

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7650968号
(P7650968)

(45)発行日 令和7年3月25日(2025.3.25)

(24)登録日 令和7年3月14日(2025.3.14)

(51)国際特許分類

FI

G 0 1 S 17/34 (2020.01)

G 0 1 S 17/34

G 0 1 S 7/493(2006.01)

G 0 1 S 7/493

請求項の数 20 (全39頁)

(21)出願番号	特願2023-521591(P2023-521591)	(73)特許権者	521095112
(86)(22)出願日	令和3年10月7日(2021.10.7)		エヴァ インコーポレイテッド
(65)公表番号	特表2023-545775(P2023-545775 A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 3 マウンテン ビュー エリス ストリート 5 5 5
(43)公表日	令和5年10月31日(2023.10.31)	(74)代理人	100119792
(86)国際出願番号	PCT/US2021/054013		弁理士 熊崎 陽一
(87)国際公開番号	WO2022/076715	(72)発明者	ジョン エシャ
(87)国際公開日	令和4年4月14日(2022.4.14)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 3 マウンテン ビュー エリス ストリート 5 5 5
審査請求日	令和5年10月2日(2023.10.2)	(72)発明者	クラウス ベリン ホセ
(31)優先権主張番号	63/089,178		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 3 マウンテン ビュー エリス ストリート 5 5 5
(32)優先日	令和2年10月8日(2020.10.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	17/495,692		
(32)優先日	令和3年10月6日(2021.10.6)		
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 コヒーレント L I D A R システムにおけるゴースト低減技術

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

下記 a ～ c を含む方法。：

a . 周波数変調連続波 (F M C W) 光検出および測距 (L I D A R) システム (以下、L I D A R システムと称する。) の視野内のターゲットに向けて、少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームであって、前記少なくとも1つのアップチャープおよび前記少なくとも1つのダウンチャープが位相非線形性を有するように位相変調される光ビームを送信する。；

b . 前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する。

ここで、前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記 L I D A R システムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記 L I D A R システムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。；および

c . 前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットを使用して、前記1つまた

は複数の光ビームにおける位相非線形性によって生じる前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットの形状の少なくとも一部に基づきピークイメージを検出しつつ前記ターゲットの位置を決定する。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、前記ターゲットの位置を決定する手順は、さらに下記a～dを含む方法。

a. 前記第1のピークセットに属する第1ピークを囲む第1の周波数ビンのセットを算出する。；

b. 前記第1の周波数ビンのセットに関連する正の周波数値に対応した負の周波数値を含む第2の周波数ビンのセットに基づいて、前記第1のピークセットに属する第2ピークを囲む前記第2の周波数ビンのセットを算出する。ここで、前記第2ピークは前記第1ピークと共役対称である。；

c. 前記第2のピークセットに属する第3ピークを囲む第3の周波数ビンのセットを算出する。；

d. 前記第3の周波数ビンのセットに関連する正の周波数値に対応した負の周波数値を含む第4の周波数ビンのセットに基づいて、前記第2のピークセットに属する第4ピークを囲む前記第4の周波数ビンのセットを算出する。ここで、前記第4ピークは前記第3ピークと共役対称である。

【請求項3】

請求項2に記載の方法であって、さらに下記a～fを含む方法。

前記LIDARシステムの最小検出周波数セットに対する最大ドップラーシフト内に前記第1ピークまたは前記第3ピークがある場合：

a. 前記第1ピークおよび前記第3ピークから、正の周波数値を含む最高周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する真のピーク値を選択する。；

前記第1ピークが前記真のピーク値である場合：

b. 前記第1ピークおよび前記第3ピークに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算し、当該第1のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性とを使用して第1ピーク形状推定値を決定する。；

c. 前記第1ピークおよび前記第4ピークに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、当該第2のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性とを使用して第2ピーク形状推定値を決定する。；

d. 前記第1ピーク形状推定値および前記第2ピーク形状推定値を前記第3ピークおよび前記第4ピークと比較する。；

e. 前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークが前記第2ピーク形状推定値と前記第4ピークよりも高い相関を示す場合、前記第3ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

f. 前記第2ピーク形状推定値と前記第4ピークが前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークよりも高い相関を示す場合、前記第4ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。

【請求項4】

請求項3に記載の方法であって、さらに下記a～fを含む方法。

前記第3ピークが前記真のピーク値である場合：

a. 前記第1ピークおよび前記第3ピークに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算し、当該第1のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性とを使用して第3ピーク形状推定値を決定する。；

b. 前記第2ピークおよび前記第3ピークに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、当該第2のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性とを使用して第4ピーク形状推定値を決定する。；

c. 前記第3ピーク形状推定値および前記第4ピーク形状推定値を前記第1ピークおよび前記第2ピークと比較する。；

d. 前記第3ピーク形状推定値と前記第1ピークが前記第4ピーク形状推定値と前記第2ピークよりも高い相関を示す場合、前記第1ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

f. 前記第4ピーク形状推定値と前記第2ピークが前記第3ピーク形状推定値と前記第1ピークよりも高い相関を示す場合、前記第2ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。

【請求項5】

請求項3に記載の方法であって、前記第1ピーク形状推定値および前記第2ピーク形状推定値を比較する手順は、さらに以下を含む方法。：

前記第1ピーク形状推定値を前記第3ピークと比較し、前記第2ピーク形状推定値を前記第4ピークと比較する。

【請求項6】

請求項3に記載の方法であって、前記第1ピーク形状推定値が前記第3ピークと一致する場合、さらに以下を含む方法。：

前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークを相関させて相関値を設定し、その相関値が所定の閾値を超えるかどうかを判定する。

【請求項7】

請求項2に記載の方法であって、さらに下記a～fを含む方法。

ナイキスト周波数に対する最大ドップラースhift内に前記第1ピークまたは前記第3ピークがある場合：

a. 前記第1ピークと前記第3ピークから、正の周波数値を含む最低周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する真のピーク値を選択する。；

前記第1ピークが真のピーク値である場合：

b. 前記第1ピークおよび前記第3ピークに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算し、当該第1のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して第1ピーク形状推定値を決定する。；

c. 前記第1ピークおよび前記第4ピークに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、当該第2のターゲット距離推定値と、前記1つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して第2ピーク形状推定値を決定する。；

d. 前記第1ピーク形状推定値および前記第2ピーク形状推定値を前記第3ピークおよび前記第4ピークと比較する；

e. 前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークが前記第2ピーク形状推定値と前記第4ピークよりも高い相関を示す場合、前記第3ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

f. 前記第2ピーク形状推定値と前記第4ピークが前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークよりも高い相関を示す場合、前記第4ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。ただし、前記真のピークはナイキストの周波数と前記第4ピークに対応する周波数を組み合わせて設定される。

【請求項8】

請求項1に記載の方法であって、さらに下記を含む方法。

前記LIDARシステムに最大負のドップラースhift閾値が設定されている場合：

前記LIDARシステムの最小距離閾値を最大負のドップラースhift閾値にマッピングし、前記第1および第2のピークセットのうち正の周波数値ピークを1つまたは複数の真のピークとして確立し、前記ターゲット位置を予測する。

【請求項9】

請求項8に記載の方法であって、最小距離のマッピングの手順は、さらに以下を含む方法。：

前記LIDARシステムの受信経路に光学的遅延を加えることで、前記最小距離閾値を最大負のドップラースhift周波数にマッピングする。

【請求項10】

請求項 8 に記載の方法であって、さらに以下を含む方法。

前記 L I D A R システムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されている場合：

前記第 1 のピークセットに基づいて、前記ターゲット位置に対応する真のピークを選択する。

【請求項 1 1】

請求項 8 に記載の方法であって、さらに以下を含む方法。

前記 L I D A R システムに最大正のドップラーシフト閾値が設定されている場合：

前記 L I D A R システムの最大距離閾値を最大正のドップラーシフト閾値にマッピングし、1 つまたは複数のピークのエイリアシングを防ぐために 1 つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整する。これにより、前記第 1 および第 2 のピークセットのうち正の周波数値ピークを 1 つまたは複数の真のピークとして確立し、前記ターゲット位置を予測する。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 に記載の方法であって、最大距離閾値のマッピングの手順は、さらに以下を含む方法。：

ナイキスト周波数と前記最大距離閾値に基づいて、1 つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整する。

【請求項 1 3】

請求項 2 に記載の方法であって、さらに以下を含む方法。

前記 L I D A R システムの最小検出周波数に対する最大ドップラーシフト内に前記第 1 ピークまたは前記第 3 ピークが存在する場合において、：

前記 L I D A R システムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されており、当該予め設定されたドップラーシフトが生じる場合：

a . 前記第 1 ピークと前記第 3 ピークから、正の周波数値を含む最高周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する第 1 の真のピーク位置を選択する。；

前記第 1 ピークが前記第 1 の真のピーク位置として選択された場合：

b . 前記予め設定されたドップラーシフトと前記第 1 ピークに基づいて第 2 の真のピーク位置を推定する。；および、

c . 当該第 2 の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第 3 ピークと前記第 4 ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する。；

前記第 3 ピークが前記第 1 の真のピーク位置として選択された場合：

d . 前記予め設定されたドップラーシフトと前記第 3 ピークに基づいて前記第 2 の真のピーク位置を推定する。；および、

e . 当該第 2 の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第 2 ピークと前記第 1 ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、

前記予め設定されたドップラーシフトは、自己運動速度（エゴ速度）、以前のフレーム情報、近傍ポイント情報の少なくとも 1 つに基づいて選択される、方法。

【請求項 1 5】

請求項 2 に記載の方法であって、さらに以下 a ～ e を含む方法。

前記第 1 ピークまたは前記第 3 ピークがナイキスト周波数に対する最大ドップラーシフト内に存在する場合において：

前記 L I D A R システムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されており、当該予め設定されたドップラーシフトが生じる場合：

a . 前記第 1 ピークと前記第 3 ピークのうち、正の周波数値を含む最低周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する第 1 の真のピーク位置を選択する；

前記第 1 ピークが前記第 1 の真のピーク位置として選択された場合：

b . 前記予め設定されたドップラーシフト、前記第 1 ピーク、およびナイキスト周波数

10

20

30

40

50

に基づいて第2の真のピーク位置を推定する。；および、

c. 前記第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第3ピークと前記第4ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する；

第3ピークが第1の真のピーク位置として選択された場合；

d. 前記予め設定されたドップラーシフト、前記第3ピーク、および前記ナイキスト周波数に基づいて第2の真のピーク位置を推定する。；

e. 前記第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第2ピークと前記第1ピークの間で選択を行い、前記ターゲット位置を決定する。

【請求項16】

請求項15に記載の方法であって、

前記予め設定されたドップラーシフトは、自己運動速度（エゴ速度）、以前のフレーム情報、近傍ポイント情報の少なくとも1つに基づいて選択される、方法。

【請求項17】

請求項1に記載の方法であって、さらに下記を含む方法。：

前記少なくとも1つのアップチャープ周波数、および前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数を、前記1つまたは複数のリターン信号と混合することにより、周波数領域におけるベースバンド信号を生成する。ここで、前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数は、前記相対運動に比例して時間的に遅延する。

【請求項18】

請求項17に記載の方法であって、

前記ベースバンド信号は、前記第1ピークのセットと前記第2ピークのセットを含む、方法。

【請求項19】

周波数変調連続波（FMCW）光検出および測距（LIDAR）システム（以下、LIDARシステムと称する。）であって、

同LIDARシステムの視野内のターゲットに向けて少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームあって、前記少なくとも1つのアップチャープおよび前記少なくとも1つのダウンチャープが位相非線形性を有するように位相変調される光ビームを送信し、前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する、下記要件を具備する光スキャナと、

前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記LIDARシステムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記LIDARシステムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。；

前記光スキャナに連携して前記リターン信号から、LIDARターゲット距離に対応する周波数を含む時間領域のベースバンド信号を生成する光学処理装置と、；

前記光学処理装置に連携する信号処理装置であって、プロセッサと、このプロセッサによって実行されると、前記第1ピークのセットおよび前記第2ピークのセットを使用して、前記1つまたは複数の光ビームにおける位相非線形性によって生じる前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットの形状の少なくとも一部に基づきピークイメージを検出しつつ前記ターゲット位置を決定するように前記LIDARシステムを動作させる命令を格納するメモリとを含む、信号処理装置と、；

を備える、LIDARシステム。

【請求項20】

非一時的なコンピュータ可読媒体であって、周波数変調連続波（FMCW）光検出およ

10

20

30

40

50

び測距（L I D A R）システム（以下、L I D A Rシステムと称する。）内のプロセッサによって実行されると、前記L I D A Rシステムに下記a～cを実行させる命令を含む、コンピュータ可読媒体。：

a．前記L I D A Rシステムの視野内のターゲットに向けて、少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームあって、前記少なくとも1つのアップチャープおよび前記少なくとも1つのダウンチャープが位相非線形性を有するように位相変調される光ビームを送信する。；

b．前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する。

ここで、前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記L I D A Rシステムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記L I D A Rシステムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。；および

c．前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットを使用して、前記1つまたは複数の光ビームにおける位相非線形性によって生じる前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットの形状の少なくとも一部に基づきピークイメージを検出しつつ前記ターゲット位置を決定する。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、米国特許法第119条（e）に基づき、2021年10月6日に出願された米国特許出願第17／495，692号および2020年10月8日に出願された米国仮特許出願第63／089，178号の優先権を主張するものであり、それら全内容は参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、光検出および測距（L I D A R）システム全般に関するものであり、詳しくは、コヒーレントL I D A Rシステムにおけるゴーストの低減に関する。

【背景技術】

【0003】

周波数変調連続波（FMCW）L I D A RシステムなどのL I D A Rシステムは、ターゲットの周波数チャープ照射のための波長可変な赤外線レーザと、送信信号のローカルコピーと組み合わせられる、ターゲットからの後方散乱光または反射光を検出するためのコヒーレント受信器とを使用する。受信器において、ローカルコピーにターゲットまでの往復時間だけ遅延したリターン信号（例：リターン信号）を混合することで、システムの視野内の各ターゲットまでの距離に比例する周波数をもつ信号が生成される。

周波数のアップスイープとダウンスイープは、検出されたターゲットの距離と速度を検出するために使用されることがある。しかしながら、L I D A Rシステムおよびターゲット（または複数のターゲット）の1つ以上が移動している場合、どのピークがどのターゲットに対応しているかを判断する必要があるところ、各ターゲットに、対応するピークを正確に関連付けることが難しくなるという問題が発生する。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

以下、本発明の態様、すなわち、上記問題を解決するために、ターゲット検出のための検出閾値を自動的に調整するL I D A Rシステム及びその方法に係る各態様について説明

