

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6745282号  
(P6745282)

(45) 発行日 令和2年8月26日 (2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月5日 (2020.8.5)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 S 13/34 (2006.01)	GO 1 S 13/34
GO 1 S 13/931 (2020.01)	GO 1 S 13/931

請求項の数 21 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2017-554402 (P2017-554402)	(73) 特許権者	390020248
(86) (22) 出願日	平成28年4月13日 (2016.4.13)		日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
(65) 公表番号	特表2018-516364 (P2018-516364A)		東京都新宿区西新宿六丁目24番1号
(43) 公表日	平成30年6月21日 (2018.6.21)	(73) 特許権者	507107291
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/027338		テキサス インスツルメンツ インコーポ
(87) 国際公開番号	W02016/168334		レイテッド
(87) 国際公開日	平成28年10月20日 (2016.10.20)		アメリカ合衆国 テキサス州 75265
審査請求日	平成31年4月9日 (2019.4.9)		-5474 ダラス メール ステイショ
(31) 優先権主張番号	14/687,617		ン 3999 ピーオーボックス 655
(32) 優先日	平成27年4月15日 (2015.4.15)		474
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 上記1名の代理人	100098497
			弁理士 片寄 恭三

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダシステムにおける雑音軽減

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

装置であって、

レーダ信号を送信するための送信器と、

反射レーダ信号を受信するための受信器であって、前記反射レーダ信号が干渉体信号を含み、前記干渉体信号が関連付けられる振幅雑音スカート又は位相雑音スカートの少なくとも1つを含み、前記受信器が、前記受信された反射レーダ信号にตอบสนองしてベースバンド信号を生成するミキサを含み、前記ベースバンド信号が実部と虚部とを含む、前記受信器と、

前記送信器と前記受信器との一方における信号シフトであって、前記ミキサに結合され

10

前記反射レーダ信号に含まれる前記干渉体信号を信号シフトし、

前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカート又は位相雑音スカートの少なくとも1つを抑制し、

前記ミキサから前記ベースバンド信号を受信することに対応して前記ベースバンド信号を信号シフトする、

ように動作可能である、前記信号シフトと、

を含む、装置。

【請求項2】

請求項1に記載の装置であって、

20

前記受信された反射レーダ信号を処理し、前記干渉体信号の周波数と位相とを推定するように動作可能な推定器を更に含む、装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の装置であって、

前記信号シフタが、前記干渉体信号の周波数と位相との前記推定にตอบสนองして前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも 1 つを抑制するように更に動作可能である、装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の装置であって、

前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカーツが、前記信号シフトされたベースバンド信号の実部と虚部との選択される一方のみに実質的に含まれ、前記干渉体信号に関連付けられる前記位相雑音スカーツが、前記信号シフトされたベースバンド信号の前記実部と前記虚部との選択される他方に実質的に含まれる、装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の装置であって、

FFT プロセッサであって、

前記干渉体信号に対応する FFT ピン周辺の共役偶成分又は共役奇成分の少なくとも 1 つを抽出するように前記信号シフトされたベースバンド信号の FFT を行ない、

前記干渉体信号に関連付けられる振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも 1 つを抑制する、

ように動作可能である、前記 FFT プロセッサを更に含む、装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の装置であって、

前記信号シフタが、前記ベースバンド信号に含まれる前記干渉体信号がゼロ周波数を有し、前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも 1 つが抑制される、ように構成される、装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の装置であって、

前記信号シフタの構成が、前記干渉体信号に関連付けられる振幅雑音スカーツと位相雑音スカーツとの相対的レベルに基づいて決定される、装置。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の装置であって、

前記信号シフタに結合されるマルチプレクサであって、前記信号シフトされたベースバンド信号の実部と虚部との 1 つを選択するように動作可能である、前記マルチプレクサを更に含む、装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の装置であって、

前記マルチプレクサの選択が、前記信号シフトされたベースバンド信号の実部と虚部における相対的な雑音レベルに基づいて決定される、装置。

【請求項 10】

システムであって、

送信器から受信されるレーダ信号を送信するための送信アンテナと、

反射レーダ信号を受信するための受信アンテナであって、前記反射レーダ信号が干渉体信号を含み、前記干渉体信号に関連付けられる振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも 1 つを含む、前記受信アンテナと、

前記受信アンテナから前記反射レーダ信号を受信するための受信器と、

前記受信器からの前記受信された反射レーダ信号にตอบสนองしてベースバンド信号を生成するミキサであって、前記ベースバンド信号が実部と虚部とを含む、前記ミキサと、

前記送信器と前記受信器との一方に配置される信号シフタであって、

前記反射レーダ信号に含まれる前記干渉体信号を信号シフトし、

10

20

30

40

50

前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも1つを抑制し、

前記ミキサから前記ベースバンド信号を受信することに応答して前記ベースバンド信号を信号シフトする、

ように動作可能である、前記信号シフタと、  
を含む、システム。

【請求項11】

請求項10に記載のシステムであって、

前記干渉体信号が、前記送信アンテナから前記受信アンテナへの前記送信された信号の電磁結合の結果である、システム。

10

【請求項12】

請求項10に記載のシステムであって、

前記干渉体信号が、前記送信アンテナから前記受信アンテナへの前記送信された信号の直接電磁結合の結果である、システム。

【請求項13】

請求項10に記載のシステムであって、

前記干渉体信号が、前記送信されたレーダ信号を反射する近傍オブジェクトの結果である、システム。

【請求項14】

請求項13に記載のシステムであって、

前記近傍オブジェクトが、前記受信アンテナに対して実質的に固定されている、システム。

20

【請求項15】

請求項10に記載のシステムであって、

前記受信アンテナが車両のシャーシに取り付けられる、システム。

【請求項16】

請求項10に記載のシステムであって、

シャーシを更に含み、

前記干渉体信号が、前記シャーシによる前記送信アンテナから前記受信アンテナへの前記送信された信号の反射を含む、システム。

30

【請求項17】

請求項10に記載のシステムであって、

前記信号シフタに結合されるマルチプレクサであって、前記信号シフトされたベースバンド信号の実部と虚部との1つを選択するように動作可能である、前記マルチプレクサを更に含む、システム。

【請求項18】

方法であって、

反射レーダ信号を受信することであって、前記反射レーダ信号が干渉体信号を含み、前記干渉体信号が関連付けられる振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも1つを含む、前記受信することと、

40

前記受信された反射レーダ信号に応答してベースバンド信号を生成することであって、前記ベースバンド信号が実部と虚部とを含む、前記生成することと、

前記干渉体信号を信号シフトすることであって、前記信号シフトすることが周波数シフトを含む、前記信号シフトすることと、

前記干渉体信号の前記信号シフトに応答して、前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカーツ又は位相雑音スカーツの少なくとも1つを抑制することと、

前記ベースバンド信号を信号シフトすることと、

を含む、方法。

【請求項19】

請求項18に記載の方法であって、

50

送信信号を送信することを更に含み、

前記反射レーダ信号が前記送信された送信信号に応答して生成される、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、

前記干渉体信号が、送信アンテナから受信アンテナへの前記送信された信号の電磁結合の結果である、方法。

【請求項 21】

請求項 18 に記載の方法であって、

前記干渉体信号に関連付けられる前記振幅雑音スカート又は位相雑音スカートの少なくとも 1 つの前記抑制に応答して車両を制御することを更に含む、方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

レーダシステムは、受信レーダ信号における情報の存在を検出するため信号分析に依存する。こうした情報を検出する能力は、受信レーダ信号における雑音の存在によって低下する。こうした雑音には、レーダの送信器によって送信されたレーダ波に導入される振幅及び位相の雑音、並びに、レーダの受信器のミキサに導入される振幅及び位相の雑音が含まれる。集積回路（例えば、相補型金属酸化物半導体（「CMOS」）技術を用いて製造される）は、多くのレーダシステムの機能性及び可搬性を向上させるために用いられる。しかしながら、CMOS技術に基づく集積回路を用いるレーダシステムはしばしば大量の雑音を含み、この雑音がこうしたレーダシステムの感度を低下させる。

20

【発明の概要】

【0002】

説明する例において、雑音軽減連続波周波数変調（CWFM）レーダが、反射レーダ信号を受信するための受信器と、受信された反射レーダ信号に応答して及びローカル発振器（LO）信号に応答して、ベースバンド信号を生成するためのミキサとを含む。少なくとも 1 つの例において、ベースバンド信号は、受信された反射レーダ信号に応答して生成され、干渉体の周波数オフセット及び位相オフセットによって信号シフトされ、ここで、干渉体は、送信レーダ信号を反射する近隣リフレクタによって生じる強い反射を含む受信レーダ信号の一部である。周波数シフトされたベースバンド信号の実部及び／又は虚部は、レーダ周辺のオブジェクトの存在及び位置を検出するために更に処理される。したがって、近傍オブジェクトが、受信器アンテナ（及び／又は、CWFMシステム自体）に対して実質的に固定されており及び／又はレーダリターン信号が望ましくない、レーダ信号反射オブジェクトであり得る。

30

【0003】

別の例において、送信レーダ信号は、干渉体の周波数オフセット及び位相オフセットによって信号シフトされ、受信レーダ信号は、レーダ周辺のオブジェクトの存在及び位置を検出するために更に処理される。こうした例において、干渉体に関連付けられる振幅雑音又は位相雑音スカートが減少し、雑音軽減連続波周波数変調レーダによる周辺オブジェクトの存在及び位置の検出の精度及び感度は、従来の装置及び方法に比べて向上する。

40

【図面の簡単な説明】

【0004】

【図 1】例示の実施形態の例示的電子デバイスを示す。

【0005】

【図 2】例示の実施形態の雑音軽減 FM CW（周波数変調連続波）レーダシステムのブロック図である。

【0006】

【図 3 a】例示の実施形態の反射 FM CWレーダシステム信号の周波数波形図である。

【0007】

【図 3 b】例示の実施形態の FM CWレーダシステム信号の周期性及び周波数レンジの周

50

波数波形図である。

【 0 0 0 8 】

【 図 4 】 例示の実施形態の雑音軽減 F M C W レーダシステム信号の振幅波形図である。

【 0 0 0 9 】

【 図 5 】 例示の実施形態の雑音軽減 F M C W レーダシステム信号のミキサ出力スペクトル図である。

【 0 0 1 0 】

【 図 6 】 例示の実施形態のソフトウェア支援信号シフトを用いるプロセスフローチャートである。

【 0 0 1 1 】

【 図 7 】 例示の実施形態の雑音軽減 F M C W レーダシステムのシミュレーションの、入力ベースバンド信号及び処理されたベースバンド信号の周波数波形図である。

【 0 0 1 2 】

【 図 8 】 例示の実施形態のハードウェア支援信号シフトを用いるプロセスフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

