

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7632961号
(P7632961)

(45)発行日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(24)登録日 令和7年2月10日(2025.2.10)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 S 7/40 (2006.01)	G 0 1 S 7/40
G 0 1 S 7/02 (2006.01)	G 0 1 S 7/02 2 1 6
G 0 1 S 13/931 (2020.01)	G 0 1 S 13/931
H 0 1 Q 21/06 (2006.01)	H 0 1 Q 21/06

請求項の数 22 (全51頁)

(21)出願番号	特願2022-541205(P2022-541205)	(73)特許権者	591003943 インテル・コーポレーション アメリカ合衆国 9 5 0 5 4 カリフォル ニア州・サンタクララ・ミッション カ レッジ ブレーバード・2 2 0 0
(86)(22)出願日	令和2年12月24日(2020.12.24)	(74)代理人	110000877 弁理士法人R Y U K A国際特許事務所
(65)公表番号	特表2023-519475(P2023-519475 A)	(72)発明者	コーエン、アロン アメリカ合衆国 9 5 0 5 4 カリフォル ニア州・サンタクララ・ミッション カ レッジ ブレーバード・2 2 0 0 インテ ル・コーポレーション内
(43)公表日	令和5年5月11日(2023.5.11)	(72)発明者	ガットマン、ベンジャミン アメリカ合衆国 9 5 0 5 4 カリフォル ニア州・サンタクララ・ミッション カ レッジ ブレーバード・2 2 0 0 インテ ル・コーポレーション内
(86)国際出願番号	PCT/US2020/067018		
(87)国際公開番号	WO2021/194598		
(87)国際公開日	令和3年9月30日(2021.9.30)		
審査請求日	令和5年9月1日(2023.9.1)		
(31)優先権主張番号	62/993,227		
(32)優先日	令和2年3月23日(2020.3.23)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーダアンテナ較正の装置、システム、および方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーダデバイスの装置であって、
アンテナ不整合較正情報を決定して、複数の受信 (R x) アンテナを含むレーダアンテナレイのアンテナ不整合を較正するように構成されている不整合較正器と、
レーダ R x データを処理し、前記レーダ R x データおよび前記アンテナ不整合較正情報に基づいてレーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダ R x データは、前記複数の R x アンテナで受信される R x レーダ信号に基づいている、プロセッサと
を備え、

前記不整合較正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、装置。

10

【請求項 2】

前記不整合較正器は、前記スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定し、前記識別されたアンテナ不整合に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記不整合較正器は、前記スコア関数の数値勾配を最小にすることにより前記アンテナ

20

不整合校正情報を決定するように構成されている、請求項 1 または 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記不整合校正器は、複数回の算出反復を実行するように構成されており、前記複数回の算出反復のうちのある算出反復は、初期の仮定的アンテナ不整合のランダム選択と、前記初期の仮定的アンテナ不整合に基づく前記スコア関数の数値勾配の最小値の決定と、前記スコア関数の前記数値勾配の前記最小値に基づく前記アンテナ不整合校正情報の更新とを含む、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記複数回の算出反復は、少なくとも 100 回の反復を含む、請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

前記スコア関数は、第 1 の仮定的アンテナ不整合に第 1 スコア値を、第 2 の仮定的アンテナ不整合に第 2 スコア値を提供するように構成されており、前記第 1 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 1 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 1 ヒストグラムをもたらし、前記第 2 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 2 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 2 ヒストグラムをもたらし、前記仮定的ノイズ値の第 1 範囲は、前記仮定的ノイズ値の第 2 範囲より高く、前記第 1 スコア値は、前記第 2 スコア値より高い、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 7】

前記不整合校正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす到来角 (A o A) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 8】

レーダデバイスの装置であって、

アンテナ不整合校正情報を決定して、複数の受信 (R x) アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正するように構成されている不整合校正器と、

レーダ R x データを処理し、前記レーダ R x データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいてレーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダ R x データは、前記複数の R x アンテナで受信される R x レーダ信号に基づいている、プロセッサと

を備え、

前記不整合校正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす到来角 (A o A) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、装置。

【請求項 9】

前記不整合校正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データに適用される離散フーリエ変換 (DFT) に基づいて前記 A o A 画像を決定するように構成されている、請求項 7 または 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記不整合校正器は、前記ヒストグラムに適用される予め定義された重み関数に基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されており、前記重み関数は、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加しており、前記重み関数は、-70 dB ~ -40 dB の仮定的ノイズ値について単調に増加しており、および/または、

前記重み関数は、-20 dB を超える仮定的ノイズ値について一定である、

請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 11】

前記不整合校正器は、前記アンテナ不整合校正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのゲイン不整合または位相不整合のうちの少なくとも一方を校正するように構成され

10

20

30

40

50

ている、請求項 1 から 1 0 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記不整合校正器は、複数の複素数のベクトルを含む前記アンテナ不整合校正情報を決定するように構成されており、前記複数の複素数のうちのある複素数は、前記複数の $R \times$ アンテナのうちのある $R \times$ アンテナに対応するゲイン不整合および位相不整合を表す、請求項 1 から 1 1 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記不整合校正器は、前記アンテナ不整合校正情報をリアルタイムで更新することにより前記レーダアンテナアレイの前記アンテナ不整合を動的に校正するように構成されている、請求項 1 から 1 2 のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項 1 4】

レーダデバイスで実行される方法であって、
アンテナ不整合校正情報を決定して、複数の受信 ($R \times$) アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正する段階と、
レーダ $R \times$ データを処理して、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいてレーダ情報を生成する段階であって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される $R \times$ レーダ信号に基づいている、生成する段階と
を備え、

前記アンテナ不整合を校正する段階は、
スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定する段階であって、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、決定する段階
を有する、方法。

20

【請求項 1 5】

前記スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定し、前記識別されたアンテナ不整合に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定する段階を備える、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす到来角 ($A \circ A$) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定する段階を備える、請求項 1 4 または 1 5 に記載の方法。

30

【請求項 1 7】

レーダデバイスで実行される方法であって、
アンテナ不整合校正情報を決定して、複数の受信 ($R \times$) アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正する段階と、
レーダ $R \times$ データを処理して、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいてレーダ情報を生成する段階であって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される $R \times$ レーダ信号に基づいている、生成する段階と
を備え、

40

前記アンテナ不整合を校正する段階は、
スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定する段階であって、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす到来角 ($A \circ A$) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、決定する段階
を有する、方法。

【請求項 1 8】

前記ヒストグラムに適用される予め定義された重み関数に基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定する段階であって、

前記重み関数は、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加しており、

50

前記重み関数は、 -70 dB ~ -40 dB の仮定的ノイズ値について単調に増加しており、および/または、

前記重み関数は、 -20 dB を超える仮定的ノイズ値について一定である、
決定する段階を備える、請求項 16 または 17 に記載の方法。

【請求項 19】

プロセッサに、請求項 14 から 18 のいずれか一項に記載の方法を実行させるコンピュータプログラム。

【請求項 20】

レーダデバイスの装置であって、請求項 14 から 18 のいずれか一項に記載の方法を実行するための処理手段を備える装置。

10

【請求項 21】

車両であって、前記車両は、

レーダ情報に基づいて前記車両の1つまたは複数の車両システムを制御するように構成されているシステムコントローラと、

前記システムコントローラに前記レーダ情報を提供するように構成されているレーダデバイスと

を備え、前記レーダデバイスは、

$T \times$ レーダ信号を送信する複数の送信 ($T \times$) アンテナと、前記 $T \times$ レーダ信号に基づいて $R \times$ レーダ信号を受信する複数の受信 ($R \times$) アンテナとを含むレーダアンテナアレイと、

20

アンテナ不整合校正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正するように構成されている不整合校正器と、

レーダ $R \times$ データを処理し、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいて前記レーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される前記 $R \times$ レーダ信号に基づいている、プロセッサとを有し、

前記不整合校正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、

30

車両。

【請求項 22】

車両であって、前記車両は、

レーダ情報に基づいて前記車両の1つまたは複数の車両システムを制御するように構成されているシステムコントローラと、

前記システムコントローラに前記レーダ情報を提供するように構成されているレーダデバイスと

を備え、前記レーダデバイスは、

$T \times$ レーダ信号を送信する複数の送信 ($T \times$) アンテナと、前記 $T \times$ レーダ信号に基づいて $R \times$ レーダ信号を受信する複数の受信 ($R \times$) アンテナとを含むレーダアンテナアレイと、

40

アンテナ不整合校正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正するように構成されている不整合校正器と、

レーダ $R \times$ データを処理し、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいて前記レーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される前記 $R \times$ レーダ信号に基づいている、プロセッサとを有し、

前記不整合校正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす到来角 ($A \circ A$) 画像

50

における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて提供するように構成されている、
_車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[相互参照]

本願は、2020年3月23日に出願された「APPARATUS, SYSTEM AND METHOD OF RADAR ANTENNA CALIBRATION」と題する米国仮特許出願第62/993,227号の利益および優先権を主張するものであり、その開示全体が参照により本明細書に組み込まれる。

10

【0002】

本明細書に記載する態様は、一般的に、レーダアンテナ較正に関する。

【背景技術】

【0003】

マルチ入力マルチ出力(MIMO)レーダは、複数の要素を有する送信(Tx)アレイから直交信号を送信し、受信された信号を、複数の要素を有する受信(Rx)アレイを介して処理することにより、物理的アレイ開口およびアンテナ素子の数を削減することができる技術である。

【0004】

アンテナは、それらの基底状態として幾らかの増強された位相およびゲインで製造されるので、アンテナ素子が適切に較正されないと、アンテナアレイが機能不全になることがある。

20

【図面の簡単な説明】

【0005】

図を簡潔且つ明瞭にするために、図示される複数の要素は、必ずしも実寸通りに示されていない。例えば、複数の要素のうちの幾つかの寸法は、明瞭に示すために、他の複数の要素に対して誇張されることがある。更に、複数の参照番号が、対応または類似する要素を示すべく、図中で繰り返し使用されることがある。以下、図を列挙する。

【0006】

【図1】幾つかの実証的な態様に係る、レーダを実装する車両の概略ブロック図である。

30

【0007】

【図2】幾つかの実証的な態様に係る、レーダを実装するロボットの概略ブロック図である。

【0008】

【図3】幾つかの実証的な態様に係る、レーダ装置の概略ブロック図である。

【0009】

【図4】幾つかの実証的な態様に係る、周波数変調連続波(FMCW)レーダ装置の概略ブロック図である。

【0010】

【図5】幾つかの実証的な態様に係る、デジタル受信レーダデータ値からレンジおよびスピード(ドップラー)の推定を抽出するために実装され得る抽出スキームの概略図である。

40

【0011】

【図6】幾つかの実証的な態様に係る、受信アンテナアレイにより受信される着信無線信号に基づいて到来角(AoA)情報を決定するために実装され得る角度決定スキームの概略図である。

【0012】

【図7】幾つかの実証的な態様に係る、送信(Tx)アンテナと受信(Rx)アンテナとの組み合わせに基づいて実装され得るマルチ入力マルチ出力(MIMO)レーダアンテナスキームの概略図である。

【0013】

50

【図 8】幾つかの実証的な態様に係る、レーダフロントエンドおよびレーダプロセッサの概略ブロック図である。

【0014】

【図 9】幾つかの実証的な態様に係る、2つの到来角(AoA)画像を示すグラフと、これら2つのAoA画像に対応するヒストグラムとの概略図である。

【0015】

【図 10】幾つかの実証的な態様に係る、重み関数を示すグラフの概略図である。

【0016】

【図 11】幾つかの実証的な態様に係る、3つのシミュレートされたAoA画像の比較を示すグラフの概略図である。

10

【0017】

【図 12】幾つかの実証的な態様に係る、重み関数パラメータがもたらすシミュレートされたサイドローレベルを示すヒートマップの概略図である。

【0018】

【図 13】幾つかの実証的な態様に係る、重み関数パラメータがもたらすシミュレートされたサイドローレベルのシミュレートされたヒートマップの概略図である。

【0019】

【図 14】幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされたマルチ入力マルチ出力(MIMO)レーダ性能結果の概略図である。

【0020】

20

【図 15】幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされたAoA画像を複数の範囲/ターゲットシナリオについて示すグラフの概略図である。

【0021】

【図 16】幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされた性能グレードを示すグラフの概略図である。

【0022】

【図 17】幾つかの実証的な態様に係る、レーダアンテナ較正の方法の概略フローチャートである。

【0023】

【図 18】幾つかの実証的な態様に係る、製品の概略図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下の詳細な説明では、幾つかの態様の一通りの理解を提供するために、多数の具体的な詳細を記載する。しかしながら、当業者には、幾つかの態様がこれらの具体的な詳細なくして実施され得ることが解るであろう。他の複数の例では、周知の方法、手順、コンポーネント、ユニット、および/または回路は、説明を曖昧にしないよう、詳細には説明されていない。

【0025】

例えば、「処理」、「計算」、「算出」、「決定」、「確立」、「分析」、「チェック」、または同様のものなどの用語を利用する本明細書の説明は、コンピュータのレジスタおよび/またはメモリ内の物理(例えば、電子)量として表されるデータを操作し、および/または、当該データを、コンピュータのレジスタおよび/もしくはメモリ、または、動作および/またはプロセスを実行するための命令を記憶し得る他の情報記憶媒体内の物理量として同様に表される他のデータに転換する、コンピュータ、コンピューティングプラットフォーム、コンピューティングシステム、または他の電子コンピューティングデバイスの動作および/またはプロセスを指してよい。

40

【0026】

本明細書で使用する「複数(plurality)」および「複数(a plurality)」という用語は、例えば、「複数(multiple)」または「2つまたはそれより多く」を含む。例えば、「複数のアイテム」は、2つまたはそれより多くのアイテム

50

ムを含む。

【 0 0 2 7 】

本明細書において、「例示的」および「実証的」という単語は、「例、インスタンス、実証、または実例として役立つ」ことを意味するために使用される。「例示的」または「実証的」として本明細書に記載する任意の態様または設計は、必ずしも他の態様または設計より好ましいまたは有利であると解釈されるべきではない。

【 0 0 2 8 】

「一態様」、「ある態様」、「実証的な態様」、「様々な態様」などへの言及は、そのように説明された態様が特定の特徴、構造、または特性を含み得ることを示すが、必ずしも全ての態様が特定の特徴、構造、または特性を含むとは限らない。更に、「一態様において」という語句の使用の繰り返しは、同じ態様を指すこともあるが、必ずしもそうであるとは限らない。

10

【 0 0 2 9 】

本明細書で使用するとき、別段の指定がない限り、共通のオブジェクトを表すための「第1」、「第2」、「第3」などの序数形容詞の使用は、同様のオブジェクトの異なるインスタンスが参照されていることを示しているに過ぎず、そのように説明されたオブジェクトが、時間的に、空間的に、順位付けにおいて、または任意の他の方式で、所与の順序になければならないと示唆することを意図するものではない。

【 0 0 3 0 】

「少なくとも1つ」および「1つまたは複数」という語句は、1より大きいかそれに等しい数量、例えば、1つ、2つ、3つ、4つ、・・・などを含むと理解されてよい。本明細書において、一群の要素に関連する「のうちの少なくとも1つ」という語句は、これらの要素から成る群からの少なくとも1つの要素を意味するために使用されてよい。例えば、本明細書において、一群の要素に関する「のうちの少なくとも1つ」という語句は、列挙された要素のうちの1つ、列挙された要素のうちの複数の1つ、複数の個々の列挙された要素、または複数の複数の個々の列挙された要素を意味するために使用されてよい。

20

【 0 0 3 1 】

本明細書で使用する「データ」という用語は、例えば、ファイル、ファイルの一部、一組のファイル、信号またはストリーム、信号またはストリームの一部、および一組の信号またはストリーム、および同様のものとして提供される、任意の適切なアナログ形式またはデジタル形式の情報を含むと理解されてよい。更に、「データ」という用語は、例えば、ポインタ形式の情報への言及を意味するために使用されてもよい。しかしながら、「データ」という用語は、前述の例に限定されず、様々な形態を取ってよく、および/または、当技術分野で理解されるような任意の情報を表してよい。

30

【 0 0 3 2 】

「プロセッサ」または「コントローラ」という用語は、任意の適切なタイプのデータおよび/または情報の取り扱いを可能にする任意の種類 of 技術的実体を含むと理解されてよい。データおよび/または情報は、プロセッサまたはコントローラにより実行される1つまたは複数の特定の機能に従って取り扱われてよい。更に、プロセッサまたはコントローラは、任意の種類 of 回路、例えば、任意の種類 of アナログ回路またはデジタル回路として理解されてよい。故に、プロセッサまたはコントローラは、アナログ回路、デジタル回路、混合信号回路、ロジック回路、プロセッサ、マイクロプロセッサ、中央処理装置(CPU)、グラフィックス処理装置(GPU)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、集積回路、特定用途向け集積回路(ASIC)、および同様のもの、またはこれらの任意の組み合わせであってもよいし、それらを含んでもよい。以下で更に詳細に説明するそれぞれの機能の任意の他の種類の実装は、プロセッサ、コントローラ、またはロジック回路として理解されてもよい。本明細書で詳述する任意の2つ(またはそれより多く)のプロセッサ、コントローラ、またはロジック回路が、同等の機能または同様のものを有する単一の実体として実現され得ること、逆に、本明細書で詳述する任意の単一のプロセッサ、コントローラ、またはロジック回路が、

40

50

同等の機能または同様のものを有する2つ（またはそれより多く）の別個の実体として実現され得ることが解る。

【0033】

「メモリ」という用語は、データまたは情報が検索のために記憶され得るコンピュータ可読媒体（例えば、非一時的コンピュータ可読媒体）として理解される。故に、「メモリ」への言及は、とりわけ、ランダムアクセスメモリ（RAM）、リードオンリメモリ（ROM）、フラッシュメモリ、ソリッドステート記憶装置、磁気テープ、ハードディスクドライブ、光学式ドライブ、またはこれらの任意の組み合わせを含む、揮発性メモリまたは不揮発性メモリを指すと理解されてよい。本明細書において、メモリという用語には、とりわけ、レジスタ、シフトレジスタ、プロセッサレジスタ、データバッファも包含される。 「ソフトウェア」という用語は、ファームウェアを含む任意のタイプの実行可能な命令および/またはロジックを指すために使用されてよい。

10

【0034】

「車両」は、任意のタイプの被駆動オブジェクトを含むと解されてよい。例として、車両は、燃焼機関、電気エンジン、反動エンジン、電動式オブジェクト、ハイブリッド駆動式オブジェクト、またはこれらの組み合わせを有する被駆動オブジェクトであってよい。車両は、とりわけ、自動車、バス、ミニバス、バン、トラック、移動住宅、車両トレーラ、バイク、自転車、三輪車、機関車、貨物列車、動作ロボット、パーソナルモビリティ、ボート、船、潜水艇、潜水艦、ドローン、航空機、ロケットであってもよいし、それらを含んでもよい。