10

20

30

40

50

する。

【0005】

本開示による本発明の一態様は方法に関するもので、下記 a～c を含む。

a. 光検出および測距 (L I D A R) システムの視野内のターゲットに向けて、少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームを送信する。;

b. 前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する。

ここで、前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記 L I D A R システムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記 L I D A R システムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。;および

c. 前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットを使用して前記ターゲットの位置を決定する。

【0006】

本発明の一態様の方法において、前記ターゲットの位置を決定する手順は、さらに下記 a～d を含む。

a. 前記第1のピークセットに属する第1ピークを囲む第1の周波数ビンのセットを算出する。;

b. 前記第1の周波数ビンのセットに関連する正の周波数値に対応した負の周波数値を含む第2の周波数ビンのセットに基づいて、前記第1のピークセットに属する第2ピークを囲む前記第2の周波数ビンのセットを算出する。ここで、前記第2ピークは前記第1ピークと共役対称である。;

c. 前記第2のピークセットに属する第3ピークを囲む第3の周波数ビンのセットを算出する。;

d. 前記第3の周波数ビンのセットに関連する正の周波数値に対応した負の周波数値を含む第4の周波数ビンのセットに基づいて、前記第2のピークセットに属する第4ピークを囲む前記第4の周波数ビンのセットを算出する。ここで、前記第4ピークは前記第3ピークと共役対称である。

【0007】

本発明の一態様において、この方法はさらに下記 a～f を含む。

前記 L I D A R システムの最小検出周波数セットに対する最大ドップラーシフト内に前記第1ピークまたは前記第3ピークがある場合:

a. 前記第1ピークおよび前記第3ピークから、正の周波数値を含む最高周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する真のピーク値を選択する。;

前記第1ピークが前記真のピーク値である場合:

b. 前記第1ピークおよび前記第3ピークに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算し、当該第1のターゲット距離推定値と、1つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して第1ピーク形状推定値を決定する。;

c. 前記第1ピークおよび前記第4ピークに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、当該第2のターゲット距離推定値と、前記光ビームの位相非線形性を使用して第2ピーク形状推定値を決定する。;

d. 前記第1ピーク形状推定値および前記第2ピーク形状推定値を前記第3ピークおよび前記第4ピークと比較する。;

e. 前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークが前記第2ピーク形状推定値と前記第

10

20

30

40

50

4 ピークよりも高い相関を示す場合、前記第 3 ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

f. 前記第 2 ピーク形状推定値と前記第 4 ピークが前記第 1 ピーク形状推定値と前記第 3 ピークよりも高い相関を示す場合、前記第 4 ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。

【0008】

本発明の一態様において、この方法はさらに下記 a ~ f を含む。

前記第 3 ピークが前記真のピーク値である場合：

a. 前記第 1 ピークおよび前記第 3 ピークに基づいて第 1 のターゲット距離推定値を演算し、当該第 1 のターゲット距離推定値と、1 つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して第 3 ピーク形状推定値を決定する。；

10

b. 前記第 2 ピークおよび前記第 3 ピークに基づいて第 2 のターゲット距離推定値を演算し、当該第 2 のターゲット距離推定値と、前記光ビームの位相非線形性を使用して第 4 ピーク形状推定値を決定する。；

c. 前記第 3 ピーク形状推定値および前記第 4 ピーク形状推定値を前記第 1 ピークおよび前記第 2 ピークと比較する。；

d. 前記第 3 ピーク形状推定値と前記第 1 ピークが前記第 4 ピーク形状推定値と前記第 2 ピークよりも高い相関を示す場合、前記第 1 ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

f. 前記第 4 ピーク形状推定値と前記第 2 ピークが前記第 3 ピーク形状推定値と前記第 1 ピークよりも高い相関を示す場合、前記第 2 ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。

20

【0009】

本発明の一態様の方法において、前記第 1 ピーク形状推定値および前記第 2 ピーク形状推定値を比較する手順は、さらに以下を含む：

前記第 1 ピーク形状推定値を前記第 3 ピークと比較し、前記第 2 ピーク形状推定値を前記第 4 ピークと比較する。

【0010】

本発明の一態様の方法において、前記第 1 ピーク形状推定値が前記第 3 ピークと一致するかどうかを判定する手順は、さらに以下を含む。：

30

前記第 1 ピーク形状推定値と前記第 3 ピークを相関させて相関値を設定し、その相関値が所定の閾値を超えるかどうかを判定する。

【0011】

本発明の一態様において、この方法は、さらに下記 a ~ f を含む。

ナイキスト周波数に対する最大ドップラーシフト内に前記第 1 ピークまたは前記第 3 ピークがある場合：

a. 前記第 1 ピークと前記第 3 ピークから、正の周波数値を含む最低周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する真のピーク値を選択する。；

前記第 1 ピークが真のピーク値である場合：

b. 前記第 1 ピークおよび前記第 3 ピークに基づいて第 1 のターゲット距離推定値を演算し、当該第 1 のターゲット距離推定値と、1 つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して第 1 ピーク形状推定値を決定する。；

40

c. 前記第 1 ピークおよび前記第 4 ピークに基づいて第 2 のターゲット距離推定値を演算し、当該第 2 のターゲット距離推定値と、前記光ビームの位相非線形性を使用して第 2 ピーク形状推定値を決定する。；

d. 前記第 1 ピーク形状推定値および前記第 2 ピーク形状推定値を前記第 3 ピークおよび前記第 4 ピークと比較する；

e. 前記第 1 ピーク形状推定値と前記第 3 ピークが前記第 2 ピーク形状推定値と前記第 4 ピークよりも高い相関を示す場合、前記第 3 ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。；および

50

f. 前記第2ピーク形状推定値と前記第4ピークが前記第1ピーク形状推定値と前記第3ピークよりも高い相関を示す場合、前記第4ピークが前記ターゲット位置に対応すると決定する。ただし、前記真のピークはナイキストの周波数と前記第4ピークに対応する周波数を組み合わせて設定される。

【0012】

本発明の一態様において、この方法は、さらに下記を含む。

前記LIDARシステムに最大負のドップラーシフト閾値が設定されている場合：

前記LIDARシステムの最小距離閾値を最大負のドップラーシフト閾値にマッピングし、前記第1および第2のピークセットのうち正の周波数値ピークを1つまたは複数の真のピークとして確立し、前記ターゲット位置を予測する。

10

【0013】

本発明の一態様において、最小距離のマッピングの手順は、さらに以下を含む。：

前記LIDARシステムの受信経路に光学的遅延を加えることで、前記最小距離閾値を最大負のドップラーシフト周波数にマッピングする。

【0014】

本発明の一態様において、この方法は、さらに以下を含む。

前記LIDARシステムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されている場合：

前記第1のピークセットに基づいて、前記ターゲット位置に対応する真のピークを選択する。

20

【0015】

本発明の一態様において、この方法は、さらに以下を含む。

前記LIDARシステムに最大正のドップラーシフト閾値が設定されている場合：

前記LIDARシステムの最大距離閾値を最大正のドップラーシフト閾値にマッピングし、1つまたは複数のピークのエイリアシングを防ぐために1つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整する。これにより、前記第1および第2のピークセットのうち正の周波数値ピークを1つまたは複数の真のピークとして確立し、前記ターゲット位置を予測する。

【0016】

本発明の一態様において、最大距離閾値のマッピングの手順は、さらに以下を含む。：

ナイキスト周波数と前記最大距離閾値に基づいて、1つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整する。

30

【0017】

本発明の一態様において、この方法は、さらに以下を含む。

前記LIDARシステムの最小検出周波数に対する最大ドップラーシフト内に前記第1ピークまたは前記第3ピークが存在する場合において、：

前記LIDARシステムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されており、当該予め設定されたドップラーシフトが生じる場合：

a. 前記第1ピークと前記第3ピークから、正の周波数値を含む最高周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する第1の真のピーク位置を選択する。；

40

前記第1ピークが前記第1の真のピーク位置として選択された場合：

b. 前記予め設定されたドップラーシフトと前記第1ピークに基づいて第2の真のピーク位置を推定する。；および、

c. 当該第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第3ピークと前記第4ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する。；

前記第3ピークが前記第1の真のピーク位置として選択された場合：

d. 前記予め設定されたドップラーシフトと前記第3ピークに基づいて前記第2の真のピーク位置を推定する。；および、

e. 当該第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第2ピークと前記第1ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する。

50

【0018】

本発明の一態様において、前記予め設定されたドップラーシフトは、自己運動速度（エゴ速度）、以前のフレーム情報、近傍ポイント情報の少なくとも1つに基づいて選択される。

【0019】

本発明の一態様において、この方法は、さらに以下a～eを含む。

前記第1ピークまたは前記第3ピークがナイキスト周波数に対する最大ドップラーシフト内に存在する場合において：

前記LIDARシステムと前記ターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されており、当該予め設定されたドップラーシフトが生じる場合：

a．前記第1ピークと前記第3ピークのうち、正の周波数値を含む最低周波数に基づいて前記ターゲット位置に対応する第1の真のピーク位置を選択する；

前記第1ピークが前記第1の真のピーク位置として選択された場合：

b．前記予め設定されたドップラーシフト、前記第1ピーク、およびナイキスト周波数に基づいて第2の真のピーク位置を推定する。；および、

c．前記第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第3ピークと前記第4ピークの間で選択を行い、ターゲット位置を決定する；

第3ピークが第1の真のピーク位置として選択された場合：

d．前記予め設定されたドップラーシフト、前記第3ピーク、および前記ナイキスト周波数に基づいて第2の真のピーク位置を推定する。；

e．前記第2の真のピーク位置との近接性に基づいて前記第2ピークと前記第1ピークの間で選択を行い、前記ターゲット位置を決定する。

【0020】

本発明の一態様の方法において、さらに下記を含む。

少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を、1つまたは複数のリターン信号と混合することにより、周波数領域におけるベースバンド信号を生成する。ここで、前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数は、前記相対運動に比例して時間的に遅延する。

【0021】

本発明の一態様の方法において、さらに下記を含む。

前記ベースバンド信号は、前記第1ピークのセットと前記第2ピークのセットを含む。

【0022】

本開示による本発明の他の態様は、光検出および測距（LIDAR）システムに関するもので、以下の構成を備える。

光検出および測距（LIDAR）システムであって、

同LIDARシステムの視野内のターゲットに向けて少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームを送信し、前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する、下記要件を具備する光スキャナと、

前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記LIDARシステムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記LIDARシステムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。；

前記光スキャナに連携して前記リターン信号から、LIDARターゲット距離に対応する周波数を含む時間領域のベースバンド信号を生成する光学処理装置と、；

前記光学処理装置に連携する信号処理装置であって、プロセッサと、このプロセッサに

10

20

30

40

50

よって実行されると、前記第1ピークのセットおよび前記第2ピークのセットを使用して前記ターゲット位置を決定するように前記L I D A Rシステムを動作させる命令を格納するメモリとを含む、信号処理装置と、；

を備える。

【0023】

本開示による本発明の他の態様は、非一時的なコンピュータ可読媒体に関するもので、以下の構成を備える。

非一時的なコンピュータ可読媒体であって、光検出および測距（L I D A R）システム内のプロセッサによって実行されると、前記L I D A Rシステムに下記a～cを実行させる命令を含む、コンピュータ可読媒体。：

a．前記光検出および測距（L I D A R）システムの視野内のターゲットに向けて、少なくとも1つのアップチャープ周波数、および少なくとも1つのダウンチャープ周波数を含む1つまたは複数の光ビームを送信する。；

b．前記ターゲットから、前記1つまたは複数の光ビームに基づく1つまたは複数のリターン信号を受信する。

ここで、前記1つまたは複数のリターン信号は、前記ターゲットおよび前記L I D A Rシステムの少なくとも1つの相対運動によって、少なくとも1つのアップチャープ周波数からシフトした変位アップチャープ周波数と、前記ターゲットおよび前記L I D A Rシステムの少なくとも1つの相対運動によって少なくとも1つのダウンチャープ周波数からシフトした変位ダウンチャープ周波数とを含み、前記変位アップチャープ周波数および前記変位ダウンチャープ周波数は、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのアップチャープ周波数に関連した第1のピークセットと、前記ターゲットの位置に対応する前記少なくとも1つのダウンチャープ周波数に関連した第2のピークセットとを生成する。；および

c．前記第1のピークセットおよび前記第2のピークセットを使用して前記ターゲット位置を決定する。

【図面の簡単な説明】

【0024】

本発明の種々の態様を明確にするために、後述の詳細な説明（実施形態）で参照される図面を示す。なお図中の同一の符号は同一の要素である。

【0025】

【図1】本発明の実施形態によるL I D A Rシステムを示すブロック図である。

【0026】

【図2】本発明の実施形態によるL I D A R波形の一例を示す時間一周波数図である。

【0027】

【図3A】本発明の実施形態によるL I D A Rシステムを示すブロック図である。

【0028】

【図3B】本発明の実施形態によるL I D A Rシステムの電気光学系を示すブロック図である。

【0029】

【図4】本発明の実施形態による信号処理システムを示すブロック図である。

【0030】

【図5】本発明の実施形態による、ターゲットに対する信号ピークを示す信号強度一周波数図である。

【0031】

【図6】本発明の実施形態による、ターゲットに対する信号ピークを示す信号強度一周波数図である。

【0032】

【図7】本発明の実施形態によるL I D A R波形の一例を示す時間一周波数図である。

【0033】

10

20

30

40

50

【図 8】本発明の実施形態による周波数範囲を示す信号強度－周波数図である。

【0034】

【図 9】本発明の実施形態による、ピーク選択のための信号処理装置の一例を示すブロック図である。

【0035】

【図 10】本発明の実施形態による周波数範囲を示す信号強度－周波数図である。

【0036】

【図 11】本発明の実施形態による周波数範囲を示す信号強度－周波数図である。

【0037】

【図 12】本発明の実施形態によるピーク選択のための方法を示すフローチャートである。

10

【0038】

【図 13】本発明の実施形態によるピーク選択のための方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0039】

以下、本発明の実施形態による、ドップラーシフトに起因するゴーストを自動的に低減するための L I D A R システムおよびその方法について説明する。

本発明の実施形態における L I D A R システムは、輸送、製造、計測、医療、仮想現実（バーチャル・リアリティ）、拡張現実（AR）、セキュリティシステムなど、任意のセンシング市場において実施することができるが、これらに限定されるものではない。その他、実施形態で説明される L I D A R システムは、自動運転支援システムや自動運転車の空間認識を支援する周波数変調連続波（FMCW）デバイスのフロントエンドの一部として実装される。

20

【0040】

ここで説明される実施形態の L I D A R システムは、コヒーレントスキャン技術を使用して、ターゲットから返ってくる信号（リターン信号）を検出し、コヒーレントヘテロダイン信号（異なる周波数の信号同士を組み合わせたもの）を生成する。そして、この信号から、ターゲットの距離と速度情報を取得することができる。

このような信号（1つまたは複数の信号）は、周波数のアップスイープ（アップチャープ）と周波数のダウンスweep（ダウンチャープ）を含むことがある。これらは、単一の光源から出力される場合も、別々の光源から出力される場合もある（つまりアップスイープを出力する光源と、ダウンスweepを出力する光源が異なる場合もある。）。その結果、アップチャープによる周波数ピークとダウンチャープによる周波数ピークの2つの異なるピークをターゲットに関連付け、ターゲットの距離と速度を決定するために使用することができる。

30

ただし、このような L I D A R システムでは信号を処理するときに、ピークイメージが発生する場合がある。これらのピークイメージを使用してターゲットを検出すると、これがターゲットの存在しない場所でターゲットが検出する原因となることがある。このような現象は「ゴースト」と呼ばれることもある。

