同じである。

【0133】

また、図9Aでは、第2の送信アンテナ列に含まれる n_s 個のアンテナは、第1軸方向に $(n_s+1)d_H$ 間隔離れて配置される。換言すると、図9Aでは、第2の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向に、基本間隔 d_H の (n_s+1) 倍の間隔で分割される2つの領域に配置される。第2の送信アンテナ列において分割される一方の領域には、例えば、 $\text{floor}(n_s/2)$ 個のアンテナが d_H 毎に配置され、他方の領域には、例えば、 $\text{ceil}(n_s/2)$ 個のアンテナが d_H 毎に配置される。ここで、関数 $\text{floor}(x)$ は、 x を超えない最大の整数値を返す床(floor)関数を示し、関数 $\text{ceil}(x)$ は、 x 以上の最小の整数値を返す天井(ceiling)関数を示す。

20

【0134】

このように、図9Aにおいて、3個の送信アンテナ列のうち、第2軸方向において隣り合わない2つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向に間隔 d_H で配置される。

【0135】

また、3個の送信アンテナ列のうち、残りの第2の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向において、間隔 d_H の (n_s+1) (例えば、 $(n_s$ に1を加えた個数)倍の間隔で分割される2つの領域に配置される。また、第2の送信アンテナ列において、分割された2つの領域の一方に配置されるアンテナ数と、2つの領域の他方に配置されるアンテナ数とはほぼ同じである。例えば、第2の送信アンテナ列において、分割された2つの領域の一方に配置されるアンテナ数(例えば、 $\text{floor}(n_s/2)$ 個)と、2つの領域の他方に配置されるアンテナ数(例えば、 $\text{ceil}(n_s/2)$ 個)とは同じであるか、あるいは、差分が1である。このように、図9Aに示す第2の送信アンテナ列は、第1軸方向において、基本間隔 d_H の (n_s+1) 倍の間隔で対称に近いアンテナ数で分割して配置される。

30

【0136】

また、図9Aに示すように、第2の送信アンテナ列は、 n_s 個の第1の送信アンテナ列及び第3の送信アンテナ列と第1軸方向において重複しない位置(換言すると、異なる位置)に配置される。

40

【0137】

図9Bに示す受信アンテナ202の配置において、受信アンテナ列数は p_r 個である。よって、図9Bに示す受信アンテナ202の総数は $p_r n_s$ 個である。また、各受信アンテナ列に含まれる n_s 個のアンテナのうち、隣り合うアンテナは第1軸方向に d_H 間隔、第2軸方向に d_H 間隔離れて配置される。

【0138】

以下、図9A及び図9Bに示すアンテナ配置の例、及び、送信アンテナ108及び受信

50

アンテナ 2 0 2 によって構成される仮想受信アレーの配置例について説明する。

【 0 1 3 9 】

図 1 0 A は、 $n_s=2$ 、 $p_r=2$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 0 A は、バリエーション 1 のアンテナ配置における最小構成である。

【 0 1 4 0 】

図 1 0 B は、 $n_s=2$ 、 $p_r=4$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 0 B は、図 1 0 A の最小構成から、受信アンテナ 2 0 2 (受信アンテナ列) を第 1 軸方向に拡張した例である。

【 0 1 4 1 】

図 1 0 C は、 $n_s=3$ 、 $p_r=2$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 0 C は、 n_s の値が奇数であり、第 2 の送信アンテナ列が、奇数個 (1 個) のアンテナが配置される領域と、偶数個 (2 個) のアンテナが配置される領域とに分割して配置される例を示す。換言すると、図 1 0 A、図 1 0 B 及び図 1 0 D のように n_s の値が偶数の場合、第 2 の送信アンテナ列は、同数のアンテナが分割して対称的に配置される。

10

【 0 1 4 2 】

図 1 0 D は、 $n_s=4$ 、 $p_r=2$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 0 D は、図 1 0 A の最小構成から、受信アンテナ列に含まれるアンテナ数を増加した例である。

【 0 1 4 3 】

なお、 n_s 及び p_r の値は図 1 0 A ~ 図 1 0 D の例に限らず、他の値でもよい。

【 0 1 4 4 】

ここで、図 1 0 A ~ 図 1 0 D において、例えば、第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列では、第 1 軸方向に n_s 個のアンテナが d_H 間隔で密に配置され、 p_r 個の受信アンテナ列が、第 1 軸方向に $n_s \times d_H$ 間隔で配置される。これにより、図 1 0 A ~ 図 1 0 D に示すアンテナ配置では、仮想受信アレー配置において、第 1 軸方向に d_H 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

20

【 0 1 4 5 】

また、図 1 0 A ~ 図 1 0 D において、例えば、各送信アンテナ列は、第 2 軸方向に $n_s \times d_V$ 間隔で配置され、各受信アンテナ列に含まれる n_s 個のアンテナが、第 2 軸方向に d_V 間隔で配置される。これにより、図 1 0 A ~ 図 1 0 D に示すアンテナ配置では、仮想受信アレー配置において、第 2 軸方向に d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

【 0 1 4 6 】

また、図 1 0 A ~ 図 1 0 D において、送信アンテナ 1 0 8 の第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列は、第 2 軸方向に $2n_s \times d_V$ 間隔離れて配置される。また、第 2 軸方向において、第 1 の送信アンテナ列と第 3 の送信アンテナ列の間には、他のアンテナ (例えば、第 2 の送信アンテナ列のアンテナ) が配置されない。よって、第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列の各アンテナ系統は、第 1 軸方向に d_H 以下の開口長、及び、第 2 軸方向に $2n_s \times d_V$ 以下の開口長で構成可能である。

30

【 0 1 4 7 】

また、図 1 0 A ~ 図 1 0 D において、送信アンテナ 1 0 8 の第 2 のアンテナ列は、第 1 軸方向において他の送信アンテナ列と異なる位置に配置される。換言すると、第 2 軸方向において、第 2 の送信アンテナ列が配置される第 1 軸の座標には、他のアンテナ (例えば、第 1 の送信アンテナ列および第 3 の送信アンテナ列) が配置されない。よって、送信アンテナ 1 0 8 の第 2 のアンテナ列の各アンテナ系統は、第 1 軸方向に d_H 以下の開口長、及び、第 2 軸方向に任意のサイズで構成可能である。

40

【 0 1 4 8 】

また、図 1 0 A ~ 図 1 0 D において、受信アンテナ 2 0 2 の受信アンテナ列に含まれる $n_s \times p_r$ 個のアンテナは、第 1 軸方向において、 d_H 間隔で異なる位置にそれぞれ配置される。換言すると、第 2 軸方向において、受信アンテナ列に含まれる各アンテナが配置される第 1 軸の座標には、他のアンテナが配置されない。よって、受信アンテナ列の各アンテナ系統は、第 1 軸方向に d_H 以下の開口長、及び、第 2 軸方向に任意のサイズで構成可能である。

50

【0149】

例えば、アンテナ1系統は、サブアレーアンテナを用いて構成してもよく、サブアレーアンテナにアレーウェイトをかけてサイドローブを抑制してもよい。

【0150】

一例として、図11Aは、図10Bに示す送信アンテナ108及び受信アンテナ202のアンテナ配置例における配置位置（換言すると、各図の白丸、網掛け丸）をアンテナ1系統の位相中心として、サブアレーアンテナ（例えば、図8の（a）に示す構成）を用いた構成例を示す。

【0151】

図11Aにおいて、送信アンテナ108は、物理的に互いに干渉しないサイズで配置可能である。例えば、Tx1、Tx2、Tx5及びTx6は、第1軸方向に d_H 以下、第2軸方向に $4d_V$ 以下のサイズで構成されてよい。また、図11Aでは、Tx3及びTx4は、他のアンテナ（Tx1、Tx2、Tx5及びTx6）と同様のサイズで構成しているが、これに限らず、第2軸方向において任意のサイズ（例えば、 $5d_V$ 以上のサイズ）で構成されてもよい。

10

【0152】

また、図11Aにおいて、受信アンテナ202は、Tx1、Tx2、Tx5及びTx6と同様のサイズ（例えば、 $4d_V$ ）で構成されるが、これに限らず、物理的に互いに干渉しないサイズで構成されてもよい。

【0153】

他の例として、図11Bに示すように、図11Aに示す送信アンテナ108及び受信アンテナ202のアンテナ配置に対して、更に、無給電素子が配置されてもよい。無給電素子は、例えば、図11Bに示す位置に配置してもよく、これに限らず、各アンテナと物理的に干渉しない位置及びサイズで配置されてもよい。無給電素子が設置されることにより、例えば、アンテナの放射、インピーダンス整合、又は、アイソレーション等の電気的特性の影響を一様化する効果が得られる。

20

【0154】

次に、図12A及び図12Bは、図10Bに示す第1軸方向及び第2軸方向に延在する二次元的な仮想受信アレーを用いたビームフォーマ法によって形成される指向性パターンの一例を示す。図12A及び図12Bは、第1軸方向及び第2軸方向の0度（天頂）方向の指向性パターンの一例であり、到来波が天頂方向から到来した場合と等しい。

30

【0155】

図12Aは、第1軸（例えば、Azimuth）方向及び第2軸（例えば、Elevation）方向における二次元的な指向性パターンを示す。図12Bは、第1軸及び第2軸のそれぞれの軸において縮退させた指向性パターンを示す。ここでは、基本間隔 $d_H=0.5$ 、 $d_V=0.5$ の場合について示すが、 d_H 及び d_V の値はこれらに限らない。

【0156】

また、レーダ装置10は、仮想受信アレーで受信した信号にウェイトをかけてビーム形成してもよい。例えば、図13は、図10Bに示す送信アンテナ108及び受信アンテナ202のアンテナ配置例に対応する仮想受信アレーの受信信号に、テイラー窓に従うウェイトをかけてビームフォーマ法による指向性パターンを構成する例を示す。図13Bは、図13Aに示す構成を用いた場合の第1軸（例えば、Azimuth）及び第2軸（例えば、Elevation）の二次元的な指向性パターンを示す。図13Cは、第1軸及び第2軸のそれぞれの軸において縮退させた指向性パターンを示す。

40

【0157】

図13B及び図13Cに示すように、仮想受信アレーで受信した信号にウェイトをかけることにより、例えば、図12A及び図12Bと比較して、メインローブ幅は太くなるものの、サイドローブレベルを低減できる。

【0158】

<比較例>

図14は、バリエーション1との比較のためのアンテナ配置として、送信アンテナ、受

50

信アンテナ及び仮想受信アレーの一例を示す。図 1 4 では、例えば、図 1 0 B に示すアンテナ配置と比較するため、送信アンテナ及び受信アンテナの素子数を、図 1 0 B に示す送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 の素子数（例えば、 $N_t=6$ 、 $N_a=8$ ）と同数とする。図 1 4 では、送信アンテナは第 2 軸方向に d_V の間隔で等間隔に配置され、受信アンテナは第 1 軸方向に d_H の間隔で等間隔に配置される。よって、図 1 4 に示すように、送信アンテナ及び受信アンテナによって構成される仮想受信アレーは d_H 、 d_V の間隔で等間隔に配置される。

【 0 1 5 9 】

図 1 4 では、各送信アンテナは第 2 軸方向に d_V 間隔で配置されるため、送信アンテナの各アンテナ素子は、第 2 軸方向に d_V 以上にサイズを拡げて構成することは困難である。なお、図 1 4 に示す受信アンテナについては、図 1 0 B と同様に第 2 軸方向に任意のサイズで構成可能である。

10

【 0 1 6 0 】

図 1 5 A 及び図 1 5 B は、図 1 4 に示す第 1 軸方向及び第 2 軸方向に延在する二次元的な仮想受信アレーを用いたビームフォーマ法によって形成される指向性パターンの一例を示す。図 1 5 A 及び図 1 5 B は、第 1 軸方向及び第 2 軸方向の 0 度（天頂）方向の指向性パターンの一例であり、到来波が天頂方向から到来した場合と等しい。

【 0 1 6 1 】

図 1 5 A は、第 1 軸（例えば、Azimuth）方向及び第 2 軸（例えば、Elevation）方向の 2 次元的な指向性パターンを示し、図 1 5 B は第 1 軸及び第 2 軸のそれぞれの軸において縮退させた指向性パターンを示す。ここでは、基本間隔 $d_H=0.5$ 、 $d_V=0.5$ の場合について示す。

20

【 0 1 6 2 】

また、図 1 6 A 及び図 1 6 B は、図 1 2 B に示す指向性パターン（図 1 0 B のアンテナ配置の場合、配置例 1）と、図 1 5 B に示す指向性パターン（比較例）とを重ねて表示した図である。図 1 6 A は、第 1 軸（Azimuth）方向における指向性パターンの比較を示し、図 1 6 B は、第 2 軸（Elevation）方向における指向性パターンの比較を示す。

【 0 1 6 3 】

図 1 6 A に示すように、第 1 軸方向の指向性パターンにおいて、バリエーション 1 の場合（配置例 1）と比較例とで同等のビーム幅である。また、図 1 6 A に示すように、バリエーション 1 では、比較例に比べ、最大サイドロープレベルが 1.8dB 程度低いことが分かる。また、図 1 6 B に示すように、第 2 軸方向の指向性パターンにおいて、バリエーション 1 の場合と比較例とで同等のビーム幅である。また、図 1 6 B に示すように、最大サイドロープレベルは、バリエーション 1 と比較例とでほぼ同じである。

30

【 0 1 6 4 】

バリエーション 1 によれば、仮想受信アレーによる指向性パターン（換言すると、ビーム性能）を劣化させることなく、送信アンテナ 1 0 8 又は受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ 1 系統のサイズを大きくしてアンテナの指向性利得を向上できる。

【 0 1 6 5 】

< バリエーション 2 >

バリエーション 2 は、バリエーション 1 と類似した配置例であり、送信アンテナ 1 0 8 の送信アンテナ列の構成がバリエーション 1 と異なる。

40

【 0 1 6 6 】

バリエーション 2 では、例えば、送信アンテナ 1 0 8 の各送信アンテナ列は n_s 個のアンテナを有する。また、バリエーション 2 では、第 2 軸方向に隣り合う 3 つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向にそれぞれずらして配置される。換言すると、隣り合う 3 つの送信アンテナ列に含まれる各アンテナは、第 1 軸方向において互いに異なる位置に配置される。

【 0 1 6 7 】

図 1 7 は、バリエーション 2 に係る送信アンテナ 1 0 8 の配置例を示す。なお、バリエ

50

ーション 2 における受信アンテナ 2 0 2 の配置については、バリエーション 1 (例えば、図 9 B を参照) と同様である。

【 0 1 6 8 】

送信アンテナ 1 0 8 は、第 2 軸方向に $n_s \times d_V$ 間隔で配置される p_t 個の送信アンテナ列を有する。また、各送信アンテナ列は、第 1 軸方向に配置された n_s 個のアンテナを有する。

【 0 1 6 9 】

また、第 2 軸方向において隣り合う 3 つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向にそれぞれずらして配置される。例えば、各送信アンテナ列は、第 1 軸方向に $p_{tm} n_{s+1}$ の間隔で分割して配置される。例えば、各送信アンテナ列が分割して配置される一方の領域には $\text{floor}(n_s/2)$ 個のアンテナが d_H 毎に配置され、他方の領域には $\text{ceil}(n_s/2)$ 個のアンテナが d_H 毎に配置される。ここで、 $p_{tm}=0 \sim p_r-1$ の整数である。