20

【0035】

「地上車両」は、例えば、道上、道路上、軌道上、1つまたは複数のレール上、オフロード、または同様のものなど、地面を横断するように構成されている任意のタイプの車両を含むと理解されてよい。

【0036】

「自律車両」は、運転者の入力がなくとも少なくとも1つのナビゲーション変更を実装することができる車両を表してよい。ナビゲーション変更は、車両の、操舵、ブレーキ、加速/減速、または移動に関する任意の他の動作のうちの1つまたは複数の変更を表してもよいし、含んでもよい。車両が完全には自律的でない場合、例えば、運転者によって完全に操作可能であるが、運転者の入力なしでも完全に動作可能である場合であっても、車両は自律的であると説明されてよい。自律車両は、一定期間は運転者の制御下で動作することができ、他の期間は運転者の制御なしで動作することができる、車両を含んでよい。追加的または代替的に、自律車両は、例えば、車両進路を車線制限の間に維持するための操舵、または、例えば、全ての状況下ではなく、特定の状況下における、幾つかの操舵操作など、車両ナビゲーションの幾つかの側面のみを制御する車両を含んでよいが、車両ナビゲーションの他の側面、例えば、特定の状況下におけるブレーキを運転者に委ねてよい。追加的または代替的に、自律車両は、特定の状況下で車両ナビゲーションの1つまたは複数の側面、例えば、運転者の入力に応答するようなハンズオンの制御を共有する車両、および/または、特定の状況下で車両ナビゲーションの1つまたは複数の側面、例えば、運転者の入力と無関係であるようなハンズオフを制御する車両を含んでよい。追加的または代替的に、自律車両は、特定の状況下、例えば、空間領域、車道条件、または同様のものなど、特定の環境条件下で、車両ナビゲーションの1つまたは複数の側面を制御する車両を含んでよい。幾つかの態様では、自律車両は、車両の、ブレーキ、スピード制御、速度制御、操舵、および/または任意の他の更なる動作の幾つかまたは全ての側面を取り扱ってよい。自律車両は、運転者がいなくても動作することができる車両を含んでよい。車両の自律度は、車両の米国自動車技術者協会（SAE）水準、例えば、SAE J30162018: Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on road motor vehiclesなどでSAEにより定義されているようなものによって、または、他の関連専門機関によって表されるかまたは決定されてよい。S

30

40

50

A E 水準は、レベル 0（実例として、実質的に運転自動化なし）などの最小レベルからレベル 5（実例として、完全な運転自動化）などの最大レベルに及ぶ値を有してよい。

【 0 0 3 7 】

「車両動作データ」という語句は、車両の動作に関連する任意のタイプの特徴を説明すると理解されてよい。例として、「車両動作データ」は、車両のタイヤのタイプ、車両のタイプ、および/または車両の製造年数などの車両の状態を表してよい。より一般的には、「車両動作データ」は、静的特徴または静的車両動作データ（実例として、経時的に変化しない特徴またはデータ）を表してもよいし、含んでもよい。別の例として、追加的または代替的に、「車両動作データ」は、車両の動作中に変化する特徴、例えば、車両の動作中の気象条件または道路条件などの環境条件、燃料油面、液面、車両の駆動源の動作パラメータ、または同様のものを表してもよいし、含んでもよい。より一般的には、「車両動作データ」は、変化する特徴または変化する車両動作データ（実例として、時間的に変化する特徴またはデータ）を表してもよいし、含んでもよい。

10

【 0 0 3 8 】

幾つかの態様は、様々なデバイスおよびシステム、例えば、レーダセンサ、レーダデバイス、レーダシステム、車両、車両システム、自律車両システム、車両通信システム、車両デバイス、空中プラットフォーム、水上輸送プラットフォーム、道路インフラストラクチャ、スポーツキャプチャインフラストラクチャ、都市監視インフラストラクチャ、静的インフラストラクチャプラットフォーム、屋内プラットフォーム、移動プラットフォーム、ロボットプラットフォーム、産業プラットフォーム、センサデバイス、ユーザ機器（UE）、モバイルデバイス（MD）、無線局（STA）、センサデバイス、非車両デバイス、モバイルまたはポータブルデバイス、および同様のものと併せて使用されてよい。

20

【 0 0 3 9 】

幾つかの態様は、無線周波（RF）システム、レーダシステム、車両レーダシステム、自律システム、ロボットシステム、検出システム、または同様のものと併せて使用されてよい。

【 0 0 4 0 】

幾つかの実証的な態様は、10ギガヘルツ（GHz）を超える始動周波数を有する周波数帯域、例えば、10GHz～120GHzの始動周波数を有する周波数帯域におけるRF周波数と併せて使用されてよい。例えば、幾つかの実証的な態様は、30GHzを超える、例えば、45GHzを超える、例えば、60GHzを超える始動周波数を有するRF周波数と併せて使用されてよい。例えば、幾つかの実証的な態様は、自動車のレーダ周波数帯域、例えば、76GHz～81GHzの周波数帯域と併せて使用されてよい。しかしながら、他の態様は、任意の他の適切な周波数帯域、例えば、140GHzを超える周波数帯域、300GHzの周波数帯域、サブテラヘルツ（THz）帯域、THz帯域、赤外線（IR）帯域、および/または任意の他の周波数帯域を利用して実装されてよい。

30

【 0 0 4 1 】

本明細書で使用する「回路」という用語は、1つまたは複数のソフトウェアプログラムまたはファームウェアプログラムを実行する特定用途向け集積回路（ASIC）、集積回路、電子回路、プロセッサ（共有、専用、またはグループ）、および/もしくはメモリ（共有、専用、またはグループ）、組み合わせロジック回路、並びに/または、記載されている機能を提供する他の適切なハードウェアコンポーネントを指してもよいし、それらの一部であってもよいし、それらを含んでもよい。幾つかの態様では、回路が1つまたは複数のソフトウェアモジュールまたはファームウェアモジュールに実装されてもよいし、回路に関連付けられる機能が1つまたは複数のソフトウェアモジュールまたはファームウェアモジュールにより実装されてもよい。幾つかの態様では、回路は、ハードウェアで少なくとも部分的に動作可能なロジックを含んでもよい。

40

【 0 0 4 2 】

「ロジック」という用語は、例えば、コンピューティング装置の回路に埋め込まれるコンピューティングロジック、および/または、コンピューティング装置のメモリに記憶さ

50

れるコンピューティングロジックを指してよい。例えば、ロジックは、コンピューティングロジックを実行してコンピューティング機能および/またはコンピューティング動作を実行するためにコンピューティング装置のプロセッサからアクセス可能であってよい。一例では、ロジックは、様々なタイプのメモリおよび/またはファームウェア、例えば、様々なチップおよび/またはプロセッサのシリコンブロックに埋め込まれてよい。ロジックは、様々な回路、例えば、無線回路、受信機回路、制御回路、送信機回路、トランシーバ回路、プロセッサ回路、および/または同様のものに含まれてよく、および/または、それらの一部として実装されてよい。一例では、ロジックは、ランダムアクセスメモリ、リードオンリメモリ、プログラマブルメモリ、磁気メモリ、フラッシュメモリ、永続メモリ、および/または同様のものを含む、揮発性メモリおよび/または不揮発性メモリに埋め込まれてよい。ロジックは、例えば、ロジックを実行するために必要に応じて、1つまたは複数のプロセッサに結合されるメモリ、例えば、レジスタ、バッファ、スタック、および同様のものを使用して、1つまたは複数のプロセッサにより実行されてよい。

10

【0043】

信号に関して本明細書で使用する「通信」という用語は、信号の送信および/または信号の受信を含む。例えば、信号を伝達することができる装置は、信号を送信する送信機および/または信号を受信する受信機を含んでよい。通信するという動詞は、送信するアクションまたは受信するアクションを指すために使用されてよい。一例では、「信号を伝達する」という語句は、送信機で信号を送信するアクションを指してよく、必ずしも受信機で信号を受信するアクションを含むとは限らないかもしれない。別の例では、「信号を伝達する」という語句は、受信機で信号を受信するアクションを指してよく、必ずしも送信機で信号を送信するアクションを含むとは限らないかもしれない。

20

【0044】

本明細書で使用する「アンテナ」という用語は、1つまたは複数のアンテナ素子、コンポーネント、ユニット、アセンブリ、および/またはアレイの任意の適切な構成、構造、および/または配列を含んでよい。幾つかの態様では、アンテナは、別個の送信アンテナ素子および受信アンテナ素子を使用して送信機能および受信機能を実装してよい。幾つかの態様では、アンテナは、共通のおよび/または統合された送信/受信素子を使用して送信機能および受信機能を実装してよい。アンテナは、例えば、フェイズドアレイアンテナ、単一の素子アンテナ、一組の切り替えビームアンテナ、および/または同様のものを含んでよい。一例では、アンテナは、別個の要素または統合された要素として、例えば、オンモジュールアンテナ、オンチップアンテナとして、または任意の他のアンテナアーキテクチャに従って、実装されてよい。

30

【0045】

本明細書では、RFレーダ信号に関して幾つかの実証的な態様を説明する。しかしながら、他の態様は、任意の他のレーダ信号、無線信号、IR信号、音響信号、光信号、無線通信信号、通信スキーム、ネットワーク、規格、および/またはプロトコルに関して、またはそれらと併せて実装されてもよい。例えば、幾つかの実証的な態様は、光および/または音響信号を利用するシステム、例えば、光検出測距(LiDAR)システム、および/またはソナーシステムに関して実装されてよい。

40

【0046】

ここで、図1を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、レーダを実装する車両100のブロック図を概略的に示している。

【0047】

幾つかの実証的な態様では、車両100は車、トラック、バイク、バス、電車、空中車両、水上輸送車両、カート、ゴルフカート、電気カート、道路エージェント、または任意の他の車両を含んでよい。

【0048】

幾つかの実証的な態様では、車両100は、例えば、後述するように、レーダデバイス101を含んでよい。例えば、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、レー

50

ダ検出デバイス、レーダ検知デバイス、レーダセンサ、または同様のものを含んでよい。

【0049】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、車両システム、例えば、車両100に実装および/または搭載されるシステムの一部として実装されてよい。

【0050】

一例では、レーダデバイス101は、自律車両システム、自動運転システム、運転者補助システムおよび/もしくは運転者支援システム、並びに/または同様のものの一部として実装されてよい。

【0051】

例えば、レーダデバイス101は、例えば、自律運転のために、近くのオブジェクトを検出するために車両101に設置されてよい。

10

【0052】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、例えば、RFチェーンおよびアナログチェーン、コンデンサ構造、大型スパイラルトランス、並びに/または任意の他の電子素子もしくは電気素子を使用して、車両100の付近、例えば、遠方付近および/または近接付近のターゲットを検出するように構成されてよい。一例では、レーダデバイス101は、車両100上に搭載されてもよいし、車両100上に、例えば、直接置かれてもよいし、車両100に取り付けられてもよい。

【0053】

幾つかの実証的な態様では、車両100は、単一のレーダデバイス101を含んでよい。他の態様では、車両100は、複数のレーダデバイス101を、例えば、車両100の周りなどの複数の位置に含んでよい。

20

【0054】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、ほぼ全ての気象条件で動作するレーダの能力に起因して、運転者補助車両および/または自律車両に使用される一式のセンサ内のコンポーネントとして実装されてよい。

【0055】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、自律車両の使用をサポートするように構成されてよい。

【0056】

一例では、レーダデバイス101は、クラス、位置、配向、速度、意図、環境の知覚的理解、および/または、環境内のオブジェクトに対応する任意の他の情報を決定してよい。

30

【0057】

別の例では、レーダデバイス101は、1つまたは複数の動作および/もしくはタスク、例えば、経路計画、並びに/または任意の他のタスクについて、1つまたは複数のパラメータおよび/または情報を決定するように構成されてよい。

【0058】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、ターゲットのエコー（反射率）を測定し、それらを、例えば、主にレンジ、速度、方位角、および/または仰角で区別することにより、シーンをマッピングするように構成されてよい。

40

【0059】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、車両100の付近、例えば、遠方付近および/または近接付近に位置付けられる1つまたは複数のオブジェクトを検出および/または検知し、オブジェクトに関する1つまたは複数のパラメータ、属性、および/または情報を提供するように構成されてよい。

【0060】

幾つかの実証的な態様では、オブジェクトは、他の車両、歩行者、交通標識、信号機、道路、道路要素（例えば、舗装道路の交わり、縁線）、危険要因（例えば、タイヤ、ボックス、路面の亀裂）、および/または同様のものを含んでよい。

【0061】

50

幾つかの実証的な態様では、オブジェクトに関する1つまたは複数のパラメータ、属性、および/または情報は、車両100からのオブジェクトのレンジ、車両100に対するオブジェクトの角度、車両100に対するオブジェクトの位置、車両100に対するオブジェクトの相対スピード、および/または同様のものを含んでよい。

【0062】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、マルチ入力マルチ出力(MIMO)レーダデバイス101を含んでよい。一例では、MIMOレーダデバイスは、送信(Tx)信号および/または受信(Rx)信号の一方または両方について、「空間フィルタリング」処理、例えば、ビーム形成、および/または任意の他のメカニズムを利用するように構成されてよい。

10

【0063】

以下では、MIMOレーダとして実装されるレーダデバイス、例えば、レーダデバイス101に関して幾つかの実証的な態様を説明する。しかしながら、他の態様では、レーダデバイス101は、複数のアンテナ素子、例えば、シングル入力マルチ出力(SIMO)レーダまたはマルチ入力シングル出力(MISO)レーダを利用する任意の他のタイプのレーダとして実装されてよい。

【0064】

幾つかの実証的な態様は、例えば、後述するように、MIMOレーダとして実装されるレーダデバイス、例えば、レーダデバイス101に関して実装されてよい。しかしながら、他の態様では、レーダデバイス101は、任意の他のタイプのレーダ、例えば、電子ビームステアリングレーダ、合成開口レーダ(SAR)、環境および/または自我状態に従って送信を変更する適応レーダおよび/もしくは認知レーダ、リフレクトアレイレーダ、または同様のものとして実装されてよい。

20

【0065】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス101は、例えば、後述するように、アンテナ配列102と、アンテナ配列102を介してレーダ信号を伝達するように構成されているレーダフロントエンド103と、レーダ信号に基づいてレーダ情報を生成するように構成されているレーダプロセッサ104とを含んでよい。

【0066】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ104は、例えば、後述するように、レーダデバイス101のレーダ情報を処理するように、および/または、レーダデバイス101の1つまたは複数の動作を制御するように構成されてよい。

30

【0067】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ104は、回路および/またはロジック、例えば、メモリ回路および/またはロジック、回路および/またはロジックを含む1つまたは複数のプロセッサを、部分的または全体的に含んでもよいし、それらにより部分的または全体的に実装されてもよい。追加的または代替的に、レーダプロセッサ104の1つまたは複数の機能は、例えば、後述するように、機械および/または1つまたは複数のプロセッサにより実行され得るロジックによって実装されてよい。

【0068】

一例では、レーダプロセッサ104は、例えば、1つまたは複数のプロセッサに結合される少なくとも1つのメモリを含んでよく、当該少なくとも1つのメモリは、例えば、1つまたは複数のプロセッサおよび/または回路により処理される情報の少なくとも一部を、例えば、少なくとも一時的に記憶するように構成されてよく、および/または、これらのプロセッサおよび/または回路により利用されるロジックを記憶するように構成されてよい。

40

【0069】

他の態様では、レーダプロセッサ104は、車両100の1つまたは複数の追加的または代替的な要素により実装されてよい。

【0070】

50

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド 103 は、例えば、後述するように、例えば、1つまたは複数の(レーダ)送信機と、1つまたは複数の(レーダ)受信機とを含んでよい。

【0071】

幾つかの実証的な態様では、アンテナ配列 102 は、レーダ信号を伝達する複数のアンテナを含んでよい。例えば、アンテナ配列 102 は、送信アンテナアレイの形態の複数の送信アンテナと、受信アンテナアレイの形態の複数の受信アンテナとを含んでよい。別の例では、アンテナ配列 102 は、送信アンテナおよび受信アンテナの両方として使用される1つまたは複数のアンテナを含んでよい。後者の場合は、例えば、レーダフロントエンド 103 は、デュプレクサ、例えば、送信された信号を受信された信号から分離する回路を含んでよい。

10

【0072】

幾つかの実証的な態様では、図 1 に示すように、レーダフロントエンド 103 およびアンテナ配列 102 は、無線送信信号 105 を送信するように、例えば、レーダプロセッサ 104 により制御されてよい、

【0073】

幾つかの実証的な態様では、図 1 に示すように、無線送信信号 105 は、オブジェクト 106 により反射され、エコー 107 をもたらし得る。

【0074】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス 101 は、例えば、アンテナ配列 102 およびレーダフロントエンド 103 を介して、エコー 107 を受信してよく、レーダプロセッサ 104 は、例えば、車両 100 に関して、例えば、オブジェクト 106 の位置、半径方向速度(ドップラー)、および/または方向に関する情報を算出することにより、レーダ情報を生成してよい。

20

【0075】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 104 は、例えば、車両 100 の自律運転のために、車両 100 の車両コントローラ 108 にレーダ情報を提供するように構成されてよい。

【0076】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 104 の機能の少なくとも一部が、車両コントローラ 108 の一部として実装されてよい。他の態様では、レーダプロセッサ 104 の機能は、レーダデバイス 101 および/または車両 100 の任意の他の要素の一部として実装されてよい。他の態様では、レーダプロセッサ 104 は、レーダデバイス 101 および/または車両 100 の任意の他の要素の別個の部分として、またはその一部として実装されてよい。

30

【0077】

幾つかの実証的な態様では、車両コントローラ 108 は、車両 100 の1つまたは複数の機能、動作モード、コンポーネント、デバイス、システム、および/または要素を制御するように構成されてよい。

【0078】

幾つかの実証的な態様では、車両コントローラ 108 は、例えば、後述するように、車両 100 の1つまたは複数の車両システムを制御するように構成されてよい。

40

【0079】

幾つかの実証的な態様では、車両システムは、例えば、車両 100 のステアリングシステム、ブレーキシステム、運転システム、および/または任意の他のシステムを含んでよい。

【0080】

幾つかの実証的な態様では、車両コントローラ 108 は、レーダデバイス 101 を制御するように、および/または、レーダデバイス 101 からの1つまたは複数のパラメータ、属性、および/または情報を処理するように構成されてよい。

50

【 0 0 8 1 】

幾つかの実証的な態様では、車両コントローラ 1 0 8 は、例えば、例として、レーダデバイス 1 0 1、および/または、光検出測距 (L i D A R) センサ、カメラセンサ、および/または同様のものなどの、車両 1 0 0 の 1 つまたは複数の他のセンサからのレーダ情報に基づいて、車両 1 0 0 の車両システムを制御するように構成されてよい。