本実施形態の技術によれば、上昇（アップ）および下降（ダウン）のスイープ／チャープに位相変調を導入することにより、上記の問題に対処することができる。これにより、L I D A R システムは、予想されるピーク形状とピークやピークイメージとを照合し、ピーク（たとえば真のピーク）とピークイメージとを区別することができる。なお、ここでいうピークイメージは、「イメージピーク」と称することもある。

40

【0041】

図 1 は、一実施態様による L I D A R システム 100 を示している。

L I D A R システム 100 は、多数の構成要素のいずれか 1 つまたは複数を含むが、図 1 に示すよりも少ない構成要素または追加の構成要素を含んでもよい。図 1 に示すように、L I D A R システム 100 は、フォトリソグラフィ上に実装された光学回路 101 を有する。光学回路 101 には、能動光学構成要素と受動光学構成要素との組み合わせが含まれている。いくつかの例では、能動光学構成要素は、異なる波長の光ビームを有し、1つ

50

以上の光増幅器、1つ以上の光検出器などを含んでいる。

【0042】

自由空間光学系115は、光信号を伝送し、能動光回路の適切な入力／出力ポートに光信号をルーティングして操作するための1つ以上の光導波路を含む。自由空間光学系115にはまた、タップ、波長分割マルチプレクサ(WDM)、スプリッタ／コンバイナ、偏光ビームスプリッタ(PBS)、コリメータ、カプラなどの1以上の光学構成要素が含まれている。一態様では、自由空間光学系115には、偏光状態を変換し、受信した偏光を、例えば、PBSを使用して光検出器に導くための構成要素が含まれている。また、自由空間光学系115には、異なる周波数を有する光ビームを軸(例：高速軸)に沿って異なる角度で偏向させる回折素子がさらに含まれる場合がある。

10

【0043】

本実施形態のLIDARシステム100は、1つ以上のスキャニングミラーを有する光スキャナ102を備えている。これらのスキャニングミラーは、スキャニングパターンに従って環境をスキャンする光信号を誘導するために、回折素子の高速軸に直交または実質的に直交する軸(例、低速軸)に沿って回転可能になっている。例えば、スキャニングミラーは、1つ以上のガルバノメータによって回転可能である。

光スキャナ102はまた、環境内の任意の物体に反射した、リターン光ビームを収集し、これを光学回路101の光回路構成要素に戻すように導く。例えば、リターン光ビームは、偏光ビームスプリッタによって光検出器に向けられる。なお、光スキャナ102には、ミラーやガルバノメータに加えて、1／4波長板、レンズ、反射防止コーティングされた光学窓などが含まれる場合がある。

20

【0044】

LIDARシステム100には、光学回路101および光スキャナ102を制御およびサポートするために、LIDAR制御装置110が設けられている。LIDAR制御装置110には、LIDARシステム100に必要な処理装置が含まれている。

一態様では、処理装置は、マイクロプロセッサ、中央処理装置などの1つ以上の汎用処理装置であり、具体的には、複合命令セットコンピューティング(CISC)マイクロプロセッサ、縮小命令セットコンピューティング(RISC)マイクロプロセッサ、超長命令語(VLIW)マイクロプロセッサ、または他の命令セットを実装するプロセッサ、または命令セットの組み合わせを実装するプロセッサである。

30

また、上記処理装置は、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA：現場プログラム可能ゲートアレイ)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、ネットワークプロセッサ等の特殊用途処理装置の1つ以上であってもよい。

【0045】

一態様では、LIDAR制御装置110には、DSPなどの信号処理ユニット112が設けられる。これにより、LIDAR制御装置110は、光学ドライバ103を制御するためのデジタル制御信号を出力する。そのデジタル制御信号は、信号変換ユニット106を介してアナログ信号に変換される。例えば、信号変換ユニット106には、デジタル／アナログ変換器が含まれる。

光学ドライバ103は、光学回路101の能動光学構成要素に駆動信号を供給し、レーザや増幅器などの光源を駆動する。一態様では、複数の光源を駆動するために、複数の光学ドライバ103および信号変換ユニット106を設けてもよい。

40

【0046】

LIDAR制御装置110はまた、光スキャナ102に対してデジタル制御信号を出力するように構成されている。モーション制御装置105は、LIDAR制御装置110から受信した制御信号に基づいて、光スキャナ102のガルバノメータを制御することができる。具体的には、デジタル／アナログ変換器を使用して、LIDAR制御装置110からの座標ルーティング情報を、光スキャナ102のガルバノメータによって処理可能な信号に変換することができる。

一態様では、モーション制御装置105は、光スキャナ102の構成要素の位置または

50

動作に関する情報を L I D A R 制御装置 1 1 0 に送り返すこともできる。具体的には、アナログ／デジタル変換器を使用して、ガルバノメータの位置に関する情報を L I D A R 制御装置 1 1 0 が処理可能な信号に順次変換することができる。

【 0 0 4 7 】

L I D A R 制御装置 1 1 0 は、さらに、入力されたデジタル信号を解析するように構成されている。これに関連して、L I D A R システム 1 0 0 には、光学回路 1 0 1 によって受信された 1 つ以上のビームを測定するための光受信器 1 0 4 が設けられている。具体的には、光受信器 1 0 4 としての基準ビーム受信器は、能動光学構成要素からの基準ビームの振幅を測定し、アナログ／デジタル変換器により同基準ビーム受信器からの信号を、L I D A R 制御装置 1 1 0 によって処理可能な信号に変換する。

10

また、光受信器 1 0 4 としてのターゲット受信器は、ビート周波数変調光信号の形でターゲットの距離と速度に関する情報を搬送する光信号を計測する。この場合、光信号の反射ビームは、ローカルオシレータの第 2 の信号（ローカルコピー）と混合されてもよい。光受信器 1 0 4 には、ターゲット受信器からの信号を L I D A R 制御装置 1 1 0 によって処理可能な信号に変換する高速アナログ／デジタル変換器を設けることができる。

一態様では、光受信器 1 0 4 からの信号は、L I D A R 制御装置 1 1 0 に受信される前に、信号調整ユニット 1 0 7 による信号調整の対象となり得る。例えば、光受信器 1 0 4 からの信号は、リターン信号の増幅のために信号調整ユニット 1 0 7 のオペアンプに供給され、そのオペアンプによって増幅された信号が L I D A R 制御装置 1 1 0 に供給されるようにしてもよい。

20

【 0 0 4 8 】

一部のアプリケーションでは、L I D A R システム 1 0 0 には、環境の画像をキャプチャするように構成された 1 つ以上の撮像装置 1 0 8、同システムの地理的位置を提供するように構成された全地球測位システム（GPS）1 0 9、または他のセンサ入力を追加的に設けることもできる。

また、L I D A R システム 1 0 0 には画像処理装置 1 1 4 を設けることができる。この場合、同画像処理装置 1 1 4 は、撮像装置 1 0 8 および全地球測位システム（GPS）1 0 9 から画像および地理的位置を受信し、画像および位置またはそれに関連する情報を、L I D A R 制御装置 1 1 0 または L I D A R システム 1 0 0 に接続された他のシステムに送信するように構成することができる。

30

【 0 0 4 9 】

いくつかの実施例による動作では、L I D A R システム 1 0 0 は、非縮退光学光源を用いて 2 次元で距離および速度を同時に測定するように構成される。この機能により、周囲環境の距離、速度、方位角および仰角について遠距離測定がリアルタイムで可能になる。

【 0 0 5 0 】

いくつかの例では、スキャンプロセスは、光学ドライバ 1 0 3 および L I D A R 制御装置 1 1 0 から開始される。L I D A R 制御装置 1 1 0 は、光学ドライバ 1 0 3 に 1 つ以上の光ビームをそれぞれ変調するように指示し、これらの変調信号は光学回路 1 0 1 の受動光学回路を通して自由空間光学系 1 1 5 のコリメータに伝送される。同コリメータは、上記変調信号を光スキャナ 1 0 2 に誘導し、光スキャナ 1 0 2 はモーション制御装置 1 0 5 で定義され事前にプログラムされたパターンで環境をスキャンする。光学回路 1 0 1 には、光が光学回路 1 0 1 を出る際に光の偏光状態を変換する偏光波長板（PWP）を設けてもよい。一例として偏光波板は 1 / 4 波板または 1 / 2 波板を採用することができる。

40

偏光された光ビームの一部は、光学回路 1 0 1 に戻るように反射される場合もある。例えば、L I D A R システム 1 0 0 で使用されるレンズ系またはコリメート系は、自然な反射特性または反射コーティングを有する場合があります、これにより光ビームの一部が光学回路 1 0 1 に反射される

【 0 0 5 1 】

環境から反射された光信号は、光学回路 1 0 1 を通して受信器（光受信器 1 0 4）に送られる。このとき、光の偏光状態は変換されているため、光学回路 1 0 1 に反射して戻っ

50

てきた偏光光の一部とともに偏光ビームスプリッタで反射される。その結果、反射された光信号は、光源と同じ光ファイバまたは導波路には戻らず、それぞれ別の光受信器に反射される。これらの信号は互いに干渉し、合成された信号を生成する。

ターゲットから戻ってくる各ビーム信号は、時間シフトされた波形を生成し、これら2つの波形間の時間的位相差によって光受信器（光検出器）で計測されるビート周波数が生成される。

そして、その混合された信号は光受信器104に反射させることができる。

【0052】

光受信器104で受信したアナログ信号は、ADC（アナログ／デジタル変換器）によりデジタル信号に変換される。次いで、同デジタル信号は、LIDAR制御装置110に送信される。

同装置の信号処理ユニット112は、同デジタル信号を受信しそれら进行处理する。

一態様では、信号処理ユニット112は、モーション制御装置105およびガルバノメータ（図示されない）から位置データを受信し、画像処理装置114から画像データを受信する。これにより、信号処理ユニット112は、光スキャナ102が追加ポイント进行スキャンする際に、環境内のポイントの距離と速度に関する情報を有する3Dポイントクラウドを生成することができる。

信号処理ユニット112はまた、3Dポイントクラウドを画像データと重ね合わせて、周囲の物体の速度および距離を決定する場合もある。

LIDAR制御装置110はさらに衛星ベースのナビゲーション位置データ进行处理して正確な全地球的位置情報を提供する場合もある。

【0053】

図2は、一実施形態において、LIDARシステム100のようなLIDARシステムがターゲット環境をスキャンするために使用可能なFMCWスキャン信号201の時間一周波数図200である。この例において、 $f_{FM}(t)$ と表示されたスキャン信号201は、チャープ帯域幅 Δf_c およびチャープ周期 T_c を持つ鋸歯状波形（鋸歯「チャープ」）である。

鋸歯の傾きは、 $k = (\Delta f_c / T_c)$ である。

図2にはまた、一実施形態におけるターゲットリターン信号202（リターン信号）が示される。 $f_{FM}(t - \Delta t)$ で示されるターゲットリターン信号202は、スキャン信号201の時間遅延バージョンであり、 Δt は、スキャン信号201によって照射されたターゲットとの間の往復時間である。この往復時間は $\Delta t = 2R / v$ で与えられる。ここで、 R はターゲットの距離、 v は光ビームの速度である光速 c である。

したがって、同ターゲットの距離 R は、 $R = c(\Delta t / 2)$ として計算できる。

リターン信号202がスキャン信号と光学的に混合されると、距離依存の差周波数（「ビート周波数」） $\Delta f_R(t)$ が生成される。ビート周波数 $\Delta f_R(t)$ は、鋸歯の傾き k によって時間遅延 Δt と線形の関係にある。

つまり、 $\Delta f_R(t) = k \Delta t$ となる。ターゲット距離 R は Δt に比例するため、ターゲット距離 R は $R = (c / 2)(\Delta f_R(t) / k)$ として計算することができる。すなわち、距離 R はビート周波数 $\Delta f_R(t)$ と線形の関係にある。

ビート周波数 $\Delta f_R(t)$ は、例えば、LIDARシステム100の光受信器104でアナログ信号として生成される。このビート周波数は、例えば、LIDARシステム100の信号調整ユニット107内のアナログ／デジタル変換器（ADC）によってデジタル化される。このようにしてデジタル化されたビート周波数信号は、LIDARシステム100内の信号処理ユニット（例：信号処理ユニット112）でデジタル処理される。

ただし、ターゲットがLIDARシステム100に対して相対速度を有する場合、ターゲットリターン信号202には一般に周波数オフセット（ドップラーシフト）が含まれることに注意する必要がある。ドップラーシフトは別途検出されてリターン信号の周波数を補正するために使用されるため、図2では簡略化と説明の容易化のためドップラーシフトは表示されていない。

10

20

30

40

50

また、ADCのサンプリング周波数は、エイリアシングを発生させずにシステムで処理可能な最高のビート周波数に決定されることに注意する必要がある。一般的に処理可能な最高周波数はサンプリング周波数の半分（すなわち「ナイキスト限界」）である。例えば、限定はしないが、ADCのサンプリング周波数が1ギガヘルツである場合、エイリアシングなしで処理できる最高ビート周波数（ $\Delta f_{R_{max}}$ ）は500メガヘルツである。この限界は、システムの最大ターゲット距離 $R_{max} = (c / 2) (\Delta f_{R_{max}} / k)$ で決まり、これは鋸歯の傾き k を変更することによって調整することができる。

一例では、ADCからのデータサンプルは連続的であってもよいが、後述する後続のデジタル処理は、LIDARシステム100の所定の周期性に関連付けることができる「時間セグメント」に分割することができる。例えば、限定はしないが、時間セグメントは、チャープ周期 T_c の数、または前述の光スキャナによる方位角方向の回転数に対応する。

【0054】

図3Aは、一実施形態によるFMCW-LIDARシステム300を示すブロック図である。LIDARシステム300は、FMCW（周波数変調連続波）赤外線（IR）光ビーム304を送信し、光スキャナ301の視野（FOV）内のターゲット312などから光ビーム304の反射によるリターン信号313を受信する光スキャナ301を備える。

LIDARシステム300はまた、リターン信号313から時間領域でLIDARターゲット距離に応じた周波数を含むベースバンド信号314を生成する光学処理装置302を備える。光学処理装置302には、LIDARシステム100で説明した自由空間光学系115、光学回路101、光学ドライバ103および光受信器104等の構成要素が含まれる場合がある。

LIDARシステム300はさらに、信号処理装置303を備える。この信号処理装置303は、ベースバンド信号314のエネルギーを周波数領域で計測し、このエネルギー計測値をLIDARシステムノイズの推定値と比較して、周波数領域の信号ピークが検出ターゲットを示す尤度を決定するものである。信号処理装置303には、LIDARシステム100における信号変換ユニット106、信号調整ユニット107、LIDAR制御装置110および信号処理ユニット112等の構成要素が含まれる場合がある。

【0055】

図3Bは、一実施形態によるLIDARシステムの電気光学系350の一例を示すブロック図である。電気光学系350は、図1で説明した光スキャナ102と同様な光スキャナ301を備える。電気光学系350にはまた、上記のように、LIDARシステム100で説明した自由空間光学系115、光学回路101、光学ドライバ103および光受信器104等の構成要素を含む光学処理装置302が含まれる。

【0056】

光学処理装置302には、周波数変調連続波（FMCW）光ビーム304を生成するための光源305が設けられる。光源305からの光ビーム304は光カプラ306に向けられ、光ビーム304の一部が偏光ビームスプリッタ（PBS）307に送られる。光ビーム304のサンプル308（基準ビーム）は、光カプラ306から光検出器（PD）309に送られる。