システムは、更に別のシステムのサブシステムであり得る。第 1 のデバイスが第 2 のデバイスに結合される場合、その接続は直接的電気接続を介して、又は他のデバイス及び接続を介する間接的電気接続を介して、成され得る。「較正」という用語は、「テスト」という言葉の意味を含み得る。「入力」という用語は、P M O S（ポジティブ型金属酸化物半導体）又は N M O S（ネガティブ型金属酸化物半導体）のソース又はドレインのいずれか（或いは、コンテキストが示すゲートなどの制御入力の場合もある）を意味し得る。「パルス」という用語は、周期波形など、波形の一部を意味し得る。「トランシーバ」という用語は、送信器及び受信器の意味を含み、送信器及び受信器は相互に独立して動作可能である（例えば、トランシーバを含むシステムの動作の間、どちらもオンであり得、いずれかがオンであり得、及びどちらもオフであり得る）。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、或る実施形態に従った例示的コンピューティングシステム 1 0 0 を示す。例えば、コンピューティングシステム 1 0 0 は、コンピュータ、電子制御「ボックス」又はディスプレイ、通信機器（送信器を含む）、或いは、無線周波数信号を生成するように配置される任意の他のタイプの電子システムなどの、電子システム 1 2 9 であるか、又は電子システム 1 2 9 に組み込まれる。

【 0 0 1 5 】

いくつかの実施形態において、コンピューティングシステム 1 0 0 は、メガセル又はシステムオンチップ（S o C）を含み、メガセル又はシステムオンチップ（S o C）は、C P U 1 1 2（中央処理ユニット）、ストレージ 1 1 4（例えば、ランダムアクセスメモリ（R A M））、及び電源 1 1 0 などの制御論理を含む。例えば、C P U 1 1 2 は、C I S C タイプ（複合命令セットコンピュータ）C P U、R I S C タイプ C P U（縮小命令セットコンピュータ）、M C U タイプ（マイクロコントローラユニット）、又はデジタル信号プロセッサ（D S P）であり得る。ストレージ 1 1 4（これは、オンプロセッサキャッシュ、オフプロセッサキャッシュ、R A M、フラッシュメモリ、又はディスクストレージなどのメモリであり得る）は、C P U 1 1 2 によって実行されるとき、コンピューティングシステム 1 0 0 に関連付けられる任意の適切な機能を実行する、一つ又は複数のソフトウェアアプリケーション 1 3 0（例えば、埋め込みアプリケーション）を記憶する。

【 0 0 1 6 】

C P U 1 1 2 は、ストレージ 1 1 4 から頻繁にアクセスされる情報を記憶する、メモリ及び論理を含む。コンピューティングシステム 1 0 0 はしばしば、U I（ユーザインターフェース）1 1 6 を用いてユーザによって制御され、U I 1 1 6 は、ソフトウェアアプリケーション 1 3 0 の実行の間、ユーザに出力を提供し、ユーザから入力を受信する。

10

20

30

40

50

出力は、ディスプレイ 118、表示灯、スピーカ、及びバイブレーションを用いて提供される。入力は、オーディオ及び／又はビデオ入力（音声又は画像認識を用いるなど）、並びに、キーパッド、スイッチ、近傍検出器、ジャイロ、及び加速度計などの、電氣的及び／又は機械的デバイスを用いて受信される。CPU 112は、I/O（入力出力）ポート 128に結合され、I/Oポート 128は、ネットワーク化デバイス 131から入力を受信する（及び／又はネットワーク化デバイス 131に出力を提供する）ように構成されるインターフェースを提供する。ネットワーク化デバイス 131は、コンピューティングシステム 100との二地点間通信及び／又はネットワーク化通信が可能な任意のデバイスを含み得る。コンピューティングシステム 100はまた、有形の非一時的媒体（フラッシュメモリなど）、及び／又は、有線又は無線の媒体を含む、周辺装置及び／又はコンピューティングデバイスに結合され得る。これら及びその他の入力及び出力デバイスは、無線又は有線の接続を用いて外部デバイスによってコンピューティングシステム 100に選択的に結合される。例えば、ストレージ 114は、ネットワーク化デバイス 131によってアクセスされ得る。

#### 【0017】

CPU 112はI/O（入力出力）ポート 128に結合され、I/Oポート 128は、有形（例えば、「非一時的」）媒体（フラッシュメモリなど）、及び／又は、有線又は無線の媒体（JTAG（Joint Test Action Group）インターフェースなど）を含む、周辺装置及び／又はコンピューティングデバイス 131から入力を受信するように（及び／又は、それらへ出力を提供するように）構成されるインターフェースを提供する。これら及びその他の入力及び出力デバイスは、無線又は有線の接続を用いて外部デバイスによってコンピューティングシステム 100に選択的に結合される。CPU 112、ストレージ 114、及び電源 110は、外部電源（図示せず）に結合され得るか、又はローカル電源（バッテリー、太陽電池、オルタネータ、誘導電界、燃料電池、及びキャパシタなど）に結合され得る。

#### 【0018】

コンピューティングシステム 100は、雑音軽減周波数変調連続波（FMCW）レーダ 138を含む。雑音軽減FMCWレーダ 138は、レーダ信号における情報の検出可能性を低減させる雑音の存在及び影響を低減させるための方法及び装置を含む。例えば、開示される雑音軽減FMCWレーダ 138は、送信器・受信器結合及び／又は近傍オブジェクト反射に関連付けられる振幅及び位相の雑音を低減させ、これによって遠方オブジェクトの検出及び長距離性能が向上する。したがって、長距離性能は任意選択で、FMCWレーダ 138の無線周波数（RF）構成要素などにより多くの電力を消費することなく改善される。

#### 【0019】

図2は、実施形態に従った、雑音軽減FMCW（周波数変調連続波）レーダシステムのブロック図である。概して説明すると、雑音軽減FMCWレーダシステム 200が、送信器 202、受信器 204、推定器 282、レーダFFT（高速フーリエ変換）プロセッサ 290などのDSP、及びシフトコントローラ 292を含む。雑音軽減FMCWレーダシステムは、干渉体信号に関連付けられる振幅雑音及び位相雑音のうちの少なくとも1つの影響を低減（例えば、軽減又は抑制）させるように配される。

#### 【0020】

概して説明するレーダシステム 200の動作において、推定器 282は、ADC出力で干渉体信号の周波数及び位相の値を決定するために用いられる。例えば、干渉体信号は、送信アンテナ 230によって送信され、受信器アンテナ 240によって（例えば、直接的に）受信される信号の、直接結合が原因で生じる。少なくとも1つの例において、直接結合は2本のアンテナ間の電磁結合が原因で生じる。干渉体信号は、レーダ装置が後部（又は内部）に搭載された車両シャーシなど、レーダ装置に相対的に近い既知のオブジェクトによって、受信器アンテナに送信された信号の強反射（又は近傍オブジェクト反射）も指し得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 1 】

送信器 2 0 2 は、任意選択の信号シフタ 2 1 2 及び任意選択の ( L O ) 信号シフタ 2 9 9 を含む。考察の便宜上、信号シフタ 2 1 2 の機能性を以下で説明する。信号シフタ 2 9 9 は、図 8 を参照するなどして、以下でより具体的に考察する。バイパス信号 ( 例えば、 B Y P A S S - L O 及び / 又は B Y P A S S - R F ) がアサートされるとき、所与の信号シフタの出力は所与の信号シフタの入力と実質的に同じである。

## 【 0 0 2 2 】

信号シフタ 2 1 2 及び / 又は 2 8 4 は、送信信号のスペクトル及び / 又は受信信号のスペクトルを、干渉体信号の決められた大きさの周波数及び位相だけシフトするようにプログラミングされる。信号シフタ 2 8 4 の出力は、一般に、シフトされたベースバンド信号、並びに信号シフト後の干渉体信号の周波数及び位相と称され、一方、信号シフタ 2 8 4 の出力は、シフトされたベースバンド信号における干渉体オフセット周波数及び位相と称される。( 例えば、シフトされたベースバンド信号は、9 0 度の倍数を実質的に中心とする実質的にゼロの周波数及び位相を有する。 ) 決められた大きさの干渉 ( 例えば、干渉体信号 ) の周波数及び位相だけスペクトルをシフトすることによって、アンテナ結合 ( 又は近傍オブジェクト反射、どちらか優勢な方 ) を、信号シフタ 2 8 4 の出力で、 D C 信号 ( 例えば、0 H z の直流信号 ) に変換させる。したがって、干渉体信号に関連付けられる実質的にすべての振幅雑音が、 I チェーン信号 ( 例えば、構成要素 2 6 2、2 6 4、2 7 0、及びそれ以降を介する信号チェーン ) 内に存するが、Q チェーン信号には実質的にこうした振幅雑音はない。加えて、干渉体に対応する実質的にすべての位相雑音が、Q チェーン信号 ( 例えば、構成要素 2 6 3、2 6 5、2 7 2、及びそれ以降を介する信号チェーン ) 内に存するが、I チェーン信号には実質的にこうした位相雑音はない。レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 は、システムにおける振幅雑音が優勢であるとき、更なるレーダ処理のために Q チェーン信号を受信するように動作可能であり、位相雑音が優勢であるとき、I チェーン信号を受信するように動作可能である。

## 【 0 0 2 3 】

初期信号シフトは、R F 信号シフタ 2 1 2、L O 信号シフタ 2 9 9、及び / 又はデジタル信号シフタ 2 8 4 によって成される。R F 信号シフタ 2 1 2、L O 信号シフタ 2 9 9、及びデジタル信号シフタ 2 8 4 は、構成要素のうちの少なくとも 1 つが存在する場合などの、「任意選択」の構成要素である。例えば、R F 信号シフタ 2 1 2 及びデジタル信号シフタ 2 8 4 の両方が存在する場合、R F 信号シフタ 2 1 2 及びデジタル信号シフタ 2 8 4 の両方の信号シフトの合計は、単独で使用される R F 信号シフタ 2 1 2 又はデジタル信号シフタ 2 8 4 のいずれかの信号シフトに等しい。以下で説明するように、信号シフトは、レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 による近傍オブジェクト反射信号の処理によって ( 例えば、較正ルーチンの間に ) 決定される。信号シフトは、周波数シフト、位相シフトの 1 方、又はその両方である。

## 【 0 0 2 4 】

送信器 2 0 2、送信器アンテナ 2 3 0、受信器 2 0 4、受信アンテナ 2 4 0、D S P ( レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 など)、及びシフトコントローラ 2 9 2 は、任意選択で、( 例えば、自動車又はトラックなどの車両の ) シャーシ 2 0 6 上に取り付けられるか、又はシャーシ 2 0 6 に相対的に近接して ( 例えば、数センチメートル ) 位置決めされる。シャーシ 2 0 6 は、同じく ( 例えば、送信器 2 0 2 及び受信器 2 0 4 に加えて ) シャーシ 2 0 6 に取り付けられる近傍オブジェクトリフレクタ 2 0 8 ( 例えば、車両バンパー ) を含み、送信される電波を近傍オブジェクトリフレクタ 2 0 8 に反射させるようになっている。近傍オブジェクトリフレクタ 2 0 8 は、受信器アンテナ ( 及び / 又は、C W F M システム自体 ) に対して実質的に固定されており、及び / 又は、レーダリターン信号が望ましくない、レーダ信号反射オブジェクトであり得る。近傍オブジェクトリフレクタ 2 0 8 による送信電波の反射は、本明細書における開示に従って、較正及び動作ルーチンを用いて検出及び軽減される。シャーシ 2 0 6 は、任意選択で、送信される信号の一部を直接的に ( 例えば、ほぼ直接的に ) 受信器に対して同様に反射させる、レーダ装置の保護ハウジング