【 0 0 8 2 】

一例では、車両コントローラ 1 0 8 は、例えば、レーダデバイス 1 0 1 からの情報に基づいて、例として、レーダデバイス 1 0 1 により検出される 1 つまたは複数のオブジェクトに基づいて、車両 1 0 0 のステアリングシステム、ブレーキシステム、および/または任意の他の車両システムを制御してよい。

10

【 0 0 8 3 】

他の態様では、車両コントローラ 1 0 8 は、車両 1 0 0 の任意の他の追加的または代替的な機能を制御するように構成されてよい。

【 0 0 8 4 】

本明細書では、車両、例えば、車両 1 0 0 に実装されるレーダデバイス 1 0 1 に関して幾つかの実証的な態様を説明する。他の態様では、レーダデバイス、例えば、レーダデバイス 1 0 1 は、交通システムまたは交通網の任意の他の要素の一部として、例えば、道路インフラストラクチャの一部として、および/または、交通網または交通システムの任意の他の要素として実装されてよい。他の態様は、任意の他のオブジェクト、環境、位置、または場所の実装され得る任意の他のシステム、環境、および/または装置に関して実装されてもよい。例えば、レーダデバイス 1 0 1 は、例えば、屋内位置、固定インフラストラクチャ屋外、または任意の他の位置に実装され得る非車両デバイスの一部であってよい。

20

【 0 0 8 5 】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス 1 0 1 は、セキュリティの使用をサポートするように構成されてよい。一例では、レーダデバイス 1 0 1 は、動作の性質、例えば、人間の侵入、動物の侵入、環境移動、および同様のものを決定して、検出されるイベントの脅威レベル、および/または任意の他の追加的または代替的な動作を識別するように構成されてよい。

【 0 0 8 6 】

例えば、幾つかの実証的な態様は、例えば、後述するように、例えば、ロボットに関する、任意の他の追加的または代替的なデバイスおよび/またはシステムに関して実装されてよい。

30

【 0 0 8 7 】

他の態様では、レーダデバイス 1 0 1 は、任意の他の使用および/または適用をサポートするように構成されてよい。

【 0 0 8 8 】

ここで、図 2 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、レーダを実装するロボット 2 0 0 のブロック図を概略的に示している。

【 0 0 8 9 】

幾つかの実証的な態様では、ロボット 2 0 0 は、ロボットアーム 2 0 1 を含んでよい。ロボット 2 0 0 は、例えば、例として、製造中の製品に装着されるべき部品であり得るオブジェクト 2 1 3 を取り扱うための工場に実装されてよい。ロボットアーム 2 0 1 は、複数の可動部材、例えば、可動部材 2 0 2、2 0 3、2 0 4 と、サポート 2 0 5 とを含んでよい。ロボットアーム 2 0 1 の可動部材 2 0 2、2 0 3、および/または 2 0 4 を、例えば、関連付けられるモータの作動により動かすことで、環境との物理的相互作用によって、タスク、例えば、オブジェクト 2 1 3 の取り扱いの実行が可能になり得る。

40

【 0 0 9 0 】

幾つかの実証的な態様では、ロボットアーム 2 0 1 は、複数のジョイント要素、例えば、ジョイント要素 2 0 7、2 0 8、2 0 9 を含んでよく、当該複数のジョイント要素は、例えば、部材 2 0 2、2 0 3、および/または 2 0 4 を互いに、且つサポート 2 0 5 と接

50

続してよい。例えば、ジョイント要素 207、208、209 は、1 つまたは複数のジョイントを有してよく、当該 1 つまたは複数のジョイントの各々は、回転運動などの回転可能な運動および/または変位などの並進運動を関連付けられる部材に提供してよく、および/または、互いに対する部材の運動を提供してよい。部材 202、203、204 の移動は、適切なアクチュエータにより開始されてよい。

【0091】

幾つかの実証的な態様では、サポート 205 から最も遠い部材、例えば、部材 204 は、エンドエフェクタ 204 と呼ばれることもあり、1 つまたは複数の工具、例えば、オブジェクトを握るためのかぎ爪、溶接工具、または同様のものを含んでよい。サポート 205 により近い他の部材、例えば、部材 202、203 は、例えば、三次元空間における、エンドエフェクタ 204 の位置を変更するために利用されてよい。例えば、ロボットアーム 201 は、例えば、場合によってはその端に工具がある状態で、人間の腕と同様に機能するように構成されてよい。

10

【0092】

幾つかの実証的な態様では、ロボット 200 は、例えば、実行されるタスクに従ってロボットアーム 201 を制御するために、例えば、制御プログラムに従ってロボットアームのアクチュエータを制御することにより環境との相互作用を実装するように構成されている(ロボット)コントローラ 206 を含んでよい。

【0093】

幾つかの実証的な態様では、アクチュエータが、駆動されたことに応答してメカニズムまたはプロセスに影響を与えるように適合されているコンポーネントを含んでよい。アクチュエータは、機械的移動を実行することによってコントローラ 206 により与えられるコマンド(いわゆる起動)に応答することができる。これは、アクチュエータ、通常はモータ(または電気機械変換器)が、起動(すなわち、作動)すると、電気エネルギーを機械的エネルギーに変換するように構成され得ることを意味する。

20

【0094】

幾つかの実証的な態様では、コントローラ 206 は、ロボット 200 のレーダプロセッサ 210 と通信状態にあってよい。

【0095】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド 211 およびレーダアンテナ配列 212 が、レーダプロセッサ 210 に結合されてよい。一例では、レーダフロントエンド 211 および/またはレーダアンテナ配列 212 は、例えば、ロボットアーム 201 の一部として含まれてよい。

30

【0096】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド 211、レーダアンテナ配列 212、およびレーダプロセッサ 210 は、レーダデバイスとして動作可能であってよく、および/または、レーダデバイスを形成するように構成されてよい。例えば、上述したように、例えば、アンテナ配列 212 は、アンテナ配列 102 (図 1) の 1 つまたは複数の機能を実行するように構成されてよく、レーダフロントエンド 211 は、レーダフロントエンド 103 (図 1) の 1 つまたは複数の機能を実行するように構成されてよく、および/または、レーダプロセッサ 210 は、レーダプロセッサ 104 (図 1) の 1 つまたは複数の機能を実行するように構成されてよい。

40

【0097】

幾つかの実証的な態様では、例えば、レーダフロントエンド 211 およびアンテナ配列 212 は、無線送信信号 214 を送信するように、例えば、レーダプロセッサ 210 により制御されてよい。

【0098】

幾つかの実証的な態様では、図 2 に示すように、無線送信信号 214 は、オブジェクト 213 により反射され、エコー 215 をもたらし得る。

【0099】

50

幾つかの実証的な態様では、エコー 2 1 5 は、例えば、アンテナ配列 2 1 2 およびレーダフロントエンド 2 1 1 を介して受信されてよく、レーダプロセッサ 2 1 0 は、例えば、例として、ロボットアーム 2 0 1 に対する、オブジェクト 2 1 3 の位置、スピード（ドップラー）、および/または方向に関する情報を算出することによりレーダ情報を生成してよい。

【 0 1 0 0 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 2 1 0 は、ロボットアーム 2 0 1 のロボットコントローラ 2 0 6 にレーダ情報を提供して、例えば、ロボットアーム 2 0 1 を制御するように構成されてよい。例えば、ロボットコントローラ 2 0 6 は、レーダ情報に基づいてロボットアーム 2 0 1 を制御して、例えば、オブジェクト 2 1 3 を掴むように、および/または、任意の他の動作を実行するように構成されてよい。

10

【 0 1 0 1 】

図 3 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係るレーダ装置 3 0 0 を概略的に示している。

【 0 1 0 2 】

幾つかの実証的な態様では、レーダ装置 3 0 0 は、例えば、後述するように、デバイスまたはシステム 3 0 1 の一部として実装されてよい。

【 0 1 0 3 】

例えば、レーダ装置 3 0 0 は、図 1 および/または図 2 を参照して上述したデバイスまたはシステムの一部として実装されてよく、および/または、当該デバイスまたはシステムの 1 つまたは複数の動作および/または機能を実行するように構成されてよい。他の態様では、レーダ装置 3 0 0 は、任意の他のデバイスまたはシステム 3 0 1 の一部として実装されてよい。

20

【 0 1 0 4 】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス 3 0 0 は、アンテナ配列を含んでよく、当該アンテナ配列は、1 つまたは複数の送信アンテナ 3 0 2 と、1 つまたは複数の受信アンテナ 3 0 3 とを含んでよい。他の態様では、任意の他のアンテナ配列が実装されてよい。

【 0 1 0 5 】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス 3 0 0 は、レーダフロントエンド 3 0 4 およびレーダプロセッサ 3 0 9 を含んでよい。

30

【 0 1 0 6 】

幾つかの実証的な態様では、図 3 に示すように、例えば、後述するように、1 つまたは複数の送信アンテナ 3 0 2 は、レーダフロントエンド 3 0 4 の送信機（または送信機配列）3 0 5 と結合されてよく、および/または、1 つまたは複数の受信アンテナ 3 0 3 は、レーダフロントエンド 3 0 4 の受信機（または受信機配列）3 0 6 と結合されてよい。

【 0 1 0 7 】

幾つかの実証的な態様では、送信機 3 0 5 は、例えば、後述するように、1 つまたは複数の送信アンテナ 3 0 2 により送信される無線送信信号を生成するように構成されている、1 つまたは複数の要素、例えば、発振器、パワー増幅器、および/または、1 つまたは複数の他の要素を含んでよい。

40

【 0 1 0 8 】

幾つかの実証的な態様では、例えば、レーダプロセッサ 3 0 9 は、レーダフロントエンド 3 0 4 にデジタルレーダ送信データ値を提供してよい。例えば、レーダフロントエンド 3 0 4 は、デジタルレーダ送信データ値をアナログ送信信号に変換するデジタル/アナログ変換器（DAC）3 0 7 を含んでよい。送信機 3 0 5 は、アナログ送信信号を、送信アンテナ 3 0 2 により送信されることになる無線送信信号に変換してよい。

【 0 1 0 9 】

幾つかの実証的な態様では、受信機 3 0 6 は、例えば、後述するように、1 つまたは複数の受信アンテナ 3 0 3 を介して受信される無線信号を処理、ダウンコンバートするように構成されている、1 つまたは複数の要素、例えば、1 つまたは複数のミキサ、1 つまた

50

は複数のフィルタ、および/または、1つまたは複数の他の要素を含んでよい。

【0110】

幾つかの実証的な態様では、例えば、受信機306は、1つまたは複数の受信アンテナ303を介して受信される無線受信信号をアナログ受信信号に変換してよい。レーダフロントエンド304は、アナログ受信信号に基づいてデジタルレーダ受信データ値を生成するアナログ/デジタル(ADC)変換器308を含んでよい。例えば、レーダフロントエンド304は、レーダプロセッサ309にデジタルレーダ受信データ値を提供してよい。

【0111】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ309は、デジタルレーダ受信データ値を処理して、例えば、例として、デバイス/システム301の環境で、1つまたは複数のオブジェクトを検出するように構成されてよい。この検出は、例えば、例として、システム301に対する、1つまたは複数のオブジェクトのレンジ、スピード(ドップラー)、方向、および/または任意の他の情報のうちの1つまたは複数を含む情報の決定を含んでよい。

10

【0112】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ309は、決定されたレーダ情報を、デバイス/システム301のシステムコントローラ310に提供するように構成されてよい。例えば、システムコントローラ310は、例えば、デバイス/システム301が車両デバイス/システム含む場合に、車両コントローラを含んでもよいし、例えば、デバイス/システム301がロボットデバイス/システムを含む場合に、ロボットコントローラを含んでもよいし、任意の他のタイプのデバイス/システム301の場合に、任意の他のタイプのコントローラを含んでもよい。

20

【0113】

幾つかの実証的な態様では、システムコントローラ310は、例えば、1つまたは複数の対応するアクチュエータで、システム301の1つまたは複数の制御されたシステムコンポーネント311、例えば、モータ、ブレーキ、ステアリング、および同様のものを制御するように構成されてよい。

【0114】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス300は、例えば、レーダ300により処理される情報、例えば、レーダプロセッサ309により処理されるデジタルレーダ受信データ値、レーダプロセッサ309により生成されるレーダ情報、および/または、レーダプロセッサ309により処理される任意の他のデータを記憶する、記憶装置312またはメモリ313を含んでよい。

30

【0115】

幾つかの実証的な態様では、デバイス/システム301は、例えば、例として、システムコントローラ310の1つまたは複数の機能を少なくとも部分的に実装するため、および/または、システムコントローラ310、レーダデバイス300、制御されたシステムコンポーネント311、および/または、デバイス/システム301の1つまたは複数の更なる要素の間の通信を実行するための、アプリケーションプロセッサ314および/または通信プロセッサ315を含んでよい。

40

【0116】

幾つかの実証的な態様では、レーダデバイス300は、例えば、後述するように、無線送信信号を、レンジ、スピード、および/または方向の決定をサポートし得る形態で生成および送信するように構成されてよい。

【0117】

例えば、レーダの無線送信信号は、複数のパルスを含むように構成されてよい。例えば、パルス送信は、レーダデバイスがエコーを待つ時間と組み合わせた短い高出力バーストの送信を含んでよい。

【0118】

例えば、例として、自動車のシナリオで、非常に動的な状況をより最適にサポートする

50

ために、代わりに連続波（CW）が無線送信信号として使用されてよい。しかしながら、例えば、一定周波数の連続波は、速度決定をサポートするかもしれないが、例えば、距離算出を可能にし得るタイムマークの欠如に起因して、レンジ決定を可能にしないかもしれない。

【0119】

幾つかの実証的な態様では、無線送信信号105（図1）は、例えば、後述するように、レンジ、速度、および/または方向の決定をサポートし得る技術、例えば、周波数変調連続波（FMCW）レーダ、位相変調連続波（PMCW）レーダ、直交周波数分割多重（OFDM）レーダ、および/または任意の他のタイプのレーダ技術などに従って送信されてよい。

10

【0120】

図4を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係るFMCWレーダ装置を概略的に示している。

【0121】

幾つかの実証的な態様では、FMCWレーダデバイス400は、レーダフロントエンド401およびレーダプロセッサ402を含んでよい。例えば、レーダフロントエンド304（図3）は、レーダフロントエンド401の1つまたは複数の要素を含んでよく、および/もしくは、レーダフロントエンド401の1つまたは複数の動作および/または機能を実行してよく、並びに/または、レーダプロセッサ309（図3）は、レーダプロセッサ402の1つまたは複数の要素を含んでよく、および/もしくは、レーダプロセッサ402の1つまたは複数の動作および/または機能を実行してよい。

20

【0122】

幾つかの実証的な態様では、FMCWレーダデバイス400は、例えば、一定周波数で無線送信信号を送信するのではなく、FMCWレーダ技術に従って無線信号を伝達するように構成されてよい。

【0123】

幾つかの実証的な態様では、無線フロントエンド401は、例えば、のこぎり歯波形403に従って、例えば、周期的に、送信信号の周波数をランプアップおよびリセットするように構成されてよい。他の態様では、三角波形または任意の他の適切な波形が使用されてよい。

30

【0124】

幾つかの実証的な態様では、例えば、レーダプロセッサ402は、波形403を、例えば、デジタル形式で、例えば、一連のデジタル値として、フロントエンド401に提供するように構成されてよい。

【0125】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド401は、波形403をアナログ形式に変換し、それを電圧制御された発振器405に供給する、DAC404を含んでよい。例えば、発振器405は、出力信号を生成するように構成されてよく、当該出力信号は、波形403に従って周波数変調されてよい。

【0126】

幾つかの実証的な態様では、発振器405は、無線送信信号を含む出力信号を生成するように構成されてよく、当該無線送信信号は、1つまたは複数の送信アンテナ406に供給され、1つまたは複数の送信アンテナ406により送信されてよい。

40

【0127】

幾つかの実証的な態様では、発振器405により生成される無線送信信号は、一連のチャープ407の形態を有してよく、当該一連のチャープ407は、のこぎり歯波形403による正弦曲線の変調の結果であってよい。

【0128】

一例では、チャープ407は、例えば、最小周波数から最大周波数まで、のこぎり歯波形403の「歯」により周波数変調される発振器信号の正弦曲線に対応してよい。

50

【 0 1 2 9 】

幾つかの実証的な態様では、FMCWレーダデバイス400は、無線受信信号を受信する1つまたは複数の受信アンテナ408を含んでよい。無線受信信号は、例えば、任意のノイズ、干渉、または同様のものに加えて、無線送信信号のエコーに基づいてよい。

【 0 1 3 0 】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド401は、無線送信信号を無線受信信号と混合して混合信号にするミキサ409を含んでよい。

【 0 1 3 1 】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド401は、フィルタ、例えば、ローパスフィルタ(LPF)410を含んでよく、当該フィルタは、ミキサ409からの混合信号をフィルタリングして、フィルタリングされた信号を提供するように構成されてよい。例えば、レーダフロントエンド401は、フィルタリングされた信号をデジタル受信データ値に変換するADC411を含んでよく、当該デジタル受信データ値は、レーダプロセッサ402に提供されてよい。別の例では、フィルタ410は、デジタルフィルタであってよく、ADC411は、ミキサ409とフィルタ410との間に配置されてよい。

【 0 1 3 2 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ402は、デジタル受信データ値を処理して、例えば、1つまたは複数のオブジェクトのレンジ、スピード(速度/ドップラー)、および/または方向(AoA)情報を含む、レーダ情報を提供するように構成されてよい。

【 0 1 3 3 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ402は、レンジ情報を抽出するために使用され得る遅延応答をデジタル受信データ値から抽出する第1高速フーリエ変換(FFT)(「レンジFFT」とも呼ばれる)、および/または、速度情報を抽出するために使用され得るドップラーシフト応答をデジタル受信データ値から抽出する第2FFT(「ドップラーFFT」とも呼ばれる)を実行するように構成されてよい。

【 0 1 3 4 】

他の態様では、レンジ情報を抽出するために、任意の他の追加的または代替的な方法が利用されてよい。一例では、デジタルレーダ実装において、例えば、整合フィルタ実装に従って、送信された信号との相関が使用されてよい。

【 0 1 3 5 】

図5を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、デジタル受信レーダデータ値からレンジおよびスピード(ドップラー)の推定を抽出するために実装され得る抽出スキームを概略的に示している。例えば、レーダプロセッサ104(図1)、レーダプロセッサ210(図2)、レーダプロセッサ309(図3)、および/またはレーダプロセッサ402(図4)は、図5の抽出スキームの1つまたは複数の態様に従ってデジタル受信レーダデータ値からレンジおよび/またはスピード(ドップラー)の推定を抽出するように構成されてよい。