10

【 0 1 7 0 】

図 1 8 A、図 1 8 B 及び図 1 8 C は、バリエーション 2 に係る送信アンテナ 1 0 8、受信アンテナ 2 0 2、及び、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 によって構成される仮想受信アレーの配置例を示す。

【 0 1 7 1 】

図 1 8 A は、 $n_s=2$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 の送信アンテナ列の $p_{tm}=0$ 、第 2 の送信アンテナ列の $p_{tm}=2$ 、第 3 の送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 8 A に示すように、第 1 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=0$) では、第 1 軸方向に n_s 個のアンテナが d_H 間隔で配置される。また、図 1 8 A に示すように、第 3 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=1$) は、第 1 軸方向において、 $3d_H$ の間隔離れて (換言すると、第 1 の送信アンテナ列の外側に) 配置される。また、第 2 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=2$) は、第 1 軸方向において、 $5d_H$ の間隔離れて (換言すると、第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列の外側に) 配置される。つまり、図 1 8 A の第 2 軸方向に隣り合う 3 つの送信アンテナ列は、第 1 軸方向において、異なる位置に配置されている。

20

【 0 1 7 2 】

図 1 8 B は、 $n_s=2$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、各送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ の場合のアンテナ配置例を示す。図 1 8 B に示すように、第 1 ~ 第 3 の送信アンテナ列は、第 1 軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

【 0 1 7 3 】

図 1 8 C は、 $n_s=3$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 の送信アンテナ列の $p_{tm}=0$ 、第 2 の送信アンテナ列の $p_{tm}=2$ 、第 3 の送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ の場合を示す。図 1 8 C に示すように、第 1 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=0$) では、第 1 軸方向に n_s 個のアンテナが d_H 間隔で配置される。また、図 1 8 C に示すように、第 3 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=1$) は、第 1 軸方向において、 $4d_H$ の間隔離れて (換言すると、第 1 の送信アンテナ列の外側に) 配置される。また、第 2 の送信アンテナ列 ($p_{tm}=2$) は、第 1 軸方向において、 $6d_H$ の間隔離れて (換言すると、第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列の外側に) 配置される。

30

【 0 1 7 4 】

図 1 8 A、図 1 8 B 及び図 1 8 C の何れのアンテナ配置においても、仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

40

【 0 1 7 5 】

また、図 1 8 A、図 1 8 B 及び図 1 8 C では、送信アンテナ 1 0 8 は、互いに物理的に干渉しないサイズで構成されてよい。例えば、図 1 8 A、図 1 8 B 及び図 1 8 C では、各送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向において異なる位置にそれぞれ配置されるので、第 1 軸方向に d_H 以下、第 2 軸方向に任意の大きさで構成可能である。

【 0 1 7 6 】

なお、バリエーション 2 では、第 2 軸方向において、隣り合う 3 つの送信アンテナ列に含まれる各アンテナが第 1 軸方向において互いに異なる位置に配置される場合について説明した。しかし、第 2 軸方向において、各アンテナが第 1 軸方向において互いに異なる位置に配置される、隣り合う送信アンテナ列の数は、3 個に限らず、4 個以上でもよい。

50

【 0 1 7 7 】

< バリエーション 3 >

バリエーション 3 は、バリエーション 2 と類似した配置例であり、送信アンテナ 1 0 8 のアンテナ列の構成がバリエーション 2 と異なる。

【 0 1 7 8 】

バリエーション 3 では、例えば、送信アンテナ 1 0 8 の送信アンテナ列のうち、第 2 軸方向において隣り合う送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸上において互いに異なる位置に配置される。

【 0 1 7 9 】

図 1 9 A、図 1 9 B、図 1 9 C 及び図 1 9 D は、バリエーション 3 に係る送信アンテナ 1 0 8、受信アンテナ 2 0 2 の、及び、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 によって構成される仮想受信アレーの配置例を示す。なお、バリエーション 3 における受信アンテナ 2 0 2 の配置については、バリエーション 1 (例えば、図 9 B を参照) と同様である。

10

【 0 1 8 0 】

図 1 9 A は、 $n_s=2$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ 、第 2 の送信アンテナ列の $p_{tm}=0$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列に含まれるアンテナが第 1 軸上に並んで (換言すると同じ位置に) 配置される場合のアンテナ配置例を示す。図 1 9 A に示すように、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列と、第 2 の送信アンテナ列とは、第 1 軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

20

【 0 1 8 1 】

図 1 9 B は、 $n_s=2$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、各送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列に含まれるアンテナが第 1 軸上に並んで (換言すると同じ位置に) 配置される場合のアンテナ配置例を示す。図 1 9 B に示すように、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列と、第 2 の送信アンテナ列とは、第 1 軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

【 0 1 8 2 】

図 1 9 C は、 $n_s=3$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ 、第 2 の送信アンテナ列の $p_{tm}=0$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列に含まれるアンテナが第 1 軸上に並んで (換言すると同じ位置に) 配置される場合のアンテナ配置例を示す。図 1 9 C に示すように、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列と、第 2 の送信アンテナ列とは、第 1 軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

30

【 0 1 8 3 】

図 1 9 D は、 $n_s=3$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列の $p_{tm}=1$ 、第 2 の送信アンテナ列の $p_{tm}=0$ である場合のアンテナ配置例を示す。図 1 9 D に示すように、第 1 の送信アンテナ列と第 3 の送信アンテナ列とは、第 1 軸においてアンテナの配置を反転させた構成であり、一部のアンテナが第 1 軸上に並んで (換言すると同じ位置に) 配置される。図 1 9 D に示すように、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列と、第 2 の送信アンテナ列とは、第 1 軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

【 0 1 8 4 】

図 1 9 A ~ 図 1 9 D の何れのアンテナ配置においても、仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

40

【 0 1 8 5 】

また、図 1 9 A、図 1 9 B、図 1 9 C 及び図 1 9 D では、送信アンテナ 1 0 8 は、互いに物理的に干渉しないサイズで構成されてよい。例えば、図 1 9 A、図 1 9 B、図 1 9 C 及び図 1 9 D では、第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列に含まれ、第 1 軸方向の同じ位置に配置されるアンテナは、第 1 軸方向に d_H 以下、第 2 軸方向に $2n_s d_V$ 以下の大きさで構成可能である。また、例えば、図 1 9 A、図 1 9 B、図 1 9 C 及び図 1 9 D では、第 2 の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向に d_H 以下、第 2 軸方向に任意の大きさで構成可能である。また、例えば、図 1 9 D では、第 1 の送信アンテナ列及び

50

第3の送信アンテナ列に含まれ、第1軸方向において他のアンテナと異なる位置に配置されるアンテナは、第1軸方向に d_H 以下、第2軸方向に任意の大きさで構成可能である。

【0186】

<バリエーション4>

バリエーション4は、バリエーション3と類似した配置例であり、送信アンテナ108のアンテナ列の構成がバリエーション3と異なる。

【0187】

バリエーション4では、例えば、各送信アンテナ列において、第1軸上に d_H 間隔で配置されるアンテナ（換言すると、密配置されるアンテナ）を含まない。換言すると、バリエーション4では、各送信アンテナ列には、第1軸上において $2d_H$ 間隔以上離れたアンテナ

10

【0188】

また、バリエーション4では、バリエーション3と同様、第2軸方向において隣り合う送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向において互いに異なる位置に配置される。

【0189】

図20A及び図20Bは、バリエーション4に係る送信アンテナ108、受信アンテナ202、及び、送信アンテナ108及び受信アンテナ202によって構成される仮想受信アレーの配置例を示す。なお、バリエーション4における受信アンテナ202の配置については、バリエーション1（例えば、図9Bを参照）と同様である。

20

【0190】

図20Aは、 $n_s=3$ 、 $p_r=4$ 、 $p_t=3$ であり、各送信アンテナ列のアンテナは互いに $2d_H$ の間隔で配置され、第1及び第3のアンテナ列に含まれるアンテナが第1軸上に並んで配置される場合のアンテナ配置例を示す。図20Aに示すように、第1及び第3の送信アンテナ列と、第2の送信アンテナ列とは、第1軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

【0191】

図20Bは $n_s=4$ 、 $p_r=3$ 、 $p_t=3$ であり、各送信アンテナ列のアンテナは互いに、例えば、左側から $2d_H$ 、 $3d_H$ 、 $2d_H$ の間隔で配置され、第1及び第3のアンテナ列のアンテナが第1軸上に並んで配置される場合のアンテナ配置例を示す。図20Bに示すように、第1及び第3の送信アンテナ列と、第2の送信アンテナ列とは、第1軸方向において、互いに異なる位置に配置される。

30

【0192】

図20A及び図20Bの何れのアンテナ配置においても、仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

【0193】

また、図20A及び図20Bでは、送信アンテナ108は、互いに物理的に干渉しないサイズで構成されてよい。例えば、図20A及び図20Bでは、第1の送信アンテナ列及び第3の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向に d_H 以下、第2軸方向に $2n_s d_V$ 以下の大きさで構成可能である。また、例えば、図20A及び図20Bでは、第2の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第1軸方向に d_H 以下、第2軸方向に任意の大きさで構成可能である。

40

【0194】

<バリエーション5>

バリエーション5は、バリエーション2及びバリエーション3と類似した配置例であり、送信アンテナ108のアンテナ列の構成がバリエーション2及びバリエーション3と異なる。

【0195】

バリエーション5では、送信アンテナ108において、各送信アンテナ列を構成するアンテナ数は n_s に限定されない。また、バリエーション5では、各送信アンテナ列の構成は

50

、例えば、バリエーション 1 ~ 4 の何れかと同様である。

【 0 1 9 6 】

例えば、バリエーション 5 では、バリエーション 2 の図 1 7 に示す送信アンテナ列のアンテナ数 (n_s 個) に限定されない。例えば、図 2 1 に示すように、送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向に $p_{tm}n_s+1$ の間隔で離れた領域にそれぞれ配置されてよい。ここで、 $p_{tm}=0 \sim p_r-1$ の整数である。

【 0 1 9 7 】

図 2 2 A ~ 図 2 2 D は、バリエーション 5 に係る送信アンテナ 1 0 8、受信アンテナ 2 0 2、及び、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 によって構成される仮想受信アレーの配置例を示す。なお、バリエーション 5 における受信アンテナ 2 0 2 の配置については、バリエーション 1 (例えば、図 9 B を参照) と同様である。

10

【 0 1 9 8 】

図 2 2 A は $n_s=2$ 、 $p_r=3$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列では 2 個のアンテナが第 1 軸上に d_H 間隔で配置され、第 2 の送信アンテナ列では 4 個の送信アンテナが第 1 軸方向に $p_{tm}n_s+1$ の間隔で分割して配置されている。ここで、 $p_{tm}=2$ である。また、図 2 2 A では、第 1 の送信アンテナ列と第 3 の送信アンテナ列とは第 1 軸上に同じ座標に並んで配置される。

【 0 1 9 9 】

図 2 2 B では、図 2 2 A の各送信アンテナ列と同数のアンテナを有し、バリエーション 2 のように、第 1 軸において、各アンテナがそれぞれ互いに異なる位置に配置される。

20

【 0 2 0 0 】

図 2 2 C は $n_s=3$ 、 $p_r=3$ 、 $p_t=3$ であり、第 1 及び第 3 の送信アンテナ列では 3 個のアンテナが第 1 軸上に $2d_H$ 間隔で配置され、第 2 の送信アンテナ列では、4 個の送信アンテナが第 1 軸方向に $p_{tm}n_s+1$ の間隔で 2 個のアンテナずつ分割して配置されている。ここで、 $p_{tm}=2$ である。また、図 2 2 C では、第 1 の送信アンテナ列と第 2 の送信アンテナ列とは第 1 軸上に同じ座標に並んで配置される。

【 0 2 0 1 】

図 2 2 D では、図 2 2 C の各送信アンテナ列と同数のアンテナ列を有し、バリエーション 2 のように、第 1 軸において、各アンテナがそれぞれ互いに異なる位置に配置される。

【 0 2 0 2 】

図 2 2 A ~ 図 2 2 D の何れのアンテナ配置においても、仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

30

【 0 2 0 3 】

また、図 2 2 A ~ 図 2 2 D では、送信アンテナ 1 0 8 は、互いに物理的に干渉しないサイズで構成されてよい。例えば、図 2 2 A 及び図 2 2 C の第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向に d_H 以下、第 2 軸方向に $2n_s d_V$ 以下の大きさで構成可能である。また、図 2 2 B 及び図 2 2 D の第 1 の送信アンテナ列及び第 3 の送信アンテナ列に含まれるアンテナ、及び、図 2 2 A ~ 図 2 2 D の第 2 の送信アンテナ列に含まれるアンテナは、第 1 軸方向に d_H 以下、第 2 軸方向に任意の大きさで構成可能である。

40

【 0 2 0 4 】

< バリエーション 6 >

バリエーション 6 は、バリエーション 1 ~ 5 と類似した配置例であり、送信アンテナ 1 0 8 の送信アンテナ列数が異なる。

【 0 2 0 5 】

バリエーション 6 では、送信アンテナ 1 0 8 において、送信アンテナ列数 $p_t=3$ の場合について説明する。なお、各送信アンテナ列の構成はバリエーション 1 ~ 5 の何れかと同様である。

【 0 2 0 6 】

一例として、図 2 3 A ~ 図 2 3 C は、図 1 0 B に示すバリエーション 1 の構成に基づい

50

て、送信アンテナ列数 p_t が異なる場合の送信アンテナ108の配置例、及び、仮想受信アレーの配置例を示す。なお、バリエーション6における受信アンテナ202の配置については、バリエーション1（例えば、図9Bを参照）と同様である。

【0207】

図23Aは $p_t=4$ 、図23Bは $p_t=5$ 、図23Cは $p_t=7$ の場合について示す。なお、図23A～図23Cにおいて、各送信アンテナ108は、図10Bに示す送信アンテナ列を繰り返した場合について示している。

【0208】

図23A～図23Cの何れのアンテナ配置においても、仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

【0209】

また、図23A～図23Cでは、第2軸において隣り合う送信アンテナ列に含まれるアンテナが互いに異なる第1軸上に配置される。このため、送信アンテナ108は、第1軸方向に d_H 以下、第2軸方向に $2n_s d_V$ 以下の大きさで構成可能である。

【0210】

バリエーション6によれば、各アンテナの利得を向上しつつ、中央付近が d_H 、 d_V 間隔で配置された仮想受信アレーの配置を第2軸方向に拡張でき、第2軸方向の分解能を向上できる。

【0211】

なお、図23A～図23Cではバリエーション1に関して $p_t=3$ の場合について一例を示したが、これに限定されず、他のバリエーション（例えば、バリエーション2～5の何れか）において $p_t=3$ とした場合も同様の効果が得られる。

【0212】

<バリエーション7>

バリエーション7では、バリエーション1～6に係るアンテナ配置の送信アンテナ108を1つの「送信アンテナ群」とし、バリエーション1～6に係るアンテナ配置の受信アンテナ202を1つの「受信アンテナ群」とする。