PBS307は、光ビーム304を偏光させて光スキャナ301に向けるように設定される。光スキャナ301は、電気光学系350の筐体320内でLIDARウィンドウ311の視野（FOV）310をカバーする方位角および仰角の範囲で、光ビーム304を用いてターゲット環境をスキャンするように設定される。なお図3Bでは説明の簡略化のため方位角スキャンのみが示されている。

【0057】

図3Bに示すように、光ビーム304は、所定の方位角（または角度範囲）で、LIDARウィンドウ311を通過し、ターゲット312に照射される。ターゲット312からのリターン信号313は、LIDARウィンドウ311を通過し、光スキャナ301によってPBS307に戻される。

【0058】

10

20

30

40

50

リターン信号 313 は、ターゲット 312 からの反射により光ビーム 304 とは異なる偏光をもって PBS 307 を通して光検出器 (PD) 309 に導かれる。光検出器 (PD) 309 では、リターン信号 313 が光ビーム 304 のローカルサンプル 308 と光学的に混合され、時間領域で距離依存ベースバンド信号 314 が生成される。この距離依存ベースバンド信号 314 は、光ビーム 304 のローカルサンプル 308 とリターン信号 313 との間の周波数差対時間 (すなわち、 $\Delta f_R(t)$) である。

距離依存ベースバンド信号 314 は、周波数領域であってもよく、少なくとも 1 つのアップチャープ周波数および少なくとも 1 つのダウンチャープ周波数を、リターン信号 313 と混合することによって生成され得る。少なくとも 1 つのダウンチャープ周波数は、ターゲットと LIDAR システムの少なくとも一方の相対運動に比例して時間的に遅延するようにしてもよい。

【0059】

図 4 は、ベースバンド信号 314 を処理する信号処理装置 303 の一実施形態を示す詳細なブロック図である。前述したように、信号処理装置 303 には、LIDAR システム 100 の信号変換ユニット 106、信号調整ユニット 107、LIDAR 制御装置 110、および信号処理ユニット 112 等の構成要素が含まれる場合がある。

【0060】

信号処理装置 303 は、アナログーデジタル変換器 (ADC) 401、時間領域信号プロセッサ 402、ブロックサンプラ 403、離散フーリエ変換 (DFT) プロセッサ 404、周波数領域信号プロセッサ 405、およびピーク検索プロセッサ 406 を備える。信号処理装置 303 の各構成ブロックは、たとえばハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、またはハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアを組み合わせることで実装することができる。

【0061】

図 4 では、時間領域で連続したアナログ信号であるベースバンド信号 314 が ADC 401 によってサンプリングされ、一連の時間領域サンプル 315 が生成される。時間領域サンプル 315 は、時間領域信号プロセッサ 402 によって処理され、さらなる処理のために調整される。例えば時間領域信号プロセッサ 402 は、望ましくない信号の成分を取り除くか、後続の処理に適した形にするために、重み付けやフィルタリングを適用することがある。そして、時間領域信号プロセッサ 402 の出力信号 316 がブロックサンプラ 403 に送信される。

ブロックサンプラ 403 は、時間領域サンプル 315 の出力信号 316 を N 個のサンプル 317 (N は 1 より大きい整数) のグループに分け、DFT プロセッサ 404 に送信する。DFT プロセッサ 404 は、 N 個の時間領域サンプル 317 のグループを、ベースバンド信号 314 の帯域幅をカバーする周波数領域の N 個の周波数ビンまたはサブバンド 318 に変換する。 N 個のサブバンド 318 は、周波数領域信号プロセッサ 405 に送られて、さらなる処理のために調整される。たとえば、周波数領域信号プロセッサ 405 は、ノイズ低減のためにサブバンド 318 を再サンプリングおよび／または平均化する場合がある。また、周波数領域信号プロセッサ 405 は、後述するように、信号統計量やシステムノイズ統計量を計算する場合もある。その後、処理されたサブバンド 319 がピーク検索プロセッサ 406 に送られ、LIDAR システム 300 の視野内のターゲットを表す信号ピークが検索されることになる。

【0062】

図 5 は、一実施形態における複数のターゲットの信号ピークを示す信号強度－周波数図 500 の例である。

LIDAR システム (例: FMCW LIDAR システム) は、環境をスキャンし、その環境内のターゲットの距離と速度を決定するために、アップチャープとダウンチャープの周波数変調 (ここではアップスイープとダウンスイープとも称する。) を生成することができる。

一例として、単一の光源によりアップチャープとダウンチャープの両方を生成すること

10

20

30

40

50

ができ、また、他の例としてL I D A Rシステムにアップチャープを含む信号を生成する光源と、ダウンチャープを含む信号を生成する別の光源を設けることができる。

アップチャープおよびダウンチャープからのリターン信号に対応して生成されたビート周波数（すなわちピーク周波数）を使用することで、信号処理装置は、ターゲットの距離および／または速度の1つ以上を決定することができる。例えば、一実施形態による信号処理ユニット112は、それぞれのピークに対応する複数の周波数を使用してL I D A Rシステムからの距離を計算することにより、ターゲットの距離を決定するように設定される。前述したように、信号処理ユニット112は、少なくとも1つのアップチャープ周波数と少なくとも1つのダウンチャープ周波数を、1つ以上のリターン信号と混合することによって、周波数領域のベースバンド信号を生成することができる。ここで、少なくとも1つのダウンチャープ周波数は、ターゲットおよび／またはL I D A Rシステムの少なくとも1つの相対運動に比例して時間的に遅延するようにしてもよい。ベースバンド信号には、ピーク505A、505B、510A、および510Bが含まれることがあり、また、追加のピーク（図5には示されていない）が含まれることがある。

【0063】

一実施形態による信号処理ユニット112は、ピークに対応する複数の周波数の差を使用して、ターゲットの速度を決定するように設定され得る。ただし、図5に示すように、ベースバンド信号にイメージピーク（「ミラーイメージ」、「イメージゴースト」などと称することもある。）が存在する状況が生じる場合がある。これにより、L I D A Rシステムは、望ましい「真の」ターゲットやピーク（「真のイメージ」または「真のピーク」

【0064】

図5に示すように、信号強度一周波数図500には、ピーク505A、ピーク505B、ピーク510A、およびピーク510Bが含まれる。周波数0（例：0ヘルツ、0テラヘルツなど）も信号強度一周波数図500に示されている。ピーク505A、505B、510A、および510Bは、L I D A Rシステムの信号処理ユニット（例：図1に示される信号処理ユニット112）によって処理および／または解析されるベースバンド信号に存在する場合がある。これについて以下で詳細に説明する。

ピーク505Bは、ピーク505Aの鏡像である場合がある。例えば、ピーク505Bは、周波数0を挟んで反転され、ピーク505Aと同じ特性（例：同じ曲率または形状）を共有している。ピーク505Bは、ピークイメージまたはイメージピークとも称する場合がある。ピーク505Bは、ピーク505Aに共役対称であり、その逆もまた同様である。

ピーク510Bは、ピーク510Aの鏡像である場合がある。例えば、ピーク510Bは、周波数0を挟んで反転され、ピーク510Aと同じ特性（例：同じ曲率または形状）を共有している。ピーク510Bも、ピークイメージまたはイメージピークと称すること

がある。ピーク510Bは、ピーク510Aに共役対称であり、その逆もまた同様である。一部の想定において、ピーク505Aは、ターゲットの位置（信号強度一周波数図500の実線の垂直線で示される）から周波数方向に上方にシフトされる。ピーク505Aは、アップシフトされたピーク、ドップラーシフトされたピーク、またはF_{up}と称することがある。ピーク510Aは、ターゲットの位置（信号強度一周波数図500の実線の垂直線で示される）から周波数方向に下方にシフトされる。ピーク510Aは、ダウンシフトされたピーク、ドップラーシフトされたピーク、またはF_{dn}と称することがある。

ピークのシフトは、L I D A Rシステム（例：FMCWまたは類似のL I D A Rシステム）のターゲットおよび／またはセンサの一つ以上の移動により生じ得る。例えば、ターゲットが移動している場合、L I D A Rセンサ（例：図1に示される光学スキャナ102および／または光学回路101など）を含むデバイス（例：車両、スマートフォンなど）が移動している場合、または同ターゲットと同デバイスが特定の地点に対して相対的に移動している場合がある。

【0065】

ピーク505Aが周波数方向の上方に（アップシフト）にシフトされたため、ピーク505B（ピークイメージ）は対応する負の周波数に位置している。例えば、ピーク505Aが周波数Jにシフトされた場合、ピーク505Bは周波数-Jに位置することになる。また、ピーク510Aが周波数方向の下方に（ダウンシフト）にシフトされたため、ピーク510B（ピークイメージ）は対応する正の周波数に位置している。

ピーク505Bは $-F_{up}$ と称することがあり、ピーク510Bは $-F_{dn}$ と称することがある。

一部の実施形態では、ピーク505A（および対応するピーク505B）はアップチャープ信号（例：特定のターゲットからのアップチャープ信号）に対応し、510A（および対応するピーク510B）はダウンチャープ信号に対応する場合がある。他の実施形態では、ピーク505A（および対応するピーク505B）はダウンチャープ信号に対応し、510A（および対応するピーク510B）はアップチャープ信号（例：特定のターゲットからのダウンチャープ信号）に対応する場合がある。

【0066】

一実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示されたLIDARシステム100の信号処理ユニット112）は、ピーク505Aおよびピーク505Bの周りの周波数ビンのセットを決定（算出）することができる。例えば、LIDARシステムは、ピーク505Aの周りの第1のグループ／ビンの周波数（例：ピーク505Aよりも高い周波数と低い周波数を含む周波数のグループ）と、ピーク505Bの周りの第2のグループ／ビンの周波数（例：ピーク505Bよりも高い周波数と低い周波数を含む周波数のグループ）とを選択することができる。第2のグループ／ビンの周波数には、第1のビン／グループの周波数の正の周波数値に対応する負の周波数値が含まれることがある。

LIDARシステムはまた、ピーク510Aおよびピーク510Bの周りの周波数ビンのセットを決定することができる。例えば、LIDARシステムは、ピーク510Aの周りの第3のグループ／ビンの周波数（例：ピーク510Aよりも高い周波数と低い周波数を含む周波数のグループ）と、ピーク510Bの周りの第4のグループ／ビンの周波数（例：ピーク510Bよりも高い周波数と低い周波数を含む周波数のグループ）とを選択することができる。第4のグループ／ビンの周波数には、第3のビン／グループの周波数の負の周波数値に対応する正の周波数値が含まれることがある。

【0067】

一部の実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示されたLIDARシステム100の信号処理ユニット112）はピーク505Aを選択することができる。例えば、ターゲットが近い範囲にある場合に（例：LIDARの第1の閾値範囲内）、最高周波数のピーク（例：ピーク505A）がピークイメージではなく、ターゲットに対応する真のピークと判断され、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）によって選択されることがある。

このように信号処理ユニット112は、発生しているゴーストのタイプ（例：近距離ゴーストまたは遠距離ゴースト）に基づいてピーク505Aを選択するように構成される。したがって、LIDAR（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、ターゲットまでの距離または間隔を決定する際に、ピーク505Aを使用すべきであることを決定することができる。さらに、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）がピーク505Aを真のピーク（ピークイメージではない）と決定することで、LIDARシステムは、ピーク505B（ピーク505Aの負の周波数を有する）がピークイメージであることも決定することもできる。

【0068】

前述したように、実施形態のLIDARシステムでは、ピークイメージ（例：ピーク505Bおよびピーク510Bなど）が存在する状況も生じうる。例えば、ハードウェアや計算リソースのために、ビート信号が実際のサンプリングを経て周波数ピークが正とみなされることがある。

しかしながら、ターゲットがより近距離にある場合（例：LIDARシステムの第1の

10

20

30

40

50

閾値範囲内など）、負のドップラーシフトによりピーク周波数ピークが負になることがある。例えば、ダウンシフトにより、ピーク510Aは負の周波数をもっている。

従来のシステムでは、本開示の実施形態とは対照的であるが、ピーク510Aの代わりにピーク510Bが選択され、ターゲットの位置を特定する際に問題が発生する場合がある。

例えば、ピーク505Aとピーク510Aが使用される場合、ターゲットの位置は次のように決定される： $(F_{up} - F_{dn}) / 2$ 。したがって、ターゲット（真のターゲット位置）はピーク505Aとピーク510Aの中間に向かって決定される。

これに対し、ピーク505Aとピーク510Bが使用される場合、ターゲットの位置（ゴーストまたはゴーストターゲットの位置）は次のように決定される： $(F_{up} + F_{dn}) / 2$ 。したがって、ゴーストターゲット（破線点線の垂直線で示される）はピーク505Aとピーク510Bの中間に検出される。

【0069】

図5に示すように、ピーク505Aおよび510Aは、ピーク形状またはスペクトル形状と称する形状を有している。ピーク505Aおよび510Aのスペクトル形状は、以下で詳しく説明するように、アップチャープおよびダウンチャープの位相変調によって引き起こす（若しくは作成する、生成するなど）ことができる。このようなアップチャープおよびダウンチャープの位相変調は、光スキャナ（例：図1に示された光スキャナ102）によって実行することができる。ピーク505Bおよび510Bがそれぞれピーク505Aおよび505Bの鏡像であり、ピーク505Bおよび510Bの形状もピーク505Aおよび510Aの形状の鏡像である。

一部の実施形態によれば、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、アップチャープおよびダウンチャープに位相変調を追加するのではなく、アップチャープおよびダウンチャープの固有の位相不整合を推定して、ピーク505A、505B、510A、および510Bの形状を決定することができる。

【0070】

一部の実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示された光学スキャナ102）は、アップチャープおよびダウンチャープに位相変調を導入することができる。これらの位相変調は、非線形位相変調、非線形性、位相非線形性などと称することもある。

この場合、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）はまた、前述したように、ピーク505Aを F_{true} （例：第1ピーク）として選択することができる。

LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）はまた、ピーク510Aに基づく第1の距離推定値と、ピーク510Bに基づく第2の距離推定値を決定することができる。ピーク510Aに対する第1の距離推定値を決定する際には（例：計算、算出、取得など）、式 $(F_{up} - F_{dn}) / 2$ を使用することができ、ピーク510Bに対する第2の距離推定を決定する際には、式 $(F_{up} + F_{dn}) / 2$ を使用することができる。

【0071】

一部の実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、ピーク510Aに対する第1のスペクトル推定値520と、ピーク510Bに対する第2のスペクトル推定値525を決定することができる。

例えば、第1のスペクトル推定値520は、第1の距離推定値および位相変調（例：ピーク510Aに関連するチャープに導入されるか、または固有の位相非線形性）に基づいて決定することができる。

別の例では、第2のスペクトル推定値525は、第2の距離推定値および位相変調（例：ピーク510Bに関連するチャープに導入されるか、または固有の位相非線形性）に基づいて決定することができる。なお、本開示においてスペクトル推定値は、形状、ピーク形状などの推定値と称することもある。