又はケーシングも指す。

【 0 0 2 5 】

送信器 2 0 2 は、L O (ローカル発振器) システム 2 1 0、P A (電力増幅器) 2 2 0、及び送信アンテナ 2 3 0 を含む。受信器 2 0 4 は、受信器アンテナ 2 4 0、L N A (低雑音増幅器) 2 5 0、ミキサ 2 6 0、並びに、同相 (I) 及び直交位相 (Q) の A D C (アナログ・デジタル変換器) 2 7 0 及び 2 7 2 (それぞれ) を含む。任意選択で、送信器 2 0 2 及び受信器 2 0 4 は、統合トランシーバとして具現化される。或る実施形態において、雑音軽減 F M C W レーダシステム 2 0 0 の構成要素が、印刷回路基板上にアンテナを形成することによって、及び、印刷回路基板上に一つ又は複数の集積回路 (その中に、L O 2 1 0、送信器 2 0 2、及び受信器 2 0 4 が形成される) を取り付けることによって、

10

【 0 0 2 6 】

動作の間、L O システム 2 1 0 は、P A 2 2 0 の入力を駆動させるのに好適な伝送周波数を有する L O 出力信号を生成するように動作可能である。下記の図 3 a 及び図 3 b を参照して以下で説明するように、L O システム 2 1 0 出力信号は、経時的に変動する周波数を有する。例えば、L O システム 2 1 0 出力信号は、予め決められた値 (例えば、7 7 G H z) から周波数掃引を開始し、予め決められた持続時間 (例えば、2 0  $\mu$  s) の間、一定の率 (例えば、1 0 0 M H z /  $\mu$  s) で増加する。L O システム 2 1 0 出力は、周波数掃引が、予め決められた持続時間の各インタバルで周期的に反復されるように、最高周波数から最低周波数へと相対的に急速に遷移する。(様々な実施形態において、周波数掃引は、任意選択で、より高い周波数から始まり、最低周波数に達するまで徐々に下降し、最高周波数へと急速に戻る。)

20

【 0 0 2 7 】

P A 2 2 0 は、L O システム 2 1 0 から伝送周波数の L O システム 2 1 0 出力信号を (存在する場合は、R F 信号シフタ 2 1 2 を介して) 受信するように動作可能である。これに応答して、P A 2 2 0 は L O システム 2 1 0 出力信号を増幅する。増幅された L O 出力信号は送信アンテナ 2 3 0 に結合され、増幅された L O 出力信号は送信信号 2 3 2 として送信される。送信信号 2 3 2 は電波信号として送信され、電波信号は、(検出及び分析されることが所望される、一つ又は複数の様々な周辺オブジェクトによる電波信号の反射に加えて) 受信器 2 0 4 の受信器アンテナ 2 4 0 に結合される。送信アンテナから受信アンテナへの結合は、それが受信器によって受信される信号内に存在することで、回路及びプロセッサが受信器出力を用いて、検出及び分析されることが所望される周辺オブジェクトの存在及び位置を検出することが困難になるため、通常は、意図的でなく、また望ましくない。例えば、送信アンテナ 2 3 0 と受信器アンテナ 2 4 0 との間の意図的でない及び/又は望ましくない電磁 (E M) 干渉又は E M 結合などに起因して、受信された電波信号は、検出されるべき周辺オブジェクトによって反射される送信信号 2 3 2 の正確なコピーではない。

30

【 0 0 2 8 】

L N A 2 5 0 は、受信器アンテナ 2 4 0 から受信電波信号を受信するように、及び、受信電波信号を増幅するように、動作可能である。増幅された受信電波信号は、ミキサ 2 6 0 の同相信号ミキサ (ミキサ I) 2 6 2 及び直交位相信号ミキサ (ミキサ Q) 2 6 3 に結合される。L O システム 2 1 0 出力信号はまた、I Q (同相 / 直交位相) スプリッタモジュール 2 6 1 に結合され、これに回答して I Q スプリッタモジュール 2 6 1 は、2 つの信号 L O I (ローカル発振器同相) 及び L O Q (ローカル発振器直交) をつくる。L O I 及び L O Q の位相は 9 0 度離れており、L O システム 2 1 0 出力信号と同じ周波数を有する。L O I 及び L O Q 信号は、同相信号ミキサ 2 6 2 及び直交位相信号ミキサ 2 6 3 によって、L N A 出力信号とそれぞれミックスされる。

40

【 0 0 2 9 】

同相信号ミキサ 2 6 2 及び直交位相信号ミキサ 2 6 3 の出力は、I F 増幅器同相 (I F A I) 2 6 4 及び I F 増幅器直交位相 (I F A Q) 2 6 5 の入力にそれぞれ結合され

50



る。同相信号ミキサ262及び直交位相信号ミキサ263は、LOシステム210によって生成されるLO出力信号にตอบสนองして増幅電波信号をダウンコンバートするように、及び、増幅電波信号にตอบสนองしてベースバンド信号を生成するように、動作可能である。IF増幅器同相264及びIF増幅器直交位相265の出力は、ADC同相(ADC I)270及びADC直交位相(ADC Q)272の入力にそれぞれ結合される。ADC同相270及びADC直交位相272のデジタル出力は、一つ又は複数の後続のデジタル信号処理モジュールによって、複合ADC出力(又は単に、「ADC出力」として、集合的に受信される。複合ADC出力は、ADC I出力+ j × ADC Q出力として表され、この式でjは-1の平方根である。ADC I出力は複合ADC出力の実部を表し、ADC Qは複合ADC出力の虚部を表す。例えば、複合ADC出力は、雑音軽減FMCWレー

10

#### 【0030】

本明細書で説明するように、任意選択でハードウェア(例えば、アナログ)、ソフトウェア(例えば、デジタル)、及び/又はそれらの組み合わせで実装される、様々な実施形態が開示される。したがって、ミキサ260の出力並びにADC270及び272の出力は機能的に同様であり、ミキサ260の出力がADC270及び272の出力のアナログ

20

#### 【0031】

ADC(複合)出力は、デジタル信号シフタ284(存在し、イネーブルされる場合)を介してマルチプレクサ286に結合される。デジタル信号シフタ284は、周波数シフト1(例えば、 $A_{NT}$ )、位相シフト1(例えば、 $A_{NT}$ )の一方又はその両方である、信号シフト値を用いてプログラミングされる。デジタル信号シフタ284は、下

30

$$y(n) = x(n) \times e^{(j \cdot 1 \times n \times T_s + 1)} \quad (1)$$

式(1)において、y(n)は信号シフタ284出力であり、x(n)は(例えば、デジタル信号シフタ284の入力に結合されるような)ADC出力であり、Tsはサンプリングクロック期間(例えば、ADC I 270及びADC Q 272のサンプリングレートの逆数)であり、nはサンプルインデックス(例えば、nは0、1、2、3、...である)を表す。したがって、デジタル信号シフタ284の出力は、実部及び虚部を伴う複合信号でもある(例えば、信号シフトされたADC I 270出力及び信号シフトされたADC Q 272をそれぞれ有し、ここで復号出力信号は周波数及び/又は位相でシフトされる)。周波数シフト1及び位相シフト1は、ラジアン/Hz及びラジアンで周波数及び位相を表し、デジタルワードの単位の大きさとシフト量の周波数(Hz)及び位相(ラジアン)との間の既知の関係を有するデジタルワード(例えば、2進数)として表される。

40

#### 【0032】

マルチプレクサ286は、受信される複合信号の実部及び虚部のいずれか(又は、バイパスモードの場合などは両方)を選択するように、及び、受信された複合信号の選択部分をダウンストリーム処理のために転送するように、動作可能である。デジタル信号シフタ284が存在し、イネーブルされるとき、マルチプレクサ286の受信された複合信号は、デジタル信号シフタ284の出力である。デジタル信号シフタ284がイネーブルされないとき、受信された複合信号はADC(複合)出力である。

50

## 【 0 0 3 3 】

受信された複合信号の実部又は虚部の選択は、システムにおける振幅雑音と位相雑音との比較に応答して成される。例えば、比較は、特定システムの設計後、及びデプロイメントの前（例えば、どの信号部分が主により多くの雑音を含むかを決定するために、特定システムが出荷前にテストされる場合）に成される。また、比較は、任意選択で、受信された複合信号のそれぞれの実部及び虚部の信号対雑音比を決定するために、レーダFFTプロセッサ290を用いることによって動的に（例えば、デプロイメント後）成される。

## 【 0 0 3 4 】

マルチプレクサ286の選択入力は、システムにおける振幅雑音と位相雑音との比較に基づいて（例えば、マルチプレクサコントローラ292によって）駆動される。例えば、システムにおける振幅雑音が位相雑音よりも優勢であるとき、受信された複合信号の虚部がマルチプレクサ286によって転送されるように選択入力駆動され、優勢でないときは、受信された複合信号の実部がマルチプレクサ286によって転送されるように選択入力駆動される。マルチプレクサコントローラ292がバイパス信号をアサートするとき、マルチプレクサ286は複合信号の実部及び虚部の両方を渡すように動作可能である。

## 【 0 0 3 5 】

例えば、マルチプレクサコントローラ292は、振幅雑音とシステムにおける雑音との電力の差が予め決められた閾値（例えば、およそ3dB）より少ないときなどに、バイパス信号をアサートするように動作可能である。予め決められた閾値がおよそ3dBであり、マルチプレクサ286がバイパスされていないとき（例えば、実部又は虚部のうちの選択される一方が転送されているとき）、優勢な雑音は（例えば、転送されないことによって）相対的により大きく抑制され、選択された部分において転送された雑音は、出力で3dBだけ効果的に増加される。マルチプレクサコントローラ292がバイパス信号をアサートするとき、信号シフタ212（存在する場合）、284（存在する場合）、及び288は、それらのそれぞれの入力信号が、いずれのプログラミングされた周波数シフト及び位相シフト制御にも関係なく、それらの出力信号として直接転送されるように、ディセーブルされる。

## 【 0 0 3 6 】

マルチプレクサコントローラ292の出力は、信号シフタ288に転送され、信号シフタ288は、信号シフタ212及び/又は284によって成される如何なる初期信号シフトも、実質的に初期信号シフトに等しくこれに逆の訂正信号シフトを行なうことによって実質的に無効となる点を除いて、信号シフタ284と同様に動作する。信号シフタ288の出力は、レーダ装置周辺の反射オブジェクトの存在及び位置を識別するための動作の間、レーダFFTプロセッサ290に結合される。例えば、訂正信号シフトにより、レーダFFTプロセッサ290は、そうでなければ訂正信号シフトなしに信号シフトされる信号を処理する際にスキューされることになる、反射オブジェクトの存在及び位置を正しく識別できるようになる。同様に、オブジェクトまでの相対的距離の推定はオフセットを有し得、訂正信号シフトが成されない場合、オブジェクトの角度の推定は誤りとなり得る。

## 【 0 0 3 7 】

ADC出力は、ADC出力信号における優勢な反射の周波数及び位相を推定するように動作可能な推定器282に結合される。優勢な反射は、アンテナ結合又は近傍オブジェクト反射（車両バンパー又は他の車両構成要素など）が原因で生じる最大信号リターン（例えば、反射）である。推定器282は、ADC出力のFFTを行なうこと、及び、どのFFT出力ビン（例えば、ピークビン）が優勢な反射の周波数に対応するかを決定することによって、優勢な反射を決定する。