【0213】

バリエーション7では、例えば、送信アンテナ群及び受信アンテナ群の何れか、又は、その両方を複数備える場合について説明する。

【0214】

バリエーション7によれば、他のバリエーション（例えば、バリエーション1～6の何れか）と同様に、各アンテナを物理的に干渉しないサイズに拡大し、アンテナ利得を向上しつつ、多数の送信アンテナ群又は受信アンテナ群を用いることで、仮想受信アレーの開口長を拡大し、分解能を向上できる。

【0215】

一例として、図24Aは、図10Bに示すバリエーション1のアンテナ配置の構成に基づいて、複数の送信アンテナ群が配置される例を示す。また、図24Bは、図10Bに示すバリエーション1のアンテナ配置の構成に基づいて、複数の受信アンテナ群が配置される例を示す。また、図24Cは、図24Aに示す送信アンテナ108及び図24Bに示す受信アンテナ202によって構成される仮想受信アレーの配置例を示す。

【0216】

ここで、図24Aに示す送信アンテナ群の第1軸方向の開口長を D_{t1} 、第2軸方向の開口長を D_{t2} 、図24Bに示す受信アンテナ群の第1軸方向の開口長を D_{r1} 、第2軸方向の開口長を D_{r2} とする。

【0217】

また、図24Aにおいて、第1の送信アンテナ群、及び、第2の送信アンテナ群のある基準点（例えば、各送信アンテナ群内の対応するアンテナの位置）は、第1軸方向に $D_{r1}+1$ の間隔で配置される。また、図24Bにおいて、第1の受信アンテナ群、及び、第2の受信アンテナ群のある基準点（例えば、各受信アンテナ群内の対応するアンテナの位置）

10

20

30

40

50

は、第 2 軸方向に $D_{t2}+D_{r2}+1$ の間隔で配置される。

【 0 2 1 8 】

これによって、図 2 4 C に示す仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

【 0 2 1 9 】

同様に、他の例として、図 2 5 A は、図 1 0 A に示すバリエーション 1 のアンテナ配置の構成に基づいて、複数の送信アンテナ群が配置される例を示す。また、図 2 5 B は、図 1 0 A に示すバリエーション 1 のアンテナ配置の構成に基づいて、複数の受信アンテナ群が配置される例を示す。図 2 5 B では、4 つの受信アンテナ群を有する。また、図 2 5 C は、図 2 5 A に示す送信アンテナ 1 0 8 及び図 2 5 B に示す受信アンテナ 2 0 2 によって

10

【 0 2 2 0 】

ここで、図 2 5 A に示す送信アンテナ群の第 1 軸方向の開口長を D_{t1} 、第 2 軸方向の開口長を D_{t2} 、図 2 5 B に示す受信アンテナ群の第 1 軸方向の開口長を D_{r1} 、第 2 軸方向の開口長を D_{r2} とする。

【 0 2 2 1 】

また、図 2 5 A において、第 1 の送信アンテナ群、及び、第 2 の送信アンテナ群のある基準点は、第 1 軸方向に $D_{r1}+1$ の間隔で配置される。また、図 2 5 A において、第 1 の送信アンテナ群及び第 2 の送信アンテナ群の全体の開口長を D_{tg1} とする。

【 0 2 2 2 】

また、図 2 5 B において、第 1 及び第 3 の受信アンテナ群、及び、第 2 及び第 4 の受信アンテナ群のある基準点は、第 2 軸方向に $D_{t2}+D_{r2}+1$ の間隔で配置される。また、図 2 5 B において、第 1 及び第 2 の受信アンテナ群、及び、第 3 及び第 4 の受信アンテナ群のある基準点は、第 1 軸方向に $D_{tg1}+1$ の間隔で配置される。

20

【 0 2 2 3 】

これによって、図 2 5 C に示す仮想受信アレー配置の中央付近において、 d_H 、 d_V 間隔で仮想アンテナ素子を密配置できる。

【 0 2 2 4 】

なお、ここでは、バリエーション 1 のアンテナ配置に基づいて、送信アンテナ群又は受信アンテナ群を複数備える場合について説明したが、これに限定されず、他のバリエーション（例えば、バリエーション 2 ~ 6 の何れか）に基づいて、送信アンテナ群又は受信アンテナ群を複数備える場合についても同様の効果が得られる。また、送信アンテナ群及び受信アンテナ群の間隔についても上述した例に限定されない。

30

【 0 2 2 5 】

以上、バリエーション 1 ~ 7 について説明した。

【 0 2 2 6 】

このように、本実施の形態では、上述した送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ配置によって、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 によって構成される仮想受信アレーにおいて、仮想アンテナ素子が密配置される。よって、本実施の形態によれば、仮想受信アレーの開口長を拡大しつつ、不要なグレーティングローブの発生を防止できる。これにより、レーダ装置 1 0 は、誤検出の確率を低減し、所望の指向性パターンを形成できる。

40

【 0 2 2 7 】

また、本実施の形態では、上述した送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 のアンテナ配置によって、送信アンテナ素子及び受信アンテナ素子の少なくとも 1 つを、サブアレー素子を用いて構成できる。これにより、送信アンテナ 1 0 8 又は受信アンテナ 2 0 2 の指向性利得を向上できる。

【 0 2 2 8 】

換言すると、本実施の形態によれば、仮想受信アレーにおいてグレーティングローブの発生を防止でき、かつ、送信アンテナ 1 0 8 及び受信アンテナ 2 0 2 においてサブアレー

50

構成を可能とする。よって、本実施の形態によれば、レーダ装置 10 における検出性能を向上できる。

【0229】

なお、図 22A、図 22C のように、第 1 の送信アンテナ列と第 3 の送信アンテナ列が同じ配置パターンである場合は、第 1 の送信アンテナ列（第 3 の送信アンテナ列）、第 2 の送信アンテナ列、の 2 列を 1 つのセットとして繰り返して配置することができる。

【0230】

また、図 22B、図 22D のように、第 1 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、および、第 3 の送信アンテナ列の全てが異なる配置パターンである場合、第 1 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、第 3 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、第 1 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、 \dots 、というように、第 1 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、第 3 の送信アンテナ列、第 2 の送信アンテナ列、の 4 列を 1 つのセットとして繰り返し配置することができる。

10

【0231】

（実施の形態 2）

本実施の形態に係るレーダ装置は、実施の形態 1 に係るレーダ装置 10 と基本構成が共通するので、図 1B を援用して説明する。

【0232】

実施の形態 1 では、到来方向推定の性能劣化を抑制して、送信アンテナ 108 及び受信アンテナ 202 の利得を向上可能なアンテナ配置の構成について例示した。本実施の形態では、レーダ装置 10（例えば、レーダ送信部 100）が、送信アンテナ 108（例えば、送信アンテナ列又は送信アンテナ群）に含まれる複数のアンテナを用いて送信ビーム（例えば、送信ビームの指向性）を制御する場合について説明する。

20

【0233】

複数の送信アンテナ 108 によってビームを形成する場合、レーダ装置 10 は、複数の送信アンテナ 108 に対して、位相及び電力を制御して給電し、1 つの送信アンテナとして使用可能である。これによって、レーダ装置 10 は、送信ビームの指向性を制御でき、複数の送信アンテナ 108 を高利得アンテナとして使用できる。

【0234】

したがって、本実施の形態によれば、複数の送信アンテナ 108 からそれぞれ独立に信号を分割（分離）して送信した場合と比較して、長距離（換言すると、遠距離）の検知に適した構成となる。なお、ここでの分割（分離）とは、MIMOレーダでは複数の送信信号を時分割、符号分割、周波数分割などで分割して複数の信号として扱うことができることを意図している。

30

【0235】

レーダ装置 10 における N_t 個の送信アンテナ 108 及び N_a 個の受信アンテナ 202 の配置、及び、制御方法の一例について、以下に説明する。

【0236】

例えば、実施の形態 1 のパリエーション 1 の図 10B に示すアンテナ配置において、図 11 に示すようにサブアレーアンテナ素子を含む送信アンテナ 108 が配置される場合について説明する。

40

【0237】

例えば、レーダ装置 10 は、図 11 に示す送信アンテナ 108 の Tx1 ~ Tx6 に対して、位相及び電力を制御して同時に給電し、図 26A に示すように、1 つの送信アンテナとして取り扱うことができる。

【0238】

例えば、受信アンテナ 202 が図 10B と同様のアンテナ配置の場合、図 10B の仮想受信アレー配置と異なり、図 26A に示す仮想受信アレー構成となる。なお、図 26A の受信仮想アレー配置は、アンテナの位相中心を示している。

【0239】

50

また、送信アンテナ 108 は、複数のサブアレーが合成されて、図 26 A の上段の送信アンテナ配置に示す位相中心(1点)となる。なお、図 26 A に示す仮想受信アレーの形成において、送信アンテナのサブアレーの大きさではなく、位相中心の配置に依存するので、図 10 B の受信アンテナ配置を広げなくとも、送信アンテナ 1 個 × 受信アンテナ 8 個で図 26 A の下段に示す仮想受信アレーを形成することができる。

【0240】

これによって、レーダ装置 10 は、送信ビームの指向性を制御でき、第 1 軸方向及び第 2 軸方向のビーム幅を狭め、指向性利得を向上できる。図 26 A の例では、送信アンテナ 108 からそれぞれ独立に信号を分割(分離)して送信される場合と比較して、広角の方向に不要放射を減らせるので、長距離の検知に適した構成である。また、図 26 A に示す仮想受信アレーの開口長は、第 1 軸方向に広く、第 2 軸方向に狭いため、第 1 軸方向に分解能を有するアンテナである。なお、ビーム形成(合成)とは、複数のTxのビームを合成して送信することを意図する。

10

【0241】

次に、実施の形態 1 のバリエーション 7 のように、送信アンテナ群を複数用いる場合について説明する。

【0242】

図 26 B は、例えば、図 26 A に示す送信アンテナを 1 つの送信アンテナ群として、2 つの送信アンテナ群を備える例を示す。図 26 B において、送信アンテナ群は第 1 軸方向にそれぞれの基準点から $D_{r1}+1$ の間隔で配置される。

20

【0243】

例えば、レーダ装置 10 は、送信アンテナ群に含まれる複数のアンテナを用いて、送信アンテナ群毎の送信ビームの指向性を制御し、第 1 の送信アンテナ群及び第 2 の送信アンテナ群の各々を 2 つの送信アンテナとして信号を独立に(換言すると、分割して)扱う。これにより、指向性利得を向上できる。

【0244】

例えば、受信アンテナ 202 が図 10 B と同様のアンテナ配置である場合、図 26 B に示すような仮想受信アレーの構成となる。

【0245】

また、レーダ装置 10 は、送信ビームの指向性を走査してもよい。例えば、レーダ装置 10 は、各送信アンテナ 108 に対する位相及び電力を制御しつつ給電し、送信ビームを第 1 軸上に走査し、送信領域毎に信号を送信する。この際、レーダ装置 10 は、送信領域の異なる送信ビームを、時間又は符号によって分割し、異なる送信領域のアレー方向ベクトルを用いてそれぞれ独立に到来方向推定を行ってもよい。

30

【0246】

また、ここでは、送信アンテナ群毎に送信ビームの指向性を制御する場合について説明したが、アンテナ配置はこれに限らず、実施の形態 1 のバリエーション 1 ~ 7 の何れかのアンテナ配置が適用されてよい。

【0247】

また、レーダ装置 10 は、送信アンテナ 108 の指向性を制御するビームフォーミング動作(又はモード)と、送信アンテナ 108 からそれぞれ独立に信号を送信する動作(又はモード)との間で切り替えて制御してもよい。例えば、図 26 A 又は図 26 B に示すアンテナ配置において、複数の送信アンテナ 108 から信号を独立に送信する場合は、より短距離(又は近距離)及びより広角な検知に適している。一方、ビームフォーミング動作の場合は、より長距離(又は遠距離)及びより狭角な検知に適している。そのため、レーダ装置 10 は、レーダを用いるシーンに応じて動作モードを切り替えてよい。または、レーダ動作の 1 フレーム中に複数の動作モードが含まれてもよい。

40

【0248】

(実施の形態 3)

本開示の一態様に係るレーダ装置の構成は、図 1 B に示す構成に限定されない。例えば

50

、図 27 に示すレーダ装置 10 a の構成を用いてもよい。なお、図 27 において、レーダ受信部 200 の構成は、図 1 B と同様であるので詳細な構成を省略している。

【0249】

図 1 に示すレーダ装置 10 では、レーダ送信部 100 において、送信切替部 106 によって、レーダ送信信号生成部 101 からの出力を複数の送信無線部 107 の何れか一つに選択的に切り替える。これに対して、図 27 に示すレーダ装置 10 a では、レーダ送信部 100 a において、レーダ送信信号生成部 101 からの出力（レーダ送信信号）は、送信無線部 107 a によって送信無線処理を施され、送信切替部 106 a によって、送信無線部 107 a の出力を複数の送信アンテナ 108 の何れか一つに選択的に切り替える。

【0250】

図 27 に示すレーダ装置 10 a の構成でも、実施の形態 1 及び 2 と同様の効果が得られる。

【0251】

（実施の形態 4）

実施の形態 1 ~ 3 の各々では、レーダ送信部 100（又はレーダ送信部 100 a）において、パルス列を位相変調又は振幅変調して送信するパルス圧縮レーダを用いる場合について説明したが、変調方式はこれに限定されない。例えば、本開示は、チャープ（chirp）パルスのような周波数変調したパルス波を用いたレーダ方式についても適用可能である。

【0252】

図 28 は、チャープパルス（例えば、fast chirp modulation）を用いたレーダ方式を適用した場合のレーダ装置 10 b の構成図の一例を示す。なお、図 28 において、図 1 B と同様の構成には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0253】

まず、レーダ送信部 100 b における送信処理について説明する。

【0254】

レーダ送信部 100 b において、レーダ送信信号生成部 401 は、変調信号発生部 402 及び VCO（Voltage Controlled Oscillator）403 を有する。

【0255】

変調信号発生部 402 は、例えば、図 29 に示すように、のこぎり歯形状の変調信号を周期的に発生させる。ここで、レーダ送信周期を T_r とする。

【0256】

VCO 403 は、変調信号発生部 402 から出力されるレーダ送信信号に基づいて、周波数変調信号（換言すると、周波数チャープ信号）を送信無線部 107 へ出力する。周波数変調信号は、送信無線部 107 において増幅され、送信切替部 106 において切り替えられた送信アンテナ 108 から空間に放射される。例えば、第 1 の送信アンテナ 108 から第 N_t の送信アンテナ 108 の各々において、レーダ送信信号は $N_p (= N_t \times T_r)$ 周期の送信間隔で送信される。

【0257】

方向性結合部 404 は、周波数変調信号の一部の信号を取り出して、レーダ受信部 200 b の各受信無線部 501（ミキサ部 502）に出力する。

【0258】

次に、レーダ受信部 200 b における受信処理について説明する。

【0259】

レーダ受信部 200 b の受信無線部 501 は、ミキサ部 502 において、受信した反射波信号に対して、送信信号である周波数変調信号（方向性結合部 404 から入力される信号）をミキシングし、LPF 503 を通過させる。これにより、反射波信号の遅延時間に応じた周波数となるビート信号が取り出される。例えば、図 29 に示すように、送信信号（送信周波数変調波）の周波数と、受信信号（受信周波数変調波）の周波数との差分周波数がビート周波数として得られる。