【0072】

一部の実施形態では、L I D A Rシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、第1のスペクトル推定値520がピーク510Aの形状と一致するかどうか、および第2のスペクトル推定値525がピーク510Bの形状と一致するかどうかを判断することができる。例えば、L I D A Rシステムは、スペクトル推定値520（例：ピーク形状）がピーク510Aの形状と最も近く一致し、スペクトル推定値525がピーク510Bの形状と一致しないことを判断することができる。これによりL I D A Rシステムはピーク510Aを選択することができる。

前述したように、ピーク505Aは既にL I D A Rシステムによって選択されている。このピーク505A（例：第1ピーク）とピーク510A（例：第2ピーク）とを使用することで、L I D A Rシステムはターゲットの真の位置または正確な位置を算出することができる。このようにして、L I D A Rシステムは近距離または至近距離のゴーストを軽減することができる。

【0073】

一実施形態では、L I D A Rシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、ピーク505Aまたはピーク505Bのいずれかが同L I D A Rシステムに設定された最小検出周波数セットに対する最大ドップラーシフト内にある場合に、ピーク505Aまたはピーク505Bのいずれかを真のピークとして選択することができる。

【0074】

ピーク505Aが上記真のピークである場合、信号処理ユニット112は、ピーク505Aおよびピーク510Aに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算（例：決定、算出、取得など）することができる。信号処理ユニット112は、第1のターゲット距離推定値と1つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して、第1ピーク形状推定値を決定することもできる。

信号処理ユニット112は、ピーク505Aおよびピーク510Bに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算することもできる。信号処理ユニット112は、第2のターゲット距離推定値と上記光ビームの位相非線形性を使用して、第2ピーク形状推定値を決定することができる。

信号処理ユニット112はまた、第1ピーク形状推定値および第2ピーク形状推定値をピーク510Aおよびピーク510Bと比較することができる。信号処理ユニット112は、第1ピーク形状推定値とピーク510Aの相関が第2ピーク形状推定値とピーク510Bとの相関よりも高い場合、ピーク510Aがターゲット位置に対応すると判断することができる。信号処理ユニット112は、第2ピーク形状推定値とピーク510Bの相関が第1ピーク形状推定値とピーク510Aとの相関よりも高い場合、ピーク510Bがターゲット位置に対応すると判断することができる。

【0075】

一実施形態では、ピーク510Aが上記真のピークである場合、信号処理ユニット112は、ピーク505Aおよびピーク510Aに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算し、第1のターゲット距離推定値と、1つまたは複数の光ビームの位相非線形性とを使用して、第3ピーク形状推定値を決定することができる。

信号処理ユニット112はまた、ピーク505Bおよびピーク510Aに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、第2のターゲット距離推定値と上記光ビームの位相非線形性を使用して、第4ピーク形状推定値を決定することができる。

信号処理ユニット112は、第3ピーク形状推定値および第4ピーク形状推定値をピーク505Aおよびピーク505Bと比較することができる。第3ピーク形状推定値とピーク505Aの相関が第4ピーク形状推定値とピーク505Bの相関よりも高い場合、信号処理ユニット112は、ピーク505Aがターゲット位置に対応すると判断することができる。第4ピーク形状推定値とピーク505Bの相関が、第3ピーク形状推定値と505Aよりも高い場合、信号処理ユニット112は、ピーク505Bがターゲット位置に対応すると判断することができる。

【0076】

一実施形態では、信号処理ユニット112は、第1ピーク形状推定値をピーク510Aと比較し、第2ピーク形状推定値をピーク510Bと比較することによって、第1ピーク形状推定値の比較を行うことができる。

【0077】

一実施形態では、信号処理ユニット112は、第1ピーク形状推定値とピーク510Aを相関させて相関値を設定し、その相関値が所定の閾値を超えるかどうかを判断することによって、第1ピーク形状推定値がピーク510Aと一致するかどうかを決定することができる。

【0078】

一実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、ピーク505Aまたはピーク510Aのいずれかがナイキスト周波数に対する最大ドップラーシフト内にある場合、ピーク505Aまたはピーク510Aのどちらかを真のピークとして選択することができる。

10

ピーク505Aが上記真のピークである場合、信号処理ユニット112は、ピーク505Aおよびピーク510Aに基づいて第1のターゲット距離推定値を演算（例：算出、決定、取得など）することができる。信号処理ユニット112は、第1のターゲット距離推定値と1つまたは複数の光ビームの位相非線形性を使用して、第1ピーク形状推定値を決定することができる。

信号処理ユニット112はまた、ピーク505Aおよびピーク510Bに基づいて第2のターゲット距離推定値を演算し、第2のターゲット距離推定値と上記光ビームの位相非線形性を使用して、第2ピーク形状推定値を決定することができる。

20

そして、信号処理ユニット112は、第1ピーク形状推定値と第2ピーク形状推定値をそれぞれピーク510Aおよびピーク510Bと比較することができる。

第1ピーク形状推定値とピーク510Aの相関が、第2ピーク形状推定値とピーク510Bよりも高い場合、信号処理ユニット112は、ピーク510Aがターゲット位置に対応すると判断することができる。第2ピーク形状推定値とピーク510Bの相関が、第1ピーク形状推定値とピーク510Aよりも高い場合、信号処理ユニット112は、ピーク510Bがターゲット位置に対応すると判断することができる。この場合、真のピークは、ナイキスト周波数とピーク510Bに対応する周波数とを組み合わせ設定され得る。

【0079】

30

一実施形態では、ピーク505Aおよび510Aの1つまたは複数、LIDARシステムに設定された最小検出周波数に対する最大ドップラーシフト内にあり、LIDARシステムとターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されている場合（これにより、予め設定されたドップラーシフトが生成され得る。）、LIDARシステム（例：信号処理ユニット112）は、正の値をもつ最高周波数に基づいて、ピーク505Aおよび510Aからターゲット位置に対応する第1の真のピーク位置を選択することができる。

ピーク505Aが第1の上記真のピーク位置として選択された場合、信号処理ユニット112は、予め設定されたドップラーシフトとピーク505Aに基づいて、第2の真のピーク位置を推定することができる。この場合、信号処理ユニット112は、第2の真のピーク位置との近接性（近さ）に基づいてピーク510Aおよび510Bの間で選択を行ってターゲット位置を決定することができる。

40

ピーク510Aが第1の真のピーク位置として選択された場合、信号処理ユニット112は、予め設定されたドップラーシフトとピーク510Aに基づいて、第2の真のピーク位置を推定することができる。この場合、信号処理ユニット112は、第2の真のピーク位置との近接性（近さ）に基づいて第2ピーク（505B）および第1ピーク（505A）間で選択を行ってターゲット位置を決定することができる。

一実施形態では、予め設定されたドップラーシフトは、自己運動速度（エゴ速度）、以前のフレーム情報、および近傍ポイント情報の少なくとも1つに基づいて選択される。

【0080】

一実施形態では、ピーク505Aおよびピーク510Aのうちの1つまたは複数、ナ

50

イキスト周波数に対する最大ドップラーシフト内にあり、L I D A Rシステムとターゲットとの間のドップラーシフトが予め設定されている場合（これにより、予め設定されたドップラーシフトが生成され得る。）、L I D A Rシステム（例：信号処理ユニット112）は、正の値をもつ最低周波数に基づいて、ピーク505Aおよびピーク510Aからターゲット位置に対応する第1の真のピーク位置を選択することができる。

ピーク505Aが第1の真のピーク位置である場合、信号処理ユニット112は、予め設定されたドップラーシフト、ピーク505A、およびナイキスト周波数に基づいて第2の真のピーク位置を推定することができる。この場合、信号処理ユニット112は、第2の真のピーク位置との近接性（近さ）に基づいてピーク510Aおよび510B間の選択を行い、ターゲット位置を決定することができる。

10

ピーク510Aが第1の真のピーク位置として選択された場合、信号処理ユニット112は、予め設定されたドップラーシフト、ピーク510A、およびナイキスト周波数に基づいて第2の真のピーク位置を推定することができる。この場合、信号処理ユニット112は、第2の真のピーク位置との近接性（近さ）に基づいてピーク505Aおよびピーク505B間の選択を行い、ターゲット位置を決定することができる。

前述したように、予め設定されたドップラーシフトは、自己運動速度（エゴ速度）、以前のフレーム情報、および近傍ポイント情報の少なくとも1つに基づいて選択される。

【0081】

図6は、一部の実施形態における複数のターゲットの信号ピークを示す信号強度一周波数図600の例である。

20

前述したように、L I D A Rシステム（例：図1に示すL I D A Rシステム100）は、環境をスキャンし、その環境内のターゲットの距離と速度を決定するために、アップチャープとダウンチャープの周波数変調を生成することができる。

1つまたは複数の光源がアップチャープおよびダウンチャープを生成することができる。前述したように、アップチャープおよびダウンチャープからのリターン信号に対応して生成されたビート周波数（すなわちピーク周波数）を使用して、信号処理システム（例：図1に示す信号処理ユニット112）は、ターゲットの距離および／または速度の1以上を決定することができる。

前述したように、信号処理ユニット112は、1つまたは複数のリターン信号に少なくとも1つのアップチャープ周波数と少なくとも1つのダウンチャープ周波数を混合することにより、周波数領域のベースバンド信号を生成することができる。少なくとも1つのダウンチャープ周波数は、ターゲットおよび／またはL I D A Rシステムのうち少なくとも1つの相対運動に比例して時間的に遅延するようにしてもよい。ベースバンド信号には、ピーク605A、605B、610A、610B、および630が含まれることがあり、また、追加のピーク（図6には図示されていない）が含まれることがある。

30

【0082】

ただし、図6に示すように、ベースバンド信号にピークイメージ（例：イメージピーク）が存在する状況が生じる場合がある。また、そのピークは、システムL I D A Rのナイキスト周波数またはナイキスト限界を超えてシフトされることがある（例：ドップラーシフト、アップシフトなど）。これらの問題は、L I D A Rシステムが真のターゲットではなく、ゴースト（例：偽のターゲット）を検出する原因となる可能性がある。

40

【0083】

図6に示すように、信号強度一周波数図600には、ピーク605A、ピーク605B、ピーク610A、ピーク610B、およびピーク630が含まれる。同図には、0（例：0ヘルツ、0テラヘルツなど）の周波数も示されている。

ピーク605Aは真のピークである可能性があるが、ピーク605Aがナイキスト周波数を超えてアップシフトされているため（例：ドップラーシフト）、ピーク605Aはナイキスト周波数を越えてピーク630に反射される可能性がある（例：ピーク630はピーク605Aのナイキスト周波数を越えたピークイメージである可能性がある。）。

ピーク630はナイキストイメージと称することがあり、ピーク605AはF_{true}（

50

例：真のピーク）と称することがある。

【0084】

ピーク605Bは、ピーク630の鏡像である可能性があり、例えば、ピーク605Bは周波数0を挟んで反対側に生じる。ピーク605Bは、ピークイメージ（例：イメージピーク）と称することがある。

ピーク610Bは、ピーク610Aの鏡像である可能性があり、例えば、ピーク610Bは周波数0を挟んで反対側に生じる。ピーク610Bもピークイメージ（例：イメージピーク）と称することがある。

ピーク605Aは、ターゲット（信号強度－周波数図600の実線の垂直線で示される。）の位置から周波数が上方向にシフトしている。ピーク605Aは、アップシフトされたピーク、ドップラーシフトされたピークと称することがある。

10

しかしながら、ピーク605Aがナイキスト周波数を超えてアップシフトされたため、LIDARシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、ピークイメージ630を F_{up} として検出することがある。

ピーク610Aは、ターゲット（信号強度－周波数図600の実線の垂直線で示される。）の位置から周波数が下方向にシフトしている。ピーク610Aは、ダウンシフトされたピーク、ドップラーシフトされたピーク、または F_{dn} と称することがある。

ピークのシフトは、ターゲットおよび／またはLIDARシステムの一つ以上の移動により生じうる。例えば、ターゲットが動いている場合、LIDARシステムを含むデバイス（例：車、スマートフォンなど）が動いている場合、または同ターゲットと同デバイスの両方が動いている場合がある。

20

【0085】

ピーク605B（例：ピークイメージ）は、ピーク630に対応する負の周波数に位置している。例えば、ピーク630が周波数Jの場合、ピーク605Bは周波数-Jに位置することになる。また、ピーク610Aが周波数の下方向にシフトされて（例：ダウンシフトされて）低い周波数になっているため、ピーク610B（例：ピークイメージ）は対応する正の周波数に位置している。ピーク605Bは $-F_{up}$ 、ピーク610Bは F_{dn} と称することがある。

一部の実施形態では、ピーク605A（および対応するピーク605Bおよび630）は、LIDARシステムのアップチャープに対応し、610A（および対応するピーク610B）は、LIDARシステムのダウンチャープに対応することがある。他の実施形態では、ピーク605A（および対応するピーク605Bおよび630）は、LIDARシステムのダウンチャープに対応し、610A（および対応するピーク610B）は、LIDARシステムのアップチャープに対応することがある。

30

【0086】

一部の実施形態では、LIDARシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）はピーク630を特定（例：計算、算出、取得など）する場合がある。

ターゲットが遠距離にある場合（例：LIDARの第2の閾値範囲を超えている場合）、最高周波数のピーク（例：ピーク630）が真のピークではなく、真のピーク（例：ピーク605A）のナイキスト周波数を反映したイメージになることがある。これは、ピーク605Aがドップラーシフトまたはアップシフトによってナイキスト周波数を超えたためである。これにより、LIDARシステムは特定されたピーク630に基づいてピーク605Aを決定することができる。

40

LIDARシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、次の式を使用してピーク605Aを決定することができる。： $(2 * F_{Nyquist} - F_{up})$ 。ここで、 F_{up} はピーク630を表し、 $F_{Nyquist}$ はナイキスト周波数を表す。

【0087】

前述したように、実施形態のLIDARシステムでは、ピークイメージ（例：ピーク605Bおよび610B）が存在する状況も生じうる。例えば、ハードウェアや計算リソースのために、ビート信号が実際のサンプリングを経て周波数ピークが正とみなされること

50

がある。ただし、ターゲットがより近距離にある場合（例：L I D A Rの第1の閾値範囲内など）、負のドップラシフトがビート周波数ピークを減少（下方にシフト）させることがある。例えば、ピーク610Aはダウンシフトにより周波数が減少している。

このような場合、L I D A Rシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、ターゲットの位置（例：ターゲット位置）を決定する際に、ピーク610Aの代わりにピーク610Bを使用することがある。

例えば、ピーク605Aおよびピーク610Aが使用された場合、ターゲット位置は次のように決定される： $((2 * F_{Nyquist} - F_{up}) - F_{dn}) / 2$ 。こうして、ターゲット（例：真のターゲット位置）は、ピーク605Aとピーク610Aの間にあると判断される。

しかしながら、ピーク630およびピーク610Bが使用された場合、誤ったターゲット位置（例：ゴーストまたはゴーストターゲットの位置）が次のように決定されることがある： $(F_{up} + F_{dn}) / 2$ 。このため、第1のゴーストターゲット（例：ゴースト1）がピーク630とピーク610Bの間に検出される。

さらに、ピーク630およびピーク610Aが使用された場合、誤ったターゲット位置が次のように決定されることがある： $(F_{up} - F_{dn}) / 2$ 。こうして、第2のゴーストターゲット（例：ゴースト2）がピーク630とピーク610Aの間に検出されることがある。