## 【 0 0 3 8 】

例えば、対応するFFT出力ピンは通常、或るレンジの周波数において最高の大きさを有する。近隣FFT出力ピンの大きさの補間が、任意選択で、ピークの場所をより正確に決定するため、並びに周波数及び位相の推定の精度を向上させるために成される。ピークFFTピンの周波数は、 $2 \times \text{ピークピンのFFTインデックス} \times \text{ADCサンプリング}$

10

20

30

40

50

レートの量に従って決定され、この量はFFTのポイント数で除算される。ピークビンのFFTインデックスは、整数又は実数（ピークビンのFFTインデックスが補間される場合）であり、優勢な反射に対応するFFT出力ビンのインデックスを表す。位相は、ピークビンのFFTインデックスに関連付けられる複素数の角度を用いて推定される（例えば、ピークビンのFFT値が複素数  $a + jb$  であるとき、位相は  $a + jb$  の角度であり、ここで  $a$  は複素数の実部であり、 $b$  は複素数の虚部である）。

#### 【0039】

優勢な反射が発生すると予測される周波数のレンジは、(a) FMCW 勾配（例えば、図3a及び図3bに関して以下で考察する）、(b)（例えば、パンパーからの）近傍オブジェクト反射の距離の予測レンジ、又は（例えば、アンテナ結合からの）アンテナ間隔、並びに、(c) 空気中（例えば、およそ  $3 \times 10^8$  m/s）の及びレーダシステム200装置自体（例えば、集積回路及び印刷回路基板ベースの構成要素が用いられる場合、およそ  $2 \times 10^8$ ）における電磁波の伝搬速度、に応答して決定される。距離の予測レンジ（例えば、優勢な反射について）は、任意選択で、車両（及び/又はレーダシステム）設計者によって推定器282に予めプログラミングされ、及び/又は、レーダシステム200によって動的に決定される。

#### 【0040】

優勢な反射の予測周波数は、往復伝搬遅延とFMCW勾配との乗法積（例えば、乗算の結果）として決定される。往復伝搬遅延は、レーダシステム200内部の伝搬遅延の合計である。こうした伝搬遅延は、(a) PA220において遭遇する遅延、(b) PA220からTXアンテナ230への伝送線において遭遇する遅延、(c) RXアンテナ240からLNA250への伝送線において遭遇する遅延、(d) LNA250において遭遇する遅延、(e) LNA250からミキサ260への伝送線において遭遇する遅延、(f) ミキサ260からADC270及び272への伝送線において遭遇する遅延、並びに(g) 追加の伝搬遅延、を含む。追加の伝搬遅延は、TXアンテナ対RXアンテナ結合遅延（アンテナ結合が優勢である場合）、又は、TXアンテナ230から近傍オブジェクトリフレクタ208（例えば、パンパー）へ、及び近傍オブジェクトリフレクタ208からRXアンテナ240への、伝搬遅延（例えば、パンパー反射が優勢である場合）である。往復伝搬遅延が既知のレンジを有するとき、優勢なりフレクタの予測周波数のレンジは、上記の説明に従って決定される。レーダシステム200の例において、優勢なりフレクタの予測周波数の予測レンジは、前述のように推定器282にプログラミングされる。

#### 【0041】

推定器282によって決定される際の優勢な反射の周波数及び位相の推定は、それぞれ、及びとして表される。及びの負の値（-及び-）は、（単独で又は組み合わせて）信号シフタ212（存在する場合）及び284（存在する場合）の（いずれか又は両方の）プログラミングのために用いられる。及びの正の値（例えば、推定される位相及び周波数シフト）は、（例えば、信号シフタ212及び/又は信号シフタ284によって成される初期信号シフトを補償するために）信号シフタ288にプログラミングされる。推定器282によって決定される際の優勢な反射の周波数及び位相の推定は、任意選択で、初期校正ルーチンにおいて（例えば、通常動作の前に）成され、相対的にわずかな「チャープ」が伝送され、その後、推定器282（任意選択で、レーダFFTプロセッサ290内に組み込まれる）によって処理される。

#### 【0042】

「送信側」信号シフトの実施形態において、LOシステム210出力信号は、任意選択のアナログ(RF)信号シフタ212を介して（例えば、信号シフタ212がRF信号シフトを行なうように動作可能であるように）PA220に結合される。アナログ信号シフタ212は、下記の式に従って、LOシステム210出力信号に対して、プログラミングされた周波数シフト（1）及び位相シフト（1）を行なうように動作可能であり、

$$y(t) = x(t) \times e^{(j \times 2\pi \times f_1 \times t + \phi_1)} \quad (2)$$

式(2)において、 $y(t)$  は、アナログ信号シフタ212の出力であり、 $x(t)$  は、

10

20

30

40

50

アナログ信号シフタ 2 1 2 に入力される L O システム 2 1 0 出力信号であり、 $t$  は時間である。

【 0 0 4 3 】

一実施形態において、アナログ信号シフタ 2 1 2 はアナログ信号シフト制御に応答する。信号シフトは、( a ) I Q ミキサを用いて ( 例えば、L O 2 1 0 において ) L O I 及び L O Q 信号 ( これらは 9 0 度離れている ) を生成すること、( b ) L O I 信号を値  $\cos ( 2 )$  と、及び L O Q 信号を値  $\sin ( 2 )$  とそれぞれ乗算すること、並びに、( c ) 信号シフタの出力を生成するために 2 つのそれぞれの積を加算すること、によって制御される。2 の値は、デジタルワードの単位と位相 ( ラジアン ) との間に既知の関係を有するデジタルワード ( 2 進数 ) を用いて表される位相 ( ラジアン ) 量であり、量  $( 2 \times 1 \times t + 1 )$  に等しくなるようにデジタル的に生成される。別の実施形態において、プログラム可能遅延を伴う伝送線が、位相量  $( 2 \times 1 \times t + 1 )$  に比例するデジタル制御信号を用いて遅延を変更するように動作可能である。

10

【 0 0 4 4 】

送信側信号シフトの実施形態において、及び の負の値 ( - 及び - ) は、アナログ信号シフタ 2 1 2 にプログラミングされ、一方、及び の正の値は信号シフタ 2 8 2 にプログラミングされる。及び の負の値全体がアナログ信号シフタ 2 1 2 にプログラミングされるとき、信号シフタ 2 8 4 ( 例えば、A D C I 2 7 0 及び A D C Q 2 7 2 の後 ) はバイパスされて、信号シフタ 2 8 4 は如何なる信号シフトも行なわないことになる。

20

【 0 0 4 5 】

「受信側」信号シフトの実施形態において、L O システム 2 1 0 出力信号は、任意選択のアナログ ( R F ) 信号シフタ 2 1 2 をバイパスし、P A 2 2 0 に結合される。デジタル信号シフタ 2 8 4 は、及び の負の値 ( - 及び - ) を用いてプログラミングされ、一方、及び の正の値は、信号シフタ 2 8 8 にプログラミングされる。及び の負の値全体がデジタル信号シフタ 2 8 4 にプログラミングされるとき、アナログ ( R F ) 信号シフタ 2 1 2 はバイパスされ、信号シフタ 2 1 2 は如何なる信号シフトも行なわないことになる。

【 0 0 4 6 】

「送信側及び受信側」の実施形態において、初期位相及び周波数シフトの一部 ( 例えば、- 及び - ) が送信側信号シフタ 2 1 2 によってシフトされ、残りの部分は受信側信号シフタ 2 8 4 によってシフトされる。及び の正の値は、信号シフタ 2 8 8 にプログラミングされる。

30

【 0 0 4 7 】

上記の実施形態の各々において、信号シフタ 2 8 4 は任意選択でバイパスされる ( そのため、信号シフタ 2 8 4 出力は信号シフタ 2 8 4 入力と実質的に同様となる ) 。信号シフタ 2 8 4 が任意選択でバイパスされるとき、及び の正の値は入力情報としてレーダ F F T プロセッサ 2 9 0 に提供され、そのため、F E T プロセッサが初期信号シフトを補償するように動作可能となる。

【 0 0 4 8 】

例えば、レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 は、入力情報に基づいて F F T 出力を適切に解釈するように動作可能である。例えば、レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 は、F F T 出力アレイのインデックスを、F F T 入力サンプリングレートと の乗法積に比例する量だけシフトすることによって、F F T プロセッサに送信された選択されたデータの F F T ( 例えば、1 次元 ) の出力を解釈するように動作可能である。レーダ F F T プロセッサ 2 9 0 はまた、F F T 出力を、 $e$  の  $j$  掛ける 量の累乗で乗算することによって、F F T の出力を解釈するように動作可能である。

40

【 0 0 4 9 】

送信側信号シフトの一実施形態が、「実」ミキサ ( 例えば、直交位相 I Q ミキサと比較した場合 ) であるミキサ 2 6 0 を含む。したがって、送信側信号シフトの実施形態にはミ

50

キサQ 2 6 3は無く、IQスプリッタ2 6 1の入力は、ミキサI 2 6 2の出力に直接転送される。したがって、IF増幅器及びフィルタ(I F A Q) 2 6 5並びにADC Q 2 7 2も無い。ADC I 2 7 0の出力は、FFTプロセッサによって直接処理される。こうした下位実施形態において、信号シフタ2 8 4、マルチプレクサ2 8 6、及び信号シフタ2 8 8は無いが、又はバイパスモードで動作し、ADC I 2 7 0の出力をFFTプロセッサ2 9 0に直接転送する。送信側信号シフトの実施形態は、通常、受信器内の構成要素が少ないことに起因して、必然的に製造コストを減少させる。送信器における信号シフタ2 1 2及び信号シフタ2 9 9のいずれも、通常、同時にアクティブであり、干渉体信号に関連付けられる振幅及び位相の雑音の一方を軽減するように動作可能である。

【0050】

10

図3 aは、実施形態に従った、雑音軽減されたFMCWレーダシステム信号の周波数波形図である。概して説明すると、波形図3 0 0は、送信信号3 0 2の周波数情報及び反射信号3 0 4の周波数情報を図示する波形を含む。送信信号3 0 2は、レーダ送信器(雑音軽減FMCWレーダシステム2 0 0の送信器2 0 2など)によって送信される信号である。受信信号3 0 4は、レーダ受信器(雑音軽減FMCWレーダシステム2 0 0の受信器2 0 4など)によって受信される信号である。

【0051】

送信信号3 0 2の周波数は、関数 $f_T(t)$ によって表される。送信信号3 0 2は、送信信号3 0 2の周波数が低周波数から高周波数へ(例えば、正のFM勾配を有する)徐々に上昇する鋸歯波形に従って周波数変調される。送信信号3 0 2が低周波数から高周波数まで上昇する時間期間(例えば、鋸歯波形の時間のパルス幅)は、 $T_c$  3 3 0によって表される。したがって、各反射信号3 0 4はベースバンド信号(例えば、ミキサ2 6 0の出力)に対応し、その周波数は、反射オブジェクトの距離及び選択されたFM勾配に比例する。

20

【0052】

反射信号3 0 4は送信信号3 0 2の反射であり、反射は、理想的には、無線信号を反射する対象のオブジェクト(例えば、ターゲット、オブジェクト、ハザード、及びナビゲーション構造)によって引き起こされる。レーダ受信器(例えば、受信器2 2 0)が、反射信号3 0 4を受信し、対象のオブジェクトに関する情報を抽出するために反射信号3 0 4を処理する。