【 0 1 3 6 】

幾つかの実証的な態様では、図5に示すように、例えば、無線送信信号のエコーを含む、無線受信信号が、受信アンテナアレイ501により受信されてよい。無線受信信号は、例えば、上述したように、デジタル受信データ値を生成するために、無線レーダフロントエンド502により処理されてよい。無線レーダフロントエンド502は、レーダプロセッサ503にデジタル受信データ値を提供してよく、当該レーダプロセッサ503は、例えば、上述したように、デジタル受信データ値を処理してレーダ情報を提供してよい。

【 0 1 3 7 】

幾つかの実証的な態様では、デジタル受信データ値は、データキューブ504の形態で表されてよい。例えば、データキューブ504は、無線受信信号のデジタル化されたサンプルを含んでよく、当該デジタル化されたサンプルは、送信アンテナから送信され、且つ、M個の受信アンテナにより受信される、無線信号に基づいてよい。

10

20

30

40

50

な態様では、例えば、MIMO実装に関して、複数の送信アンテナがあってよく、それに
 応じて、サンプルの数が乗算されてよい。

【0138】

幾つかの実証的な態様では、データキューブ504の層、例えば、データキューブ504
 の水平層が、あるアンテナ、例えば、M個のアンテナのそれぞれのアンテナのサンプル
 を含んでよい。

【0139】

幾つかの実証的な態様では、データキューブ504は、K個のチャープのサンプルを含
 んでよい。例えば、図5に示すように、チャープのサンプルは、いわゆる「遅い時間」方
 向に配置されてよい。

10

【0140】

幾つかの実証的な態様では、データキューブ504は、あるチャープについて、例えば
 、各チャープにつき、L個のサンプル(例えば、 $L = 512$)または任意の他の数のサン
 プルを含んでよい。例えば、図5に示すように、チャープごとのサンプルは、データキュー
 ブ504の、いわゆる「速い時間」方向に配置されてよい。

【0141】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ503は、第1FFTにより、チャープ
 ごと且つアンテナごとに収集される複数のサンプル、例えば、L個のサンプルを処理する
 ように構成されてよい。第1FFTは、例えば、チャープごと且つアンテナごとに実行され
 てよく、それによって、第1FFTによるデータキューブ504の処理の結果が、再び
 三次元を有してよく、例えば、L回のサンプリング回数に関する値の代わりに、L個のレ
 ンジピンに関する値を含みつつ、データキューブ504のサイズを有してよい。

20

【0142】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ503は、例えば、例として、アンテナ
 ごと且つレンジピンごとに、チャープに沿って第2FFTに従って結果を処理することに
 より、第1FFTによるデータキューブ504の処理の結果を処理するように構成されて
 よい。

【0143】

例えば、第1FFTは「速い時間」方向にあってよく、第2FFTは「遅い時間」方向
 にあってよい。

30

【0144】

幾つかの実証的な態様では、第2FFTの結果は、例えば、アンテナにわたって集約さ
 れると、レンジ/ドップラー(R/D)マップ505を提供してよい。R/Dマップは、
 例えば、レンジ/ドップラーピンなどの特定のレンジ/スピードの組み合わせに関する(絶
 対値の観点から見た)FFT出力値のピークを含む、FFTピーク506を有してよい。
 例えば、レンジ/ドップラーピンは、レンジピンおよびドップラーピンに対応してよい。
 例えば、レーダプロセッサ503は、あるピークを、例えば、そのピークのレンジピン
 およびスピードピンに対応するレンジおよびスピードのオブジェクトに潜在的に対応する
 と見なしてよい。

【0145】

幾つかの実証的な態様では、図5の抽出スキームは、上述したように、FMCWレーダ
 、例えば、FMCWレーダ400(図4)について実装されてよい。他の態様では、図5
 の抽出スキームは、任意の他のレーダタイプについて実装されてよい。一例では、レーダ
 プロセッサ503は、PMCWレーダ、OFDMレーダ、または任意の他のレーダ技術の
 デジタル受信データ値からレンジ/ドップラーマップ505を決定するように構成されて
 よい。例えば、適応レーダまたは認知レーダにおいて、フレーム内のパルス、波形、およ
 び/または変調は、例えば、環境に従って、経時的に変化することがある。

40

【0146】

図3を再び参照すると、幾つかの実証的な態様では、受信アンテナ配列303は、複数
 の受信アンテナ(または受信アンテナ素子)を有する受信アンテナアレイを使用して実装

50

されてよい。例えば、レーダプロセッサ 309 は、受信された無線信号、例えば、エコー 105 (図 1) および/またはエコー 215 (図 2) の到来角を決定するように構成されてよい。例えば、レーダプロセッサ 309 は、例えば、後述するように、例えば、受信された無線信号の到来角に基づいて、例えば、デバイス/システム 301 に関して、検出されたオブジェクトの方向を決定するように構成されてよい。

【0147】

図 6 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、受信アンテナアレイ 600 により受信される着信無線信号に基づいて到来角 (A o A) 情報を決定するために実装され得る角度決定スキームを概略的に示している。

【0148】

図 6 は、受信アンテナアレイにおける受信された信号に基づく角度決定スキームを示す。幾つかの実証的な態様では、例えば、仮想 MIMO アレイにおいて、角度決定は、Tx アンテナのアレイにより送信される信号に基づいていてもよい。

【0149】

図 6 は、一次元の角度決定スキームを示す。他の多次元の角度決定スキーム、例えば、二次元スキームまたは三次元スキームが実装されてもよい。

【0150】

幾つかの実証的な態様では、図 6 に示すように、受信アンテナアレイ 600 は、M 個のアンテナ (左から右に 1 から M の番号が付けられている) を含んでよい。

【0151】

図 6 の矢印で示すように、エコーは、左上方向に位置付けられるオブジェクトから来ると仮定する。それに応じて、エコー、例えば、着信無線信号の方向は、右下に向かってよい。本例によれば、受信アンテナが更に左方に位置付けられるほど、それは、着信無線信号の特定の位相を早く受信することになる。

【0152】

例えば、受信アンテナアレイ 601 の 2 つのアンテナの間の、 $\Delta\phi$ で示される位相差は、例えば、以下のように、決定されてよい。

【数 1】

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin(\theta)$$

ここで、 λ は、着信無線信号の波長を示し、d は、これら 2 つのアンテナの間の距離を示し、 θ は、例えば、アレイの法線方向に対する、着信無線信号の到来角を示す。

【0153】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 309 (図 3) は、着信無線信号の位相と角度とのこの関係を利用して、例えば、例として、アンテナにわたる第 3 FFT (「角度 FFT」) などの FFT を実行することにより、エコーの到来角を決定するように構成されてよい。

【0154】

幾つかの実証的な態様では、例えば、複数の送信アンテナを有するアンテナアレイの形態の、複数の送信アンテナを使用して、例えば、空間解像度を上げて、例えば、高解像度レーダ情報を提供してよい。例えば、MIMOレーダデバイスは、仮想 MIMOレーダアンテナを利用してよく、当該仮想 MIMOレーダアンテナは、複数の受信アンテナと畳み込まれる複数の送信アンテナの畳み込みとして形成されてよい。

【0155】

図 7 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、送信 (Tx) アンテナと受信 (Rx) アンテナとの組み合わせに基づいて実装され得る MIMOレーダアンテナス

10

20

30

40

50

キームを概略的に示している。

【 0 1 5 6 】

幾つかの実証的な態様では、図 7 に示すように、レーダ M I M O 配列が、送信アンテナアレイ 7 0 1 および受信アンテナアレイ 7 0 2 を含んでよい。例えば、1 つまたは複数の送信アンテナ 3 0 2 (図 3) は、送信アンテナアレイ 7 0 1 を含むように実装されてよく、および / または、1 つまたは複数の受信アンテナ 3 0 3 (図 3) は、受信アンテナアレイ 7 0 2 を含むように実装されてよい。

【 0 1 5 7 】

幾つかの実証的な態様では、無線送信信号の送信および無線送信信号のエコーの受信の両方を行うための複数のアンテナを含むアンテナアレイを利用して、図 7 の破線で示すように、複数の仮想チャネルを提供してよい。例えば、ある仮想チャネルは、例えば、M I M O レーダの仮想ステアリングベクトルを表す、送信アンテナと受信アンテナとの畳み込みとして、例えば、クロネッカー積として、形成されてよい。

10

【 0 1 5 8 】

幾つかの実証的な態様では、ある送信アンテナ、例えば、各送信アンテナは、例えば、それぞれの送信アンテナに関連付けられる位相を有する、個々の無線送信信号を送信するように構成されてよい。

【 0 1 5 9 】

例えば、サイズ $N \times M$ の仮想 M I M O アレイを提供するために、 N 個の送信アンテナおよび M 個の受信アンテナのアレイが実装されてよい。例えば、仮想 M I M O アレイは、 $T \times$ ステアリングベクトルおよび $R \times$ ステアリングベクトルに適用されるクロネッカー積演算に従って形成されてよい。

20

【 0 1 6 0 】

図 8 は、幾つかの実証的な態様に係る、レーダフロントエンド 8 0 4 およびレーダプロセッサ 8 3 4 の概略ブロック図である。例えば、レーダフロントエンド 1 0 3 (図 1)、レーダフロントエンド 2 1 1 (図 1)、レーダフロントエンド 3 0 4 (図 3)、レーダフロントエンド 4 0 1 (図 4)、および / またはレーダフロントエンド 5 0 2 (図 5) は、レーダフロントエンド 8 0 4 の 1 つまたは複数の要素を含んでよく、および / または、レーダフロントエンド 8 0 4 の 1 つまたは複数の動作および / または機能を実行してよい。

【 0 1 6 1 】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド 8 0 4 は、例えば、後述するように、複数の $T \times R F$ 信号 (「 $T \times$ レーダ信号」 とも呼ばれる) を送信するように構成されている複数の $T \times$ アンテナ 8 1 4 と、例えば、 $T \times$ レーダ信号に基づいて、複数の $R \times R F$ 信号 (「 $R \times$ レーダ信号」 とも呼ばれる) を受信するように構成されている複数の $R \times$ アンテナ 8 1 6 とを含む M I M O レーダアンテナ 8 8 1 を利用する M I M O レーダの一部として実装されてよい。

30

【 0 1 6 2 】

幾つかの実証的な態様では、M I M O アンテナアレイ 8 8 1、アンテナ 8 1 4、および / またはアンテナ 8 1 6 は、レーダ信号を送信および / または受信するのに適切な任意のタイプのアンテナを含んでもよいし、それらの一部であってもよい。例えば、M I M O アンテナアレイ 8 8 1、アンテナ 8 1 4、および / またはアンテナ 8 1 6 は、1 つまたは複数のアンテナ素子、コンポーネント、ユニット、アセンブリ、および / またはアレイの任意の適切な構成、構造、および / または配列の一部として実装されてよい。例えば、M I M O アンテナアレイ 8 8 1、アンテナ 8 1 4、および / またはアンテナ 8 1 6 は、フェイズドアレイアンテナ、複数の素子アンテナ、一組の切り替えビームアンテナ、および / または同様のものの一部として実装されてよい。幾つかの態様では、M I M O アンテナアレイ 8 8 1、アンテナ 8 1 4、および / またはアンテナ 8 1 6 は、別個の送信アンテナ素子および受信アンテナ素子を使用して送信機能および受信機能をサポートするために実装されてよい。幾つかの態様では、M I M O アンテナアレイ 8 8 1、アンテナ 8 1 4、および / またはアンテナ 8 1 6 は、共通のおよび / または統合された送信 / 受信素子を使用して

40

50

送信機能および受信機能をサポートするために実装されてよい。

【0163】

幾つかの実証的な態様では、MIMOレーダアンテナ881は、長方形のMIMOアンテナアレイ、および/または、例えば、車両設計に適合するように成形された、湾曲アレイを含んでよい。他の態様では、MIMOレーダアンテナ881の任意の他の形態、形状、および/または配置が実装されてよい。

【0164】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド804は、例えば、後述するように、Txアンテナ814を介してTx RF信号を生成および送信するように、および/または、Rxアンテナ816を介して受信されるRx RF信号を処理するように構成されている1つまたは複数の無線機を含んでよい。

10

【0165】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド804は、Txアンテナ814を介してTxレーダ信号を生成および/または送信するように構成されている回路および/またはロジックを含む少なくとも1つの送信機(Tx)883を含んでよい。

【0166】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド804は、例えば、Txレーダ信号に基づいて、Rxアンテナ816を介して受信されるRxレーダ信号を受信および/または処理する回路および/またはロジックを含む少なくとも1つの受信機(Rx)885を含んでよい。

20

【0167】

幾つかの実証的な態様では、送信機883および/または受信機885は、回路、ロジック、無線周波(RF)素子、RF回路、および/もしくはRFロジック、ベースバンド素子、ベースバンド回路、および/もしくはベースバンドロジック、変調素子、変調回路、および/もしくは変調ロジック、復調素子、復調回路、および/もしくは復調ロジック、増幅器、アナログ/デジタル変換器および/もしくはデジタル/アナログ変換器、フィルタ、並びに/または同様のものを含んでよい。

【0168】

幾つかの実証的な態様では、送信機883は、Txアンテナ814を介してTx RF信号を、例えば、それぞれ、生成および送信するように構成されている複数のTxチェーン810を含んでよく、および/または、受信機885は、Rxアンテナ816を介して受信されるRx RF信号を、例えば、それぞれ、受信および処理するように構成されている複数のRxチェーン812を含んでよい。

30

【0169】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、例えば、後述するように、例えば、MIMOレーダアンテナ881により伝達されるレーダ信号に基づいて、レーダ情報813を生成するように構成されてよい。例えば、レーダプロセッサ104(図1)、レーダプロセッサ210(図1)、レーダプロセッサ309(図3)、レーダプロセッサ402(図4)、および/またはレーダプロセッサ503(図5)は、レーダプロセッサ834の1つまたは複数の要素を含んでよく、および/または、レーダプロセッサ834の1つまたは複数の動作および/または機能を実行してよい。

40

【0170】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、例えば、複数のRxチェーン812から受信されるレーダRxデータ811に基づいて、レーダ情報813を生成するように構成されてよい。例えば、レーダRxデータ811は、Rxアンテナ816を介して受信されるRx RF信号に基づいていてよい。

【0171】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、複数のRxチェーン812からレーダRxデータ811を受信する入力832を含んでよい。

【0172】

50

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 834 は、少なくとも 1 つのプロセッサ 836 を含んでよく、当該少なくとも 1 つのプロセッサ 836 は、例えば、レーダ R x データ 811 を処理するように、および/または、1 つまたは複数の動作、方法、および/またはアルゴリズムを実行するように構成されてよい。

【0173】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 834 は、例えば、プロセッサ 836 に結合される、少なくとも 1 つのメモリ 838 を含んでよい。例えば、メモリ 838 は、レーダプロセッサ 834 により処理されるデータを記憶するように構成されてよい。例えば、メモリ 838 は、プロセッサ 836 により処理される情報の少なくとも一部、および/または、プロセッサ 836 により利用されるロジックを、例えば、少なくとも一時的に、記憶してよい。

10

【0174】

幾つかの実証的な態様では、メモリ 838 は、例えば、後述するように、例えば、プロセッサ 836 による処理のために、レーダデータの少なくとも一部、例えば、レーダ R x データの一部またはレーダ R x データの全てを記憶するように構成されてよい。

【0175】

幾つかの実証的な態様では、メモリ 838 は、処理されたデータを記憶するように構成されてよく、当該処理されたデータは、例えば、後述するように、例えば、レーダ情報 813 を生成するプロセスで、プロセッサ 836 により生成されてよい。

【0176】

幾つかの実証的な態様では、メモリ 838 は、レンジ情報および/またはドップラー情報を記憶するように構成されてよく、当該レンジ情報および/またはドップラー情報は、例えば、後述するように、例えば、レーダ R x データに基づいて、プロセッサ 836 により生成されてよい。一例では、レンジ情報および/またはドップラー情報は、相互相関 (XCORR) 演算に基づいて決定されてよく、当該 XCORR 演算は、レーダ R x データに適用されてよい。任意の他の追加的または代替的な演算、アルゴリズム、および/または手順を利用して、レンジ情報および/またはドップラー情報を生成してよい。

20

【0177】

幾つかの実証的な態様では、メモリ 838 は、A o A 情報を記憶するように構成されてよく、当該 A o A 情報は、例えば、後述するように、例えば、レーダ R x データ、レンジ情報、および/またはドップラー情報に基づいて、プロセッサ 836 により生成されてよい。一例では、A o A 情報は、A o A 推定アルゴリズムに基づいて決定されてよい。任意の他の追加的または代替的な演算、アルゴリズム、および/または手順を利用して、A o A 情報を生成してよい。

30

【0178】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 834 は、例えば、後述するように、レンジ情報、ドップラー情報、および/または A o A 情報のうちの 1 つまたは複数を含むレーダ情報 813 を生成するように構成されてよい。

【0179】

幾つかの実証的な態様では、レーダ情報 813 は、例えば、レンジ、半径方向速度、方位角、および/または仰角などの生の点群推定を含む、点群 1 (PC1) 情報を含んでよい。

40

【0180】

幾つかの実証的な態様では、レーダ情報 813 は、点群 2 (PC2) 情報を含んでよく、当該 PC2 情報は、例えば、PC1 情報に基づいて、生成されてよい。例えば、PC2 情報は、クラスタリング情報、追跡情報、例えば、確率および/または密度関数の追跡、バウンディングボックス情報、分類情報、配向情報、および同様のものを含んでよい。

【0181】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 834 は、レーダ情報 813 を四次元 (4D) 画像情報、例えば、キューブの形態で生成するように構成されてよく、当該 4D 画

50

像情報は、1つまたは複数の検出されたターゲットに対応する4D情報を表してよい。

【0182】

幾つかの実証的な態様では、例えば、4D画像情報は、例えば、レンジ情報に基づく、レンジ値、例えば、ドップラー情報に基づく、速度値、例えば、方位角 θ 情報に基づく、方位角値、例えば、仰角 θ 情報に基づく、仰角値、および/または任意の他の値を含んでよい。

【0183】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、レーダ情報813を任意の他の形態で生成するように、および/または、任意の他の追加的または代替的な情報を含むように構成されてよい。

【0184】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、MIMOレーダアンテナ881を介して伝達される信号を、複数の $R \times$ アンテナ816および複数の $T \times$ アンテナ814の畳み込みにより形成される仮想MIMOアレイの信号として処理するように構成されてよい。

【0185】

幾つかの実証的な態様では、レーダフロントエンド804および/またはレーダプロセッサ834は、MIMO技術を利用して、例えば、縮小された物理的アレイ開口、例えば、アレイサイズをサポートするように、および/または、削減された数のアンテナ素子を利用するように構成されてよい。例えば、レーダフロントエンド804および/またはレーダプロセッサ834は、複数の N 個の要素、例えば、 $T \times$ アンテナ814を含む $T \times$ アレイを介して直交信号を送信し、受信された信号を、複数の M 個の要素、例えば、 $R \times$ アンテナ816を含む $R \times$ アレイを介して処理するように構成されてよい。