【0260】

10

20

30

40

50

L P F 5 0 3 から出力された信号は、信号処理部 2 0 7 b において、A / D 変換部 2 0 8 b によって離散サンプルデータに変換される。

【 0 2 6 1 】

R - F F T 部 5 0 4 は、送信周期 T_r 毎に、所定の時間範囲（レンジゲート）において得られた N_{data} 個の離散サンプルデータを F F T 処理する。これにより、信号処理部 2 0 7 b では、反射波信号（レーダ反射波）の遅延時間に応じたビート周波数にピークが現れる周波数スペクトラムが出力される。なお、F F T 処理の際、R - F F T 部 5 0 4 は、例えば、Han 窓又は Hamming 窓等の窓関数係数を乗算してもよい。窓関数係数を用いることにより、ビート周波数ピーク周辺に発生するサイドローブを抑圧できる。

【 0 2 6 2 】

ここで、第 M 番目のチャープパルス送信によって得られる、第 z 番目の信号処理部 2 0 7 b の R - F F T 部 5 0 4 から出力されるビート周波数スペクトラム応答を $AC_RFT_z(f_b, M)$ で表す。ここで、 f_b は F F T のインデックス番号（ピン番号）であり、 $f_b = 0, \dots, N_{data}/2$ である。周波数インデックス f_b が小さいほど、反射波信号の遅延時間が小さい（換言すると、物標との距離が近い）ビート周波数を示す。

【 0 2 6 3 】

第 z 番目の信号処理部 2 0 7 b における出力切替部 2 1 1 は、例えば、実施の形態 1 と同様、切替制御部 1 0 5 から入力される切替制御信号に基づいて、レーダ送信周期 T_r 毎の R - F F T 部 5 0 4 の出力を、 N_t 個のドップラ解析部 2 1 2 のうちのの一つに選択的に切り替えて出力する。

【 0 2 6 4 】

以下、一例として、第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ における切替制御信号を N_t ビットの情報 $[bit_1(M), bit_2(M), \dots, bit_{N_t}(M)]$ で表す。例えば、第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ の切替制御信号において、第 ND 番目のビット $bit_{ND}(M)$ （ただし、 $ND=1 \sim N_t$ の何れか）が ' 1 ' である場合、出力切替部 2 1 1 は、第 ND 番目のドップラ解析部 2 1 2 を選択（換言すると ON）する。一方、第 M 番目のレーダ送信周期 $T_r[M]$ の切替制御信号において、第 ND 番目のビット $bit_{ND}(M)$ が ' 0 ' である場合、出力切替部 2 1 1 は、第 ND 番目のドップラ解析部 2 1 2 を非選択（換言すると OFF）とする。出力切替部 2 1 1 は、選択したドップラ解析部 2 1 2 に対して、R - F F T 部 5 0 4 から入力される信号を出力する。

【 0 2 6 5 】

上記のように、各ドップラ解析部 2 1 2 の選択は、 $N_p (= N_t \times T_r)$ 周期で順次 ON となる。切替制御信号は、上記内容を N_c 回繰り返す。

【 0 2 6 6 】

なお、各送信無線部 1 0 7 における送信信号の送信開始時刻は、周期 T_r に同期させなくてもよい。例えば、各送信無線部 1 0 7 では、送信開始時刻に異なる送信遅延 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_t}$ を設けて、レーダ送信信号の送信を開始してもよい。

【 0 2 6 7 】

第 z ($z=1, \dots, N_a$) 番目の信号処理部 2 0 7 b は、 N_t 個のドップラ解析部 2 1 2 を有する。

【 0 2 6 8 】

ドップラ解析部 2 1 2 は、出力切替部 2 1 1 からの出力に対して、ビート周波数インデックス f_b 毎にドップラ解析を行う。

【 0 2 6 9 】

例えば、 N_c が 2 のべき乗値である場合、ドップラ解析において高速フーリエ変換（F F T : Fast Fourier Transform）処理を適用できる。

【 0 2 7 0 】

第 z 番目の信号処理部 2 0 7 b の第 ND 番目のドップラ解析部 2 1 2 における第 w 番目の出力は、次式に示すように、ビート周波数インデックス f_b におけるドップラ周波数インデックス f_u のドップラ周波数応答 $FT_CI_z^{(ND)}(f_b, f_u, w)$ を示す。なお、 $ND=1 \sim N_t$ であり、 $ND=1 \sim N_t$ であり、 w は 1 以上の整数である。また、 j は虚数単位であり、 $z=1 \sim N_a$ であ

10

20

30

40

50

る。

【数 2 0】

$$\begin{aligned}
 & FT_CI_z^{(ND)}(f_b, f_u, w) \\
 &= \sum_{q=0}^{N_c N_t - 1} bit_{N_D}(q+1) AC_RFT_z(f_b, N_t N_c (w-1) + q+1) \exp\left[-j \frac{2\pi \left\lfloor \frac{q}{N_t} \right\rfloor f_u}{N_c}\right]
 \end{aligned} \tag{20}$$

10

【0 2 7 1】

信号処理部 2 0 7 b 以降の信号補正部 2 1 3、CFAR部 2 1 3 及び方向推定部 2 1 4 の処理は、例えば、実施の形態 1 で説明した離散時刻 k をビート周波数インデックス f b で置き換えた動作となるので、詳細な説明を省略する。

【0 2 7 2】

以上の構成及び動作により、本実施の形態でも、実施の形態 1 ~ 3 の各々と同様の効果が得られる。

【0 2 7 3】

また、上述したビート周波数インデックス f b は、距離情報に変換して出力されてもよい。ビート周波数インデックス f b を距離情報 R(fb) に変換するには次式を用いればよい。ここで、Bw は周波数変調して生成される周波数チャープ信号の周波数変調帯域幅を表し、C₀ は光速度を表す。

20

【数 2 1】

$$R(fb) = \frac{C_0}{2B_w} f_b \tag{21}$$

【0 2 7 4】

以上、本開示の一実施例に係る実施の形態について説明した。

30

【0 2 7 5】

なお、上記実施の形態、及び、各バリエーションに係る動作を適宜組み合わせて実施してもよい。

【0 2 7 6】

また、上記実施の形態では、一例として、基本間隔 d_H=0.5、d_V=0.5 の場合について説明したが、これらの値に限定されない。例えば、基本間隔 d_H 及び d_V は、0.5 波長以上、かつ、1 波長以下の値でもよい。

【0 2 7 7】

また、レーダ装置 1 0、1 0 a、1 0 b (例えば、図 1 B、図 2 7、図 2 8 を参照) において、レーダ送信部 1 0 0 及びレーダ受信部 2 0 0 は、物理的に離れた場所に個別に配置されてもよい。また、レーダ受信部 2 0 0 (例えば、図 1 B、図 2 7、図 2 8 を参照) において、方向推定部 2 1 4 と、他の構成部とは、物理的に離れた場所に個別に配置されてもよい。

40

【0 2 7 8】

レーダ装置 1 0 は、図示しないが、例えば、CPU (Central Processing Unit)、制御プログラムを格納した ROM (Read Only Memory) 等の記録媒体、および RAM (Random Access Memory) 等の作業用メモリを有する。この場合、上記した各部の機能は、CPU が制御プログラムを実行することにより実現される。但し、レーダ装置 1 0 のハードウェア構成は、かかる例に限定されない。例えば、レーダ装置 1 0 の各機能部は、集積回路である IC (Integrated Circuit) として実現されてもよい。各機能部は、個別に

50

1チップ化されてもよいし、その一部または全部を含むように1チップ化されてもよい。

【0279】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。また、開示の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

【0280】

上記各実施形態では、本開示はハードウェアを用いて構成する例にとって説明したが、本開示はハードウェアとの連携においてソフトウェアでも実現することも可能である。

【0281】

また、上記各実施形態の説明に用いた各機能ブロックは、典型的には集積回路であるLSIとして実現される。集積回路は、上記実施の形態の説明に用いた各機能ブロックを制御し、入力端子と出力端子を備えてもよい。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部または全てを含むように1チップ化されてもよい。ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。

【0282】

また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路または汎用プロセッサを用いて実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA(Field Programmable Gate Array)、LSI内部の回路セルの接続又は設定を再構成可能なりコンフィギュラブルプロセッサ(Reconfigurable Processor)を利用してもよい。

【0283】

さらには、半導体技術の進歩又は派生する別技術により、LSIに置き換わる集積回路化の技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックを集積化してもよい。バイオ技術の適用等が可能性としてありえる。

【0284】

以上の説明において、各構成要素に用いる「・・・部」という表記は、「・・・回路(circuitry)」、「・・・デバイス」、「・・・ユニット」、又は、「・・・モジュール」といった他の表記に置換されてもよい。

【0285】

<本開示のまとめ>

本開示の一実施例に係るレーダ装置は、送信アレーアンテナを用いて、レーダ信号を送信するレーダ送信部と、受信アレーアンテナを用いて、前記レーダ信号がターゲットにおいて反射された反射波信号を受信するレーダ受信部と、を具備し、前記送信アレーアンテナ及び前記受信アレーアンテナは第1軸及び第2軸による2次元平面上に配置され、前記受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ列を含み、各受信アンテナ列のそれぞれは第1の個数のアンテナを含み、前記各受信アンテナ列のそれぞれに含まれる前記第1の個数のアンテナのうち、隣り合うアンテナは前記第1軸方向に第1の間隔、前記第2軸方向に第2の間隔離れて配置され、前記送信アレーアンテナは、前記第2軸方向に、前記第2の間隔の前記第1の個数倍の間隔で配置された複数の送信アンテナ列を含み、各送信アンテナ列のそれぞれは複数のアンテナを含み、前記各送信アンテナ列のそれぞれに含まれる前記複数のアンテナは、前記第2軸方向について同じ位置、及び、前記第1軸方向について異なる位置にそれぞれ配置され、前記第2軸方向において隣り合う前記送信アンテナ列に含まれるアンテナは、前記第1軸方向において異なる位置に配置される。

【0286】

本開示の一実施例において、前記送信アレーアンテナにおいて、前記第2軸方向において隣り合う前記送信アンテナ列を含む前記第2軸方向に隣り合う3つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、前記第1軸方向において異なる位置にそれぞれ配置される。

【0287】

10

20

30

40

50

本開示の一実施例において、前記複数の送信アンテナ列の各々は、少なくとも、前記第1軸方向に前記第1の間隔で配置される2つ以上のアンテナを含む。

【0288】

本開示の一実施例において、前記送信アレーアンテナは、3つ以上の前記送信アンテナ列を含み、前記3つ以上の送信アンテナ列のうち、前記第2軸方向において隣り合わない2つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、前記第1軸方向に前記第1の間隔で配置され、前記3つ以上の送信アンテナ列のうち、残りの1つの送信アンテナ列に含まれるアンテナは、前記第1軸方向において、前記第1の間隔に、前記第1の個数に1を加えた個数倍を乗算した間隔で分割される2つの領域の少なくとも1つの領域において前記第1の間隔で配置される。

10

【0289】

本開示の一実施例において、前記2つの領域の一方に配置されるアンテナ数と、前記2つの領域の他方に配置されるアンテナ数とは同じであるか、あるいは、差分が1である。

【0290】

本開示の一実施例において、前記第2軸方向に配置された前記複数の送信アンテナ列は1つの送信アンテナ群を構成し、前記送信アレーアンテナは、前記第1軸方向に配置された複数の前記送信アンテナ群を有する。

【0291】

本開示の一実施例において、前記第1軸方向に配置された前記複数の受信アンテナ列は1つの受信アンテナ群を構成し、前記受信アレーアンテナは、複数の前記受信アンテナ群を有する。

20

【0292】

本開示の一実施例において、前記レーダ送信部は、前記送信アレーアンテナを用いて送信ビームを制御する。

【0293】

本開示の一実施例において、前記第1の間隔及び前記第2の間隔は、0.5波長以上、かつ、1波長以下の値である。

【0294】

本開示の一実施例において、前記送信アンテナ及び前記受信アンテナの少なくとも1つは、複数のサブアレー素子を含む。

30

【0295】

本開示の一実施例に係る送受信アレーアンテナは、送信アレーアンテナと、受信アレーアンテナと、を具備し、前記送信アレーアンテナ及び前記受信アレーアンテナは第1軸及び第2軸による2次元平面上に配置され、前記受信アレーアンテナは、複数の受信アンテナ列を含み、各受信アンテナ列のそれぞれは第1の個数のアンテナを含み、前記各受信アンテナ列のそれぞれに含まれる前記第1の個数のアンテナのうち、隣り合うアンテナは前記第1軸方向に第1の間隔、前記第2軸方向に第2の間隔離れて配置され、前記送信アレーアンテナは、前記第2軸方向に、前記第2の間隔の前記第1の個数倍の間隔で配置された複数の送信アンテナ列を含み、各送信アンテナ列のそれぞれは複数のアンテナを含み、前記各送信アンテナ列のそれぞれに含まれる前記複数のアンテナは、前記第2軸方向について同じ位置、及び、前記第1軸方向について異なる位置にそれぞれ配置され、前記第2軸方向において隣り合う前記送信アンテナ列に含まれるアンテナは、前記第1軸方向において異なる位置に配置される。

40

【産業上の利用可能性】

【0296】

本開示は、広角範囲を検知するレーダ装置として好適である。

【符号の説明】

【0297】

10, 10b レーダ装置

100, 100a, 100b レーダ送信部

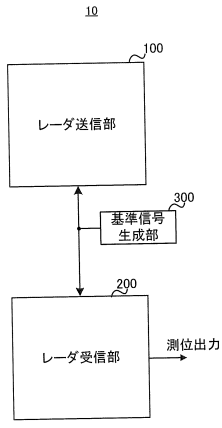
50

2 0 0 , 2 0 0 b	レーダ受信部	
3 0 0	基準信号生成部	
1 0 1 , 1 0 1 a , 4 0 1	レーダ送信信号生成部	
1 0 2	符号生成部	
1 0 3	変調部	
1 0 4 , 5 0 3	L P F	
1 0 5	切替制御部	
1 0 6 , 1 0 6 a	送信切替部	
1 0 7 , 1 0 7 a	送信無線部	
1 0 8	送信アンテナ	10
1 1 1	符号記憶部	
1 1 2	D A 変換部	
2 0 1	アンテナ系統処理部	
2 0 2	受信アンテナ	
2 0 3 , 5 0 1	受信無線部	
2 0 4	増幅器	
2 0 5	周波数変換器	
2 0 6	直交検波器	
2 0 7 , 2 0 7 b	信号処理部	
2 0 8 , 2 0 8 b , 2 0 9	A D 変換部	20
2 1 0	相関演算部	
2 1 1	出力切替部	
2 1 2	ドップラ解析部	
2 1 3	C F A R 部	
2 1 4	方向推定部	
4 0 2	変調信号発生部	
4 0 3	V C O	
4 0 4	方向性結合部	
5 0 2	ミキサ部	30