30

【0053】

反射信号3 0 4は、送信信号3 0 2に対して遅延3 1 0を有する。遅延3 1 0は、

$$t_d = 2R/c \quad (3)$$

であり、式(3)において、 $t_d$ は遅延3 1 0であり、 $R$ は対象のオブジェクトに対するレンジであり、 $c$ は送信信号3 0 2及び反射信号3 0 4の速度の平均である。周波数差3 2 0は、或るリフレクタに対応する送信信号と受信信号との間の周波数差を表し、遅延3 1 0(例えば、式(3)の $t_d$ )とリフレクタ対レーダの相対的速度に関連付けられるドップラー周波数との合計である。受信信号はまた、経路損失(明示的に図示せず)に起因する送信信号より減少した振幅を有する。したがって、図3 aは、持続時間が $T_c$  3 3 0である1つのFMCWチャープに対する1つのリフレクタに関連付けられる送信信号及び受信信号の周波数を示す。

40

【0054】

図3 bは、実施形態に従ったFMCWレーダシステム信号の周期性及び周波数レンジの周波数波形図である。概して説明すると、波形図3 0 0は送信信号3 0 6を含む。送信信号3 0 6は、レーダ送信器(雑音軽減FMCWレーダシステム2 0 0の送信器2 0 2など)によって送信される信号である。図3 bに示される例示波形において、送信信号は、およそ100マイクロ秒( $\mu s$ )の期間にわたって80GHzから81GHzまで循環する(例えば、変調する)瞬時周波数を有する。瞬時周波数は、およそ10MHz/ $\mu s$ の勾配で増加し、より急な勾配で減少する(FMCWシステムは、例えば200 $\mu s$ 及び300 $\mu s$ から始まる次のチャープに備えるために減少の間、この時間を用いる)。様々な実

50

施形態において、瞬時周波数は、任意選択で、 $0.1$  から  $100\text{ MHz} / \mu\text{s}$  までの値から選択される増加勾配で、 $76\text{ GHz}$  から  $77\text{ GHz}$ 、 $77\text{ GHz}$  から  $81\text{ GHz}$ 、又は  $24$  から  $24.5\text{ GHz}$ （これらのレンジのそれぞれのサブバンドのうちのいずれかを含む）の間を循環する。

#### 【0055】

図4は、実施形態に従った雑音軽減FMCWレーダシステム信号の振幅波形図である。概して説明すると、波形図400は、反射された送信信号404及び結合される雑音信号402を含む、ADC出力での受信信号のFFTスペクトルを示す。FFTスペクトルのx軸はADC出力の周波数であり、y軸はその周波数でのFFT値である。FMCWレーダにおいて、x軸（ADC出力周波数）は、レーダと反射オブジェクトとの間の相対的距離にも比例する。したがって、x軸は、ADC出力周波数に関して、又は相対的オブジェクト距離に関して、解釈され得る。

10

#### 【0056】

例えば、反射された送信信号404は、対象の検出されるオブジェクト、すなわち5メートルにあるオブジェクト430、10メートルにあるオブジェクト440、及び200メートルにあるオブジェクト450についてのレンジ情報を示す。一般に、検出されたオブジェクトが有するレンジが高いほど、結果としてFFTスペクトルを生じさせる信号振幅は低い（一方で、反射された送信信号404の雑音フロアは、遠くの低信号振幅オブジェクトの検出を困難にする）。例えば、開示される雑音軽減FMCWレーダシステムにおいて、優勢なりフレクタに関連付けられる優勢な雑音は開示される方法及び装置によって軽減されるため、雑音フロアはより低い。したがって、雑音軽減FMCWレーダ138の感度が上昇することにより、所与の送信信号について増加されたレンジでの対象オブジェクトの検出が可能となる。

20

#### 【0057】

結合された雑音信号402は、送信アンテナ（例えば、230）から受信アンテナ（例えば、240）への直接結合が原因で生じる低周波数トーン410を含む。例えば、直接結合はアンテナ結合が原因で生じる。相対的に多くの量のこうしたアンテナ結合は、実質的に強い第1の低周波数（例えば、 $77\text{ GHz}$ レーダシステムにおいて、数 $\text{KHz}$ ）部分を有するベースバンド信号をつくる。同様に、近隣オブジェクト（例えば、しばしば、自動車レーダシステムの直前に取り付けられるカーバンパー）からの強い望ましくない反射が、実質的に強い第2の低周波数（例えば、数十 $\text{KHz}$ ）部分を有するベースバンド信号をつくる。低周波数トーン410及びその他の周波数に関連付けられる雑音が、スカート420によって示される。スカート420は周波数ドメインにおいて「スカート」形状を有し、このドメインでは、より低い周波数での雑音はより高い周波数での雑音より大きい（より高い周波数での雑音は、より低い周波数での雑音より相対的に低い、より高い周波数での雑音は、受信器の熱雑音より相対的に高い可能性がある）。

30

#### 【0058】

スカート（ $(t)$ ）420は、PA（例えば、220）及びLNA（例えば、250）において、ピンク雑音（例えば、フリッカ雑音）のアップコンバージョンの影響を実質的に受ける。例えば、振幅雑音（ $(t)$ ）は、送信及び受信されるRF（無線周波数）信号のエンベロープにおける摂動を指す。

40

#### 【0059】

非相関位相雑音（ $(t)$ ）スカートは、第1の信号経路（LOシステム210からミキサ260へと延在する）と第2の信号経路（LOシステム210から送信アンテナ230へ、反射信号の経路においてLNA250を介してミキサ260まで延在する）との間で共通ではない位相雑音である。非相関位相雑音は、それらのそれぞれの出力を生成するときLO信号のゼロ交差時間インスタンスに対して、送信器と受信器との間の非理想的バッファによって導入される摂動に起因する雑音を含む。これに対して、理想的バッファは入力信号の正確な複製である出力信号をつくり、一定の遅延は例外の可能性はある。

50

#### 【0060】

非相関位相雑音スカートは、レーダミキサ260によって本来完全には抑制されないL Oシステム216において生成される位相雑音の一部を付加的に含む。他の類似タイプのミキサと同様に、ミキサ260は本来、L Oシステム612において生成される位相雑音に対して高域フィルタタイプの抑制を提供し、高域フィルタコーナー周波数は、送信器によるレーダ信号の生成から外部オブジェクトによる反射後のミキサでのその受信までの、又は、送信アンテナから受信アンテナへの電磁結合を介する、時間遅延に反比例する。「位相雑音」又は「位相雑音スカート」という用語は、一般に、雑音軽減FMCWレーダの位相雑音の非相関部分を指す。

#### 【0061】

非相関位相雑音  $\phi_u(t)$  及びスカート  $\phi_s(t)$  は、下記の式に従って、LNA250を介してミキサ260で受信する信号における受信器雑音レベルに実質的に影響を与え、

$$S_R = A \underbrace{(1 + \alpha(t))}_{AN} \cos(2\pi f_c t + \underbrace{\phi_c(t) + \phi_u(t)}_{PN(corr \& uncorr)}) \quad (4)$$

式(4)において、 $S_R$ は、リフレクタ又は干渉体に対応するLNA250で受信される信号であり、 $A$ は、理想的な(振幅雑音がない)場合の反射された信号の振幅を表す定数であり、 $\alpha(t)$ は、PA220及びLNA260(250?)において導入される乗法振幅雑音( $AN$ )(乗法と呼ぶのは、理想的信号と乗算するためである)であり、 $f_c$ は、搬送波周波数(PA220を介して、外部オブジェクトからの反射又はアンテナ結合を介して、及びLNA250を介して受信されるときは、L Oシステム出力周波数)であり、 $PN$ は位相雑音(相関及び非相関の両方)であり、 $\phi_c(t)$ は相関位相雑音であり、 $\phi_u(t)$ は非相関位相雑音である。相関位相雑音  $\phi_c(t)$ はミキサ260出力で実質的に減少し、非相関位相雑音  $\phi_u(t)$ はミキサ260の出力で位相雑音の主な源として残る。

#### 【0062】

送信波に対する受信された反射の遅延性質に起因して、ベースバンド信号(例えば、ミキサ260の出力で生成される信号)は周波数に対して「片側」(例えば、正)である。以下で論じるように、雑音軽減FMCWレーダ138のレーダFFTプロセッサ290は、ベースバンド信号の正と負の周波数を区別するように、及び周波数シフト(例えば、周波数シフト及び位相回転、集合的に「回転」又は「逆回転(de-rotation)」)を行なうように、動作可能である。

#### 【0063】

図5は、実施形態に従った、雑音軽減FMCWレーダシステム信号のミキサ出力スペクトル図である。概して説明すると、スペクトル図500は負の周波数レンジ502及び正の周波数レンジ504を含む。エンベロープ520は、負の周波数レンジ502及び正の周波数レンジ504にわたる入力ベースバンド信号のパワーの相対的に最高の偏位を表す。エンベロープ520は、優勢干渉体520(522?)、振幅漏れ負周波数部分524、及び振幅漏れ正周波数部分525(526?)を含む。

#### 【0064】

振幅漏れ負周波数部分524は、主に振幅雑音及び非相関位相雑音を含み、望ましいオブジェクトトーン(例えば、一つ又は複数の望ましいオブジェクトを表す逆回転された信号における周波数)は無い。例えば、開示される方法及び装置は、優勢干渉体522の左及び右の周波数側で、優勢干渉体522に関連付けられる雑音が、対称であるか又は複素共役対称である(例えば、スペクトルの左側の雑音とスペクトルの右側の雑音とは、位相雑音の場合は互いに複素共役であるため、振幅雑音の場合は同じである)という特性を利用するように動作可能である。

#### 【0065】

例えば、優勢干渉体(例えば、反射信号スペクトルエンベロープの最高部分)522は、低周波数トーン410からの周波数成分及びスカート420の漸減成分を含む。優勢干

10

20

30

40

50

渉体 520 は、DC（例えば、「ゼロ」）周波数ポイントで y 軸から周波数オフセット 530 だけオフセットされる（例えば、周波数分離を有する）。周波数オフセット 530 は干渉体オフセット周波数とも称され、位相オフセット（例えば、干渉体オフセット周波数の正弦波に対する干渉信号の位相）を有する。上記で考察したように、周波数及び位相オフセットは FMCW 勾配及び干渉体往復遅延に依存する。

【0066】

前述の式（4）に従い、優勢干渉体に対応するミキサ（例えば、260）出力でのビート信号（例えば、ベースバンド出力信号）は、下記の形式であり、

$$r(t) = A \underbrace{(1 + \alpha(t))}_{AN} \underbrace{e^{j(\theta_{int} + \omega_{int}t)}}_{Interferer} \underbrace{e^{j\phi(t)}}_{PN} \quad (5)$$

10

式（5）において、 $r(t)$  は、優勢干渉体に対応するミキサ出力でのビート信号であり、 $\theta_{int}$  は、優勢干渉体の位相（干渉体オフセット位相）であり、 $\omega_{int}$  は、優勢干渉体の周波数（干渉体オフセット周波数）であり、 $t$  は時間であり、 $AN$  は、優勢干渉体に関連付けられる PA220 及び LNA250 において導入される振幅雑音であり、 $PN$  は、優勢干渉体に関連付けられる PA220 及び LNA250 において導入される位相雑音である。量  $\theta_{int}$  及び  $\omega_{int}$  は、FMCW 勾配、開始周波数、及び干渉体までの往復距離に依存して、瞬時に変動する。