【0186】

幾つかの実証的な態様では、 N 個の要素を有する $T \times$ アレイから直交信号を送信するMIMO技術を利用し、且つ、 M 個の要素を有する $R \times$ アレイ内の受信された信号を処理することは、例えば、遠方場近似の下で、1つのアンテナからの送信と、 $N * M$ 個のアンテナによる受信とを利用するレーダと同等であってよい。例えば、レーダフロントエンド804および/またはレーダプロセッサ834は、MIMOアンテナアレイ881を、同等のアレイサイズ $N * M$ を有する仮想アレイとして利用するように構成されてよく、これは、仮想要素の位置を、例えば、アンテナ814および/または816などの物理的要素の位置の畳み込みとして、定義してよい。

【0187】

幾つかの実証的な態様では、アンテナアレイを効率的および/または正確に較正する技術的解決策を提供する必要があるかもしれない。例えば、アンテナは、それらの基底状態として幾らかの増強された位相およびゲインで製造されてよく、それに応じて、アンテナアレイは、例えば、アレイのアンテナ素子が較正されない場合に、機能不全になることがある。

【0188】

幾つかの実証的な態様では、ターゲットを既知の位置に置くことにより、且つ、各アンテナ上の期待されるゲインおよび位相を用いてアンテナアレイを較正すると、1つまたは複数の使用事例および/またはシナリオで、1つまたは複数の技術的な非効率性、欠点、および/または問題が生じることがある。例えば、アンテナパターンが非等方的であるため、単一のターゲットではアンテナを較正するのに十分でないことがある。それに応じて、アンテナアレイ全体を較正するには、様々な位置における複数のアンテナが必要とされることがある。そのような解決策は、時間およびコストの観点から見て高くつくことがある。

【0189】

幾つかの実証的な態様は、1つまたは複数の定義されたインスタンスなどの複数のインスタンスで、動的方式で、並びに/またはリアルタイムで、例えば、レーダフロントエン

10

20

30

40

50

ド 8 0 4 の設置後および/もしくは動作中に、アンテナアレイの較正をサポートする技術的解決策を提供するように構成されてよい。一例では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、例えば、M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の 1 つまたは複数のアンテナ素子の設置時または設置後に、並びに/または、1 つまたは複数の後の時点に、例えば、アンテナアレイ 8 8 1 内の 1 つまたは複数のアンテナ素子の処置後、および/もしくは、M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の周囲への処置後に、M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の較正をサポートするように構成されてよい。一例では、M I M O アンテナアレイ 8 8 1 が車のバンパの後ろに置かれている場合は、例えば、車のバンパが M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の較正に何らかの不整合をもたらすことがあるため、例えば、事故の後の、設置、処置、および/または車のバンパの変化に基づいて較正が実行されてよい。

10

【 0 1 9 0 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、例えば、後述するように、不整合較正を実行して M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の不整合を較正して、例えば、アンテナアレイ 8 8 1 の性能を改善するように構成されてよい。

【 0 1 9 1 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、例えば、後述するように、例えば、コスト関数に基づいて、不整合較正を実行するように構成されてよい。

【 0 1 9 2 】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数は、例えば、到来角 (A o A) 画像の鮮明さを、例えば、A o A 画像のサイドローブのレベルと共に、表すように構成されてよく、当該 A o A 画像のサイドローブのレベルは、例えば、後述するように、間違っただ角度から到着するエネルギーの量を表してよい。

20

【 0 1 9 3 】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数は、例えば、後述するように、不整合修復をそのドメインとして受け取り、スコア値、例えば、A o A 画像ごとの単一の実数値のスコアを出力するように構成されてよい。

【 0 1 9 4 】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数は、例えば、後述するように、例えば、1 つまたは複数の基準に基づいて、最適化されてよい。

【 0 1 9 5 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、不整合較正を実行して、例えば、工場での較正および/または特殊ハードウェアの使用を回避することさえできる技術的解決策を提供するように構成されてよい。

30

【 0 1 9 6 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、比較的短い期間内に、例えば、数分以内に実行され得る較正技術に従って M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の不整合較正を実行するように構成されてよい。

【 0 1 9 7 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、例えば、後述するように、1 つまたは複数の時点に M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の不整合較正を実行するように構成されてよい。

40

【 0 1 9 8 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、例えば、日に一度、週に一度、月に一度、および/または任意の他の時間間隔で、タイミングスキームに従って、M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の不整合較正を自動的および/または自律的に実行するように構成されてよい。

【 0 1 9 9 】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ 8 3 4 は、1 つまたは複数のイベントおよび/または基準に基づいて M I M O アンテナアレイ 8 8 1 の不整合較正を実行するように構成されてよい。

50

【0200】

一例では、レーダプロセッサ834は、例えば、例として、車両100（図1）上への、例えば、アンテナアレイ881の設置後の、MIMOアンテナアレイ881の1つまたは複数の要素の設置および/もしくは処置に基づいて、並びに/または、MIMOアンテナアレイ881の1つまたは複数の要素の処置、取り替え、および/もしくは調整に基づいて、MIMOアンテナアレイ881の不整合較正を実行するように構成されてよい。

【0201】

一例では、レーダプロセッサ834は、例えば、1つまたは複数の他の要素の設置および/または処置に基づいて、MIMOアンテナアレイ881の不整合較正を実行するように構成されてよく、これは、車両100（図1）への処置、例えば、車両100（図1）のバンパの交換、および/または、任意の他の処置、メンテナンス、もしくはサービスの後の、アンテナアレイ、例えば、Txアンテナ814およびRxアンテナ816の新たな較正など、アンテナアレイ881への影響を与えることがある。

10

【0202】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834を、例えば、本明細書に記載するように、MIMOアンテナアレイ881の不整合較正を実行するように構成することで、例えば、経年劣化、温度変化、車の事故、レーダの移動および/または設置、並びに同様のもを含む、車両100（図1）および/またはレーダフロントエンド804の1つまたは複数の要素の変化に起因し得るレーダ情報のエラーを軽減、低減、および/または、それどころか回避することができる技術的解決策を提供してよい。

20

【0203】

幾つかの実証的な態様では、レーダプロセッサ834は、例えば、後述するように、アンテナ不整合較正情報851を決定して、例えば、複数のRxアンテナ816を含むレーダアンテナアレイ881のアンテナ不整合を較正するように構成されている不整合較正器833を含んでよい。

【0204】

幾つかの実証的な態様では、プロセッサ836は、例えば、レーダRxデータ811およびアンテナ不整合較正情報851に基づいて、レーダ情報813を決定するように構成されてよい。例えば、レーダRxデータ811は、例えば、後述するように、Rxアンテナ816で受信されるレーダ信号に基づいてよい。

30

【0205】

幾つかの実証的な態様では、例えば、レーダ情報813は、例えば、後述するように、AoA情報を含んでよい。他の態様では、レーダ情報813は、任意の他の追加的または代替的な情報を含んでよい。

【0206】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器833および/またはプロセッサ836は、レーダプロセッサ834の一部として実装されてよい。他の態様では、不整合較正器833および/またはプロセッサ836は、レーダデバイス101（図1）などのレーダデバイスの別個の要素および/または専用の要素、例えば、プロセッサとして実装されてよい。

【0207】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器833は、例えば、後述するように、アンテナ不整合較正情報851を決定して、例えば、レーダアンテナアレイ881のゲイン不整合および/または位相不整合のうちの少なくとも一方を較正するように構成されてよい。

40

【0208】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器833は、例えば、複数の複素数のベクトルを含むアンテナ不整合較正情報851を決定するように構成されてよく、複数の複素数のうちのある複素数は、例えば、後述するように、Rxアンテナ816のうちのあるRxアンテナに対応する。

【0209】

幾つかの実証的な態様では、複数の複素数のうちの当該複素数は、例えば、後述するよ

50

うに、複数の $R \times$ アンテナのうちの当該 $R \times$ アンテナに対応するゲイン不整合および位相不整合を表してよい。

【0210】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、アンテナ不整合較正情報をリアルタイムで更新することにより、レーダアンテナアレイ 881 のアンテナ不整合を動的に較正するように構成されてよい。

【0211】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、較正更新基準に基づいて、例えば、アンテナ不整合較正情報 851 を繰り返し決定することにより、レーダアンテナアレイ 881 のアンテナ不整合を動的に較正するように構成されてよい。

10

【0212】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、スコア関数に基づいて、アンテナ不整合較正情報 851 を決定するように構成されてよい。

【0213】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数は、例えば、後述するように、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、仮定的アンテナ不整合およびレーダ $R \times$ データ 811 がもたらす仮定的レーダ情報に基づいて、提供するように構成されてよい。

【0214】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定し、例えば、識別されたアンテナ不整合に基づいて、アンテナ不整合較正情報 851 を決定するように構成されてよい。

20

【0215】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、スコア関数の数値勾配を最小にすることにより、アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されてよい。

【0216】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、複数回の算出反復を実行するように構成されてよい。例えば、ある算出反復は、例えば、後述するように、初期の仮定的アンテナ不整合のランダム選択と、例えば、初期の仮定的アンテナ不整合に基づく、スコア関数の数値勾配の最小値の決定と、例えば、スコア関数の数値勾配の最小値に基づく、アンテナ不整合較正情報の更新とを含んでよい。

30

【0217】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、少なくとも 100 回の反復を実行するように構成されてよい。

【0218】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、少なくとも 500 回の反復を実行するように構成されてよい。

【0219】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、少なくとも 1000 回の反復を実行するように構成されてよい。

40

【0220】

他の態様では、任意の他の回数の反復が実行されてよい。

【0221】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、仮定的アンテナ不整合およびレーダ $R \times$ データ 811 がもたらすレーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、決定するように構成されてよい。

【0222】

50

幾つかの実証的な態様では、スコア関数は、例えば、後述するように、第 1 の仮定的アンテナ不整合に第 1 スコア値を、第 2 の仮定的アンテナ不整合に第 2 スコア値を提供するように構成されてよい。

【 0 2 2 3 】

幾つかの実証的な態様では、第 1 の仮定的アンテナ不整合は、例えば、後述するように、仮定的ノイズ値の第 1 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 1 ヒストグラムをもたらし得る。

【 0 2 2 4 】

幾つかの実証的な態様では、第 2 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 2 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 2 ヒストグラムをもたらし得る。

10

【 0 2 2 5 】

例えば、仮定的ノイズ値の第 1 範囲は、例えば、後述するように、例えば、第 1 スコア値が第 2 スコア値より高い場合に、仮定的ノイズ値の第 2 範囲より高くてよい。

【 0 2 2 6 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、後述するように、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、例として、仮定的アンテナ不整合およびレーダ R x データ 8 1 1 がもたらす、A o A 画像のヒストグラムに基づいて、決定するように構成されてよい。

【 0 2 2 7 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、後述するように、例えば、例として、仮定的アンテナ不整合およびレーダ R x データ 8 1 1 に適用される、離散フーリエ変換 (D F T) に基づいて、A o A 画像を決定するように構成されてよい。

20

【 0 2 2 8 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、後述するように、スコア関数を利用して、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、ヒストグラムに適用される予め定義された重み関数に基づいて、提供するように構成されてよい。

【 0 2 2 9 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加してよい。

【 0 2 3 0 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、 $-70\text{ dB} \sim -40\text{ dB}$ の仮定的ノイズ値について単調に増加してよい。

30

【 0 2 3 1 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、 -20 dB を超える仮定的ノイズ値について一定であってよい。

【 0 2 3 2 】

他の態様では、重み関数は、任意の他の範囲内の仮定的ノイズ値について単調に増加してよく、および / または、重み関数は、任意の他の仮定的ノイズ値について一定であってよい。

【 0 2 3 3 】

他の態様では、任意の他のコスト関数および / または重み関数が、例えば、任意の他のノイズレベル、ノイズレベル範囲、並びに / または、任意の他の重みおよび / もしくはパラメータに基づいて、実装されてよい。

40

【 0 2 3 4 】

図 9 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、A o A 画像を示すグラフ 9 1 0 と、グラフ 9 1 0 の A o A 画像に対応するヒストグラムを示すグラフ 9 2 0 とを概略的に示している。

【 0 2 3 5 】

幾つかの実証的な態様では、A o A 画像 9 1 2 が、不整合がない M I M O アンテナアレイにより受信される R x レーダ信号に基づいてよい。例えば、A o A 画像 9 1 2 は、

50

例えば、MIMOアンテナアレイ881(図8)の不整合がないと仮定して、DFTをレーダRxデータ811(図8)に適用することにより決定され得る、固定されたレンジピン内のA o A画像を含んでよい。

【0236】

幾つかの実証的な態様では、A o A画像914が、何らかの不整合があるMIMOアンテナアレイにより受信されるRxレーダ信号に基づいてよい。例えば、A o A画像914は、例えば、DFTの前に、例えば、MIMOアンテナアレイ881(図1)の不整合を仮定して、DFTをレーダRxデータ811(図8)に適用することにより決定され得る、固定されたレンジピン内のA o A画像を含んでよい。例えば、A o A画像914は、1 dBのゲイン不整合および20度の位相不整合、例えば、均一に分布した±1 dBのゲイン不整合、および、±20度の位相不整合に対応してよい。

10

【0237】

幾つかの実証的な態様では、図9に示すように、不整合は、「破損した」A o A画像914をもたらすことがあり、当該「破損した」A o A画像914は、例えば、不整合がない「元の」A o A画像と比較して、例えば、ノイズレベルの観点から見て、より悪い結果を提供することがある。

【0238】

幾つかの実証的な態様では、図9に示すように、A o A画像912に基づいてヒストグラム922が生成されてよく、A o A画像914に基づいてヒストグラム924が生成されてよい。

20

【0239】

幾つかの実証的な態様では、グラフ910および920に示すように、「元の」A o A画像912は、例えば、「破損した」A o A画像914のより高いサイドローブおよびより高いノイズレベルと比較して、より低いサイドローブおよび低いノイズレベルで特徴付けられてよい。

【0240】

例えば、グラフ910および920に示すように、アンテナ不整合の影響を受けることがある「破損した」A o A画像914は、主に約-40 dBのノイズレベルを有してよく、一方、アンテナ不整合の影響を受けない「元の」A o A画像912は、主に-60 dB未満のノイズレベルを有してよい。

30

【0241】

図8を再び参照すると、幾つかの実証的な態様では、不整合較正器833は、例えば、fで示されるスコア関数に基づいて、アンテナ不整合較正情報851を決定するように構成されてよく、当該fは、例えば、以下のように、定義されてよい。

【数2】

$$f: \mathbb{C}^m \rightarrow \mathbb{R}$$

(1)

40

ここで、mは、例えば、MIMOアンテナアレイ881がもたらす、仮想アレイ内のアンテナの数を示す。

【0242】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数fは、例えば、後述するように、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、仮定的アンテナ不整合およびレーダRxデータ811がもたらす仮定的レーダ情報に基づいて、提供するように構成されてよい。

【0243】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数fは、例えば、後述するように、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、例えば、仮定的アンテナ不整合およびレーダRxデータ

50

8 1 1 がもたらすレーダ情報に対応する仮定的ノイズ値の、例えば、図 9 のヒストグラムと同様の、ヒストグラムに基づいて、提供するように構成されてよい。

【 0 2 4 4 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、第 1 の仮定的アンテナ不整合に第 1 スコア値を提供するように構成されてよく、当該第 1 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 1 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 1 ヒストグラムをもたらし得る。

【 0 2 4 5 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、第 2 の仮定的アンテナ不整合に、例えば、第 1 スコア値より低い、第 2 スコア値を提供するように構成されてよく、当該第 2 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 2 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 2 ヒストグラムをもたらし得る。例えば、仮定的ノイズ値の第 2 範囲は、例えば、後述するように、仮定的ノイズ値の第 1 範囲より低くてよい。

10

【 0 2 4 6 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、ノイズ値のより高い範囲内のノイズ値を含むヒストグラム、例えば、ヒストグラム 9 2 4 (図 9) に、より高いスコア値を提供するように構成されてよい。

【 0 2 4 7 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、ノイズ値のより低い範囲内のノイズ値を含むヒストグラム、例えば、ヒストグラム 9 2 2 (図 9) に、より低いスコア値を提供するように構成されてよい。

20

【 0 2 4 8 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、より高いスコア値をより「正しい (r i g h t y) 」ヒストグラムに与えるように構成されてよく、当該より「正しい」ヒストグラムは、主により高いノイズレベルを含む。

【 0 2 4 9 】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f は、重み関数により実装されてよい。例えば、重み関数は、例えば、後述するように、例えば、重み関数をヒストグラムに適用することにより、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を提供するように構成されてよい。

【 0 2 5 0 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、例えば、スコア値を取得するために、ヒストグラムの結果で乗算されてよい。

30

【 0 2 5 1 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、ヒストグラムに重みを適用するように構成されてよく、当該重みは、例えば、1 つまたは複数の範囲で、単調に増加していてよく、および/または、当該重みは、例えば、0 d b ピンおよび - 2 0 d B ピンに同様または同一の重みを提供することにより、非常に高いノイズレベルに均等に高い重みを提供してよい。

【 0 2 5 2 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加していてよい。

40

【 0 2 5 3 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、- 7 0 d B ~ - 4 0 d B の仮定的ノイズ値について単調に増加していてよい。

【 0 2 5 4 】

他の態様では、重み関数は、仮定的ノイズ値の任意の他の範囲について単調に増加していてよい。

【 0 2 5 5 】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、- 2 0 d B を超える仮定的ノイズ値について一定であってよい。

【 0 2 5 6 】

50

他の態様では、重み関数は、任意の他の仮定的ノイズ値について一定であってよい。

【0257】

幾つかの実証的な態様では、重み関数は、例えば、後述するように、シミュレーションおよび/またはテスト結果に基づいて決定および/または調整されてよい。

【0258】

図10を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、重み関数を示すグラフ1000を概略的に示している。例えば、不整合較正器833(図8)は、図10の重み関数または任意の他の重み関数を実装して、不整合較正情報851(図8)を決定するように構成されてよい。

【0259】

幾つかの実証的な態様では、図10に示すように、グラフ1000は、例えば、-70 dB ~ -40 dBの仮定的ノイズ値について、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加してよい。他の態様では、重み関数は、値の任意の他の範囲について単調に増加しているように定義されてよい。

【0260】

幾つかの実証的な態様では、図10に示すように、重み関数のグラフ1000は、例えば、-20 dBを超える、仮定的ノイズ値について一定であってよい。

【0261】

図8を再び参照すると、幾つかの実証的な態様では、不整合較正器833は、例えば、以下の擬似コードアルゴリズムに基づいて、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア関数を決定するように構成されてよい。