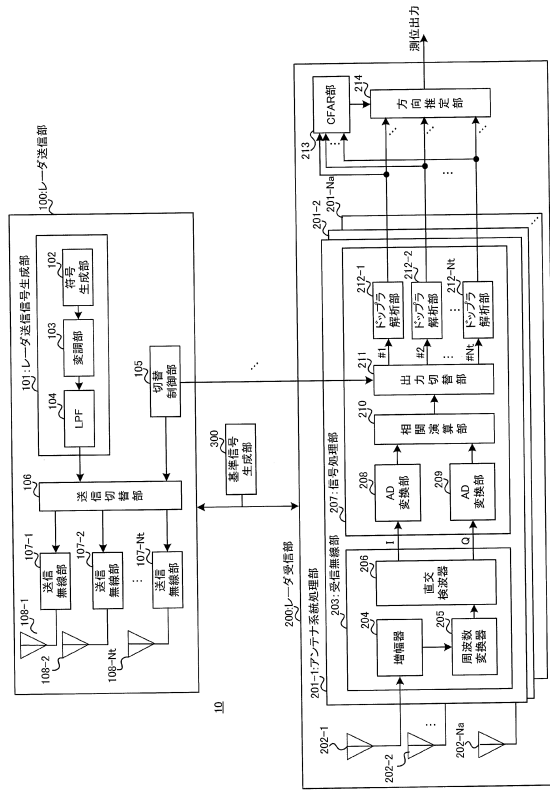
40

50

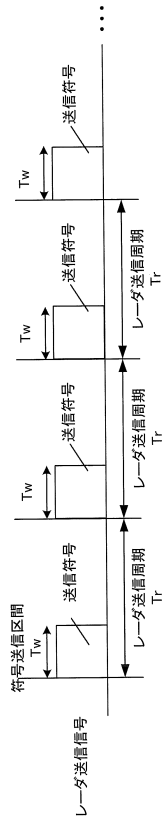
【図面】
【図 1 A】



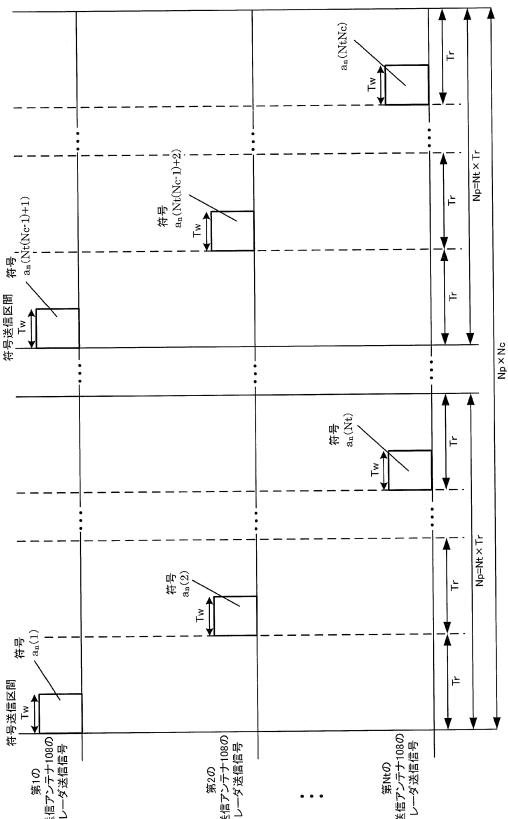
【図 1 B】



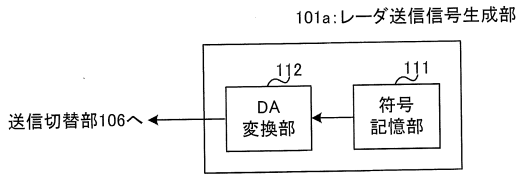
【図 2】



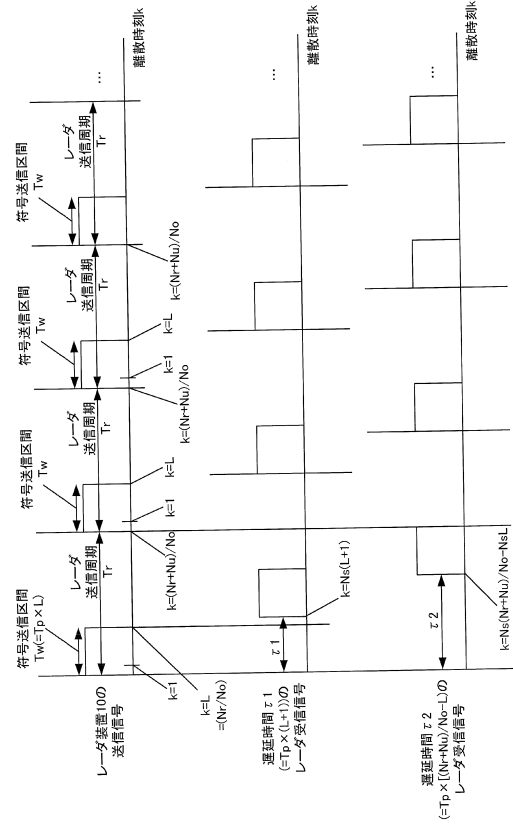
【図 3】



【図 4】



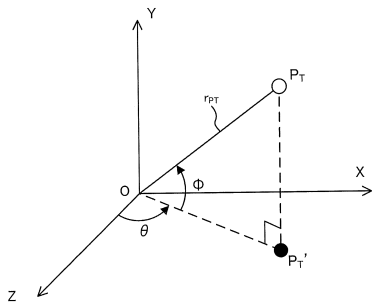
【図 5】



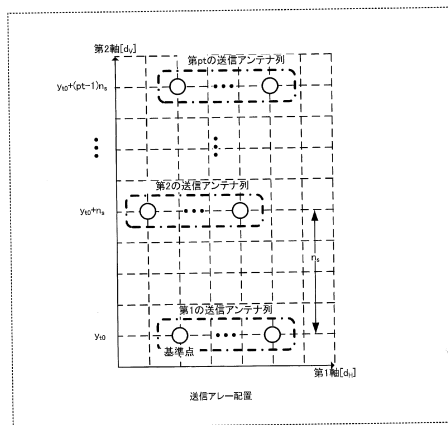
10

20

【図 6】



【図 7 A】

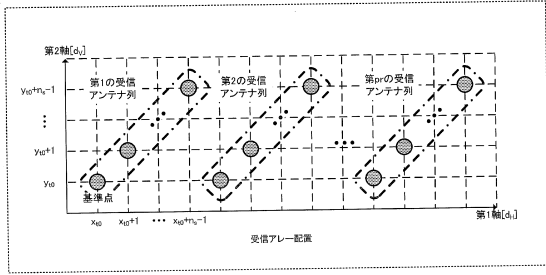


30

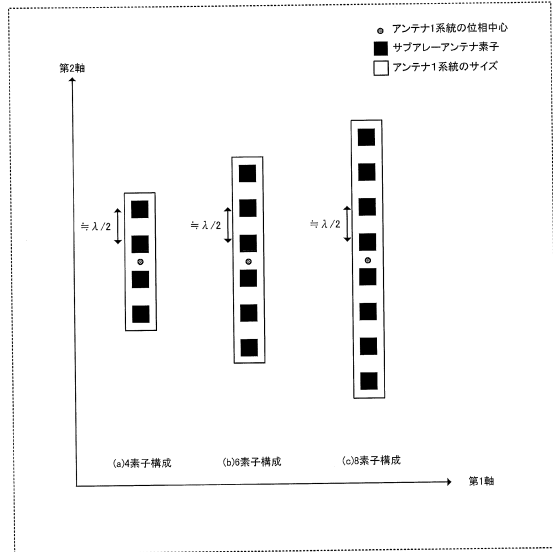
40

50

【図 7 B】



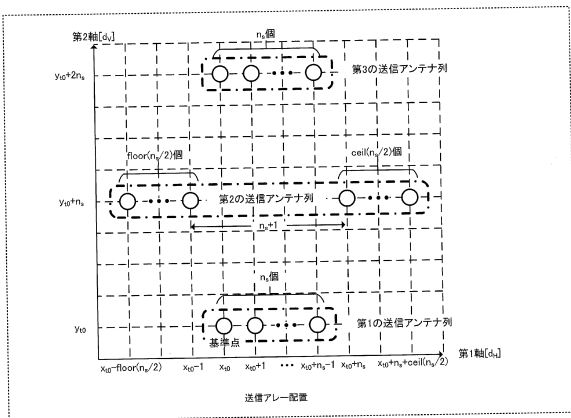
【図 8】



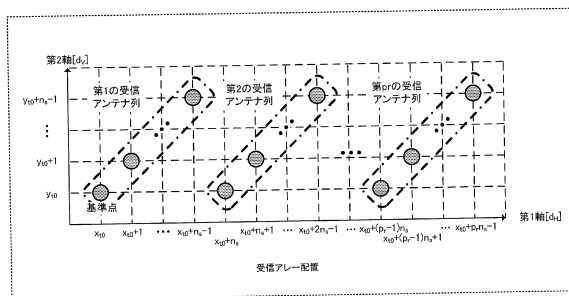
10

20

【図 9 A】



【図 9 B】

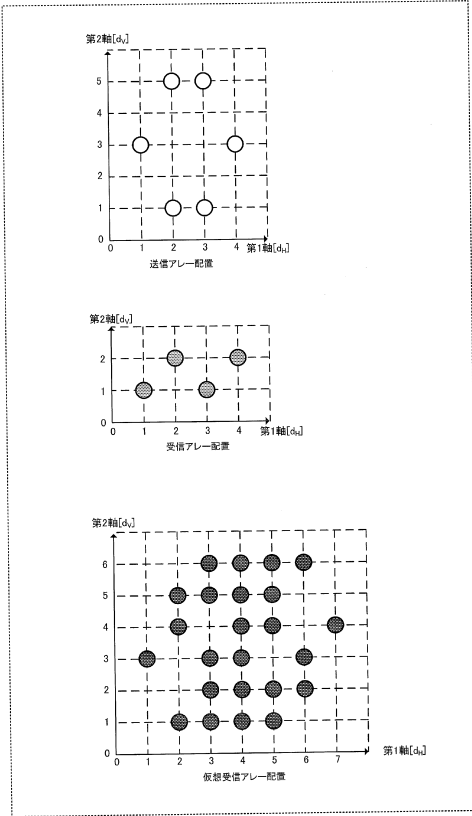


30

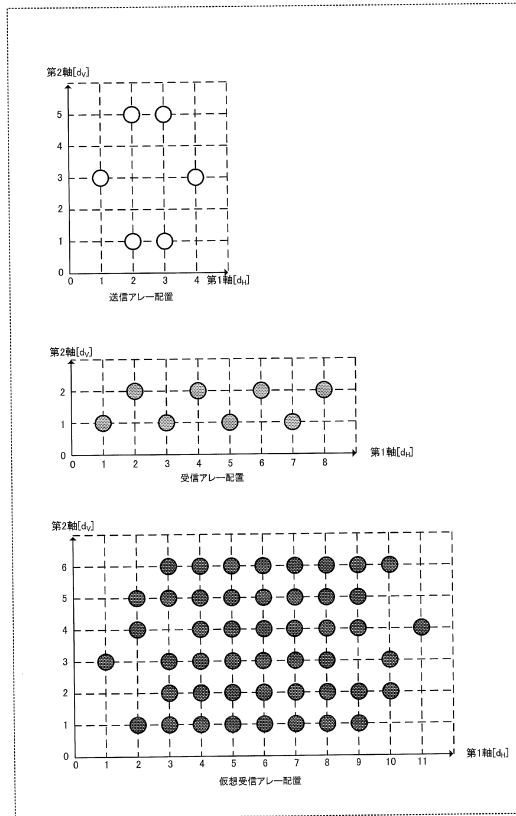
40

50

【図10A】



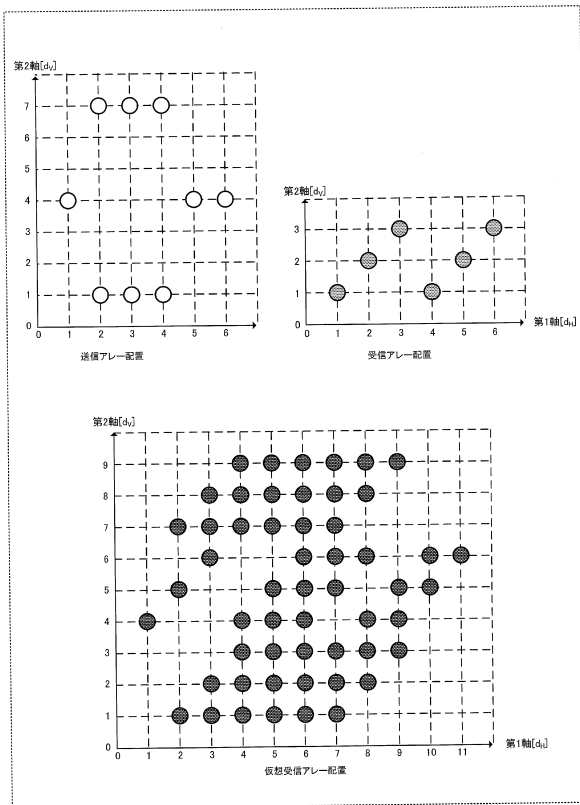
【図10B】



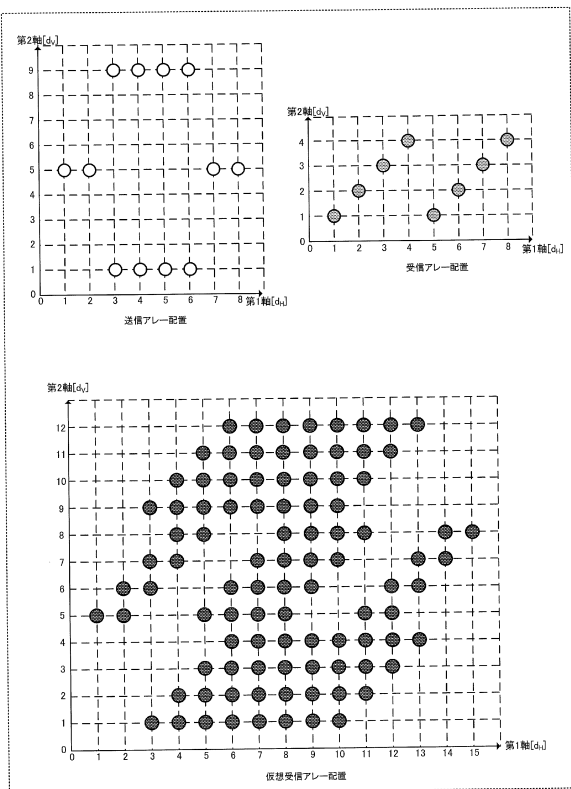
10

20

【図10C】



【図10D】

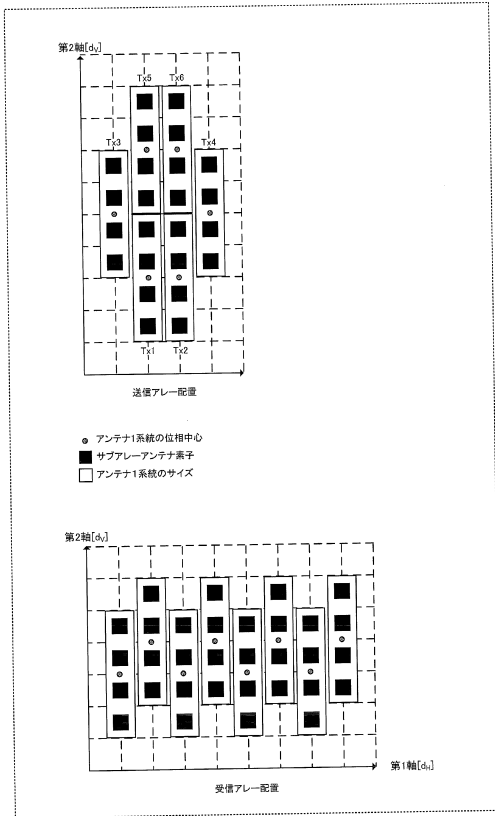


30