【0067】

位相シフト  $\theta_{int}$  の実際の値は、推定器 282 によって決定され、その後、（例えば、初期信号シフタ 212 及び / 又は 284 の動作によって）実質的にすべての雑音を、信号シフタ 284 の出力で、実質的に、実アーム（例えば、I チェーン信号）又は虚アーム（例えば、Q チェーン信号）内に完全に誘導させるために用いられる。したがって、優勢雑音を実質的に欠いた信号の処理を可能にするために、虚アーム及び実アームの一方が選択される。例えば、優勢雑音は、優勢干渉体に関連付けられる非相関の位相雑音又は振幅雑音のうちの大きい方（例えば、複数の干渉体のうちの最大であり、車体反射及び / 又は TX アンテナ対 RX アンテナ結合であり得る）である。

20

【0068】

ビート信号が優勢干渉体 520 の周波数及び位相によって逆回転されるとき、結果として生じる信号（例えば、逆回転ベースバンド信号）は、以下のように、実部において優勢干渉体に関連付けられる振幅雑音、及び、主に虚部において優勢干渉体に関連付けられる位相雑音を有し、

30

$$r_{derot}(t) = A \underbrace{(1 + \alpha(t))}_{AN} \underbrace{e^{j\phi(t)}}_{PN} \cong A(1 + \alpha(t))(1 + j\phi(t)) \cong A(1 + \alpha(t) + j\phi(t)) \quad (6)$$

式（6）において、 $r_{derot}(t)$  はミキサ出力でのビート信号である（他の変数は、式（5）について上記で述べた変数と一致する）。

【0069】

レーダ FFT プロセッサ 290 は、受信信号をオフセット 530 の量（例えば、優勢干渉体 520 の周波数及び位相）だけ信号シフト（例えば、「逆回転」）するように動作可能であり、逆回転信号をつくるように動作可能である。つくられた逆回転信号は、DC の周辺にスペクトルベースバンドバージョンの優勢リフレクタ部分を有することを中心として、逆回転信号の振幅雑音が、振幅漏れ正周波数部分 526（例えば、実部）及び振幅漏れ負周波数部分 524（虚部）に含まれるようになっている。したがって、信号シフトは、任意選択で、（a）信号シフタ 212 及び / 又は 284（信号シフタ 288 はバイパスされる）、又は（b）FFT プロセッサ 290（信号シフタ 212、284、及び 288 はバイパスされる）によって、成される。

40

【0070】

優勢干渉体 520 に対応する逆回転ベースバンド信号の振幅及び位相雑音の各部分は、対称（又は「共役対称」）スペクトルを有する。これに対して、実際のオブジェクト反射

50



の信号は、片側周波数にのみ対応する（例えば、FM勾配が正であるか負であるかに従う）。レーダFFTプロセッサ290は、逆回転ベースバンド信号の振幅雑音及び位相雑音をそれぞれ分析するように動作可能である。

#### 【0071】

例えば、分析は、逆回転ベースバンド信号において振幅雑音又は位相雑音のいずれが優勢であるかを判別することを含む。少なくとも1つの例において、レーダFFTプロセッサ290が、振幅雑音が優勢であるものと判別した場合、対象の一つ又は複数のオブジェクト550を検出及び特定するために、逆回転ベースバンド信号の虚部のみが（例えば、レーダFFTプロセッサ290によって）更に処理される。レーダFFTプロセッサ290が、位相雑音が優勢であるものと判別した場合、対象の一つ又は複数のオブジェクト550を検出及び特定するために、実部のみが（例えば、レーダFFTプロセッサ290によって）更に処理される。（図2に関して上記で考察したように、分析は、任意選択で、特定の設計について成され、分析の結果は、システムのデプロイメントの前にデバイス構成要素にプログラミングされる。）

#### 【0072】

したがって、振幅雑音又は非相関位相雑音のいずれか（例えば、より高いものと決定されるいずれか）を、3dB SNR（信号対雑音比）の損失という「犠牲」（例えば、性能ペナルティ）を払って軽減することができる。3dBの損失は、逆回転ベースバンド信号の実又は虚の成分のみの減算の結果として生じる。式（2）に関して上記で考察したように、位相雑音は、（例えば、受信）ミキサの2つの入力間で非相関である。受信されたベースバンド信号に対して逆回転を行なう実施形態は、「受信側」実施形態と称される。

#### 【0073】

他の実施形態において、「送信側」雑音軽減FMCWレーダが、送信信号を周波数及び位相シフトするように動作可能な送信器を含む。周波数シフト及び位相シフト信号（例えば、これは相関位相雑音を含む）は、受信器ミキサの入力に結合される。送信側雑音軽減FMCWレーダにおいて、送信波の位相は、開始周波数及び開始位相を有するFM勾配を用いて継続的に変調されるため、優勢干渉体520が受信器ミキサ出力信号スペクトルのDCポイントに存することになる。

#### 【0074】

したがって、送信側雑音軽減FMCWレーダは、受信器ミキサ出力で逆回転信号を生成する。送信側雑音軽減FMCWレーダ処理は、逆回転信号の受信側雑音軽減FMCW処理に類似する。例えば、開示される逆回転信号の逆回転及び処理は、振幅雑音又は非相関位相雑音のいずれかが優勢であり、及び実質的に受信器雑音フロアよりも上である、1つの優勢干渉体520を有する様々な実施形態において少なくとも適用可能である。

#### 【0075】

図6は、例示の実施形態に従ったソフトウェア支援信号シフトを用いるプロセスフローチャートである。ソフトウェア支援信号シフトを行なうように動作可能な実施形態において、レーダ装置は、図2を参照して説明されたすべての構成要素を必要とはしない。例えば、ソフトウェアがデジタルドメインにおいて信号シフトを行なうように動作可能な実施形態において、信号シフタ212は無く、ADC（例えば、270及び272）出力はFFTプロセッサ290に直接進む。こうしたシステムにおいて、FFTプロセッサのソフトウェア又はファームウェアは、プロセスフロー600に従って雑音軽減を達成するような方式でコード化される。（これに対して、ハードウェアが信号シフトを行なうように動作可能である実施形態を、図8に関して後に説明する。）

#### 【0076】

プロセスフロー600は端部602から始まり、プロセスフローは動作610に進む。動作610において、優勢干渉体の周波数及び位相が決定される。まず、FMCWチャープが送信され、優勢干渉体を含むリターン信号が、受信され、推定器282について上記で説明した処理と同様に処理される。優勢干渉体の周波数及び位相は、どのFFT出力ピン（例えば、ピークピン）が優勢反射の周波数に対応するかを決定するために、ADC出

10

20

30

40

50

力のFFTを行なうことによって決定される。優勢干渉体に対応するFFT出力ピンの値は、Mとして示され（Mは、任意選択で、優勢干渉体周波数が近隣FFT値の補間を用いて実質的に正確に決定されるときにの分数である）、優勢干渉体の位相の値はPとして示される。優勢干渉の周波数及び位相を見つけるための処理が主として、ソフトウェア及び/又はファームウェアにおいてコード化される実施形態において、処理は推定器282によって成される処理に類似する。図8を参照して以下で説明するように、ハードウェア支援信号シフトの実施形態において優勢干渉体の周波数及び位相を見つけるために、こういった動作は、ハードウェア実施形態におけるハードウェア回路及びブロックによって成される（ハードウェア支援及びソフトウェア支援の信号シフトの様々な組み合わせが可能である）。プログラムフローは動作620に進む。

10

#### 【0077】

動作620において、FMCWチャープが送信され、優勢干渉体とレーダ装置周辺のオブジェクトからの反射に対応する信号とを含むリターン信号が、受信及び処理される。例えば、リターン信号に回答してADC出力のFFT（高速フーリエ変換）が決定され、ここで、FFT出力シーケンスは $X[k]$ で表され、 $k$ は、FFTのFFT出力ピンインデックス又は周波数サンプルインデックスを表し、 $X[k]$ は、 $k$ 番目のFFT出力ピンインデックスに対応する複合FFTシーケンスの値を表す。FFT出力シーケンスは、新しいシーケンス $Y[k]$ を決定するためにスペクトル変換され、 $Y[k] = X[k - M] \times \exp(-j \times P)$ であり、Mは、動作610において決定されるような、干渉体ピンとも称される、優勢干渉体に対応するFFT出力ピンインデックス（又は周波数サンプルインデックス）である。プログラムフローは動作630に進む。

20

#### 【0078】

動作630において、イメージスペクトル減算動作が成される。優勢干渉体に関連付けられる振幅及び非相関雑音は実量であり、したがって、共役対称スペクトルを有する。イメージスペクトル減算において、周波数スペクトルの正の部分からの雑音が、周波数スペクトルの負の部分の雑音推定に回答して抑制されるため、所望のオブジェクトトーンが、減算後のスペクトル内に主に存在する（及び/又は、実質的に拡張される）ことになる。したがって、システムにおいて振幅雑音が優勢であるとき、新しいシーケンス $Z[k]$ が決定され、 $Z[k] = (Y[k] - Y'[-k]) / 2$ であり、この式で、 $Y'$ は $Y$ シーケンスの複素共役を表し、シーケンス $Z$ は、0（ゼロ）周波数又は0ピン周辺の $Y$ の「共役奇成分」であると言われる。システムにおいて非相関位相雑音が優勢である場合、新しいシーケンス $Z[k]$ は、 $Z[k] = (Y[k] + Y'[-k]) / 2$ として決定され、シーケンス $Z$ は、0周波数又は0ピン周辺の $Y$ の「共役偶成分」であると言われる。プログラムフローは動作640に進む。

30

#### 【0079】

動作620の一部として成されるスペクトル変換、及び動作630において成されるイメージスペクトル減算は、雑音抑制の一実施形態である。一般に、たとえばこうしたスペクトル変換を行なわなくとも、任意選択の否定ルーチンを行なうことなどによって、スペクトル変換の結果は達成可能である。

#### 【0080】

システムにおいて振幅雑音が優勢であるとき、新しいシーケンス $Z[k]$ は、任意選択の否定ルーチンによって、 $Z[k] = \exp(-j \times P) \times (Y[k] - Y'[M - (k - M)]) / 2$ として決定される。こうした処理は、「干渉体ピンM周辺の共役奇成分を抽出すること」と称される。システムにおいて非相関位相雑音が優勢である場合において、新しいシーケンス $Z[k]$ は、任意選択の否定ルーチンによって、 $Z[k] = \exp(-j \times P) \times (Y[k] + Y'[M - (k - M)]) / 2$ として決定される。この処理は、「干渉体ピンM周辺の共役偶成分を抽出すること」と称される。例えば、抽出された値（シーケンス $Z[k]$ ）は、抑制された量の振幅雑音又は非相関位相雑音を有し、これによって従来のレーダ処理に比べて改善された反射オブジェクトの識別が可能になる。