[アルゴリズム1:スコア関数]

Input: mismatch (vector of m complex numbers)

$$AOA =: \text{logscale}(\text{DFT}(\text{original signal}.*\text{mismatch}))$$

$$p =: \text{histogram}(AOA)$$

$$\text{score} =: \langle p, \text{weights} \rangle$$

output:score

【0262】

他の態様では、スコア値は、任意の他の演算、アルゴリズム、および/または算出に従って実装されてよい。

【0263】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数は、1つまたは複数の潜在的な非効率性および/または算出の難しさに対処し得るやり方で実装されてよい。

【0264】

一例では、場合によっては、例えば、ヒストグラムが分析手順ではないため、ヒストグラムを使用してスコア関数の分析的最小値を見つけるのは不可能であるかもしれず、それに応じて、スコア関数に対する分析導関数はないかもしれない。

【0265】

別の例では、スコア関数は、非凸であるかもしれず、それに応じて、大域的最適条件を探すのが必ずしも容易であるとは限らないかもしれない。

【0266】

10

20

30

40

50

幾つかの実証的な態様では、例えば、後述するように、例えば、効率的および/または正確な方式でアンテナ不整合較正情報 8 5 1 を決定するために、数値勾配手法がスコア関数に適用されてよい。

【 0 2 6 7 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、後述するように、例えば、スコア関数の数値勾配を最小にすることにより、アンテナ不整合較正情報 8 5 1 を決定するように構成されてよい。

【 0 2 6 8 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、後述するように、複数回の算出反復を実行してアンテナ不整合較正情報 8 5 1 を決定するように構成されてよい。

10

【 0 2 6 9 】

幾つかの実証的な態様では、複数回の算出反復のうちのある算出反復は、例えば、後述するように、例えば、初期の仮定的アンテナ不整合のランダム選択と、初期の仮定的アンテナ不整合に基づく、スコア関数の数値勾配の最小値の決定と、例えば、スコア関数の数値勾配の最小値に基づく、アンテナ不整合較正情報 8 5 1 の更新とを含んでよい。

【 0 2 7 0 】

他の態様では、算出反復は、任意の他の追加的または代替的な演算を含んでよい。

【 0 2 7 1 】

幾つかの実証的な態様では、較正器 8 3 3 は、少なくとも 1 0 0 回の反復を含む複数回の算出反復を実行するように構成されてよい。

20

【 0 2 7 2 】

幾つかの実証的な態様では、較正器 8 3 3 は、少なくとも 5 0 0 回の反復を含む複数回の算出反復を実行するように構成されてよい。

【 0 2 7 3 】

幾つかの実証的な態様では、較正器 8 3 3 は、少なくとも 1 0 0 0 回の反復を含む複数回の算出反復を実行するように構成されてよい。

【 0 2 7 4 】

他の態様では、較正器 8 3 3 は、任意の他の回数反復を含む複数回の算出反復を実行するように構成されてよい。

【 0 2 7 5 】

30

幾つかの実証的な態様では、例えば、単一のターゲットからのレーダ R x 信号 8 1 1 に基づいて A o A を見つけるために、D F T 行列が、例えば、以下のように、実装されてよい。

$$A \circ A = D F T (S) \quad (2)$$

ここで、S は、単一のターゲットから来る複素数値の信号のベクトルを示す。

【 0 2 7 6 】

幾つかの実証的な態様では、R x アンテナ 8 1 6 のうちのあるアンテナ、例えば、R x アンテナ 8 1 6 の各アンテナ上で受信されるレーダ信号が、例えば、以下のように、ノイズおよび不整合による破損を受けることがある。

【 数 3 】

40

$$S = T \cdot M M + N$$

(3)

ここで、T は、ターゲットから到着する真の信号を示し、M M は、アンテナの複素数値の不整合を示し、N は、加法性ノイズを示す。

【 0 2 7 7 】

50

幾つかの実証的な態様では、数式 3 は、例えば、以下のように、時間的に転換されてよい。

【数 4】

$$S(t) = T(t) \cdot MM + N(t)$$

(4)

10

【0278】

幾つかの実証的な態様では、加法性ノイズ N は絶対値が小さく、且つ、アンテナ不整合 MM が時間的に一定である、と仮定されてよい。

【0279】

幾つかの実証的な態様では、スコア値は、例えば、上述のアルゴリズム 1 に従って、アンテナ不整合ベクトル MM について決定されてよい。

【0280】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、例として、スコア関数 f に係るスコア値に基づいて、アンテナ不整合較正を検索するために、検索アルゴリズムを実装するように構成されてよい。

20

【0281】

幾つかの実証的な態様では、スコア関数 f の数値勾配が、以下のように定義されてよい。

【数 5】

$$\nabla f(x_0) = \frac{f(x_0 + \Delta x \vec{v}) - f(x)}{\Delta x}$$

(5)

30

ここで、 Δx は、ステップサイズを示し、

【数 6】

\vec{v}

は、スコア関数 f の座標の各々について単位ベクトルを示す。

【0282】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、何らかの任意の初期点 MM_0 から開始し、例えば、何らかの所定のステップサイズ Δx について、数値勾配 $\nabla f(MM_0)$ を算出してよい。

40

【0283】

幾つかの実証的な態様では、数値勾配 $\nabla f(MM_0)$ の最小エントリが、検討されたオプションからの最小スコア不整合 MM を表してよい。

【0284】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、例えば、後述するように、例えば、数値勾配 $\nabla f(MM_0)$ の最小エントリが負であると仮定して、 MM_1 で示される不整合を、最も低いコストをもたらす不整合として決定してよい。

50

【 0 2 8 5 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、複数回の反復を実行して、例えば、
【数 7】

$$\forall \nu \nabla f(MM_n) \geq 0$$

である不整合 MM を反復的に収束させてよい。これは、現在の不整合 MM が、検討された全てのうちの最良のものであることを示唆してよく、ステップサイズが更新されてよい。

【 0 2 8 6 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、ステップサイズ、例えば、 $x =$
: $x / 2$ または任意の他のステップサイズ更新を更新してよく、数値勾配

10

【数 8】

$$\nabla f(MM_n)$$

の算出が再び実行されてよい。

【 0 2 8 7 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、ステップサイズを更新し、数値勾配の算出を繰り返す手順を、例えば、ステップサイズ x が何らかの限界に達するまで、
繰り返してよい。

20

【 0 2 8 8 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、例えば、コスト関数 f が非凸であるかもしれないため、例えば、 MM_0 の異なる初期値を使用しながら、上記の手順を複数回にわたって繰り返してよい。

【 0 2 8 9 】

幾つかの実証的な態様では、例えば、 MM_0 の値は、例えば、ランダム性を用いて、および / または、任意の他の設定もしくは基準に基づいて、複数回初期化されてよく、全ての収束点は、それらのコスト、例えば、各 MM_0 に関する見つかった MM から検討されてよい。全ての収束されたコストのうちの最小のものが MM を決定してよい。

30

【 0 2 9 0 】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 8 3 3 は、アンテナ不整合 MM を検索して不整合較正情報 8 5 1 を決定して、例えば、以下の勾配降下アルゴリズムに従って、コスト関数 f の最小スコア値を提供するように構成されてよい。

[アルゴリズム 2 : 勾配降下]

40

50

Initialize:

initial step size

number of tryouts

for k from 1 to number of tryouts

10

$n = 0$

Define: $MM_n = \text{random}$

$\Delta x = \text{initial step size}$

while $\Delta x < \text{final step size}$

calculate ($\nabla f(MM_n)$)

20

if $\min(\nabla f(MM_n)) \geq 0$

update $\Delta x =: \Delta x / 2$

return to while

end if

30

update $MM_{n+1} = \text{argmin}(\nabla f(MM_n))$

end while

end for

return MM refers to the least cost of all k

40

【0291】

幾つかの実証的な態様では、不整合較正器 833 は、アルゴリズム 2 の演算のうちの幾つかもしくは全て、および/または、1つまたは複数の追加的または代替的な演算を実行するように構成されてよい。

【0292】

図 11 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、3つのシミュレートされた A o A 画像の比較を示すグラフ 1100 を示している。

【0293】

幾つかの実証的な態様では、図 11 の A o A 画像は、200メートルの範囲における 3

50

つのターゲットについてシミュレートされてよい。

【0294】

図11に示すように、A o A画像1102が、不整合がないMIMOアンテナアレイにより受信されるレーダRx信号に基づいてよく、A o A画像1106が、不整合で破損したMIMOアンテナアレイにより受信されるレーダRx信号に基づいてよく、A o A画像1104が、不整合で破損したMIMOアンテナアレイにより受信されるレーダRx信号に基づいてよく、当該不整合は、例えば、上述したように、例えば、コスト関数fに従って、不整合較正を適用することにより軽減されてよい。

【0295】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数fの1つまたは複数の重みが、例えば、後述するように、例えば、1つまたは複数のシナリオおよび/または使用事例について、例えば、不整合較正を改善および/または最適化するために、決定および/または定義されてよい。

10

【0296】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数fは、例えば、後述するように、例えば、重みが単調に増加する性質のものになるように、定義されてよい。

【0297】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数fは、例えば、後述するように、例えば、高いレベルのエネルギーおよび/または任意の他のレベルのエネルギーについて、例えば、重みが増加しないように、定義されてよい。

20

【0298】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数fの重みは、例えば、後述するように、例えば、コスト関数fの単調に増加する部分の曲率を表す、aで示される第1重みパラメータに従って定義されてよい。

【0299】

幾つかの実証的な態様では、コスト関数fの重みは、例えば、後述するように、例えば、コスト関数fのカットオフピン、例えば、コスト関数fがそこから一定に保たれることになるピンを表す、bで示される第2重みパラメータに従って定義されてよい。

【0300】

他の態様では、コスト関数fは、任意の他の追加的または代替的なパラメータおよび/または重みを使用して定義されてよい。

30

【0301】

幾つかの実証的な態様では、重み関数1000(図10)の曲率、例えば、右曲率を表す重みパラメータa、および/または、重み関数1000(図10)のカットオフ部分を表す重みパラメータaは、例えば、後述するように、実験的に識別されてよい。

【0302】

幾つかの実証的な態様では、重み関数の曲率は、例えば、以下のように、定義されてよい。

【数9】

$$n=1\dots 101 \text{ および } a \in \mathbb{R} \text{ の場合、重み } [n] = a \cdot \exp\left(a \cdot \frac{n-1}{100}\right) - 1$$

40

(6)

【0303】

幾つかの実証的な態様では、重み関数のカットオフbは、例えば、以下のように、定義されてよい。

50

b 1...101の場合、重み [b : エンド] = 重み [b] (7)
 【 0 3 0 4 】

幾つかの実証的な態様では、重みは、例えば、以下のように、正規化されてよい。

【 数 1 0 】

$$\text{重み} = \text{重み} \cdot \frac{10}{\text{重み} [b]}$$

10

(8)

【 0 3 0 5 】

図 1 2 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、重み関数パラメータがもたらすシミュレートされたサイドロープレベルを示すマップ 1 2 0 0 を概略的に示している。

20

【 0 3 0 6 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 2 に示すように、グラフ 1 2 0 0 は、様々な範囲およびターゲット数について、重みパラメータ a (曲率) と重みパラメータ b (カットオフピン) との異なる組み合わせに関する 4 つの最大サイドロープレベルマップを示す。

【 0 3 0 7 】

例えば、グラフ 1 2 1 0 は、3 0 0 m の範囲内の 1 つのターゲットに関する最大サイドロープレベルマップを示し、グラフ 1 2 2 0 は、8 0 m の範囲内の 3 つのターゲットに関する最大サイドロープレベルマップを示し、グラフ 1 2 3 0 は、4 0 m の範囲内の 1 0 個のターゲットに関する最大サイドロープレベルマップを示し、グラフ 1 2 4 0 は、3 0 0 m の範囲内の 1 0 個のターゲットに関する最大サイドロープレベルマップを示す。

30

【 0 3 0 8 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 2 に示すように、マップ 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、および 1 2 4 0 の最小値は、同じ領域に含まれる。

【 0 3 0 9 】

例えば、図 1 2 に示すように、例えば、例として、約 7 ~ 約 1 2 の範囲内に、曲率パラメータを設定するとき、および / または、例として、約 5 0 ~ 約 6 5 の範囲内に、カットオフピンを設定するとき、例えば、図 1 2 の全てのシナリオについて、サイドロープの最小レベルが維持されてよい。

【 0 3 1 0 】

図 1 3 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、重み関数パラメータがもたらすシミュレートされたサイドロープレベルのシミュレートされたヒートマップ 1 3 0 0 を概略的に示している。例えば、シミュレートされたヒートマップ 1 3 0 0 は、図 1 2 のグラフの結果の組み合わせに基づき得る、異なる範囲およびターゲット数における最大サイドロープレベルを含んでよい。

40

【 0 3 1 1 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 3 に示すように、ヒートマップ 1 3 0 0 の最適点が、a = 9 程度、且つ、b = 6 0 で見つかってよい。

【 0 3 1 2 】

図 1 4 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされた M I M O レーダ性能結果を概略的に示している。

50

【 0 3 1 3 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 4 に示すように、グラフ 1 4 1 0 は、不整合較正がない単一のレンジピンにおける性能結果を示す。

【 0 3 1 4 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 4 に示すように、グラフ 1 4 2 0 は、例えば、上述したように、例えば、コスト関数 f に従って、不整合較正がある性能結果を示す。

【 0 3 1 5 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 4 に示すように、不整合較正を実装することで、サイドローブを削減してよく、例えば、全ての範囲においてさえ、ターゲットの改善された解像度を提供してよい。

【 0 3 1 6 】

図 1 5 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされた A o A 画像を複数の範囲 / ターゲットシナリオについて示すグラフ 1 5 0 0 を概略的に示している。

【 0 3 1 7 】

図 1 5 に示すように、例えば、上述したように、例えば、コスト関数 f に従って、不整合較正を実装することで、A o A 画像を、不整合がない場合の「真の」A o A 画像 1 5 0 4 に匹敵するレベル 1 5 0 2 まで改善してよい。この改善された画像 1 5 0 2 は、例えば、不整合較正が適用されない場合の、「破損した」画像 1 5 0 6 よりも大幅に良好であってよい。

【 0 3 1 8 】

図 1 6 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る、シミュレートされた性能グレードを示すグラフを概略的に示している。

【 0 3 1 9 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 6 に示すように、グラフ 1 6 1 0 は、異なるレンジおよびターゲット数について、例えば、上述したように、例えば、コスト関数 f に従って、不整合較正を実装して、例えば、不整合がない、真の A o A 画像と、較正された A o A 画像との平均差を示す。

【 0 3 2 0 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 6 に示すように、グラフ 1 6 2 0 は、異なるレンジおよびターゲット数について、例えば、上述したように、例えば、コスト関数 f に従って、不整合較正を実装して、例えば、不整合がない、真の A o A 画像と、較正された A o A 画像との二乗平均平方根 (RMS) を示す。

【 0 3 2 1 】

幾つかの実証的な態様では、図 1 6 に示すように、グラフ 1 6 3 0 は、異なるレンジおよびターゲット数について、例えば、上述したように、例えば、コスト関数 f に従って、不整合較正を実装することにより実現可能な最大サイドローブレベルを示す。

【 0 3 2 2 】

図 1 7 を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係るレーダアンテナ較正の方法を概略的に示している。例えば、図 1 7 の方法の動作のうちの 1 つまたは複数、システムの 1 つまたは複数の要素、例えば、車両 1 0 0 (図 1) などの 1 つまたは複数の車両、レーダデバイス 1 0 1 (図 1) などのレーダデバイス、不整合較正器 8 3 3 (図 8) などの不整合較正器、レーダプロセッサ 8 3 6 (図 8) および / またはレーダプロセッサ 8 3 4 (図 8) などのレーダプロセッサにより実行されてよい。

【 0 3 2 3 】

ブロック 1 7 0 2 に示すように、方法は、アンテナ不整合較正情報を決定して、複数の R x アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を較正する段階を含んでよい。例えば、不整合較正器 8 3 3 (図 8) は、例えば、上述したように、アンテナ不整合較正情報 8 5 1 (図 8) を決定して、R x アンテナ 8 1 6 (図 8) を含むレーダアンテナアレイ 8 8 1 (図 8) のアンテナ不整合を較正してよい。

10

20

30

40

50

【0324】

ブロック1704に示すように、方法は、レーダR×データおよびアンテナ不整合較正情報に基づいてレーダ情報を決定する段階であって、レーダR×データは、複数のR×アンテナで受信されるレーダ信号に基づいている、決定する段階を含んでよい。例えば、プロセッサ836(図8)は、例えば、上述したように、レーダR×データ811(図8)およびアンテナ不整合較正情報851(図8)に基づいてレーダ情報813(図8)を決定してよい。

【0325】

図18を参照すると、この図は、幾つかの実証的な態様に係る製品1800を概略的に示している。製品1800は、1つまたは複数の有形コンピュータ可読(「機械可読」)非一時的記憶媒体1802を含んでよく、当該非一時的記憶媒体1802は、例えば、ロジック1804により実装される、コンピュータで実行可能な命令を含んでよく、当該コンピュータで実行可能な命令は、少なくとも1つのコンピュータプロセッサにより実行されると、少なくとも1つのコンピュータプロセッサが、車両100(図1)などの車両、レーダデバイス101(図1)などのレーダデバイス、不整合較正器833(図8)などの不整合較正器、レーダプロセッサ836(図8)および/またはレーダプロセッサ834(図8)などのレーダプロセッサで1つまたは複数の動作を実装すること、車両100(図1)などの車両、レーダデバイス101(図1)などのレーダデバイス、不整合較正器833(図8)などの不整合較正器、レーダプロセッサ836(図8)および/またはレーダプロセッサ834(図8)などのレーダプロセッサに、1つまたは複数の動作および/または機能を実行、トリガ、および/もしくは実装させること、並びに/または、図1から図17を参照して説明した1つまたは複数の動作および/もしくは機能、並びに/または、本明細書に記載する1つまたは複数の動作を実行、トリガ、および/または実装することを可能にするように動作可能である。「非一時的機械可読媒体」および「コンピュータ可読非一時的記憶媒体」という語句は、唯一の例外を一時的な伝搬信号として、全ての機械可読媒体および/またはコンピュータ可読媒体を含むように方向付けられてよい。