【0088】

図6に示すように、ピーク605Aおよび610Aは、ピーク形状またはスペクトル形状と称する形状を有している。ピーク605Aおよび610Aのスペクトル形状は、以下で詳しく説明するように、アップチャープおよびダウンチャープの位相変調による（若しくは作成する、生成するなど）ことができる。

ピーク605Bおよび610Bは、それぞれピーク605Aおよび610Aの鏡像であり、ピーク605Bおよび610Bの形状もピーク605Aおよび605Bの形状の鏡像である。

一部の実施形態によれば、L I D A Rシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、アップチャープおよびダウンチャープに位相変調を追加するのではなく、アップチャープおよびダウンチャープの固有の位相不整合を推定して、ピーク605A、605B、610A、および610Bの形状を決定することができる。

【0089】

一部の実施形態では、L I D A Rシステムは、アップチャープおよびダウンチャープに位相変調を導入することができる。アップチャープおよびダウンチャープの変調は、L I D A Rシステムの光学スキャナ（例：図1に示される光スキャナ102）によって実行することができる。これらの位相変調は、非線形位相変調、非線形性、位相非線形性などとも称することがある。

前述したように、L I D A Rシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、ピーク605A（例：第1ピークまたは F_{true} ）を決定（例：算出、生成など）することもできる。

L I D A Rシステム（例：図1に示される信号処理ユニット112）は、ピーク610Aを使用して第1の距離推定値を決定し、ピーク610Bを使用して第2の距離推定値を決定することもできる。

ピーク610Aの第1の距離推定値を決定する（例：計算、算出、取得など）場合、式 $((2 * F_{Nyquist} - F_{up}) - F_{dn}) / 2$ を使用することができる。

ピーク610Bの第2の距離推定値を決定する場合、式 $((2 * F_{Nyquist} - F_{up}) + F_{dn}) / 2$ を使用することができる。

【0090】

一部の実施形態では、L I D A Rシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、ピーク610Aに対する第1のスペクトル推定値620と、ピーク610Bに対する第2のスペクトル推定値625を決定することができる。

例えば、第1のスペクトル推定値620は、第1の距離推定値と位相変調（例：ピーク610Aに関連するチャープに導入されるか、固有の位相非線形性）に基づいて決定される。

別の例では、第2のスペクトル推定値625は、第2の距離推定値と位相変調（例：ピーク610Bに関連するチャープに導入されるか、固有の位相非線形性）に基づいて決定される。スペクトル推定値は、形状値、ピーク形状値などとも称することがある。

【0091】

一部の実施形態では、LIDARシステム（例：図3Aに示される信号処理装置303）は、第1のスペクトル推定値620がピーク610Aの形状と一致するかどうか、および第2のスペクトル推定値625がピーク610Bの形状と一致するかどうかを判断することができる。

10

例えば、上記LIDARシステムは、スペクトル推定値620（例：ピーク形状）がピーク610Aの形状と一致し、スペクトル推定値625がピーク610Bの形状と一致しないことを判断することができる。これにより、LIDARシステムはピーク610Aを選択することができる。

上記で説明したように、ピーク605Aは以前に上記LIDARシステムによって決定されている（例：算出、生成など）。このため、ピーク605Aとピーク610Aを使用することで、上記LIDARシステムはターゲットの真のまたは正しい位置を算出することができる。このようにしてLIDARシステムは、遠距離ゴーストを低減することができる。

20

【0092】

図7は、一部の実施形態において、LIDARシステム100のようなLIDARシステムが、ターゲット環境をスキャンするために使用することができるFMCWスキャン信号701およびFMCWスキャン信号702の時間周波数図700である。

FMCWスキャン信号701は、時間の経過とともに周波数が増加するため、アップチャープ、アップスイープなどと呼ばれることがある。FMCWスキャン信号702は、時間の経過とともに周波数が減少するため、ダウンチャープ、ダウンスイープなどと呼ばれることがある。

【0093】

前述したように、FMCWスキャン信号には、位相変調（例：非線形位相変調、非線形性、位相非線形性）を追加、導入することができる。例えば、FMCWスキャン信号711には位相変調が含まれており、FMCWスキャン信号712にも位相変調が含まれている。

30

位相変調（例：変調波形）は、FMCW-LIDAR（例：LIDARシステム）にピーク（例：真のピーク）とピークイメージの違いを検出可能にする程度のものであり、ピークイメージが検出しづらくなる程歪める（例：ぼかす）ものではない。

前述したように、ピークのスペクトル形状（例：形状、ピーク形状）はまた、ターゲットまでの距離に依存する場合がある。受信信号も同じ位相変調を有するため、スペクトル形状は送信信号と受信信号の遅延時間に依存する場合がある。

ドップラーシフトは、ピークの周波数に影響を与えることがあるがピークのスペクトル形状には影響を与えない。このため、異なる距離にあるターゲットに対して、ピークは同じ周波数を持ちながら異なるスペクトル形状になることがある。これにより、上記FMCW-LIDARは、複数のピークからどのピークが実際のピーク（真のピーク）またはピークイメージであるかを判断することができる。

40

【0094】

図8は、実施形態による周波数範囲を示す信号強度一周波数図800である。信号強度一周波数図800には、0（例：0ヘルツ、0テラヘルツなど）の周波数が示される。

信号強度一周波数図800には周波数 D_{MAX} 、 D_N も示される。 D_{MAX} 、 D_N は、LIDARシステムが物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の負のドップラーシフト（例：物体がLIDARシステムから遠ざかるときに発生するドップラーシフト）に設定

50

される。

信号強度－周波数図 800 はまた $D_{MAX, up}$ も示している。 $D_{MAX, up}$ は、LIDAR システムが物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の正のドップラースhift（例：物体が LIDAR システムに向かって近づくときに発生するドップラースhift）に設定される。

信号強度－周波数図 800 には、ナイキスト周波数 $F_{NYQUIST}$ も示される。また、信号強度－周波数図 800 には、周波数 $F_{NYQUIST} - D_{MAX, up}$ も示される。

【0095】

図 8 において、0 と $D_{MAX, DN}$ の間の周波数範囲は、近距離／至近距離ゴーストが発生する可能性がある第 1 の周波数範囲である。

$F_{NYQUIST} - D_{MAX, up}$ と $F_{NYQUIST}$ の間の周波数範囲は、遠距離ゴーストが発生する可能性がある第 2 の周波数範囲である。

$D_{MAX, DN}$ と $F_{NYQUIST} - D_{MAX, up}$ の間の周波数範囲は、ゴーストの発生する可能性が少ない第 3 の周波数範囲である。

【0096】

本実施形態による FMCW-LIDAR システムは、近距離／至近距離ゴーストまたは遠距離ゴーストが発生しているかどうかを判断するために、検出されたピークを解析することができる。

一部の実施形態では、第 1 のチャープ／スイープの正のピークが $D_{MAX, DN}$ よりも小さく、第 2 のチャープ／スイープの正のピークが $2 * D_{MAX, DN}$ よりも小さい場合、近距離ゴーストの低減が適用される。

他の実施形態では、第 1 のチャープ／スイープの正のピークが $F_{NYQUIST} - D_{MAX, up}$ よりも大きく、第 2 のチャープ／スイープの正のピークが $(F_{NYQUIST} - (2 * D_{MAX, up}))$ よりも大きい場合、遠距離ゴーストティンギングの低減が適用される。

さらに、両方の正のピークが範囲 ($D_{MAX, DN}$ と $F_{NYQUIST} - D_{MAX, up}$) 内にある場合、ゴーストティンギングの低減が適用されない。

【0097】

一部の実施形態において、FMCW-LIDAR システムは、近距離または遠距離のゴースト低減を使用すべきかを決定するために、ピークを検出する代わりに、エネルギー検出を使用することができる。

一例として、ピーク検出は、より多くの計算リソース（例：処理リソース、処理量、処理パワー）および／またはメモリを使用することがある。また、ピーク検出は、その実行により多くの時間がかかることがある。

本実施形態では、周波数範囲内のエネルギーの総量（例：エネルギー検出）を検出することで、ピークを検出するよりも、FMCW-LIDAR がどのタイプのゴースト低減を使用すべきかをより迅速かつ効率的に決定することができる。

【0098】

図 9 は、一実施形態による、ピークを選択（例：決定、選択、算出など）するための例示的なピークセクタ 900 のブロック図である。

ピークセクタ 900 は、LIDAR システムの信号処理装置の一部として構成することができる。例えば、ピークセクタ 900 は、図 3 A および図 4 に示すように、LIDAR システム 300 の信号処理装置 303 の一部としてもよい。別の例として、ピークセクタ 900 は、図 1 に示される信号処理装置 112 の一部としてもよい。特に、ピークセクタ 900 は、図 4 に示すように、信号処理装置 303 のピーク検索プロセッサ 406 に含まれている場合がある。

このピークセクタは、距離モジュール 905、距離推定モジュール 910 A および 910 B、スペクトル推定モジュール 915 A および 915 B、スペクトル照合（マッチング）モジュール 920 A および 920 B、および比較モジュール 925 を備える。

【0099】

距離モジュール 905 は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれ

10

20

30

40

50

らの組み合わせにより構成される。

一実施形態では、距離モジュール 905 は、図 8 で説明したように、L I D A R システムによって検出されたピークが異なる周波数範囲にあるかどうかに基づいて、近距離または遠距離のゴーストが発生しているかどうか（例：近距離または遠距離のゴースト低減が適用されるべきかどうか）を判断することができる。

距離モジュール 905 は、前述したように、ピーク検出またはエネルギー検出を実行してもよい。

【0100】

距離推定モジュール 910 A および 910 B は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの組み合わせにより構成される。

一実施形態では、距離推定モジュール 910 A および 910 B は、異なるピークに対して異なる距離推定値を決定（例：算出、生成など）することができる。

一例として図 5 を参照すると、距離推定モジュール 910 A は、ピーク 510 A の距離推定値を決定し、距離推定モジュール 910 B は、ピーク 510 B の距離推定値を決定することができる。

【0101】

スペクトル推定モジュール 915 A および 915 B は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの組み合わせにより構成される。

一実施形態では、スペクトル推定モジュール 915 A および 915 B は、異なるピークに対して異なるスペクトル推定値（例：異なるピーク形状）を決定（例：生成、算出など）することができる。

一例として図 5 を参照すると、スペクトル推定モジュール 915 A は、第 1 の距離推定値とピーク 510 A に関連するチャープ／スイープの位相変調に基づいて、ピーク 510 A の第 1 のスペクトル推定値 520 を決定することができる。スペクトル推定モジュール 915 B は、第 1 の距離推定値とピーク 510 B に関連するチャープ／スイープの位相変調に基づいて、ピーク 510 B の第 2 のスペクトル推定値 525 を決定することができる。

【0102】

スペクトル照合モジュール 920 A および 920 B は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの組み合わせにより構成される。

一実施形態では、スペクトル照合モジュール 920 A および 920 B は、スペクトル推定値（スペクトル推定モジュール 915 A および 915 B によって生成された）が、L I D A R システムによって検出されたピークの形状と一致するかどうかを決定することができる。

一部の実施形態では、スペクトル照合モジュール 920 A および 920 B は、相関フィルタを使用して、スペクトル推定値のうちの 1 つとよりよく一致するピークを選択することができる、より相関結果が高いピークが真のピークとして選択される。

他の実施形態では、スペクトル照合モジュール 920 A および 920 B は、スペクトル推定値のうちの 1 つとよりよく一致するピークを選択するために、位相補正を使用する場合がある。スペクトル推定値は、位相変調を除去することで、ピークをより高く、より狭くするために使用することができる。こうして修正されたより高く、より狭いピークが選択される得る。

【0103】

一実施形態では、スペクトル照合モジュール 920 A および 920 B は、それぞれマッチレベルを比較モジュール 925 に出力することができる。マッチレベルは、ピークの形状がスペクトル推定値とどれだけ近いかを示す指標、パラメータ、数値、または他の値である。比較モジュール 925 は、最もマッチレベルが高いピークを選択することができる。

【0104】

図 10 は、本開示の実施形態による周波数範囲を示す信号強度一周波数図 1000 である。信号強度一周波数図 1000 には、周波数 0（例：0 ヘルツ、0 メガヘルツ、0 ギガヘルツ、0 テラヘルツなど）が示される。

10

20

30

40

50

信号強度－周波数図 1000 には周波数 D_{MAX} , D_N も示される。 D_{MAX} , D_N は、LIDAR システム（例：図 1 に示す LIDAR システム 100）が物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の負のドップラーシフトに設定される。

信号強度－周波数図 1000 は、 D_{MAX} , U_P も示している。 D_{MAX} , U_P は、LIDAR システムが物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の正のドップラーシフトに設定される。

信号強度－周波数図 1000 には、ナイキスト周波数 $F_{NYQUIST}$ も示される。さらに、信号強度－周波数図 1000 には、周波数 $F_{NYQUIST} - D_{MAX}$, U_P も示される。

【0105】

前述したように、0 から D_{MAX} , D_N の間の周波数範囲は、近距離／至近距離のゴーストが発生する可能性がある第 1 の周波数範囲である。

$F_{NYQUIST} - D_{MAX}$, U_P と $F_{NYQUIST}$ の間の周波数範囲は、遠距離のゴーストが発生する可能性がある第 2 の周波数範囲である。

D_{MAX} , D_N と $F_{NYQUIST} - D_{MAX}$, U_P の間の周波数範囲は、ゴーストの発生する可能性が少ない第 3 の周波数範囲である。

【0106】

一実施形態では、LIDAR システムの受信経路に遅延が含まれている場合がある。

一例として図 3A を参照すると、LIDAR システムの信号処理装置 303 は、光学処理装置内の構成要素をアクティブ化して、信号処理装置 303 に供給されるベースバンド信号 314 を遅延させることができる。受信経路に遅延があることで、LIDAR システム（例：図 1 に示す信号処理ユニット 112）は、距離がゼロ（0）メートルのターゲットを周波数 D_{MAX} , D_N にマッピングすることができる。

例えば、LIDAR システム（例：図 1 に示す LIDAR システム 100 の光スキャナ 102）から 0 メートル離れた位置にある物体の周波数（例： $F_{range, 0}$ ）は、周波数 D_{MAX} , D_N にマッピングされる。これにより、最大の負のドップラーシフトが発生した場合でも、すべてのターゲットの周波数ピークが常に正であることが保証される。周波数ピークが常に正であることを保証することにより（最大の負のドップラーシフト時でも）、LIDAR システムは近距離ゴーストの可能性を低減および／または排除することができる。

【0107】

一実施形態では、距離がゼロ（0）メートルのターゲットを周波数 D_{MAX} , D_N にマッピングすることで、LIDAR システムの解像度（例：距離解像度）を変更することができる。

このような実施形態では、周波数の総数が減少しているため（0 から周波数 D_{MAX} , D_N までの周波数は使用されないため）、各周波数が表す距離の量が増加することがある（これにより、LIDAR システムの解像度が低下することがある）。