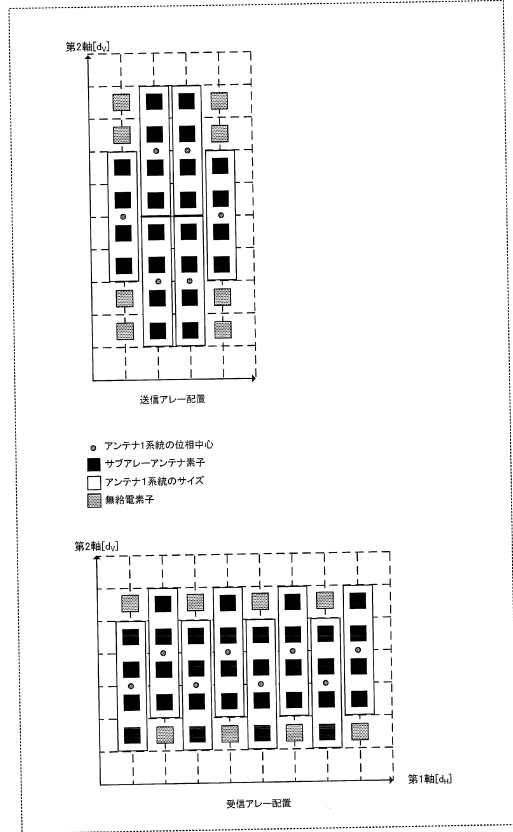
40

50

【図 1 1 A】



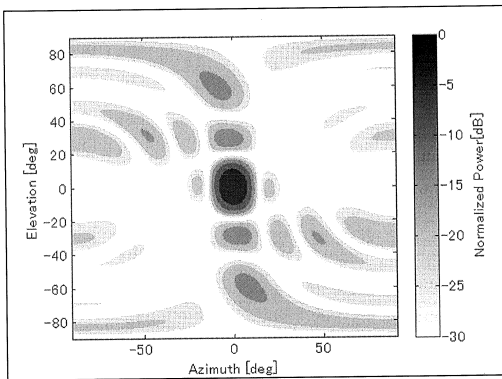
【図 1 1 B】



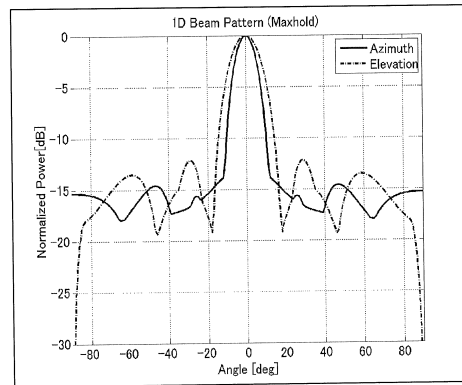
10

20

【図 1 2 A】



【図 1 2 B】

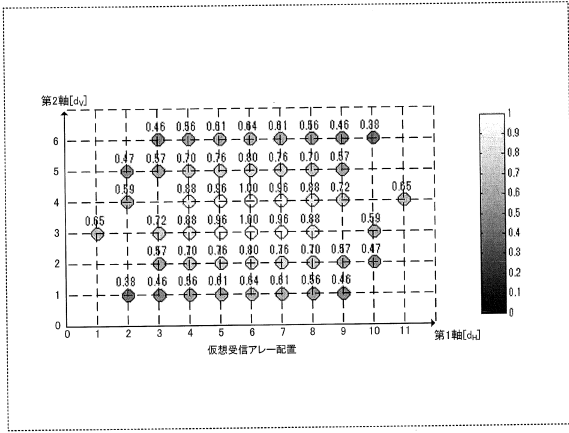


30

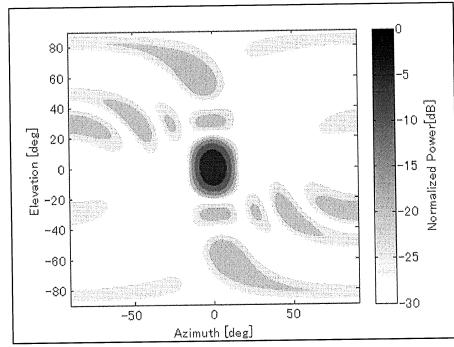
40

50

【図 13 A】



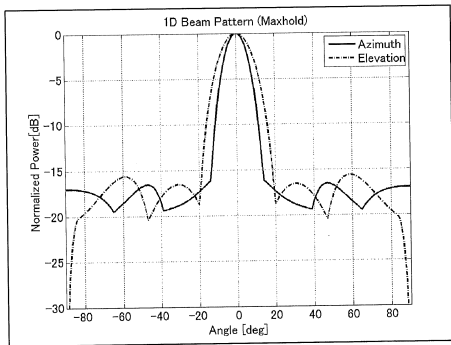
【図 13 B】



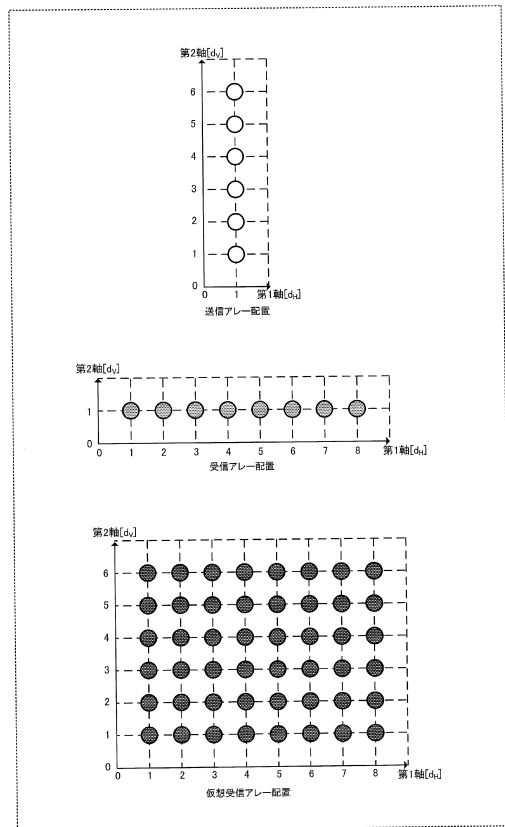
10

20

【図 13 C】



【図 14】

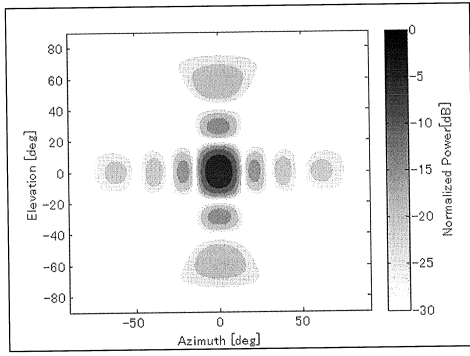


30

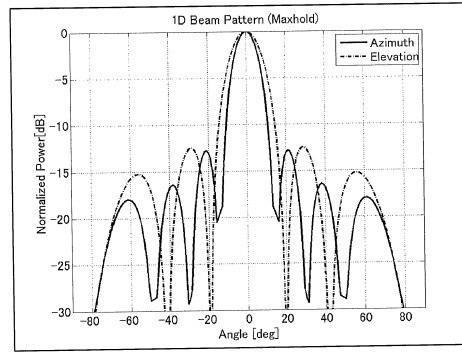
40

50

【図 15 A】

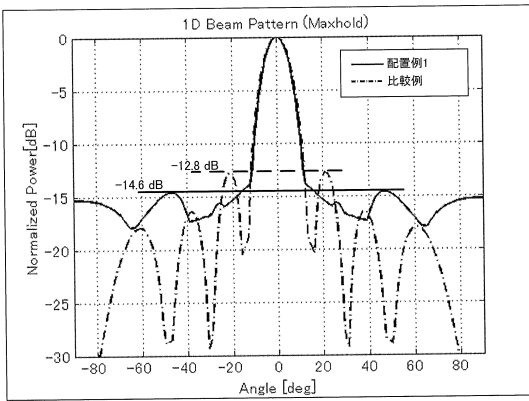


【図 15 B】

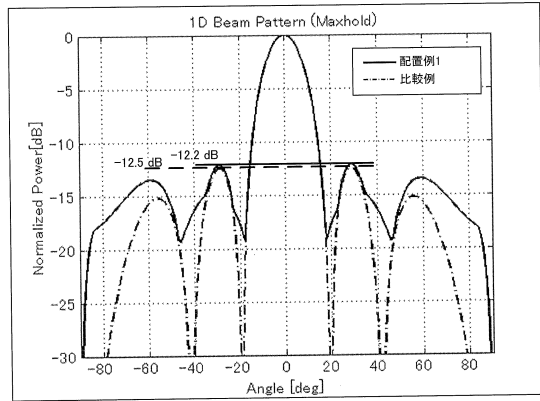


10

【図 16 A】



【図 16 B】



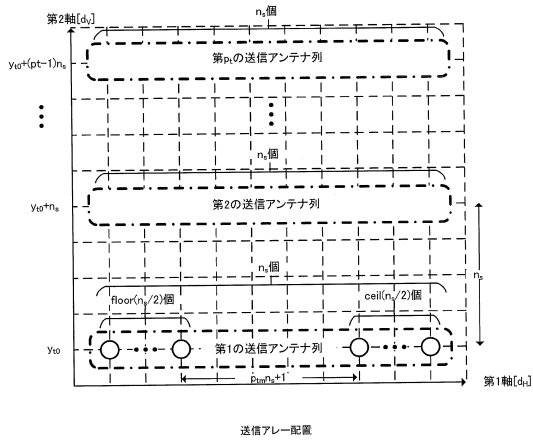
20

30

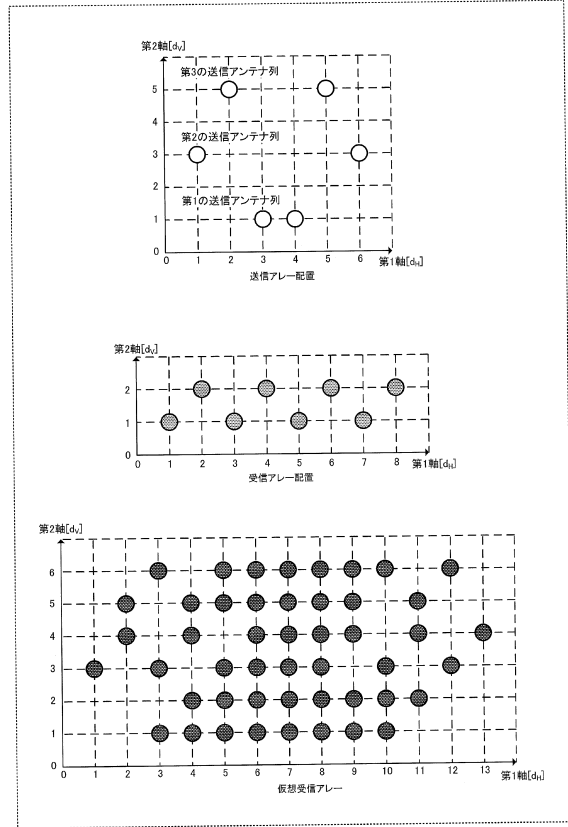
40

50

【図 17】



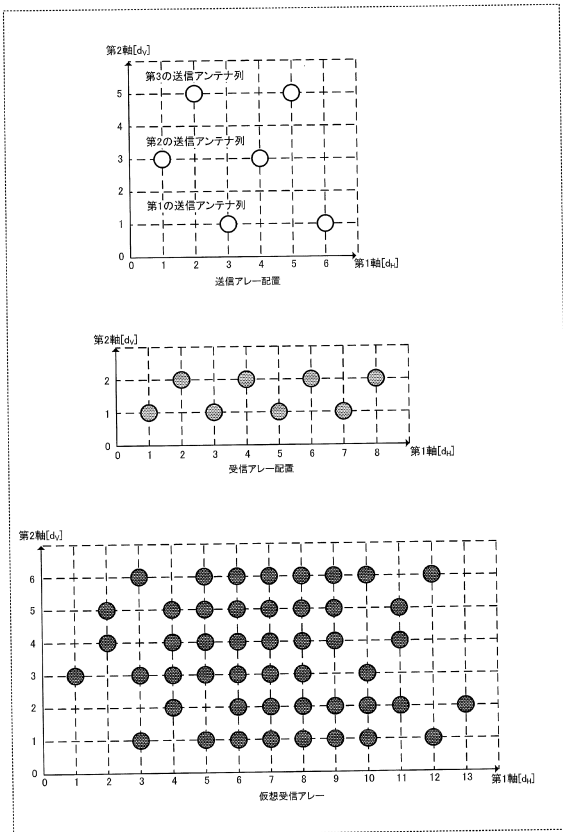
【図 18 A】



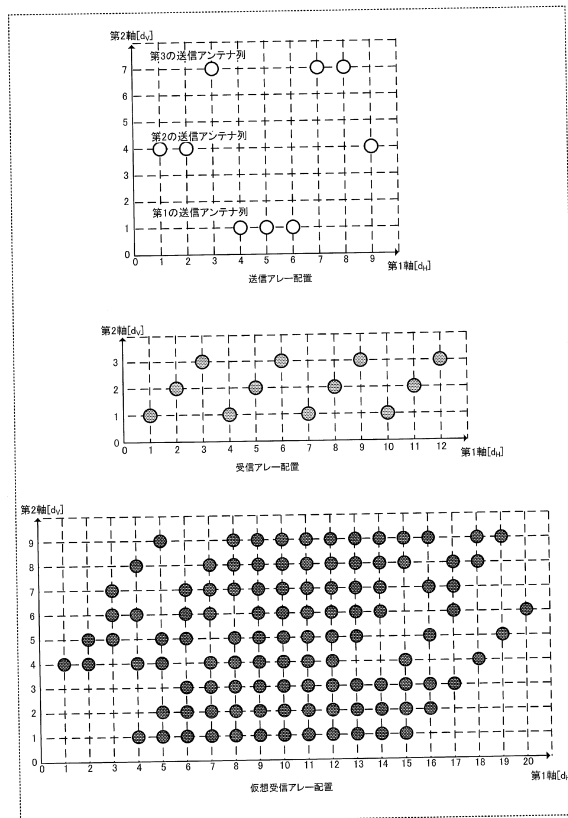
10

20

【図 18 B】



【図 18 C】