【0326】

幾つかの実証的な態様では、製品1800および/または記憶媒体1802は、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、取り外し可能または取り外し不可能なメモリ、消去可能または消去不可能なメモリ、書き込み可能または書き換え可能なメモリ、および同様のものを含む、データを記憶することができる1つまたは複数のタイプのコンピュータ可読記憶媒体を含んでよい。例えば、記憶媒体1802は、RAM、DRAM、ダブルデータレートDRAM(DDR-DRAM)、SDRAM、スタティックRAM(SRAM)、ROM、プログラマブルROM(PROM)、消去可能プログラマブルROM(EPROM)、電氣的消去可能プログラマブルROM(EEPROM)、コンパクトディスクROM(CD-ROM)、コンパクトディスクリコーダブル(CD-R)、コンパクトディスクリライタブル(CD-RW)、フラッシュメモリ(例えば、NORまたはNANDフラッシュメモリ)、連想メモリ(CAM)、ポリマメモリ、相変化メモリ、強誘電体メモリ、シリコン酸化膜窒化膜酸化膜シリコン(SONOS)メモリ、ディスク、フロッピーディスク、ハードドライブ、光ディスク、磁気ディスク、カード、磁気カード、光カード、テープ、カセット、および同様のものを含んでよい。コンピュータ可読記憶媒体は、通信リンク、例えば、モデム、無線、またはネットワーク接続を介して、リモートコンピュータから要求側コンピュータに、搬送波もしくは他の伝搬媒体で具現化される複数のデータ信号によって搬送されるコンピュータプログラムをダウンロードまたは転送することに関する任意の適切な媒体を含んでよい。

【0327】

幾つかの実証的な態様では、ロジック1804は、命令、データ、および/またはコードを含んでよく、これらは、機械により実行されると、機械に、本明細書に記載するような方法、プロセス、および/または動作を実行させてよい。機械は、例えば、任意の適切な処理プラットフォーム、コンピューティングプラットフォーム、コンピューティングデ

10

20

30

40

50

バイス、処理デバイス、コンピューティングシステム、処理システム、コンピュータ、プロセッサ、または同様のものを含んでよく、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、および同様のものの任意の適切な組み合わせを使用して実装されてよい。

【0328】

幾つかの実証的な態様では、ロジック1804は、ソフトウェア、ソフトウェアモジュール、アプリケーション、プログラム、サブルーチン、命令、命令セット、コンピューティングコード、単語、値、記号、および同様のものを含んでもよいし、それらとして実装されてもよい。命令は、ソースコード、コンパイルコード、解釈コード、実行可能なコード、静的コード、動的コード、および同様のもののような任意の適切なタイプのコードを含んでよい。命令は、プロセッサに特定の機能を実行するように命令するために、予め定義されたコンピュータ用言語、方式、または構文に従って実装されてよい。命令は、任意の適切な高レベルの、低レベルの、オブジェクト指向の、視覚的な、コンパイルされた、および/または解釈されたプログラミング言語、例えば、C、C++、Java（登録商標）、BASIC、Matlab（登録商標）、Pascal、Visual Basic（登録商標）、アセンブリ言語、機械コード、および同様のものを使用して実装されてよい。

10

【0329】

[例]

以下の例は更なる態様に関する。

【0330】

例1は、装置であって、アンテナ不整合較正情報を決定して、複数の受信($R \times$)アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を較正するように構成されている不整合較正器と、レーダ $R \times$ データを処理し、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合較正情報に基づいてレーダ情報を生成するレーダプロセッサであって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される $R \times$ レーダ信号に基づいている、レーダプロセッサとを備える装置を含む。

20

【0331】

例2は、例1の主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす仮定的レーダ情報に基づいて提供するように構成されている。

30

【0332】

例3は、例2の主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定し、前記識別されたアンテナ不整合に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されている。

【0333】

例4は、例2または3の主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記スコア関数の数値勾配を最小にすることにより前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されている。

【0334】

例5は、例4の主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、複数回の算出反復を実行するように構成されており、ある算出反復は、初期の仮定的アンテナ不整合のランダム選択と、前記初期の仮定的アンテナ不整合に基づく前記スコア関数の数値勾配の最小値の決定と、前記スコア関数の前記数値勾配の前記最小値に基づく前記アンテナ不整合較正情報の更新とを含む。

40

【0335】

例6は、例5の主題を含み、オプションとして、前記複数回の算出反復は、少なくとも100回の反復を含む。

【0336】

例7は、例5の主題を含み、オプションとして、前記複数回の算出反復は、少なくとも

50

500回の反復を含む。

【0337】

例8は、例5の主題を含み、オプションとして、前記複数回の算出反復は、少なくとも1000回の反復を含む。

【0338】

例9は、例2から8のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダR×データがもたらす前記仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている。

【0339】

例10は、例9の主題を含み、オプションとして、前記スコア関数は、第1の仮定的アンテナ不整合に第1スコア値を、第2の仮定的アンテナ不整合に第2スコア値を提供するように構成されており、前記第1の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第1範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第1ヒストグラムをもたらし、前記第2の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第2範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第2ヒストグラムをもたらし、前記仮定的ノイズ値の第1範囲は、前記仮定的ノイズ値の第2範囲より高く、前記第1スコア値は、前記第2スコア値より高い。

【0340】

例11は、例2から10のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダR×データがもたらす到来角(AoA)画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている。

【0341】

例12は、例11の主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダR×データに適用される離散フーリエ変換(DFT)に基づいて前記AoA画像を決定するように構成されている。

【0342】

例13は、例9から12のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記ヒストグラムに適用される予め定義された重み関数に基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている。

【0343】

例14は、例13の主題を含み、オプションとして、前記重み関数は、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加している。

【0344】

例15は、例13または14の主題を含み、オプションとして、前記重み関数は、-70dB~-40dBの仮定的ノイズ値について単調に増加している。

【0345】

例16は、例13から15のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記重み関数は、-20dBを超える仮定的ノイズ値について一定である。

【0346】

例17は、例1から16のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、前記アンテナ不整合較正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのゲイン不整合または位相不整合のうちの少なくとも一方を較正するように構成されている。

【0347】

例18は、例1から17のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、複数の複素数のベクトルを含む前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されており、前記複数の複素数のうちのある複素数は、前記複数のR×アンテナのうちのあるR×アンテナに対応するゲイン不整合および位相不整合を表す。

【0348】

例19は、例1から18のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合

10

20

30

40

50

較正器は、前記アンテナ不整合較正情報をリアルタイムで更新することにより前記レーダアンテナアレイの前記アンテナ不整合を動的に較正するように構成されている。

【0349】

例20は、例1から19のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記不整合較正器は、較正更新基準に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を繰り返し決定することにより前記レーダアンテナアレイの前記アンテナ不整合を動的に較正するように構成されている。

【0350】

例21は、例1から20のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記レーダ情報は、到来角(AoA)情報を含む。

10

【0351】

例22は、例1から21のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記レーダアンテナアレイは、Txレーダ信号を送信する複数の送信(Tx)アンテナを含むマルチ入力マルチ出力(MIMO)レーダアンテナアレイを含み、前記Rxレーダ信号は、前記レーダTx信号に基づいている。

【0352】

例23は、例1から22のいずれか1つの主題を含み、オプションとして、前記レーダアンテナアレイを含む車両を含む。

【0353】

例24は、例1から23の記載されている動作のいずれかを実行するための手段を含む装置を含む。

20

【0354】

例25は、例1から23の記載されている動作のいずれかを実行するためにプロセッサにより実行される命令を記憶する機械可読媒体を含む。

【0355】

例26は、メモリを含む装置と、例1から23の記載されている動作のいずれかを実行するように構成されている処理回路とを含む。

【0356】

例27は、例1から23の記載されている動作のいずれかを含む方法を含む。

【0357】

30

1つまたは複数の態様を参照して本明細書に記載する機能、動作、コンポーネント、および/または特徴は、1つまたは複数の他の態様を参照して本明細書に記載する1つまたは複数の他の機能、動作、コンポーネント、および/または特徴と組み合わせられてもよいし、それらと組み合わせられてもよく、または、その逆も同様である。

【0358】

複数の特定の特徴が本明細書において図示および説明されたが、多くの修正、置換、変更、および均等物が、当業者によって行われ得る。従って、添付された特許請求の範囲は、このような修正および変化の全てを、本開示の真の主旨に属するものとして包含することを意図することを理解されたい。

[他の考えられる項目]

40

(項目1)

装置であって、

アンテナ不整合較正情報を決定して、複数の受信(Rx)アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を較正するように構成されている不整合較正器と、

レーダRxデータを処理し、前記レーダRxデータおよび前記アンテナ不整合較正情報に基づいてレーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダRxデータは、前記複数のRxアンテナで受信されるRxレーダ信号に基づいている、プロセッサと

を備える装置。

(項目2)

前記不整合較正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するよ

50

うに構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす仮定的レーダ情報に基づいて提供するように構成されている、項目 1 に記載の装置。

(項目 3)

前記不整合較正器は、前記スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定し、前記識別されたアンテナ不整合に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されている、項目 2 に記載の装置。

(項目 4)

前記不整合較正器は、前記スコア関数の数値勾配を最小にすることにより前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されている、項目 2 に記載の装置。

10

(項目 5)

前記不整合較正器は、複数回の算出反復を実行するように構成されており、前記複数回の算出反復のうちのある算出反復は、初期の仮定的アンテナ不整合のランダム選択と、前記初期の仮定的アンテナ不整合に基づく前記スコア関数の数値勾配の最小値の決定と、前記スコア関数の前記数値勾配の前記最小値に基づく前記アンテナ不整合較正情報の更新とを含む、項目 4 に記載の装置。

(項目 6)

前記複数回の算出反復は、少なくとも 100 回の反復を含む、項目 5 に記載の装置。

(項目 7)

前記複数回の算出反復は、少なくとも 500 回の反復を含む、項目 5 に記載の装置。

20

(項目 8)

前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす前記仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている、項目 2 に記載の装置。

(項目 9)

前記スコア関数は、第 1 の仮定的アンテナ不整合に第 1 スコア値を、第 2 の仮定的アンテナ不整合に第 2 スコア値を提供するように構成されており、前記第 1 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 1 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 1 ヒストグラムをもたらし、前記第 2 の仮定的アンテナ不整合は、仮定的ノイズ値の第 2 範囲内の最も高いヒストグラム値を含む第 2 ヒストグラムをもたらし、前記仮定的ノイズ値の第 1 範囲は、前記仮定的ノイズ値の第 2 範囲より高く、前記第 1 スコア値は、前記第 2 スコア値より高い、項目 8 に記載の装置。

30

(項目 10)

前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす到来角 (A o A) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている、項目 2 に記載の装置。

(項目 11)

前記不整合較正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データに適用される離散フーリエ変換 (DFT) に基づいて前記 A o A 画像を決定するように構成されている、項目 10 に記載の装置。

40

(項目 12)

前記不整合較正器は、前記ヒストグラムに適用される予め定義された重み関数に基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている、項目 10 に記載の装置。

(項目 13)

前記重み関数は、仮定的ノイズ値の予め定義された範囲で単調に増加している、項目 12 に記載の装置。

(項目 14)

50

前記重み関数は、 $-70\text{ dB} \sim -40\text{ dB}$ の仮定的ノイズ値について単調に増加している、項目12に記載の装置。

(項目15)

前記重み関数は、 -20 dB を超える仮定的ノイズ値について一定である、項目12に記載の装置。

(項目16)

前記不整合較正器は、前記アンテナ不整合較正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのゲイン不整合または位相不整合のうちの少なくとも一方を較正するように構成されている、項目1から15のいずれか一項に記載の装置。

(項目17)

前記不整合較正器は、複数の複素数のベクトルを含む前記アンテナ不整合較正情報を決定するように構成されており、前記複数の複素数のうちのある複素数は、前記複数の $R \times$ アンテナのうちのある $R \times$ アンテナに対応するゲイン不整合および位相不整合を表す、項目1から15のいずれか一項に記載の装置。

(項目18)

前記不整合較正器は、前記アンテナ不整合較正情報をリアルタイムで更新することにより前記レーダアンテナアレイの前記アンテナ不整合を動的に較正するように構成されている、項目1から15のいずれか一項に記載の装置。

(項目19)

コンピュータで実行可能な命令を有する1つまたは複数の有形コンピュータ可読非一時的記憶媒体を備える製品であって、前記コンピュータで実行可能な命令は、少なくとも1つのプロセッサにより実行されると、前記少なくとも1つのプロセッサが、レーダデバイスに、

アンテナ不整合較正情報を決定して、複数の受信($R \times$)アンテナを含むレーダアンテナアレイのアンテナ不整合を較正することと、

レーダ $R \times$ データを処理して、前記レーダ $R \times$ データおよび前記アンテナ不整合較正情報に基づいてレーダ情報を生成することであって、前記レーダ $R \times$ データは、前記複数の $R \times$ アンテナで受信される $R \times$ レーダ信号に基づいている、生成することと

を実行させることを可能にするように動作可能である、製品。

(項目20)

前記命令は、実行されると、前記レーダデバイスに、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定させ、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす仮定的レーダ情報に基づいて提供するように構成されている、項目19に記載の製品。

(項目21)

前記命令は、実行されると、前記レーダデバイスに、前記スコア関数を最小にする識別されたアンテナ不整合を決定させ、前記識別されたアンテナ不整合に基づいて前記アンテナ不整合較正情報を決定させる、項目20に記載の製品。

(項目22)

前記命令は、実行されると、前記レーダデバイスに、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ $R \times$ データがもたらす前記仮定的レーダ情報に対応する仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定させる、項目20に記載の製品。

(項目23)

車両であって、前記車両は、

レーダ情報に基づいて前記車両の1つまたは複数の車両システムを制御するように構成されているシステムコントローラと、

前記システムコントローラに前記レーダ情報を提供するように構成されているレーダデバイスと

を備え、前記レーダデバイスは、

10

20

30

40

50

T x レーダ信号を送信する複数の送信 (T x) アンテナと、前記 T x レーダ信号に基づいて R x レーダ信号を受信する複数の受信 (R x) アンテナとを含むレーダアンテナアレイと、

アンテナ不整合校正情報を決定して、前記レーダアンテナアレイのアンテナ不整合を校正するように構成されている不整合校正器と、

レーダ R x データを処理し、前記レーダ R x データおよび前記アンテナ不整合校正情報に基づいて前記レーダ情報を生成するプロセッサであって、前記レーダ R x データは、前記複数の R x アンテナで受信される前記 R x レーダ信号に基づいている、プロセッサとを有する、

車両。

(項目 2 4)

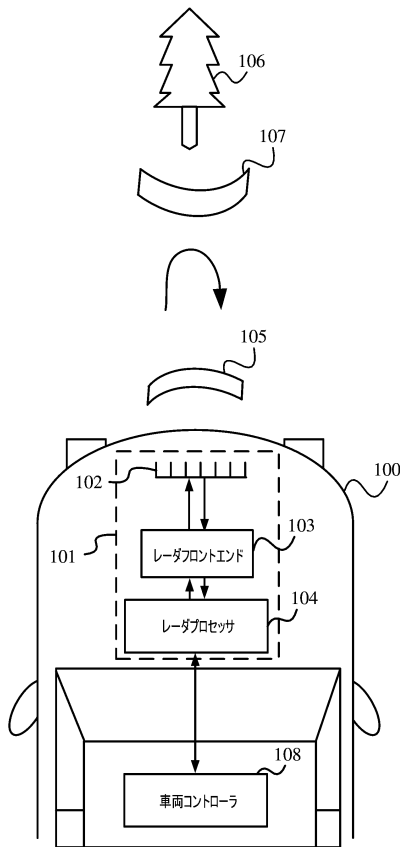
前記不整合校正器は、スコア関数に基づいて前記アンテナ不整合校正情報を決定するように構成されており、前記スコア関数は、仮定的アンテナ不整合に対応するスコア値を、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす仮定的レーダ情報に基づいて提供するように構成されている、項目 2 3 に記載の車両。

(項目 2 5)

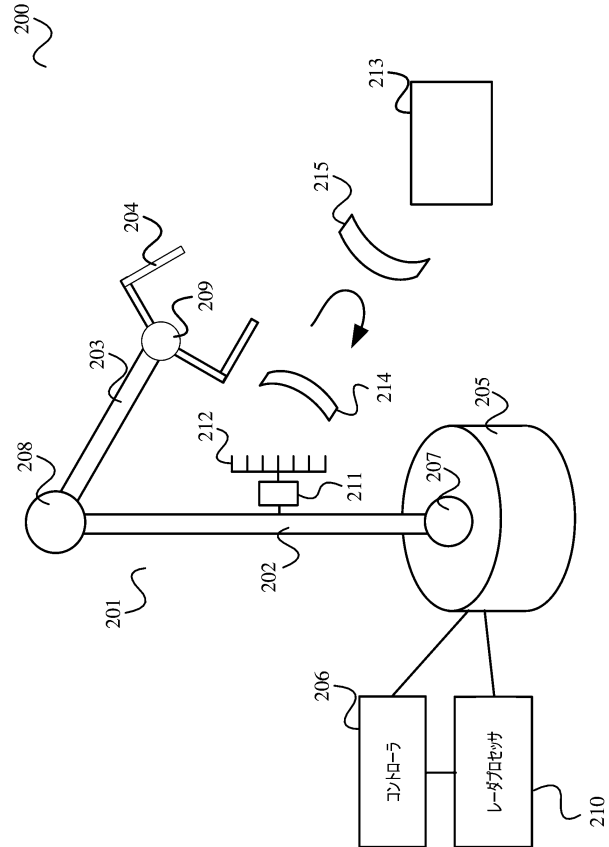
前記不整合校正器は、前記仮定的アンテナ不整合および前記レーダ R x データがもたらす到来角 (A o A) 画像における仮定的ノイズ値のヒストグラムに基づいて、前記仮定的アンテナ不整合に対応する前記スコア値を決定するように構成されている、項目 2 4 に記載の車両。