40

#### 【0081】

50

動作 6 4 0 において、動作 6 3 0 において取得されたシーケンス  $Z[k]$  は、周辺オブジェクトの存在及び相対的位置を決定するために、更なる従来の FMCW レーダ信号処理に用いられる。一実施形態において、動作 6 2 0 及び 6 3 0 は、複数（例えば、 $L$ ）回反復され、これらすべての回から取得される複数（ $L$  個）のシーケンス（ $Z[k]$ ）が、 $L$  個の  $Z[0]$  のシーケンスの FFT、 $L$  個の  $Z[1]$  のシーケンスの FFT、 $L$  個の  $Z[2]$  のシーケンスの FFT、・・・を行なうこと、並びに、周辺オブジェクトの存在、相対的位置、及び速度を決定するためにこれらの FFT の出力を処理することなどの、従来のレーダ信号処理技法を用いて、集合的に処理される。決定された情報は、安全機能（例えば、ハザードが最終閾値を越える場合の制動）、ロボット機械の制御（例えば、ドローンの操縦又はロボットアームの制御）、及びその他のこうした時空間制御タスクを行なうために有用である。レーダ FFT プロセッサは、任意選択で、反射オブジェクトの決定された情報に応答して、こうした制御コマンドを生成するように動作可能である。

10

#### 【0082】

異なる実施形態において、 $Z[p]$  の大きさのセットよりも著しく大きい  $Z[k]$  の大きさを有する、インデックス  $k$ （FFT インデックスとも称される）が識別され、 $p$  は  $k$  付近のインデックスである。知覚されるオブジェクトまでの距離は、識別されたインデックスに対応する周波数に光速（ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）を掛けること、及び、この積を送信信号の周波数の変化率（FMCW 信号の周波数勾配）の 2 倍で割ることによって、決定される。例えば、知覚されたオブジェクトの距離情報は、任意選択で、ロボット車両を加速する、減速する、又はロボット車両のため定められた元のコースから逸脱させるように、ロボット車両を制御するプロセッサによって用いられる。プログラムフローは、任意選択で、動作 6 5 0 又は端部 6 9 9 に進む。

20

#### 【0083】

動作 6 5 0 において、対象オブジェクトの距離情報は、任意選択で、ユーザがオブジェクトの存在及びオブジェクトのレンジを速く決定し得るように、レンジ情報を有するよう表示される。プログラムフローは端部 6 9 9 に進み、ここでプログラムフローは終了する。

#### 【0084】

図 7 は、実施形態に従った、雑音軽減 FMCW レーダシステムのシミュレーションの、入力ベースバンド信号及び処理されたベースバンド信号の周波数波形図である。概して説明すると、波形図 7 0 0 は、入力ベースバンド信号 7 0 2、及び処理された（拡張された）ベースバンド信号 7 0 4 を含む。入力ベースバンド信号 7 0 2 は優勢干渉体 7 1 0 を含む。例えば、優勢干渉体 7 1 0 の後、エネルギーが弱まり、入力ベースバンド信号は主に 35 dB（デシベル）から 20 dB 辺りに明らかな雑音レベルを有し、30 dB 辺りに明らかな平均雑音レベルを有する。

30

#### 【0085】

本明細書で開示する開示された雑音軽減技法に従って入力ベースバンド信号 7 0 2 を処理した後、処理されたベースバンド信号 7 0 4 は、入力ベースバンド信号 7 0 2 の雑音レベルより実質的に低い雑音レベルを有する。例えば、入力ベースバンド信号 7 0 2 の対象オブジェクトのインジケーション 7 2 0、7 3 0、及び 7 4 0 は、各々、50 dB 辺りに信号ピークを有する。これに対して、処理されたベースバンド信号 7 0 4 は、0（ゼロ）dB 辺りに最大値を有し、主に -10 dB（デシベル）から -25 dB 辺りに明らかな雑音レベルを有し、-20 dB 辺りに明らかな平均雑音レベルを有する。

40

#### 【0086】

例示の一実施形態が、様々なパラメータの値に従って動作する。例えば、FMCW 波形周波数は、40 マイクロ秒の持続期間（例えば、「チャープ」又は「FMCW チャープ」）にわたって 77 GHz から 81 GHz まで増加し、100 MHz / マイクロ秒の勾配をもたらす。送信出力パワーは、およそ 10 dBm からおよそ 13 dBm のパワーを有し、その結果、およそ -10 dBm の反射又はアンテナ結合となる。受信器雑音は、およそ 1 dBm であり、その結果、およそ -163 dBm / Hz の熱雑音レベルとなる。受信器

50

位相雑音は、およそ  $-147 \text{ dBc/Hz}$  である。アンテナ結合干渉は  $100$  ピコ秒の伝搬遅延を有し、その結果、ADC出力における  $10 \text{ KHz}$  の干渉周波数（例えば、干渉体信号）となる。この例示の実施形態において、信号シフト  $284$  は  $-10 \text{ KHz}$  周波数シフトでプログラミングされ、信号シフト  $288$  は  $10 \text{ KHz}$  周波数シフトでプログラミングされる。代替として、信号シフト  $212$  及び  $284$  が、各々  $-5 \text{ KHz}$  周波数シフトでプログラミングされ、信号シフト  $288$  が  $10 \text{ KHz}$  周波数シフトでプログラミングされる。車両シャーシの反射が原因で生じる干渉は、（シャーシからレーダアンテナまでの距離が  $5 \text{ cm}$  の場合） $333$  ピコ秒の往復伝搬遅延を有する。したがって、ADC出力において  $33.33 \text{ KHz}$  の干渉周波数が決定される。

【0087】

10

様々な実施形態において、アンテナ結合は、車両シャーシ反射と比較してより優勢（又はより劣勢）であり得る。優勢干渉体のタイプは、様々な車両上のレーダ装置の設計、製造、及び/又はテストの間、（例えば、オリジナルの機器製造として開示されるシステムをインストールする車両製造によって）通常は既知である（及び/又は決定される）。様々な実施形態において、LNA及びPA回路において導入される振幅雑音は、非相関位相雑音より優勢（又は劣勢）である。特定のレーダ装置についての振幅雑音の大きさは、そのレーダ装置の設計、製造、及び/又はテストの間、通常は既知である。

【0088】

図8は、例示の実施形態に従ったハードウェア支援信号シフトを用いるプロセスフローチャートである。プロセスフローは端部802で始まり、プロセスフローは動作810に進む。動作810において、優勢干渉体の周波数及び位相が推定される。例えば、動作810は、すべての信号シフト  $212$ 、 $284$ 、 $288$  が初期的にバイパスされる較正ルーチンにおいて用いられる。信号シフト  $212$ 、 $284$ 、 $288$  がバイパスされた後、FMCWチャープが送信され、優勢干渉体を含むリターン信号が受信される。推定器282は、優勢干渉体の周波数及び位相を（ADC出力で）決定するため、受信したリターン信号を処理する。推定器282は、信号シフト  $212$ 、 $284$ 、 $288$  に適用するために周波数及び位相シフト制御を（例えば、優勢干渉体の周波数及び位相の推定に基づいて）計算する。プログラムフローはステップ820に進む。

20

【0089】

動作820において、信号シフトはプログラミングされる。例えば、推定器282は、信号シフト  $212$  及び  $284$  上にプログラミングされるシフトの合計が優勢干渉体の負の周波数及び位相に等しくなるような方式で、及び、信号シフト  $212$  及び  $284$  上にプログラミングされるシフトの合計が  $288$  上にプログラミングされる負のシフトに等しくなるような方式で、信号シフト  $212$ 、 $284$ 、 $288$  をプログラミングする。プログラムフローはステップ830に進む。

30

【0090】

動作830において、最低雑音レベルを提供する構成が決定される。例えば、3つの構成がテストされ、マルチプレクサ292は、（a）実部のみを転送するように、（b）虚部のみを転送するように、及び（c）複合入力（実部及び虚部の両方）を転送するように、マルチプレクサ286を構成する。こうした各構成について、FMCWチャープが送信され、優勢干渉体を含むリターン信号が受信される。FFTプロセッサ290は、（各構成について）受信信号を処理し、信号シフト  $288$  の出力の雑音パワーレベルを推定して、どの構成が最低の雑音パワーレベルを提供するかを決定する。様々な実施形態において、情報（及び信号シフト情報）はマルチプレクサコントローラ292内に埋め込まれるため、レーダの設計及び製造段階の間に最適な構成が決定された場合、動作830は成されない。プログラムフローはステップ840に進む。

40

【0091】

動作840において、システムは、最適な構成に関する情報を用いて構成される。例えば、マルチプレクサコントローラ292は、動作830において（或いは、設計及び/又は製造段階において）決定された構成でマルチプレクサをプログラミングする。プログラ

50

ムフローはステップ 8 5 0 に進む。

【 0 0 9 2 】

動作 8 5 0 において、動作モードが入力される。例えば、複数の F M C W チャーブが送信及び受信され、F F T プロセッサ 2 9 0 の入力における信号は、反射オブジェクトの存在、位置、及び速度を経時的に決定するために、F F T プロセッサ 2 9 0 によって反復的に処理される。決定された情報は、安全機能（例えば、ハザードが最終閾値を越える場合の制動）、ロボット機械の制御（例えば、ドローンの操縦又はロボットアームの制御）、及びその他のこうした時空間制御タスクを行なうために有用である。レーダ F F T プロセッサは、任意選択で、反射オブジェクトの決定された情報に応答して、こうした制御コマンドを生成するように動作可能である。プログラムフローはステップ 8 9 9 に進み、こ

10

【 0 0 9 3 】

受信器が、（例えば、図 2 に関して上記で考察したような）（例えば、直交位相）ミキサ Q 2 6 3、I F A Q 2 6 5、及び A D C Q 2 7 2 を含まない実施形態において、動作 8 2 0 及び 8 3 0 はわずかに改変される。例えば、（構成が次々に評価されるように）送信器における信号シフトをプログラミングするために、信号シフトの様々な値のセットが用いられる。F F T プロセッサ 2 9 0 は、どの構成が A D C I 2 7 0 の出力において最低の雑音レベルを提供するかを決定するために用いられる。最低の雑音レベルを提供する構成は、最適構成として選択され、選択された最適構成として動作 8 4 0 に転送される。

20

【 0 0 9 4 】

上記で考察したように、「信号シフト 2 1 2」という用語は、便宜上（例えば、信号シフト 2 1 2 及び 2 9 9 のいずれか又は両方について）総称的に用いられる。信号シフト 2 1 2 の代わりに（例えば、信号シフト 2 9 9 が無いか又はバイパスされる間に、信号シフト 2 1 2 に対して或る周波数シフト及び位相シフトをプログラミングする代わりに）信号シフト 2 9 9 が用いられる実施形態において、負の周波数シフト及び位相シフトが、信号シフト 2 9 9 内にプログラミングされる（信号シフト 2 1 2 は無いか又はバイパスされる）。周波数シフト値と位相シフト値との間の負の関係を用いて、2 つの信号シフトが構成される（例えば、2 つの信号シフトが、受信器のミキサ 2 6 0 につながる異なる経路内に存在するためなど）。