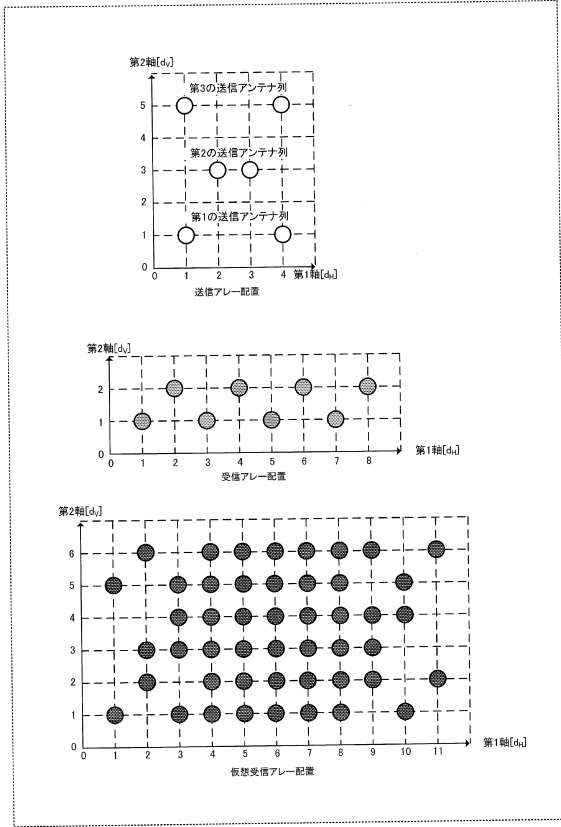


30

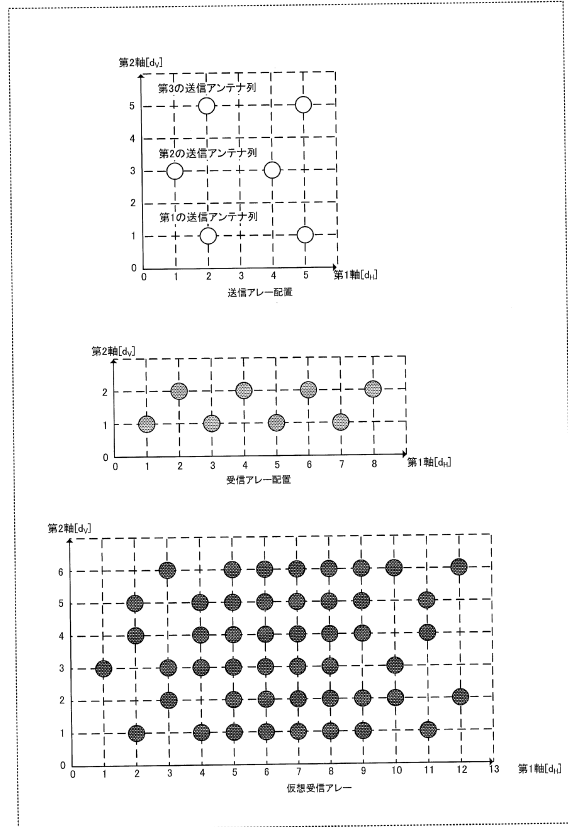
40

50

【図19A】



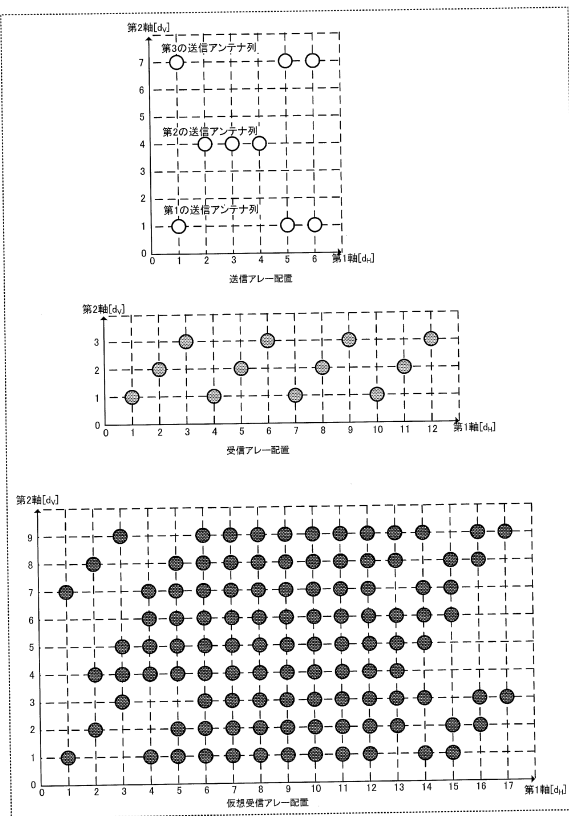
【図19B】



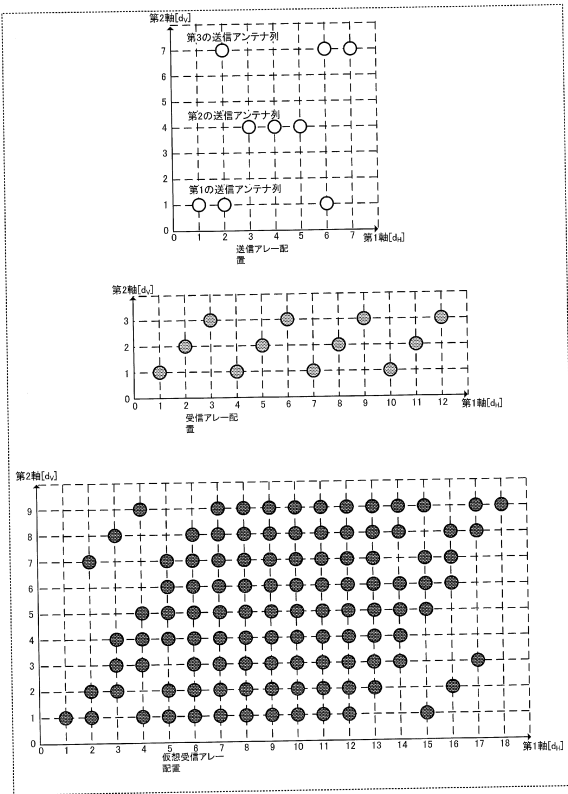
10

20

【図19C】



【図19D】

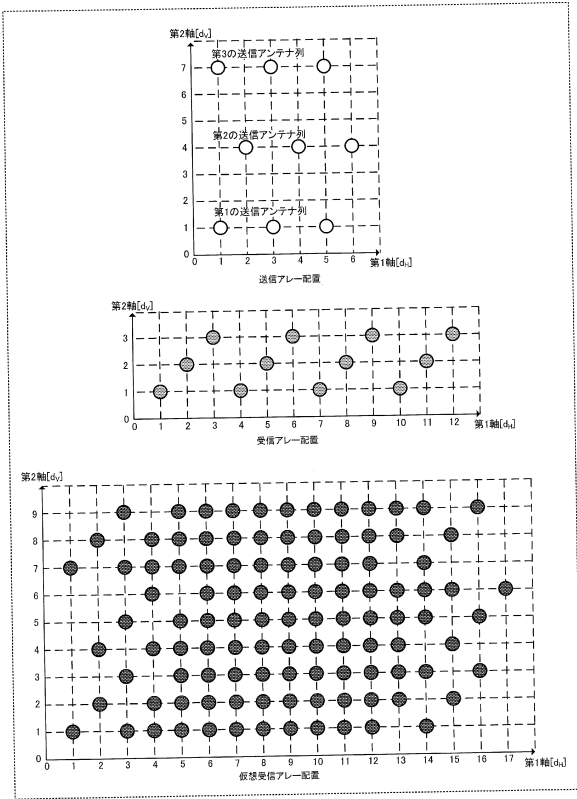


30

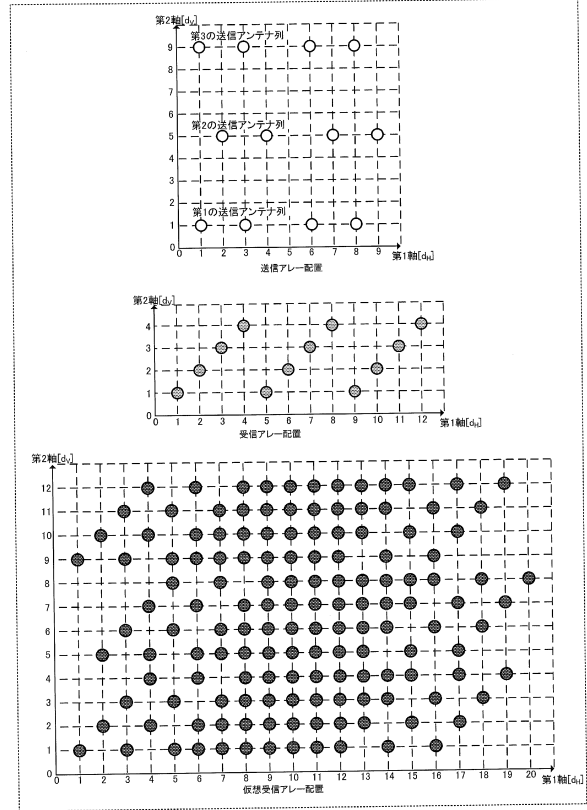
40

50

【図 20 A】



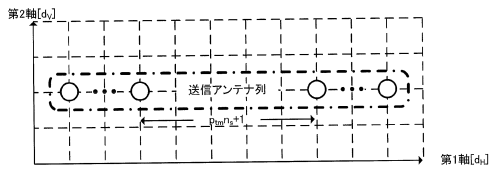
【図 20 B】



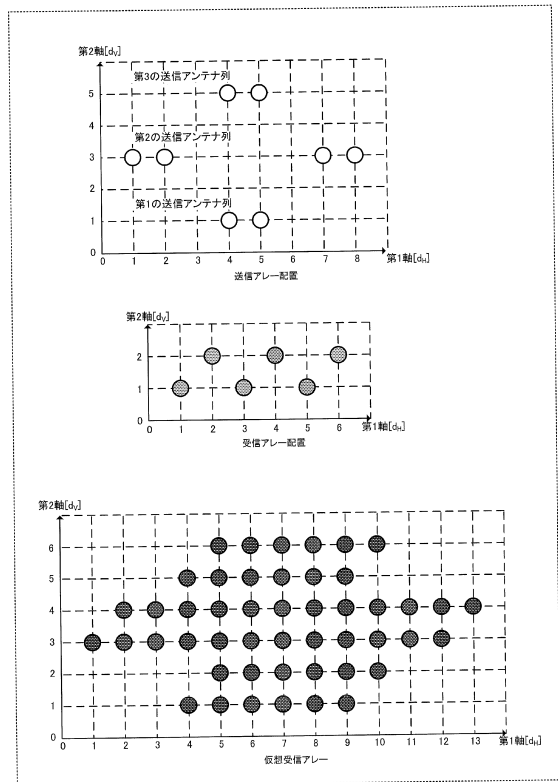
10

20

【図 21】



【図 22 A】

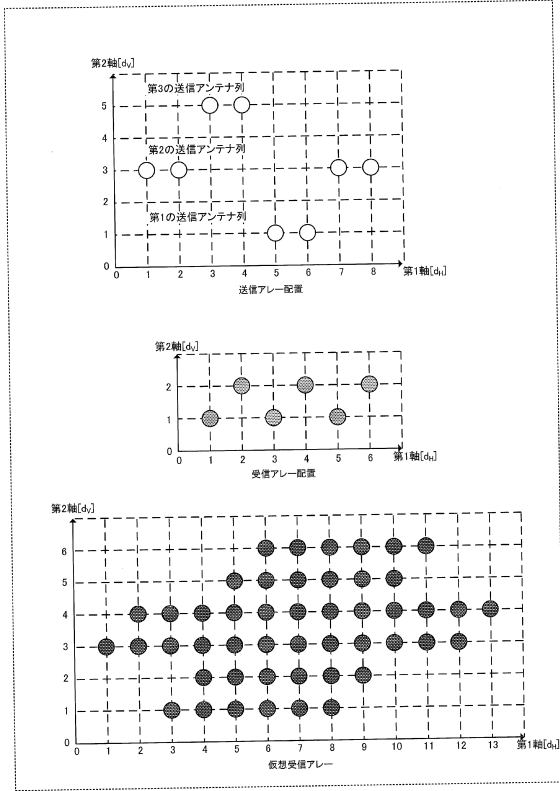


30

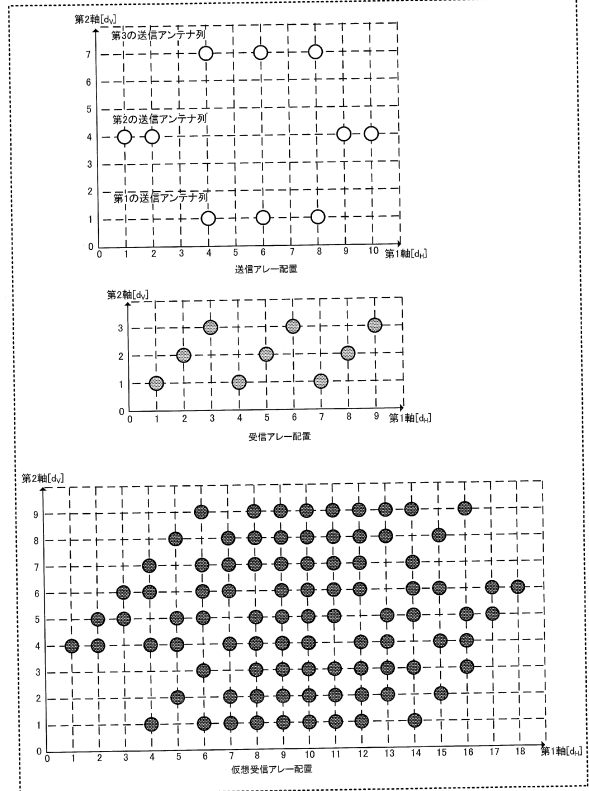
40

50

【図 2 2 B】



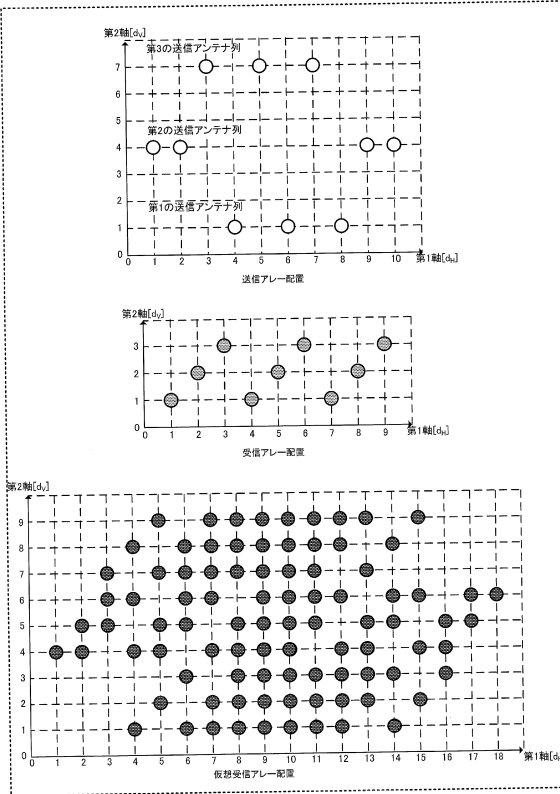
【図 2 2 C】



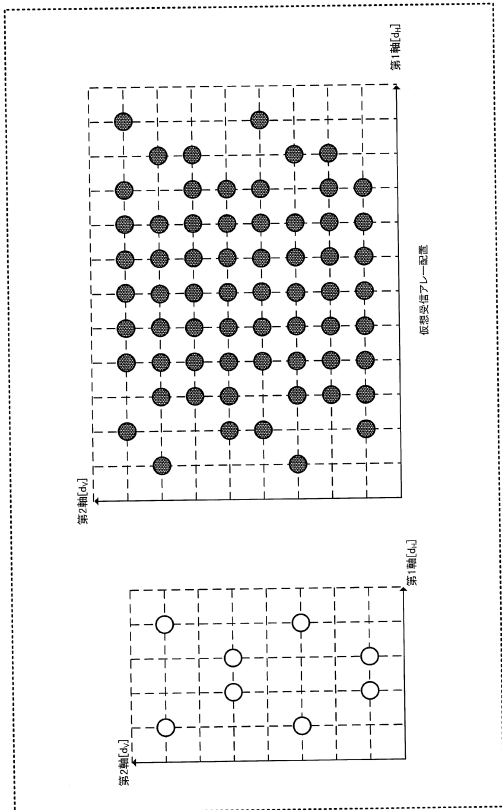
10

20

【図 2 2 D】



【図 2 3 A】

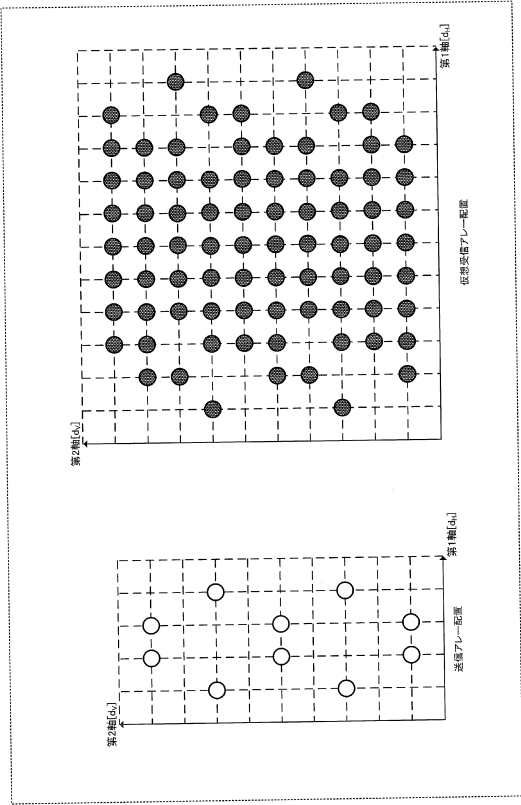


30

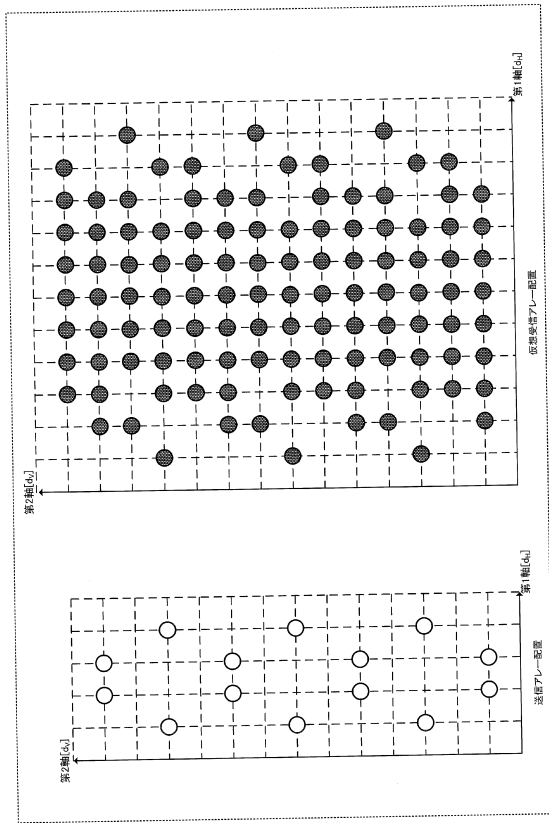
40

50

【図 2 3 B】



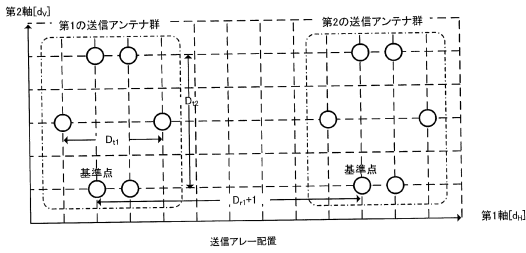
【図 2 3 C】



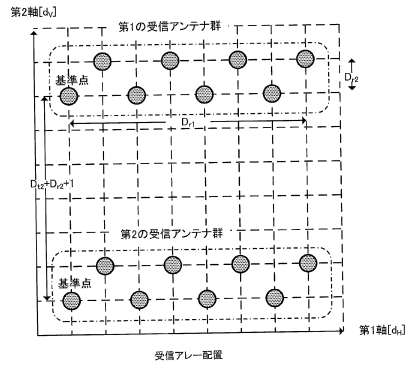