【 図面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



10

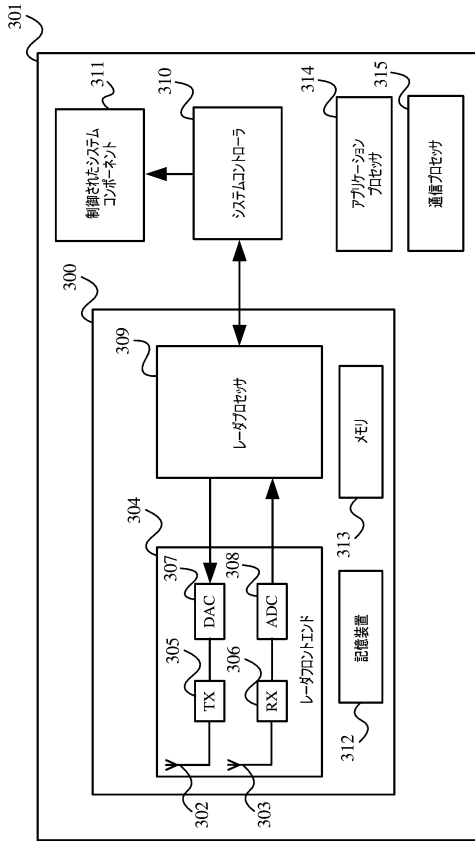
20

30

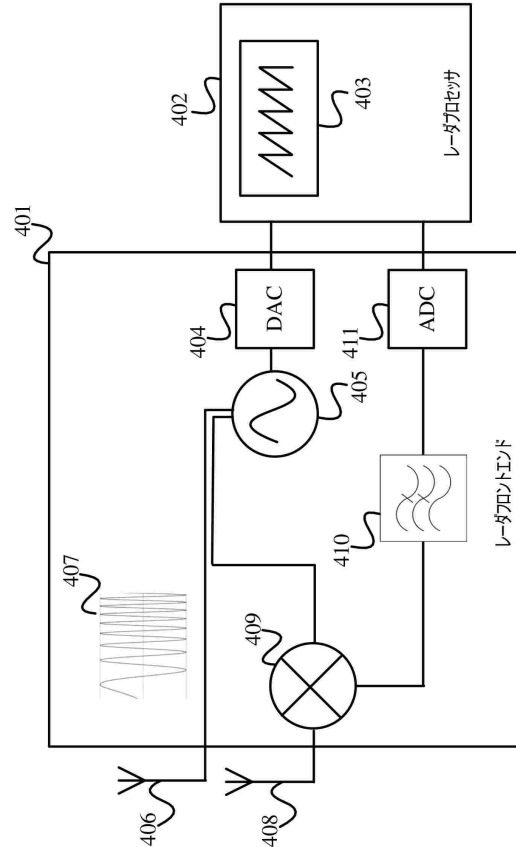
40

50

【図 3】



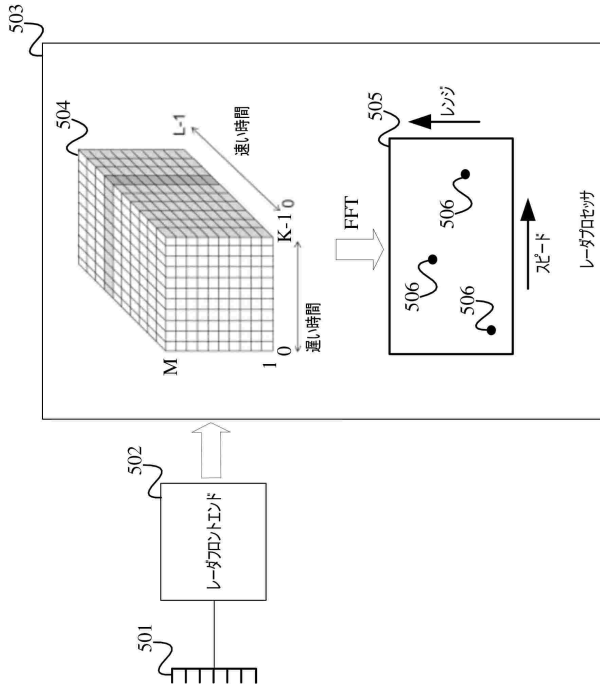
【図 4】



10

20

【図 5】



【図 6】

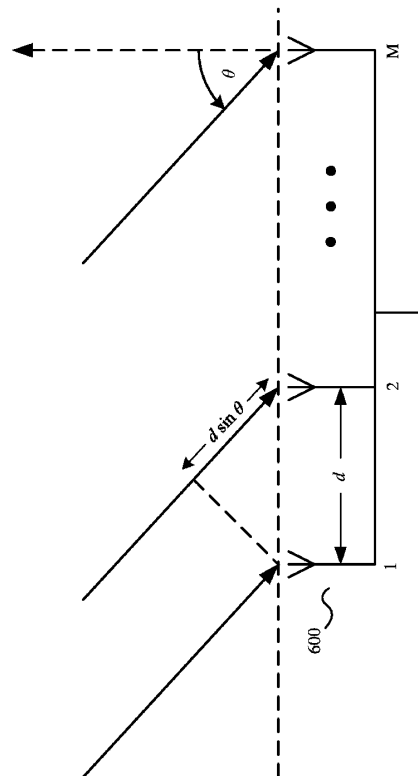


Fig. 6

30

40

50

【図 7】

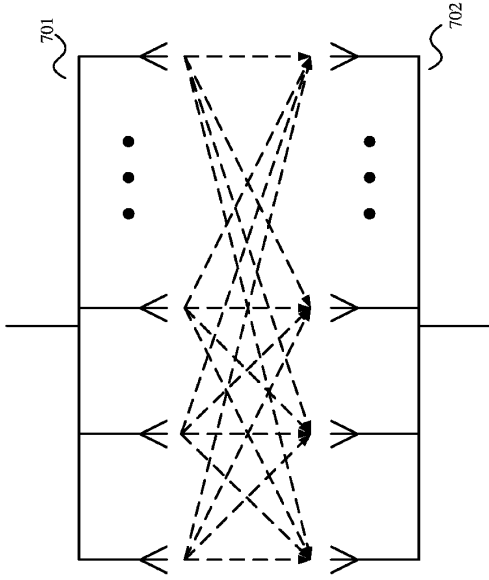
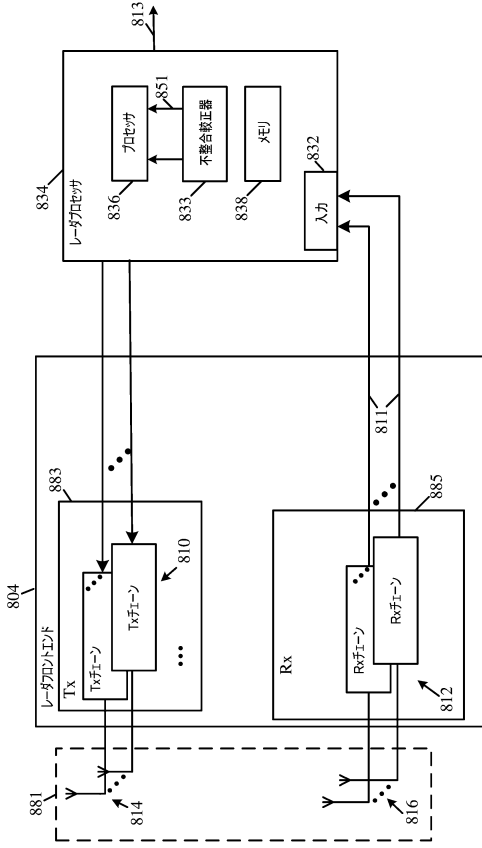


Fig. 7

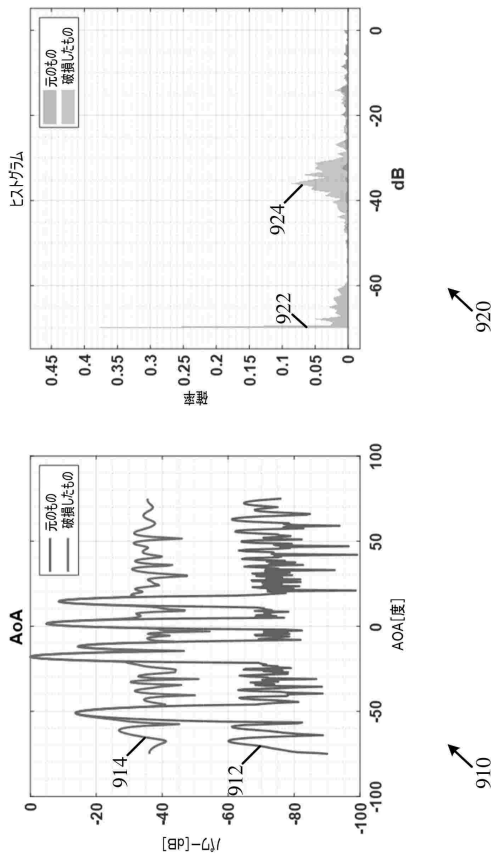
【図 8】



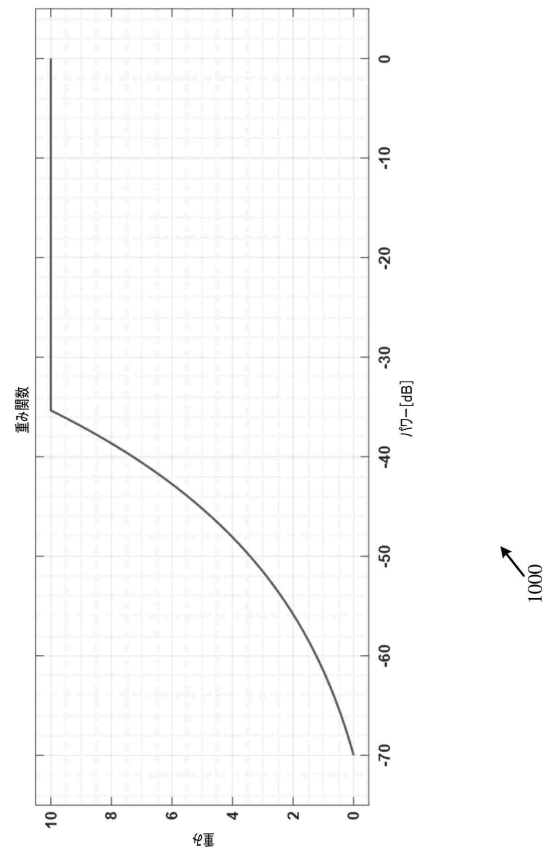
10

20

【図 9】



【図 10】

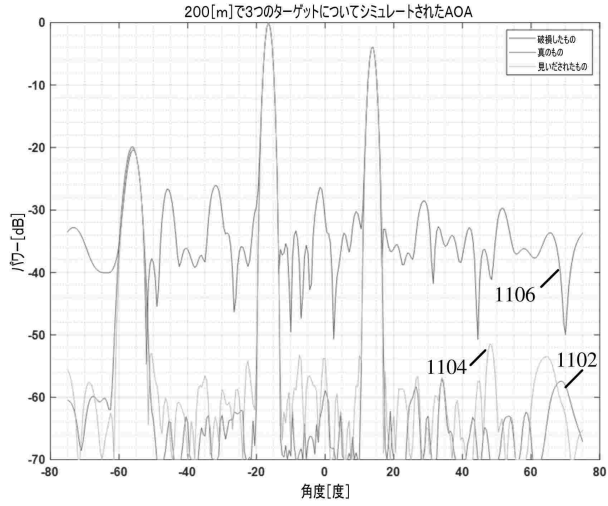


30

40

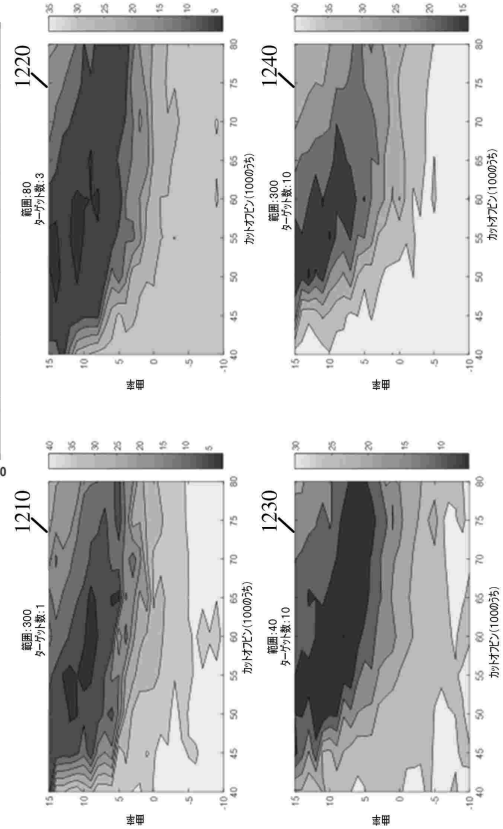
50

【図 1 1】



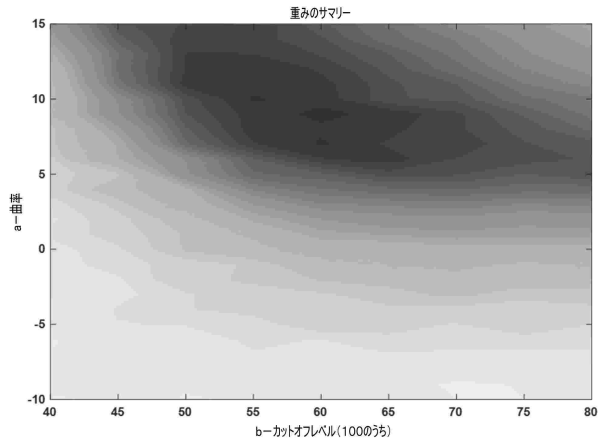
1100

【図 1 2】



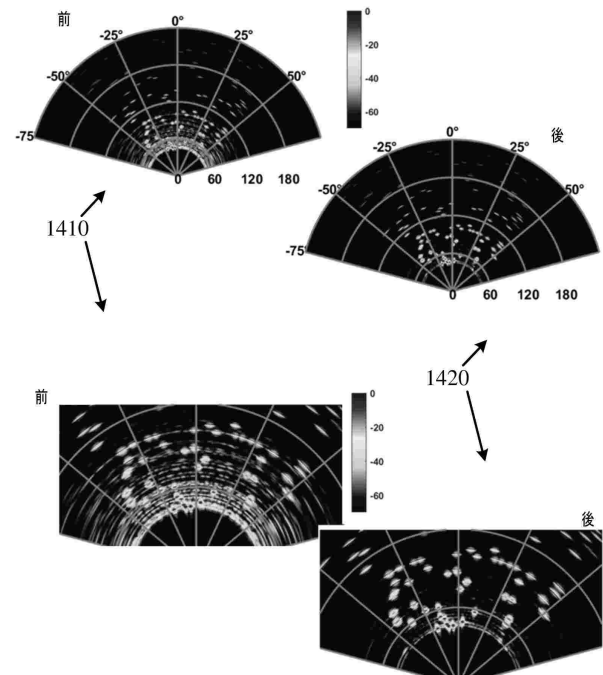
1200

【図 1 3】



1300

【図 1 4】



1410

1420

10

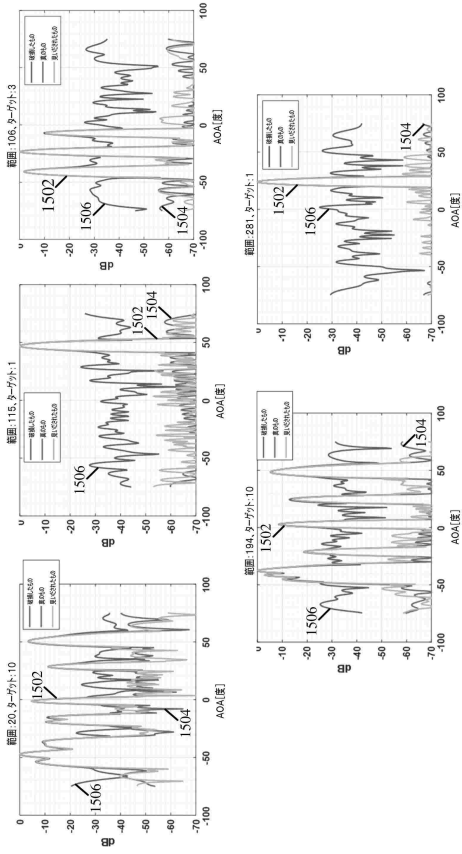
20

30

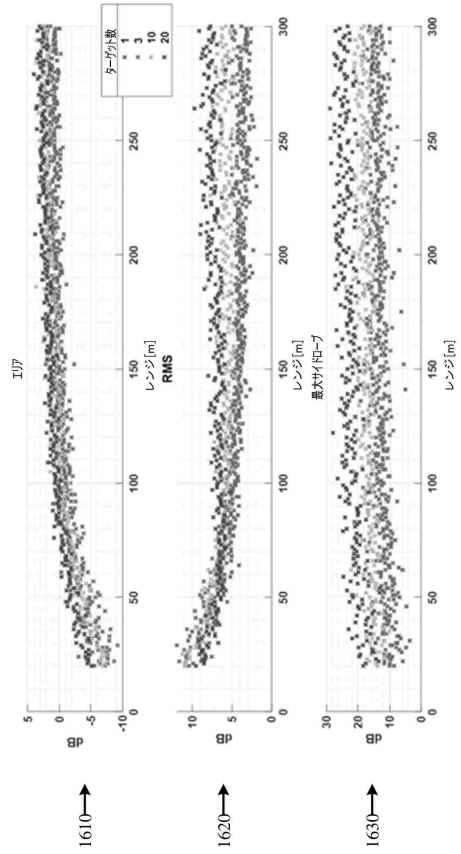
40

50

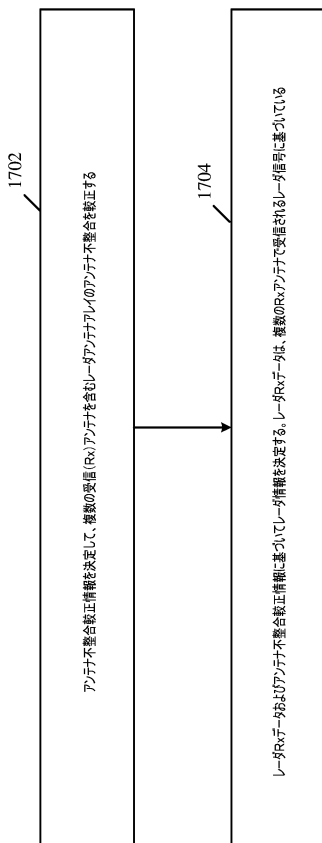
【図 15】



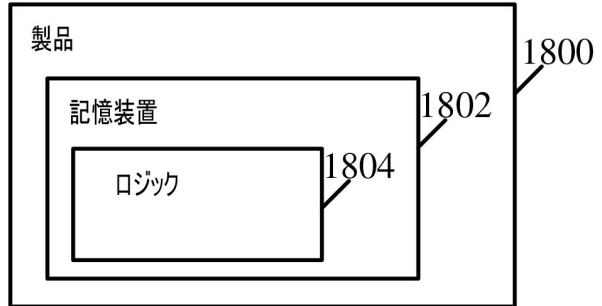
【図 16】



【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

レッジ ブレーバード・2200 インテル・コーポレーション内

審査官 安井 英己

- (56)参考文献 国際公開第2004/064194(WO, A1)
米国特許出願公開第2019/0025403(US, A1)
米国特許出願公開第2019/0353751(US, A1)
国際公開第2018/181201(WO, A1)
特開2020-003334(JP, A)
Friedlander, B., A Self-Calibration Technique for Direction Estimation with Diversely Polarized Array, 2013 Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 米国, IEEE, 2014年05月08日, p.2145-2149, Date of conference:03-06 November 2013
Weiss, A. J. et al., DIRECTION FINDING IN THE PRESENCE OF MUTUAL COUPLING, Twenty-Second Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 米国, IEEE, 2002年08月06日, p.598-602, Date of Conference: 31 October 1988 - 02 November 1988
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01S 7/00 - 7/42,
G01S 13/00 - 13/95,
H01Q 21/26