他の実施形態では、LIDAR システムは閾値解像度（例：各周波数で表される最大距離）を有してもよい。LIDAR システムの結果として得られる解像度が閾値解像度よりも低い場合、LIDAR システムは受信経路における遅延を使用しないようにすることができる（0 メートルの距離にあるターゲットを周波数 D_{MAX} , D_N にマッピングするために）。

さらに他の実施形態では、LIDAR システムは、LIDAR システムの最大距離にあるターゲットを周波数 $F_{NYQUIST} - D_{MAX}$, U_P にマッピングするとともに、0 メートルの距離にあるターゲットを周波数 D_{MAX} , D_N にマッピングすることができる。

【0108】

一実施形態では、LIDAR システム（例：LIDAR システムの信号処理装置 303）は、LIDAR システムに最大負のドップラーシフト閾値が設定（構成など）されている場合、LIDAR システムの最小距離閾値を最大負のドップラーシフト閾値にマッピングすることができる。

10

20

30

40

50

この場合、第1および第2のピークセット（例：ピーク505Aおよび505Bは第1のピークセットであり、ピーク510Aおよび510Bは第2のピークセットである：図5参照）の間の正の周波数値ピークは、ターゲットの位置を予測するための1つ以上の真のピークとして確立、選択、識別、使用などされ得る。

他の実施形態では、信号処理装置303は、LIDARシステムの受信経路に、最小距離閾値を最大負のドップラーシフト周波数にマッピングするための光学的遅延を追加することで、LIDARシステムの最小距離閾値を最大負のドップラーシフト閾値にマッピングすることができる。

【0109】

図11は、本開示の実施形態による周波数範囲を示す信号強度一周波数図1100である。

10

信号強度一周波数図1100には、周波数0（例：0ヘルツ、0メガヘルツ、0ギガヘルツ、0テラヘルツなど）が示される。

信号強度一周波数図1100には周波数 D_{MAX} 、 D_N も示される。 D_{MAX} 、 D_N は、LIDARシステム（例：図1に示すLIDARシステム100）が物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の負のドップラーシフトに設定される。

信号強度一周波数図1100は、 D_{MAX} 、 U_P も示している。 D_{MAX} 、 U_P は、LIDARシステムが物体を検出する際に考慮できる最大または閾値の正のドップラーシフトに設定される。

信号強度一周波数図1100には、ナイキスト周波数 $F_{NYQUIST}$ も示される。さらに、信号強度一周波数図1100には、周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P も示される。

20

【0110】

前述したように、0から D_{MAX} 、 D_N の間の周波数範囲は、近距離／至近距離のゴーストが発生する可能性がある第1の周波数範囲である。

$F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P と $F_{NYQUIST}$ の間の周波数範囲は、遠距離のゴーストが発生する可能性がある第2の周波数範囲である。 D_{MAX} 、 D_N と $F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P の間の周波数範囲は、ゴーストの発生する可能性が少ない第3の周波数範囲である。

【0111】

30

一実施形態では、チャープ（例：アップチャープまたはダウンチャープ）の周波数が増加／減少する速度（チャープレート）を調整、変更、チューニングなどすることができる。

一例として図1を参照すると、信号処理ユニット112は、光スキャナ102に対して、アップチャープおよびダウンチャープの周波数が変化する速度を変更するように指示することができる。

チャープの周波数（例：チャープレート）が増加／減少する速度を変更（例：修正、調整など）することにより、LIDARシステム（例：図1に示された信号処理ユニット112）は、LIDARシステムの最大距離にあるターゲットを周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P にマッピングすることができる。

例えば、LIDARシステムの最大距離に位置する物体の周波数（例： $F_{range, max}$ ）は、周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P にマッピングされる。これにより、正のドップラーシフトによってすべてのターゲットの周波数ピークが $F_{NYQUIST}$ を超えないように保証される。周波数ピークが $F_{NYQUIST}$ を超えないように保証することにより、LIDARシステムは遠距離ゴーストの可能性を低減および／または排除することができる。

40

【0112】

一実施形態では、LIDARシステムの最大距離にあるターゲットを周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX}$ 、 U_P にマッピングすることで、LIDARシステムの解像度（例：距離解像度）を変更することができる。

このような実施形態では、周波数の総数が減少しているため（ $F_{NYQUIST}-D_{MA$

50

x_{up} と $F_{NYQUIST}$ の間の周波数は使用されていないため)、各周波数が表す距離の量が増加することがある(これにより、 $LIDAR$ システムの解像度が低下することがある)。

他の実施形態では、 $LIDAR$ システムは、閾値解像度(例:各周波数で表される最大距離)を有してもよい。 $LIDAR$ システムの結果として得られる解像度が閾値像度よりも低い場合、チャープの周波数が変化する速度を調整して、 $LIDAR$ システムが閾値解像度以下となるように調整することができる($LIDAR$ システムの最大距離にあるターゲットを周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX,up}$ にマッピングするために)。

さらに他の実施形態では、 $LIDAR$ システムは、 $LIDAR$ システムの最大範囲距離あるターゲットを周波数 $F_{NYQUIST}-D_{MAX,up}$ にマッピングするとともに、距離が0メートルのターゲットを周波数 $D_{MAX,DN}$ にマッピングすることができる。

【0113】

一実施形態では、 $LIDAR$ システム(例:信号処理ユニット112)は、最大正のドップラシフト閾値が $LIDAR$ システムに設定(構成など)されている場合、1つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整して、 $LIDAR$ システムの最大距離閾値を最大正のドップラシフト閾値にマッピングすることができる。

このように光ビームのチャープを調整することにより、第1および第2のピークセットのうち正の周波数値ピークが1つまたは複数の真のピークとしてターゲットの位置を予測するために確立され、1つまたは複数のピークのエイリアシングを防止する(または防止を補助する)ことができる。

他の実施形態では、信号処理ユニット112は、1つまたは複数の光ビームのチャープレートを調整することにより、ナイキスト周波数に最大距離閾値をマッピングしてもよい。

【0114】

図12は、 $LIDAR$ システム100や $LIDAR$ システム300などの $LIDAR$ システムにおいて、本開示の実施形態に従ってピークを選択するための方法1200を示すフローチャートである。

方法1200は、ハードウェア(例:回路、専用ロジック、プログラマブルロジック、プロセッサ、処理デバイス、中央処理装置(CPU)、システムオンチップ(SoC)など)、ソフトウェア(例:処理デバイスで実行/実行される命令)、ファームウェア(例:マイクロコード)、またはそれらの組み合わせからなる処理ロジックによって実行することができる。

一部の実施形態では、方法1200は、 $LIDAR$ システムの信号処理装置(例:図3Aおよび図4に示された $LIDAR$ システム300の信号処理装置303)によって実行される場合がある。

【0115】

方法1200は、操作(ステップ)1201において、処理ロジックが1つまたは複数のゴースト範囲を調整すべきかどうかを決定することから開始される。

例えば、図10および図11を参照すると。上記処理ロジックは、閾値解像度に基づいて、近距離ゴーストおよび/または遠距離ゴーストが削減または排除されるかどうかを判断することができる。

上記の1つまたは複数のゴースト範囲が調整される場合、上記処理ロジックは、操作(ステップ)1202で受信遅延を追加し、および/またはアップチャープおよび/またはダウンチャープの周波数の変化率を調整することができる。

例えば、 $LIDAR$ システムの解像度が閾値解像度未満の場合、処理ロジックは受信遅延を追加し、および/またはアップチャープおよび/またはダウンチャープの周波数の変化率を調整する。

上記処理ロジックは、操作(ステップ)1203で、アップチャープ周波数変調およびダウンチャープ周波数変調を含む1つまたは複数の光ビームを、光検出および測距($LIDAR$)システムの視野内のターゲットに向けて送信し、1つ以上のリターン信号を受信し、ベースバンド信号を生成する。そして、同ベースバンド信号のピークを識別し、この

10

20

30

40

50

ピークに基づいてターゲットまでの距離を決定する。

例えば、上記処理ロジックは、ベースバンド信号内の2つの最も高いピークを選択し、これらの2つの最も高いピークを使用してターゲットまでの距離を決定することができる。

【0116】

上記のゴースト範囲を調整する必要がない場合、方法1200は操作（ステップ）1205に進み、上記処理ロジックは、光検出および測距（LIDAR）システムの視野内のターゲットに向けて、アップチャープ周波数変調およびダウンチャープ周波数変調を含む1つまたは複数の光ビームを送信する。オプションとして、上記処理ロジックは、1つまたは複数の光ビームに位相変調を導入することができる。

次いで、操作（ステップ）1210で上記処理ロジックは、ターゲットから反射されたアップチャープおよびダウンチャープの1つまたは複数のリターン信号を受信する。

10

【0117】

操作（ステップ）1215において、上記処理ロジックは、アップチャープおよびダウンチャープの1つまたは複数のリターン信号の周波数領域でベースバンド信号を生成する。このベースバンド信号は、アップチャープおよびダウンチャープによって検出されたターゲットに関連するピークのセットを含み、このピークのセットは、第1ピーク、第2ピーク、第1ピークイメージ、および第2ピークイメージを含む。

例えば、上記ピークのセットとしては、図5および図6に示されるピークおよび／またはピークイメージを含む場合がある。

【0118】

20

操作（ステップ）1220において、上記処理ロジックは、ピーク形状に基づいて第1ピークおよび第2ピークの1つまたは複数を選択する。

例えば、上記処理ロジックは、LIDARシステムのドップラーシフトの閾値（例：最大値）を基準にして、第1の周波数範囲、第2の周波数範囲、および第3の周波数範囲を決定することができる。

上記処理ロジックは、ピークごとに周波数範囲（例：第1周波数範囲、第2周波数範囲、および第3周波数範囲のうちどれか）を決定することができる。

ピークが第1の周波数範囲、第2の周波数範囲、および第3の周波数範囲のいずれに位置しているかに基づいて、上記処理ロジックは、最高周波数のピークを第1ピークとして選択すべきか、それとも第3ピークを決定（例：算出、決定など）して第1ピークとして使用すべきかを決定することができる。

30

上記処理ロジックは、例えば、第1の周波数範囲にピークがあるために近距離／至近距離ゴーストが発生している場合、最高周波数のピークを選択することができる。第2の周波数範囲にピークがあるために遠距離ゴーストが発生している場合には、前述したように、第1ピーク（例：ナイキストイメージ）に基づいて新しいピークを算出することができる。

上記処理ロジックはまた、ピーク形状に基づいて第2ピークを選択することができる。

例えば、上記処理ロジックは、1つまたは複数のスペクトル形状（上述）を決定し、ピークセット内のピークの形状と比較して、このピークセットから第2ピークを選択することができる。

40

【0119】

操作（ステップ）1225において、上記処理ロジックは、第1ピークおよび第2ピークに基づいてターゲットまでの距離を決定する。例えば、ターゲットまでの距離は、第1ピークの周波数と第2ピークの周波数を合計し、2で割ることによって決定される。

【0120】

図13は、本開示の実施形態に従ってピークを選択するためのLIDARシステム（例：、LIDARシステム100またはLIDARシステム300）における方法1300を示すフローチャートである。

方法1300は、ハードウェア（例：回路、専用ロジック、プログラム可能ロジック、プロセッサ、処理デバイス、中央処理装置（CPU）、システムオンチップ（SoC）な

50

ど)、ソフトウェア(例:処理デバイス上で実行/実行される命令)、ファームウェア(例:マイクロコード)、またはそれらの組み合わせにより構成される処理ロジックによって実行することができる。

一部の実施形態において、方法1300は、LIDARシステムの信号処理装置(例:図3Aおよび図4に示すLIDARシステム300の信号処理装置303)によって実行される。

【0121】

一実施形態において、方法1300は、全ドップラーシフト(例:LIDARシステムまたはLIDARシステムのセンサとターゲット間の相対速度)が既知である場合に実行され得る。

この処理ロジックは、さまざまな技術を使用して全ドップラーシフト(D)を決定または推定することができる。例えば、上記処理ロジックは、自己運動速度(エゴ速度)を推定または決定することによって全ドップラーシフトを決定することができる。

ターゲットが静止しているか動いていない場合、自己運動速度(エゴ速度)が使用されることがある。別の例として、上記処理ロジックは以前のフレームからの情報/データを使用することができる。ポイントクラウド内の各点(例:3Dポイントクラウド)に対して、上記処理ロジックは、ドップラーシフトが以前のフレームの同じ点と同一であると仮定することができる。

さらに別の例として、上記処理ロジックは、近傍ポイントからの情報/データを使用することができる。以前のN点のドップラーシフトが現在の点の近傍にあって、そのばらつき(分散)が小さい場合、現在の点のドップラーシフトは、その近傍ポイントの平均または中央値に等しくなる可能性がある。

【0122】

全ドップラーシフトが既知である場合、上記処理ロジックは、操作(ステップ)1305において第1の真のピーク(例:確実な真のピーク)を選択することができる。

近距離ゴーストが発生している場合、第1の真のピーク F_{true1} は、 $F_{true1} = F_{up}$ (例:上方シフトしたピーク)として決定されることがある。

遠距離ゴーストが発生している場合、第1の真のピーク F_{true1} は、 $F_{true1} = F_{dn}$ (例:下方シフトしたピーク)として決定されることがある。

【0123】

操作(ステップ)1310において、上記処理ロジックは、既知のドップラーシフトを使用して、他方(第2の)の真のピークの位置を推定することができる。

近距離ゴーストが発生している場合、他方(第2の)の真のピーク F_{dn} の推定位置は、 $F_{dn} = F_{up} - 2 * D$ として決定されることがある。

遠距離ゴーストが発生している場合、他方(第2の)の真のピーク F_{up} の推定位置は、 $F_{up} = 2 * F_{Nyquist} - (F_{dn} + 2 * D)$ として決定されることがある。

【0124】

操作(ステップ)1315において、上記処理ロジックは、推定された位置(例:推定ピーク位置)の閾値、許容範囲などの範囲にあるピークを第2の真のピークとして選択することができる。

例えば、近距離ゴーストが発生している場合、処理ロジックは F_{dn} の閾値以内にあるピークを選択することができる。

別の例として、遠距離ゴーストが発生している場合、処理ロジックは F_{up} の閾値以内にあるピークを選択することができる。

【0125】

前述した説明では、本発明の実施形態を理解しやすくするために、特定のシステム、構成要素、方法などの具体例を複数示しているが、当業者であればこれらの具体例の説明がなくても本発明を実施しうる。また、公知の構成要素や方法はその詳細が省略されていたり、単純なブロック図の形式で示されることがあるが、これは本発明の理解を容易にするためである。したがって、開示された内容は単に例示であり、一事例は他の例示と異なる

10

20

30

40

50

場合があっても、本発明の範囲内に含まれると考えられる。

【0126】

本明細書において「一実施形態」または「実施形態」という表現が使用される場合、それらの実施形態に関連して説明された特定の特徴、構造、または特性が少なくとも一つの実施形態に含まれていることを意味する。したがって、本明細書のいくつかの箇所で「一実施形態において」または「実施形態において」という表現が現れている場合、必ずしも同じ実施形態を示すものではない。

【0127】

ここで説明されている方法の操作は特定の順序で示されているが、各方法の操作の順序は変更されることがあり、特定の操作を逆順で行ってもよいし、少なくとも一部の操作を他の操作と同時にに行ってもよい。異なる操作の指示または補助的な操作は、断続的または交互に行うことができる。