10

20

【図 2 4 A】



【図 2 4 B】

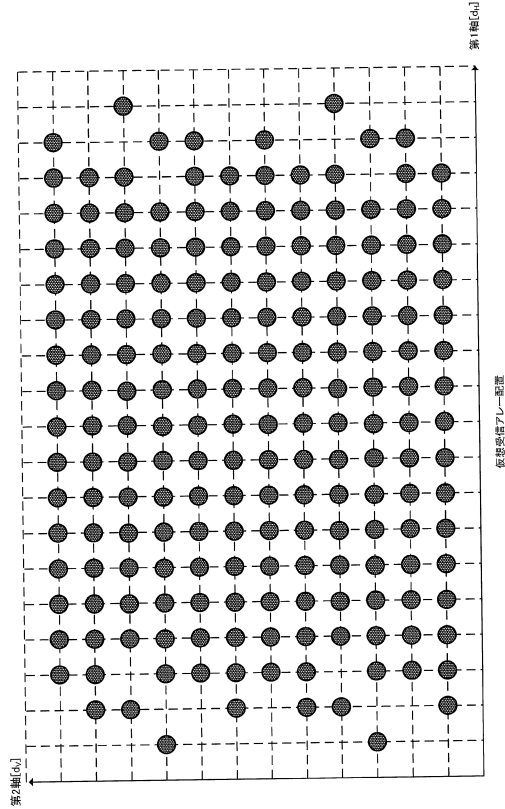


30

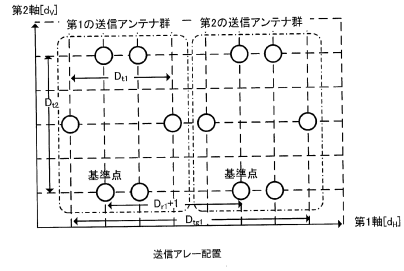
40

50

【図 2 4 C】



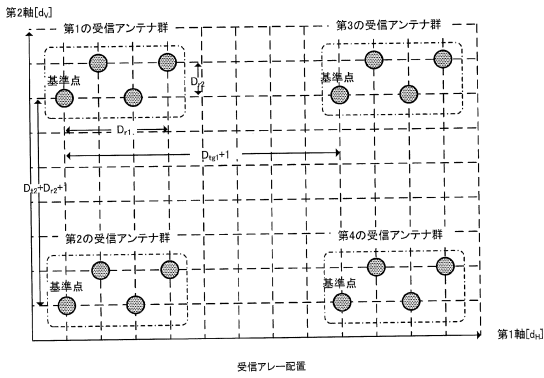
【図 2 5 A】



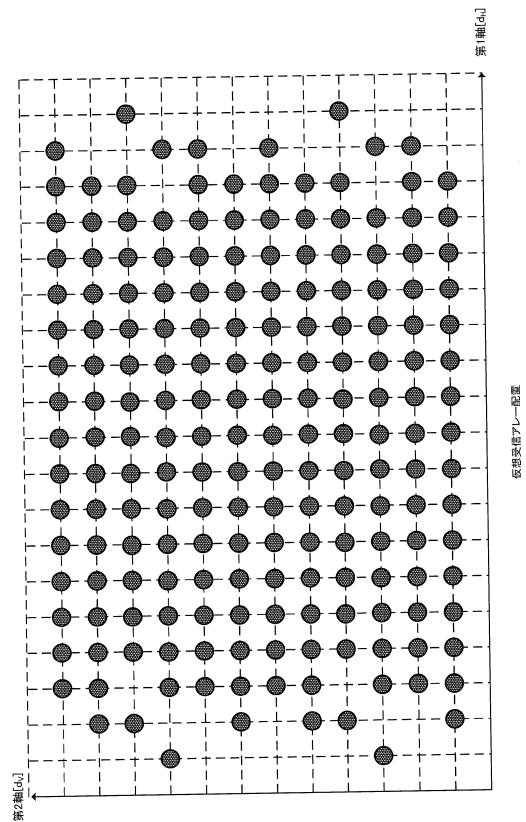
10

20

【図 2 5 B】



【図 2 5 C】

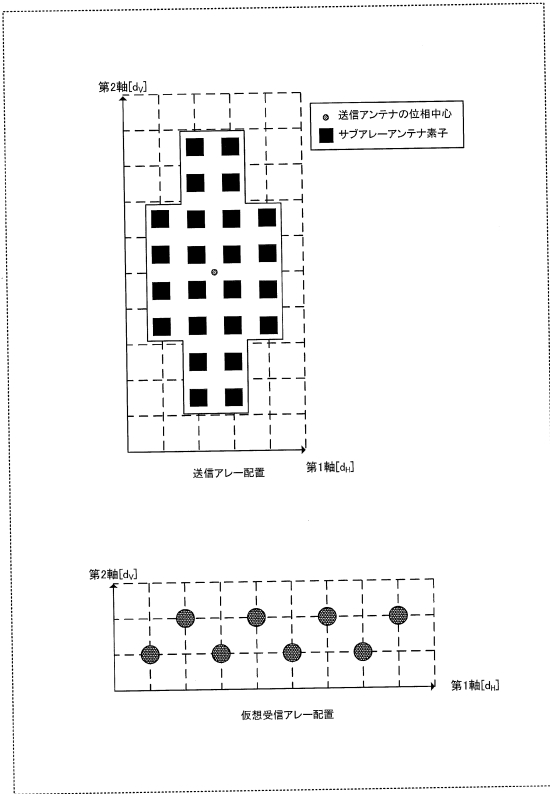


30

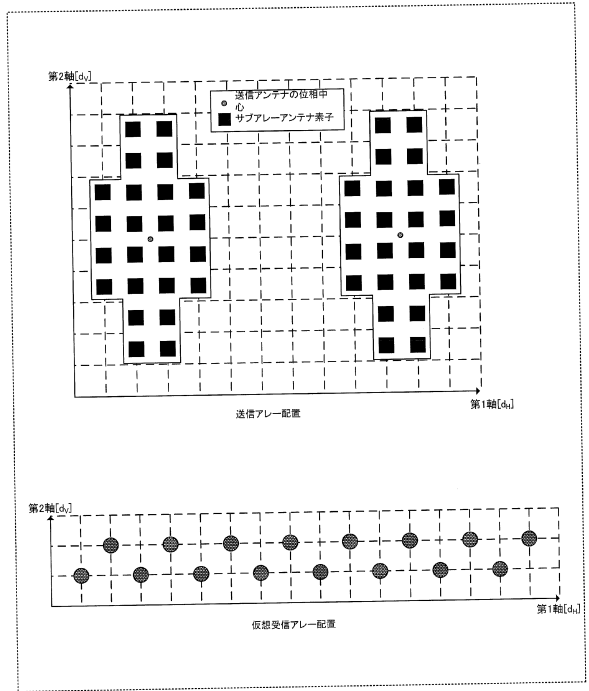
40

50

【図 26 A】



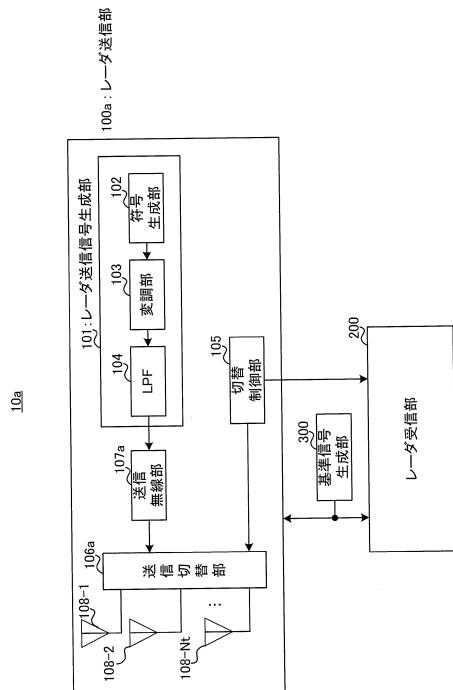
【図 26 B】



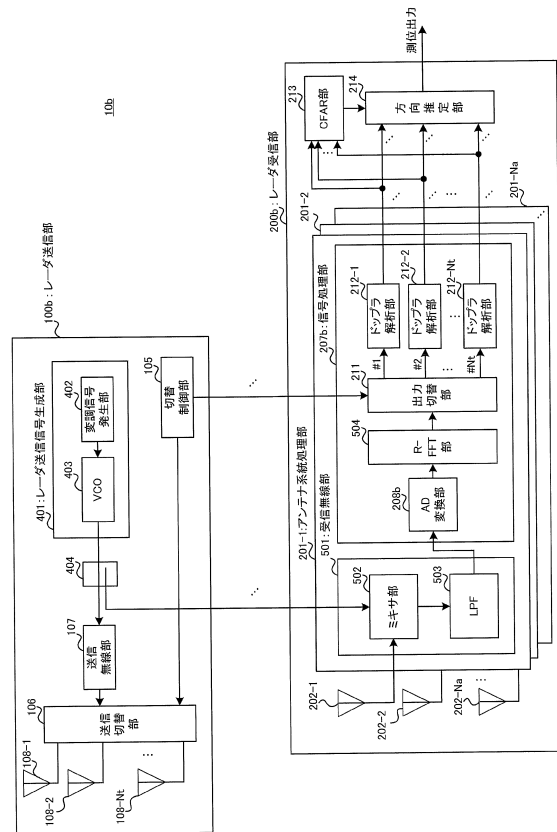
10

20

【図 27】



【図 28】

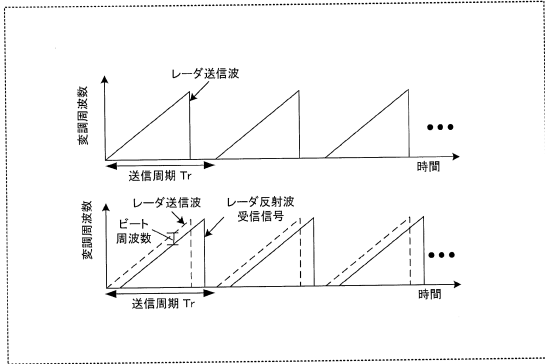


30

40

50

【 図 29 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

ナソニック株式会社内

合議体

審判長 岡田 吉美

審判官 濱本 禎広

審判官 佐々木 祐

- (56)参考文献 特表2017-521683(JP,A)
特開2017-58359(JP,A)
特開2018-170571(JP,A)
特開2008-134223(JP,A)
特開2017-130791(JP,A)
特開2010-212946(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01S 7/00-7/42
G01S 13/00-13/95