30

【 0 0 9 5 】

本明細書で説明する様々な実施形態において、A D C 出力上で動作する回路（例えば、デジタル回路）は、信号処理機能を行なうように、及びそれらの出力をプロセッサに転送するように示されており、ファームウェア又はソフトウェアコードを用いてアルゴリズムを実行するように説明される。デジタル回路によって成される信号処理機能は、プロセッサによって実行可能なファームウェア又はソフトウェアにおいて（例えば、こうしたプロセスの結果を他のプロセスへの入力として用いる前に）同等にコード化され得る。例えば、信号シフト 2 8 4、マルチプレクサ 2 8 6、及び信号シフト 2 8 8 の各々は、装置においてバイパスされるか又は無い可能性があるが、本明細書に開示される技法は、等価の信号シフト、多重化、及びその他の動作を、ファームウェア、ソフトウェア、又はそれらの組み合わせを介して実行するようにプロセッサを配することによって達成され得る。別の例として、周波数又は位相シフトの一部は、一部はデジタル回路を用いて、残りの部分はプロセッサにおいて、（例えば、F M C W 雑音軽減システムを全体として見た場合、実質的に、同じ信号処理効果が実行されるように）、達成され得る。また、プロセッサ（例えば、F F T）によって行なわれるように説明される機能は、デジタル回路において同等に実装され得る。更に、信号シフト 2 8 4、マルチプレクサ 2 8 6、及び信号シフト 2 8 8 などの要素は、ファームウェア又はソフトウェアの形式で実行される、デジタル回路、プロセッサ機能、及び/又はアルゴリズムとして実装され得る。

40

【 0 0 9 6 】

本明細書で説明する様々な実施形態において、干渉体からの振幅雑音及び位相雑音ス

50

ートは、互いに対して主に90度位相シフトされる（例えば、互いに直交位相関係を有する）ように説明される。したがって、振幅雑音又は位相雑音を抑制するために実部及び虚部のいずれかが用いられる。信号シフタ出力が、説明を容易にするために上記で考察したような（正準）0度の代わりに、干渉体オフセット位相に対する90度、180度、及び270度の直交角度の干渉体信号を有するように、位相シフトが成され得るような他の実施形態が可能である。こうした場合において、更なるレーダ処理のためのシフトされたベースバンド信号の実部又は虚部の選択は、直交関係の角度（例えば、象限）に対して成される。本明細書における開示に鑑みて、位相シフトは、信号シフタ出力が（例えば、90度又は他の直交角度とは）任意に異なるが既知の干渉体オフセット位相の干渉体信号を有するように成され得る。

10

【0097】

特許請求の範囲内で、説明される実施形態における改変が可能であり、他の実施形態が可能である。

【図1】

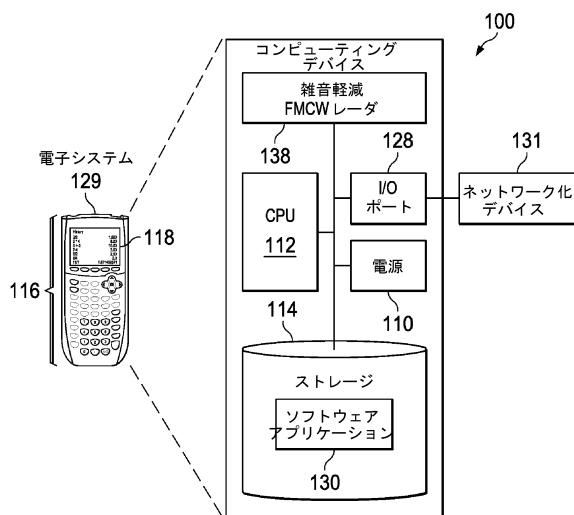


FIG. 1

【図2】

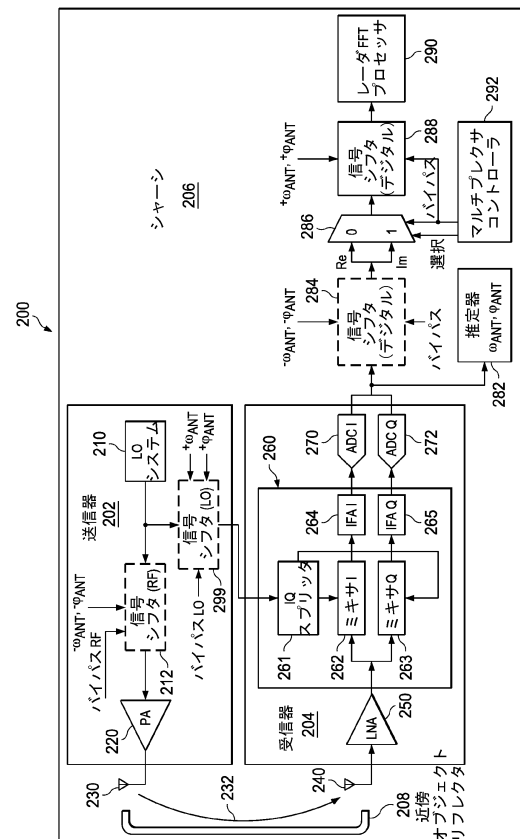
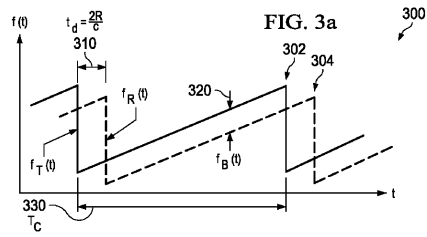
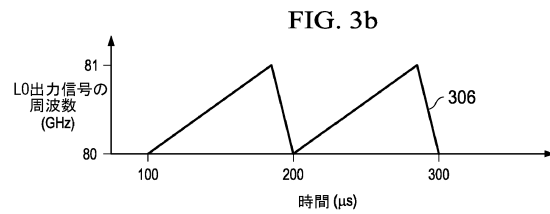


FIG. 2

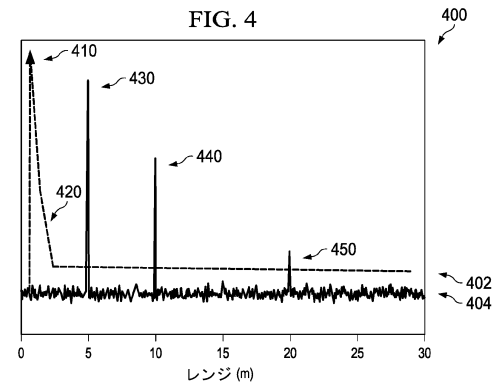
【図 3 a】



【図 3 b】



【図 4】



【図 5】

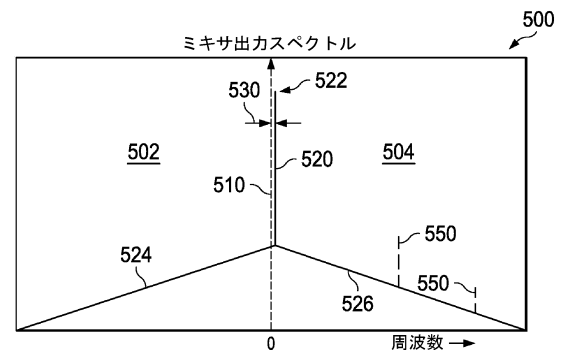


FIG. 5

【図 6】

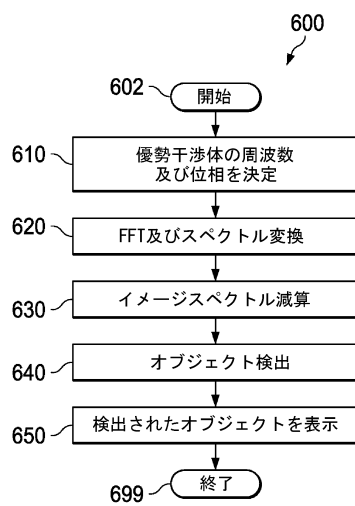
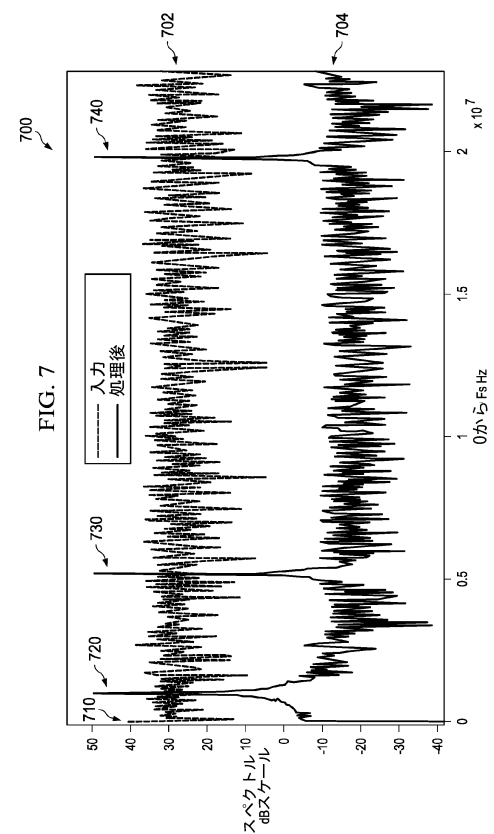


FIG. 6

【図 7】



【図 8】

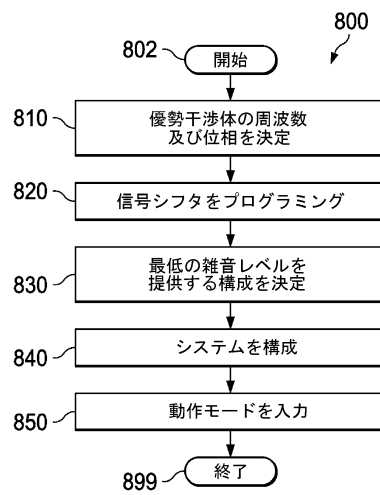


FIG. 8



## フロントページの続き

- (72)発明者 カーティク スブラジ  
インド 560071 バンガロール, ビーティーエム セカンド ステージ, エイティーン  
ス メイン 161
- (72)発明者 カーティク ラマスブラマニアン  
インド 560038 バンガロール, フィフティーンス クロス 82, シトラス コート  
003
- (72)発明者 スリラム ムラリ  
インド 560054 バンガロール, マシカー, フォーティーンス エイ メイン ロード  
656
- (72)発明者 スリーキラン サマラ  
アメリカ合衆国 75024 テキサス州 プラノ, ケニング コート 8505
- (72)発明者 クリシュナンシュ ダンドゥ  
アメリカ合衆国 75013 テキサス州 アレン, クアナ コート 1423

審査官 田中 純

- (56)参考文献 特開平08-262126(JP,A)  
特開2008-039490(JP,A)  
特開2008-199411(JP,A)  
特開2001-091639(JP,A)  
特開2005-030809(JP,A)  
特開2010-187825(JP,A)  
特開2018-151313(JP,A)  
特開2018-146443(JP,A)  
国際公開第2012/020530(WO,A1)  
国際公開第2011/111660(WO,A1)  
国際公開第2008/126602(WO,A1)  
国際公開第2006/095463(WO,A1)  
米国特許出願公開第2011/0037642(US,A1)  
米国特許出願公開第2009/0033538(US,A1)  
米国特許出願公開第2007/0247351(US,A1)  
中国特許出願公開第109239708(CN,A)  
中国特許出願公開第107976656(CN,A)  
KARTHIK RAMASUBRAMANIAN, “FMCWレーダ・システムにおける複素ベースバンド・アーキテクチャの使用法”, ホワイト・ペーパー 『FMCWレーダ・システムにおける複素ベースバンド・アーキテクチャの使用法』, TEXAS INSTRUMENTS, 2017年 6月30日, 第1-10頁

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/00 - G01S 7/52  
G01S 13/00 - G01S 17/95  
A61B 8/00 - A61B 8/15