【0128】

上記に記載されている発明の実施例についての説明（要約に記載されている内容を含む）は、詳細で網羅的であることを意図しているものではなく、開示された具体的形態に限定するものでもない。本発明の具体的な実施態様および実施例は、例示の目的で本明細書に記載されているが、当業者が認識する範囲で種々の同等な変更を行うことができる。

ここで使用される「例」または「例示的」の語は、例、実例または説明として役立つことを意味するために使用されている。本明細書において「例」または「例示」と説明された態様または設計は、必ずしも他の態様または設計よりも好ましいまたは有利であると解釈されるべきではない。むしろ、「例」または「例示」という用語の使用は、概念を具体的な形で示すことを意図している。

本明細書において使用される「または」の用語は、排他的な「または」ではなく、包括的な「または」として解釈されることを意図している。

つまり、特に指定されていない限り、あるいは文脈から明らかでない限り、「XはAまたはBを含む」という表現は、自然な包括的順列のいずれかを意味する。つまり、XがAを含む場合、XがBを含む場合、あるいはXがAおよびBの両方を含む場合、前述のいずれの場合にも、「XはAまたはBを含む」という条件を満たすことになる。

さらに、本明細書および添付された特許請求の範囲で使用される冠詞「a」および「an」は、特に指定されていない限り、文脈から単数形であることが明らかでない場合には「1つまたは複数」を意味するものと解釈される。

さらに、本明細書において「第1」、「第2」、「第3」、「第4」のような用語が使用される場合、これらの用語は異なる要素を区別するための識別子として使用されるもので、数字の指定に従って必ずしも順序を示すものではない。

10

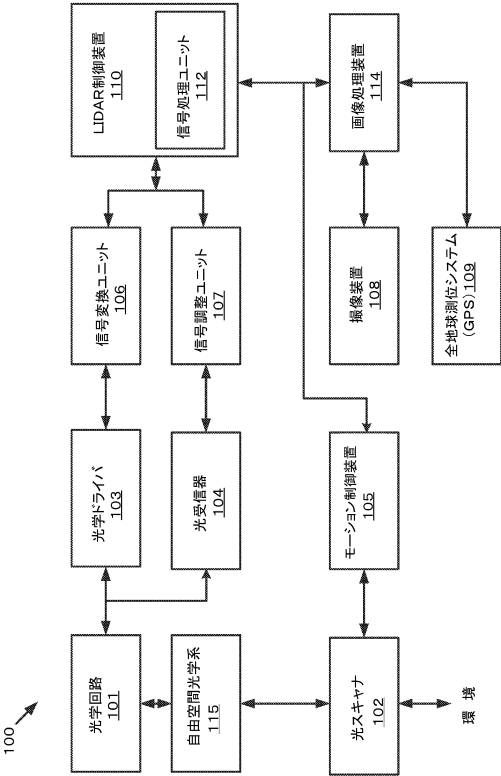
20

30

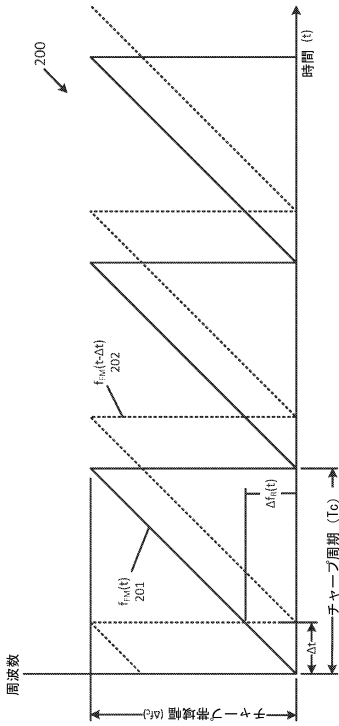
40

50

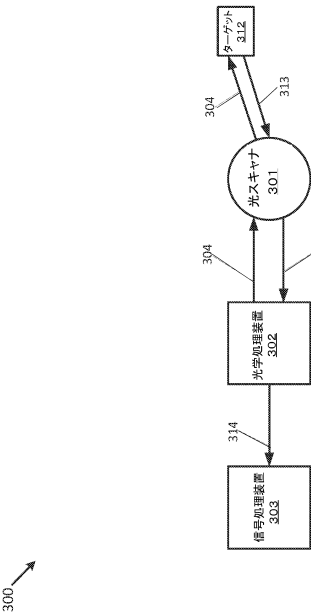
【図面】
【図 1】



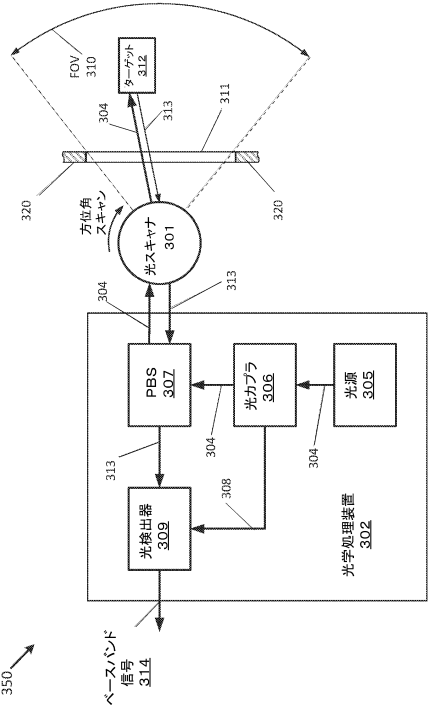
【図 2】



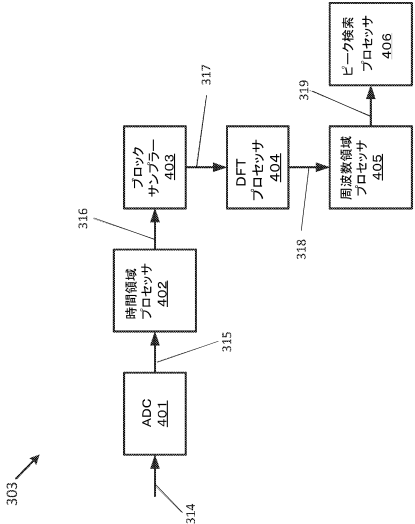
【図 3 A】



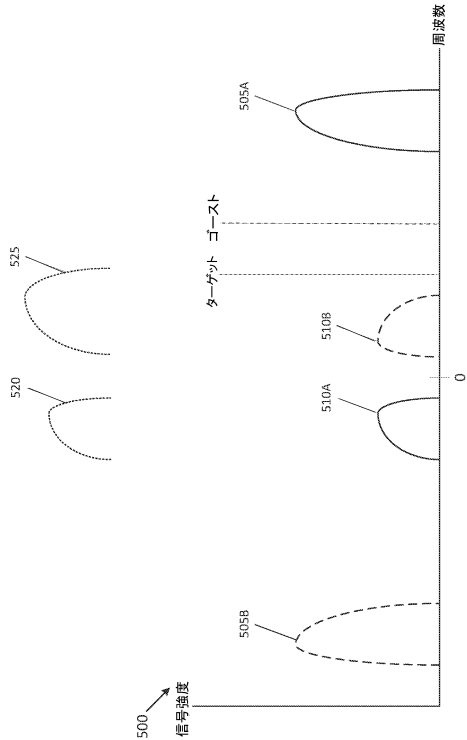
【図 3 B】



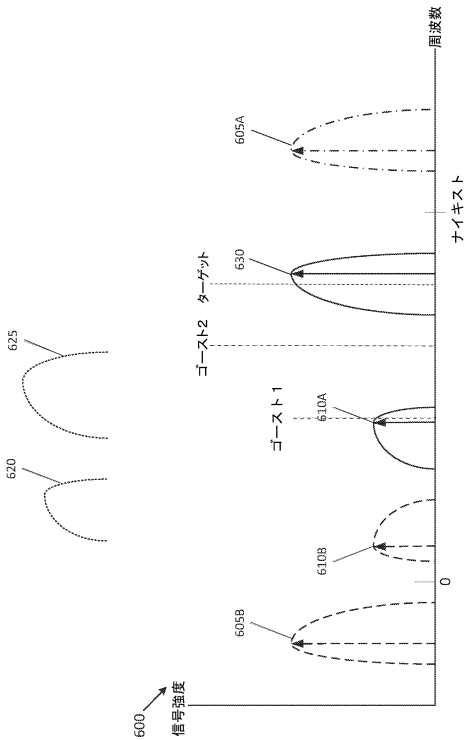
【図 4】



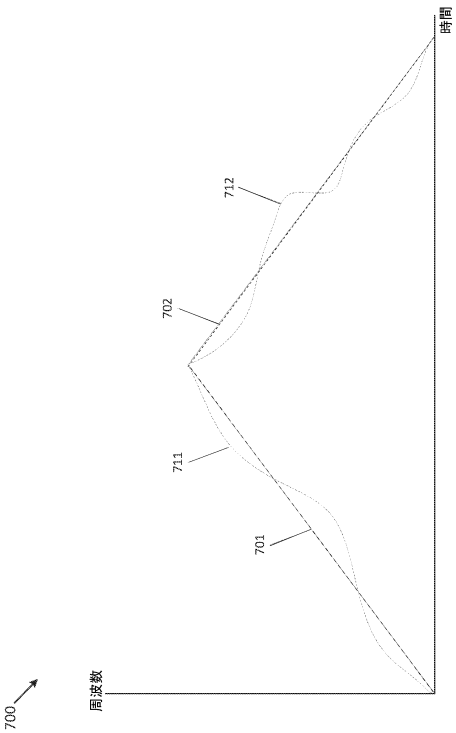
【図 5】



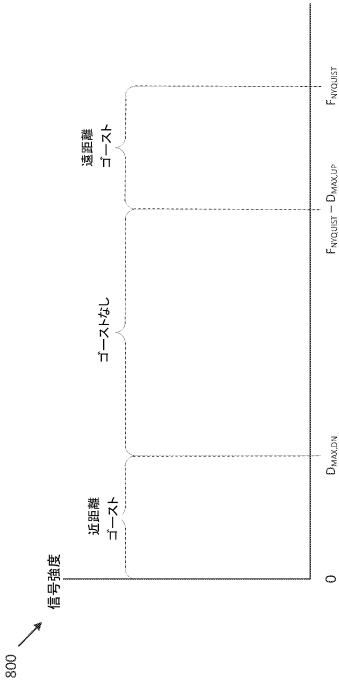
【図 6】



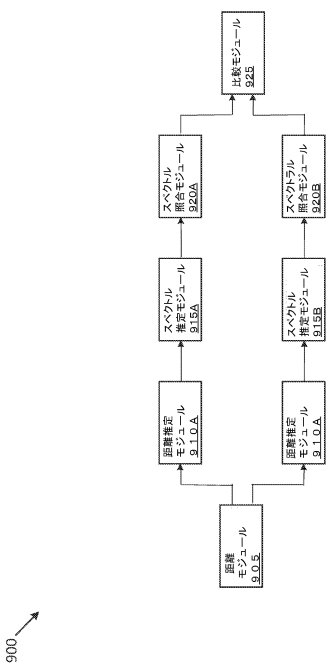
【図 7】



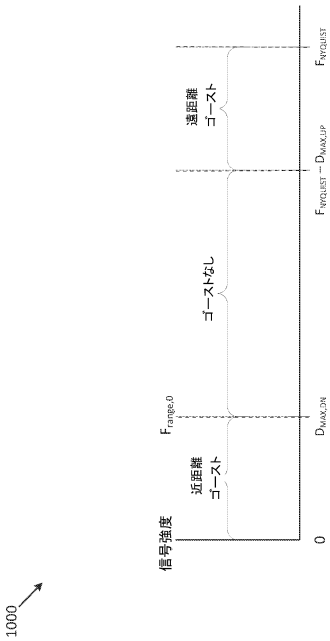
【図 8】



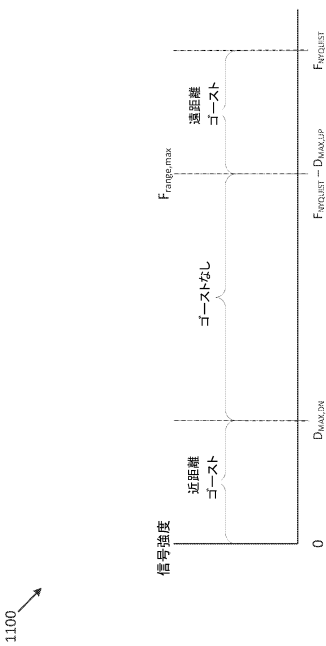
【図 9】



【図 10】



【図 11】



10

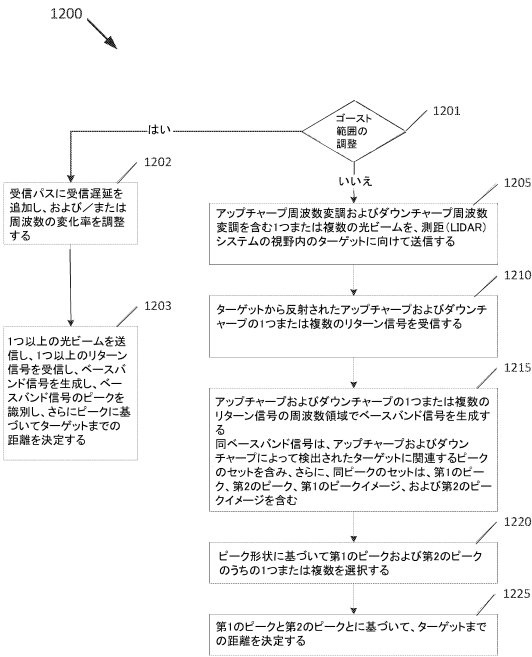
20

30

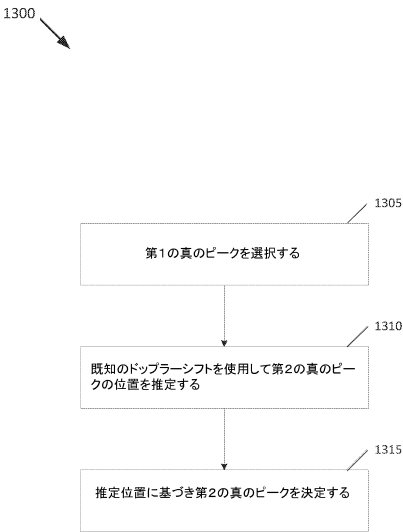
40

50

【図 1 2】



【図 1 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(72)発明者 ビスワナサ クマール バルガブ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94043 マウンテン ビュー エリス ストリート 555

(72)発明者 ムートリ ラジェンドラ ツシャー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94043 マウンテン ビュー エリス ストリート 555

(72)発明者 レズク ミナ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94043 マウンテン ビュー エリス ストリート 555

審査官 山下 雅人

(56)参考文献 特表2019-537012 (JP, A)

特開2020-085867 (JP, A)

特開2019-066284 (JP, A)

米国特許出願公開第2017/0212235 (US, A1)

国際公開第2006/013689 (WO, A1)

特開2005-195344 (JP, A)

特開2004-093242 (JP, A)

米国特許出願公開第2003/0142007 (US, A1)

特開平10-132925 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01S 7/00-17/95